

COMMITTENTE:



**DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA**

PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA  
S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD.**

**PROGETTO ESECUTIVO**

## RIASSETTO NODO DI BARI

**TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE**

Ottemperanza alle prescrizioni Delibera cipe 28/01/2015

**Canale idraulico di collegamento tra la lama San Marco e la lama Valenzano e strade di ricucitura urbana dei fondi interclusi**

## OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO

**Relazione di calcolo scatolare**

SCALA:

---

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

**IA1U    03    E    78    CL    NI0200    301    A**

| Revis | Descrizione          | Redatto | Data        | Verificato | Data        | Approvato   | Data        | Autorizzato/Data |
|-------|----------------------|---------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| A     | EMISSIONE DEFINITIVA | INTEGRA | GIUGNO 2021 | FICOPPELLA | GIUGNO 2021 | [Signature] | GIUGNO 2021 | [Signature]      |
|       |                      |         |             |            |             |             |             |                  |
|       |                      |         |             |            |             |             |             |                  |

File IA1U03E78CLNI0200301A

n. Elab.

**ITALFERRES P.C.A.**  
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane  
DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD  
Dott. Ing. Dario Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10878

## INDICE

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1    | PREMESSA.....   | 4  |
| 2    | DESCRIZIONE DELL'OPERA .....                                    | 5  |
| 3    | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....                                  | 8  |
| 3.1  | NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....                                  | 8  |
| 3.2  | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....                                   | 8  |
| 4    | MATERIALI UTILIZZATI .....                                      | 9  |
| 5    | INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....                                  | 11 |
| 5.1  | STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO .....           | 11 |
| 5.2  | INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....                              | 11 |
| 5.3  | CLASSIFICAZIONE SISMICA .....                                   | 12 |
| 5.4  | CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO .....                             | 17 |
| 6    | ANALISI DEI CARICHI .....                                       | 19 |
| 6.1  | CARICHI PERMANENTI (C0).....                                    | 19 |
| 6.2  | SOVRACCARICO NEVE ( C7) .....                                   | 19 |
| 6.3  | AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE (C9)..... | 20 |
| 6.4  | AZIONI VARIABILI DEL TRAFFICO VERTICALE ( F1-F2) ; (C1) .....   | 20 |
| 6.5  | AZIONI DEL SISMA ( C5).....                                     | 22 |
| 6.6  | SPINTE DEL TERRENO E DELL'ACQUA (C6).....                       | 23 |
| 6.7  | SPINTE IDROSTATICA INTERNA (C4) .....                           | 25 |
| 6.8  | RITIRO (C11).....   | 25 |
| 6.9  | AZIONI TERMICHE (C12).....                                      | 26 |
| 6.10 | COMBINAZIONI DI CARICO.....                                     | 26 |
| 7    | VERIFICA DEL MANUFATTO.....                                     | 34 |
| 7.1  | MODELLO DI CALCOLO .....  | 34 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 7.2 | SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA SLU .....                             | 45 |
| 7.3 | SOLETTA INFERIORE – VERIFICA SLU .....                             | 57 |
| 7.4 | MURO DI SPALLA – VERIFICA SLU .....                                | 65 |
| 7.5 | VERIFICHE CARICO LIMITE INSIEME FONDAZIONE TERRENO (SLU GEO) ..... | 72 |
| 7.6 | VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE - SLE .....            | 73 |
| 7.7 | VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE - SLE .....            | 79 |
| 7.8 | VERIFICA CORDOLO BARRIERA DI SICUREZZA H2 .....                    | 82 |

|   |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|---|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|   | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 1 PREMESSA

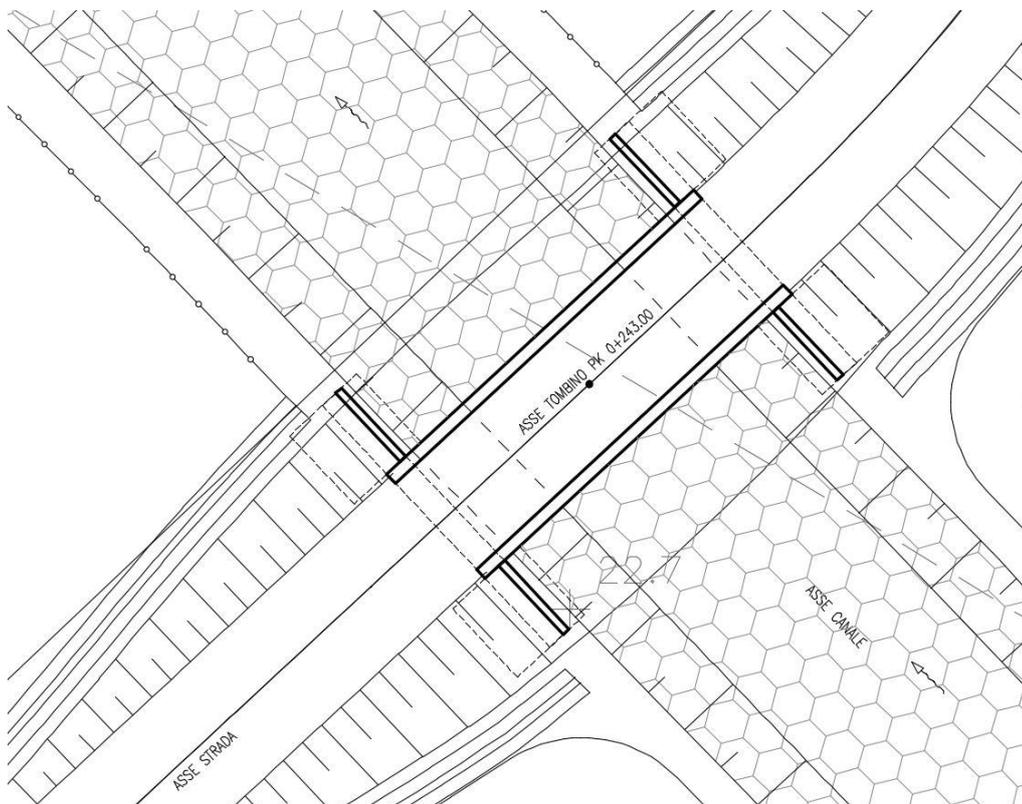
*Nella presente relazione si riportano le analisi e le verifiche strutturali dello scatolare idraulico, posto in corrispondenza della viabilità di ricucitura n.1, inserita nell'ambito del Progetto Esecutivo della viabilità NV05 – Tangenziale di Bari della linea ferroviaria del riassetto Nodo di Bari, tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari Centrale e Bari Torre a Mare.*

*Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all'opera.*

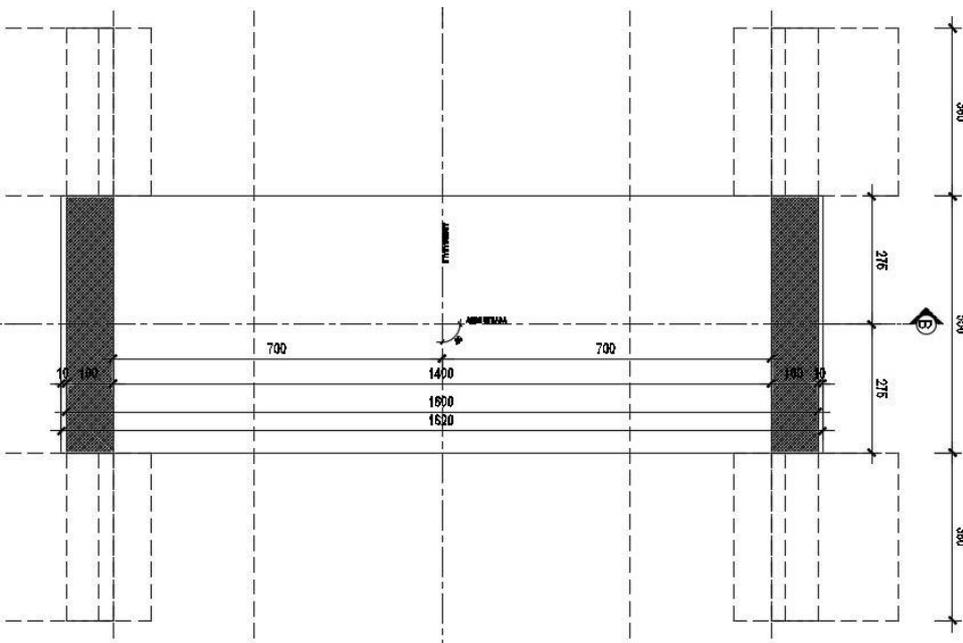
## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione si riportano le analisi e le verifiche strutturali dell'opera di scavalco di un canale idraulico, posto tra il km 0+234.000 ed il km 0+250.000 circa della viabilità di ricucitura n° 1, inserita nell'ambito del progetto esecutivo della variante di tracciato tra Bari Centrale e Bari Torre a Mare, per il riassetto del Nodo di Bari – Tratta a Sud di Bari.

Nella fattispecie, la presente relazione ha per oggetto le analisi e le verifiche dello scatolare idraulico costituito, di dimensioni nette interne 14.00x2.90 m, con piedritti di spessore pari a 100 cm, soletta di fondazione di spessore pari a 110 cm e soletta di copertura di spessore pari a 110 cm. Si riportano, di seguito, una vista planimetrica ed una sezione trasversale della struttura.



**Figura 1 - Planimetria**



**Figura 2 - Pianta**

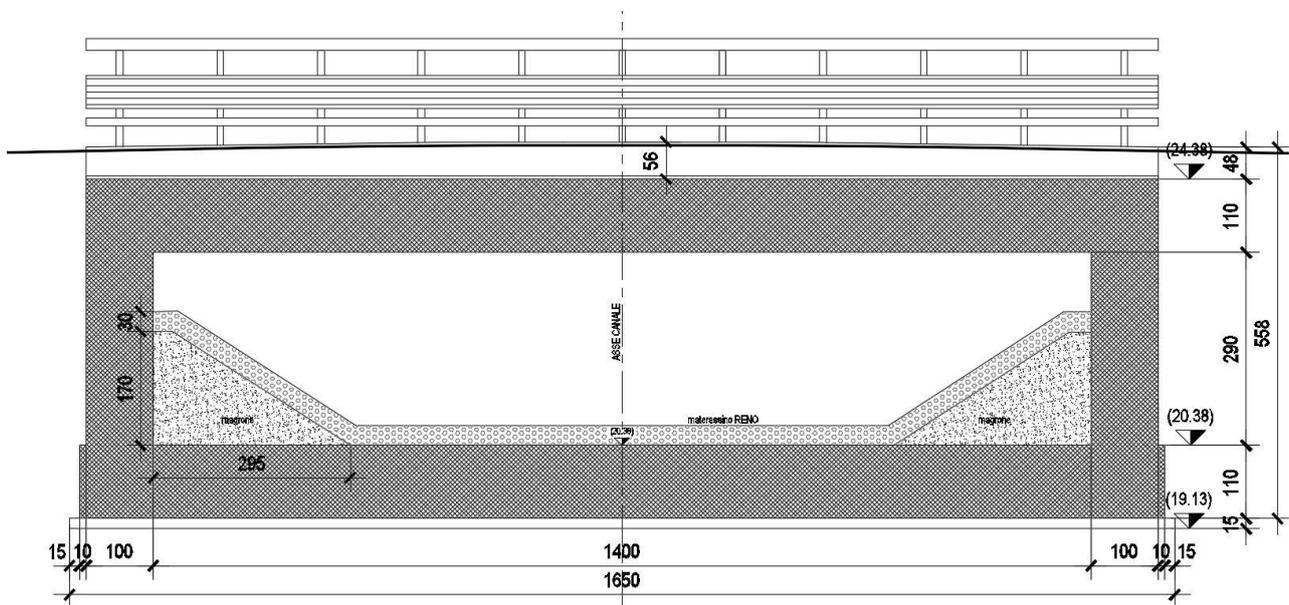


Figura 3 – Sezione B-B

*Il ricoprimento è variabile lungo l'asse dello scatolare raggiungendo un massimo di circa 0,56m.*

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

*Si riporta nel seguito l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.*

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009,n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 21 ottobre 2003
- Decreto del presidente della regione 15 ottobre 2004 n.0335/Pres
- UNI EN 1992-1-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo
- UNI EN 206:2014 - Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A – Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A – Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario.
- RFI DINIC MA CS 00 001 C – Manuale di progettazione corpo stradale – RFI 2004
- RFI DTC SI SP IFS 001 E - Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – RFI 2021

#### 3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- IA1U 03 E 78 CL NI0200 302 A Riassetto nodo di Bari. Tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a Mare. Opera di scavalco canale idraulico. Relazione geotecnica di calcolo dei rilevati.
- IA1U 03 E 78 BB NI0200 301 A Riassetto nodo di Bari. Tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a Mare. Opera di scavalco canale idraulico. Carpenteria scatolare
- IA1U 03 E 78 BB NI0200 302 A Riassetto nodo di Bari. Tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a Mare. Opera di scavalco canale idraulico. Armatura scatolare

## 4 MATERIALI UTILIZZATI

Si riporta la tabella materiali in cui sono riassunte le caratteristiche dei materiali impiegati.

| TABELLA MATERIALI  |   |                                  |   |                                       |  |
|--|---|----------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| CALCESTRUZZO   |   |                                  |   |                                       |  |
| Classe di lavorabilità                                     | Classe di resistenza minima (C <sub>ck</sub> /R <sub>ck</sub> ) | Classe di esposizione ambientale | D <sub>max</sub> (inerti) (mm)  | Campi di impiego                      |  |
| --   | C12/15  | X0                               | --  | Magrone di riempimento e livellamento |  |
| S4   | C30/37  | XA1                              | 25  | Scatolare                             |  |
| S4   | C30/37  | XC3                              | 25  | Muri d'ala                            |  |
| CALCESTRUZZO SCATOLARE E MURI                              |   |                                  | CONFORME UNI-EN 206-1<br>DIAMETRO MAX INERTI 25 mm<br>CLASSE DI CONTENUTO DI CLORURI<br>CONFORME A UNI-EN 206-1<br>TIPO CEMENTO 42.5 R II/A-L<br>RAPPORTO A/C 0,55<br>CONTENUTO D'ARIA 4.5 %                                    |                                       |  |
| CALCESTRUZZO MAGRO GETTO DI LIVELLAMENTO                   |   |                                  | CONFORME UNI-EN 206-1<br>DOSAGGIO 1.5 q cem. R325 / mc  |                                       |  |
| ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO                                  |   |                                  |   |                                       |  |
| ACCIAIO IN BARRE PER GETTI E RETI ELETTRISALDATE           |   |                                  | B450C<br>f <sub>yk</sub> >=450Mpa f <sub>tk</sub> >=540Mpa<br>1,15< f <sub>tk</sub> /f <sub>yk</sub> < 1,35<br>f <sub>yk</sub> = tensione caratteristica di snervamento<br>f <sub>tk</sub> = tensione caratteristica di rottura |                                       |  |
| PRESCRIZIONI   |   |                                  |   |                                       |  |
| COPRIFERRO NETTO   |   |                                  |   |                                       |  |
| S=5.0 cm per manufatto sottovia<br>S=4.0 cm per muri d'ala |   |                                  |    |                                       |  |

|                        |                       |                                |  |  |
|------------------------|-----------------------|--------------------------------|--|--|
| Classe di resistenza   | cls                   | <b>C30/37</b>                  | R <sub>ck</sub> =                                | <b>37</b> N/mm <sup>2</sup>              |
| f <sub>ck</sub> =      | 0,83                  | R <sub>ck</sub> =              | Resistenza a compressione                        | 30,71 N/mm <sup>2</sup>                  |
| f <sub>cm</sub> =      | f <sub>ck</sub> + 8 = |                                | Valor medio resistenza cilindrica a compressione | 38,71 N/mm <sup>2</sup>                  |
| f <sub>cd</sub> =      | α <sub>cc</sub>       | f <sub>ck</sub>                | /γ <sub>c</sub> =                                | Resistenza a compressione di calcolo     |
|                        | 0,85                  | 30,71                          | / 1,5 =  | 17,4 N/mm <sup>2</sup>                   |
| f <sub>ctm</sub> =     | 0,3                   | f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> |  | Resistenza MEDIA a trazione              |
|                        | 0,3                   | 30,71 <sup>2/3</sup> =         |  | 2,9 N/mm <sup>2</sup>                    |
| f <sub>ctk0,05</sub> = | 0,7                   | f <sub>ctm</sub>               |  | Resistenza caratt. Trazione frattile 5%  |
|                        | 0,7                   | 2,9 =                          |  | 2,1 N/mm <sup>2</sup>                    |
| f <sub>ctk0,95</sub> = | 1,3                   | f <sub>ctm</sub>               |  | Resistenza caratt. Trazione frattile 95% |
|                        | 1,3                   | 2,9 =                          |  | 3,8 N/mm <sup>2</sup>                    |

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

### Acciaio per C.A.

| <b>ACCIAIO PER C.A. B450C</b>                    |  |
|--|--|
| Metodo agli stati limite                         |  |
| $f_{yk}$ tensione caratteristica di snervamento: | $\geq 450 \text{ N/mm}^2$                                |
| $f_{tk}$ tensione caratteristica di rottura:     | $\geq 540 \text{ N/mm}^2$                                |
| $f_{td}$ tensione di progetto a rottura:         | $f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 391 \text{ N/mm}^2$ |

L'acciaio dovrà rispettare i seguenti rapporti:

$$1,15 \leq (f_t / f_y)_k \leq 1,35 \quad (f_y / f_{y,nom,k}) \leq 1,25 \quad (A_{g,i})_k \geq 7,5 \%$$

Il valore del copriferro assunto per lo scatolare idraulico è stato aumentato di 10mm e portato così al valore di calcolo di 50mm in accordo al paragrafo 2.2.3.2 della specifica RFI (RFI DTC INC PO SP IFS 001 A) che prevede un aumento del copriferro nei casi in cui ci si trovi in condizioni ambientali aggressive.

### Stato limite apertura delle fessure

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

**Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione -**

| Gruppi di esigenza | Condizioni ambientali | Combinazione di azione | Armatura           |            |                |            |
|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------|----------------|------------|
|                    |                       |                        | Sensibile          |            | Poco sensibile |            |
|                    |                       |                        | Stato limite       | wd         | Stato limite   | wd         |
| a                  | Ordinarie             | frequente              | ap. fessure        | $\leq w_2$ | ap. fessure    | $\leq w_3$ |
|                    |                       | quasi permanente       | ap. fessure        | $\leq w_1$ | ap. fessure    | $\leq w_2$ |
| b                  | Aggressive            | frequente              | ap. fessure        | $\leq w_1$ | ap. fessure    | $\leq w_2$ |
|                    |                       | quasi permanente       | decompressione     | -          | ap. fessure    | $\leq w_1$ |
| c                  | Molto Aggressive      | frequente              | formazione fessure | -          | ap. fessure    | $\leq w_1$ |
|                    |                       | quasi permanente       | decompressione     | -          | ap. fessure    | $\leq w_1$ |

I valori limite sono pari a:

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

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Le verifiche a fessurazione saranno condotte nella combinazione RARA verificando che le fessure risultino  $w_1 \leq 0,2 \text{ mm}$ , in accordo al manuale di progettazione RFI (vedi §1.8.3.2.4 - RFI DTC INC PO SP IFS 001 A).

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 5.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Per quanto riguarda la tipologia del terreno si riporta quanto indicato nella “ Relazione geotecnica di calcolo dei rilavati ” del progetto esecutivo, elab. [IA1U 03 E 78 CL NI0200 302 A]

Al terreno situato ai lati dell’opera ed al terreno di ricoprimento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geotecniche (materiale da rilevato):

|                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume naturale        |
| $\varphi' = 35^\circ$        | angolo di resistenza al taglio |
| $c' = 0 \text{ kPa}$         | coesione drenata               |

Il terreno di fondazione è costituito essenzialmente da Calccare di Bari, al quale sono state attribuite le seguenti caratteristiche, dedotte dalla relazione geotecnica:

|                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume naturale         |
| $\varphi' = 45^\circ$        | angolo di resistenza al taglio  |
| $c' = 80 \text{ kPa}$        | coesione drenata                |
| $E = 1000 \text{ MPa}$       | modulo in compressione vergine; |

La falda non influenza il regime delle spinte presenti sulla struttura.

### 5.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l’interazione terreno-struttura relativamente all’opera in esame.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

$$s = B \cdot c_t \cdot (q - \sigma_{v0}) \cdot (1 - \nu^2) / E$$

dove:

s = cedimento elastico totale;

B = lato minore della fondazione;

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

$c_t$  = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 ( $L$  = lato maggiore della fondazione):

$$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B \leq 10$$

$$c_t = 2 + 0.0089 (L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B > 10$$

$q$  = pressione media agente sul terreno;

$\sigma_v0$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;

$E$  = modulo elastico medio del terreno sottostante la galleria (media su una altezza pari a  $3.5 B$ ).

Il valore della costante di sottofondo  $k_w$  è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento pertanto, si ottiene:

$$k_w = E / [(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_t]$$

Per l'opera in esame, si è considerato un modulo elastico del terreno pari a:

$$E = 1000 \text{ MPa},$$

dal quale risulta, secondo le formulazioni sopra riportate, un valore della costante di sottofondo pari a:

$$k_w = 1000000 / [(1-0.09) \cdot 5.5 \cdot 1.42] = 140704 \text{ kN/m}^3.$$

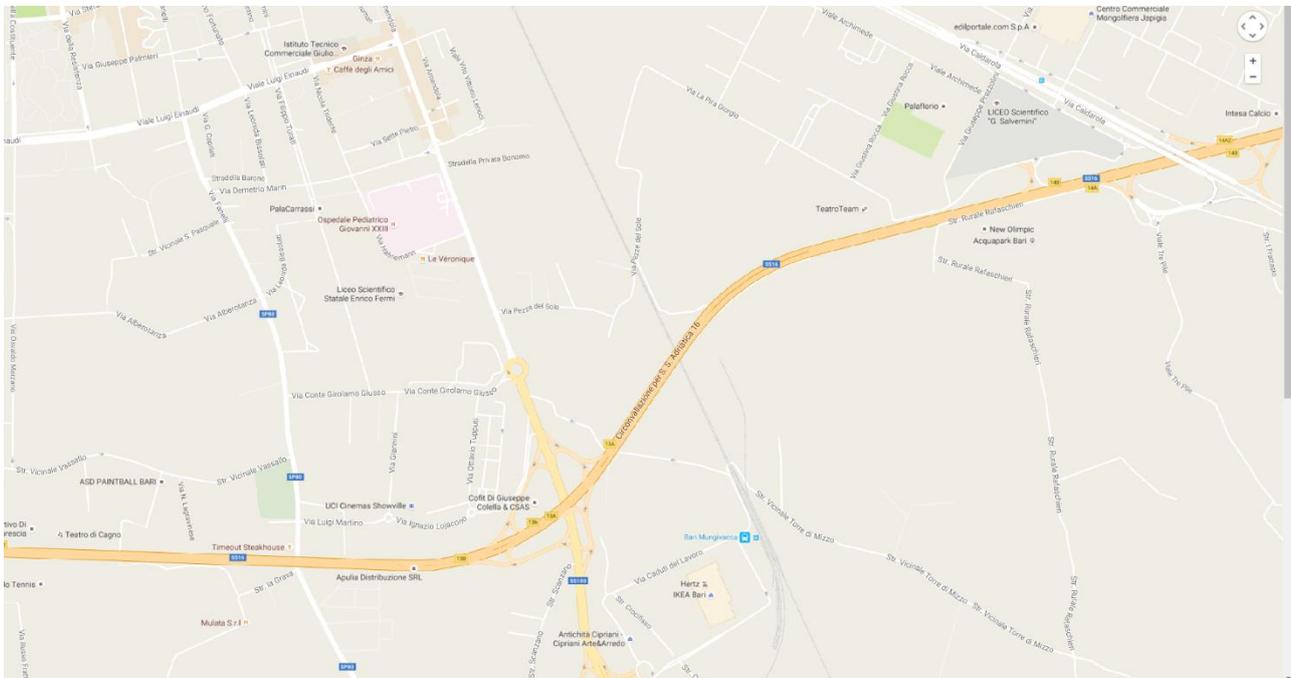
dove, per la fondazione in esame, di dimensioni  $16,20 \times 5,5$  m il coefficiente  $c_t = 1.42$

Nelle calcolazioni è stato assunto cautelativamente un valore della costante di sottofondo  **$k_w = 25000 \text{ kN/m}^3 = 2,5 \times 10^7 \text{ N/mc}$** .

### 5.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima in condizioni sismiche è stato definito in accordo alle Nuove Norme Tecniche.

La categoria di suolo di fondazione viene definita sulla base della conoscenza di  $V_{s30}$ , ricavato dalle indagini sismiche eseguite nelle campagne geognostiche delle fasi progettuali precedenti (si rimanda alla "Relazione geotecnica di calcolo dei rilevati – elab. IA1U 03 E 78 CL NI0200 302 A). In particolare, nel caso in esame si considera una categoria di suolo di **tipo A**: "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m".



**Figura 4 – individuazione del sito**

*Ai sensi della NTC 2008 e alla classificazione dell'ord 3274 (e succ. modif.) ne risultano i seguenti parametri :*

- **COMUNE : Bari**
- **ZONA SISMICA 3**
- **CLASSE D'USO III**
- **VITA NOMINALE DELL'OPERA  $V_N = 75$  anni** : per opere infrastrutturali di importanza normale

- **PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA** : posto  $C_U = 1,5$  per classe III

$$V_R = V_N C_U = 75 \times 1,5 = 112,5$$

- **PERIODO DI RITORNO DELL'AZIONE SISMICA CORRISPONDENTE A SLV:**

$$T_R = 1068 \text{ anni}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

| SLATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_0$<br>[-] | $T_C^*$<br>[s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO          | 68              | 0,036        | 2,456        | 0,312          |
| SLD          | 113             | 0,042        | 2,527        | 0,364          |
| SLV          | 1068            | 0,093        | 2,698        | 0,552          |
| SLC          | 2193            | 0,118        | 2,767        | 0,563          |

Le verifiche agli SLU saranno eseguite con riferimento alla **stato limite di prevenzione del collasso SLV** (NTC §3.2.1.); Come identificato al punto precedente  $T_R = 1068$  anni, per cui, data la posizione geografica del sito ne consegue :

$$a_g/g = 0.093$$

$$F_0 = 2.698$$

$$T_c^* = 0.552$$

La categoria topografica è identificata in **T1** essendo la superficie pianeggiante; ne risulta

$$S_T = 1,000$$

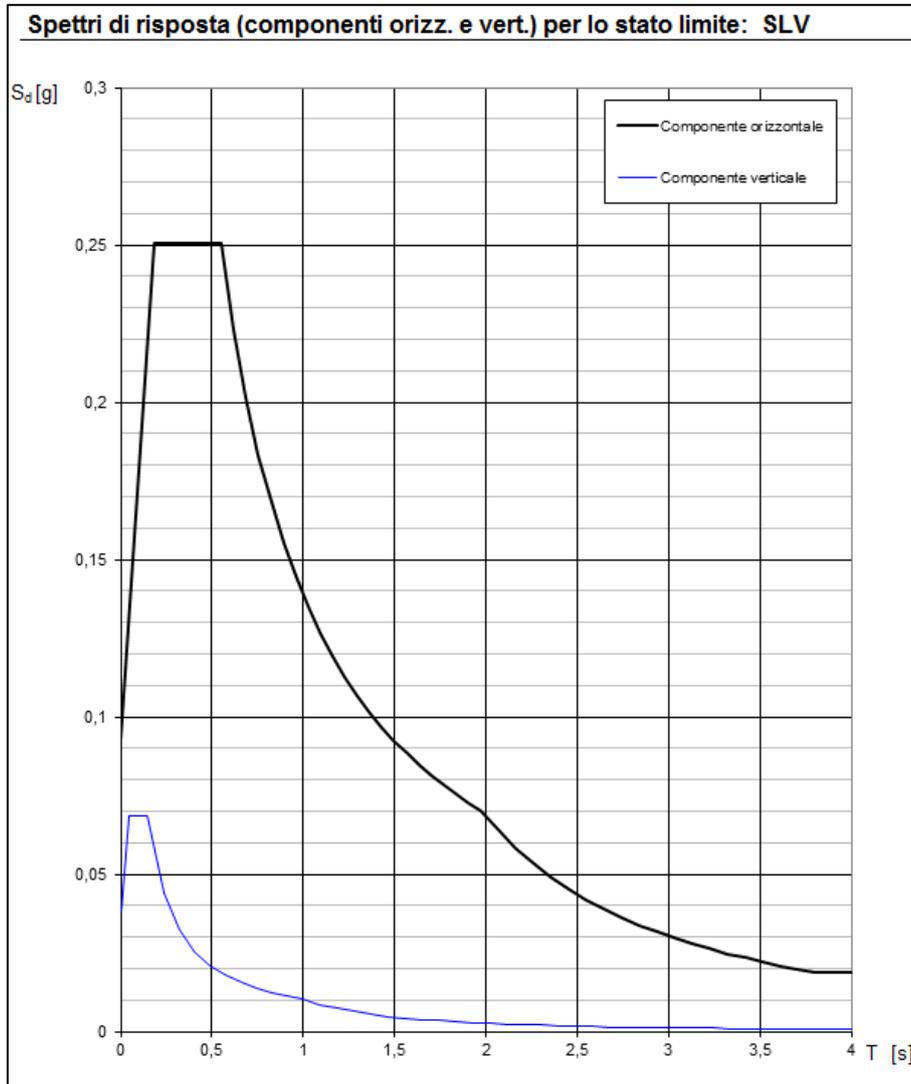
Per quanto riguarda la tipologia del terreno si riporta quanto indicato nella si rimanda alla “Relazione geotecnica di calcolo dei rilevati – elab. IA1U 03 E 78 CL NI0100 302 A)

Secondo la classificazione di cui alla tabella 3.2. NTC il suolo di **fondazione è di tipo A** –

“ Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m”

$$S_s = (\text{per terreno di tipo A}) \quad 1,0$$

$$C_c = (\text{per terreno di tipo A}) \quad 1,0$$



Spettro di risposta elastico – SLV

La struttura viene calcolata come NON DISSIPATIVA, per cui lo spettro di progetto coincide con lo spettro elastico, essendo il fattore di struttura unitario.

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0,093 g |
| $F_o$        | 2,698   |
| $T_C^*$      | 0,552 s |
| $S_S$        | 1,000   |
| $C_C$        | 1,000   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 1,000   |

### Parametri dipendenti

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1,000   |
| $\eta$ | 1,000   |
| $T_B$  | 0,184 s |
| $T_C$  | 0,552 s |
| $T_D$  | 1,972 s |

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

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

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

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

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

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

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

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

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

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

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

### Punti dello spettro di risposta

|                  | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
|                  | 0,000 | 0,093  |
| $T_B \leftarrow$ | 0,184 | 0,251  |
| $T_C \leftarrow$ | 0,552 | 0,251  |
|                  | 0,620 | 0,223  |
|                  | 0,688 | 0,201  |
|                  | 0,755 | 0,183  |
|                  | 0,823 | 0,168  |
|                  | 0,890 | 0,155  |
|                  | 0,958 | 0,145  |
|                  | 1,025 | 0,135  |
|                  | 1,093 | 0,127  |
|                  | 1,161 | 0,119  |
|                  | 1,228 | 0,113  |
|                  | 1,296 | 0,107  |
|                  | 1,363 | 0,102  |
|                  | 1,431 | 0,097  |
|                  | 1,498 | 0,092  |
|                  | 1,566 | 0,088  |
|                  | 1,634 | 0,085  |
|                  | 1,701 | 0,081  |
|                  | 1,769 | 0,078  |
|                  | 1,836 | 0,075  |
|                  | 1,904 | 0,073  |
| $T_D \leftarrow$ | 1,972 | 0,070  |
|                  | 2,068 | 0,064  |
|                  | 2,165 | 0,058  |
|                  | 2,261 | 0,053  |
|                  | 2,358 | 0,049  |
|                  | 2,454 | 0,045  |
|                  | 2,551 | 0,042  |
|                  | 2,648 | 0,039  |
|                  | 2,744 | 0,036  |
|                  | 2,841 | 0,034  |
|                  | 2,937 | 0,032  |
|                  | 3,034 | 0,030  |
|                  | 3,131 | 0,028  |
|                  | 3,227 | 0,026  |
|                  | 3,324 | 0,025  |
|                  | 3,420 | 0,023  |
|                  | 3,517 | 0,022  |
|                  | 3,614 | 0,021  |
|                  | 3,710 | 0,020  |
|                  | 3,807 | 0,019  |
|                  | 3,903 | 0,019  |
|                  | 4,000 | 0,019  |

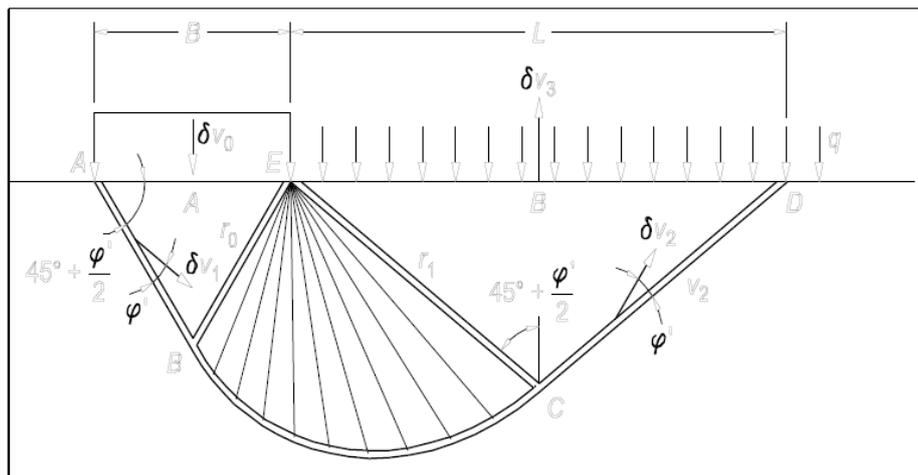
#### 5.4 CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO

Per il calcolo della capacità portante del terreno si utilizza l'espressione di **Brich Hansen**, e in ipotesi di piano di campagna e piano di posa orizzontale, corretta con **Paolucci Pecker**

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} z_{\gamma} + c N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q$$

$$q_{lim} = 15546428 + 0 + 13819934 = 29366361 \text{ N/mq}$$

$$= 293,66 \text{ daN/cm}^2 = 29,37 \text{ N/mm}^2$$



|           |  |  |
|-----------|--|--|
| $\phi_d'$ | angolo di attrito interno                          | 45 °   |
| $\gamma$  | peso specifico del terreno                         | 25000 N/mc                                   |
| $c$       | coesione   | 0,00 kg/cm <sup>2</sup> = 0,00 t/mq = 0 N/mq |
| $B$       | larghezza fondazione                               | 5,5 m  |
| $L$       | lunghezza fondazione                               | 16 m   |
| $D$       | profondità della quota di imposta della fondazione | 3,3 m  |
| $q$       | $\gamma D$   | 140000 N/mq                                  |
| $N_c$     |  | 133,87                                       |
| $s_c$     |  | 1,40   |

|                    |                        |         |        |  |       |
|--------------------|------------------------|---------|--------|--|-------|
| $N_q =$            |                        |         |        |  | 134,9 |
| $N_\gamma =$       |                        |         |        |  | 200,8 |
| $S_\gamma =$       | $S_q =$                |         |        |  | 1,2   |
| $d_q =$            |                        |         |        |  | 1,1   |
| $z_q = z_\gamma =$ | con                    | $k_h =$ | 0,1668 |  | 0,94  |
| $R =$              | ( $R_2$ oppure $R_3$ ) |         |        |  | 2,30  |

$q = 294 / 2,3 =$  **pressione ammessa allo SLU** **127 daN/cm<sup>q</sup>**

Nelle calcolo delle portanza del terreno è stato assunto cautelativamente un valore pari a  $q = 10$  daN/cm<sup>q</sup>.

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricicatura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 6 ANALISI DEI CARICHI

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

### 6.1 CARICHI PERMANENTI (C0)

I carichi permanenti sono costituiti dal peso proprio della struttura in calcestruzzo armato .

Il calcolo del peso viene effettuato automaticamente dal programma di calcolo ipotizzando un peso specifico del calcestruzzo pari a :  $\gamma_{cls} = 24525 \text{ N/mc}$

Il peso del ricoprimento sopra il manufatto, con un peso specifico medio dei materiali di 22000 N/mc , per uno spessore medio di circa 50 cm è pari 11000 N/m

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

**Tabella 2 – Caratteristiche materiali e terreno**

| Materiali   | $\gamma$<br>KN/m <sup>3</sup> | $\phi$<br>° |
|---|-------------------------------|-------------|
| calcestruzzo armato   | 25                            | -           |
| Ricoprimento<br>(pavimentazione + misto granulare stabilizzato + massetto per impermeabilizzazione) | 22                            | -           |
| terreno a ridosso dei piedritti   | 20                            | 35          |
| terreno di fondazione   | 20                            | 45          |

### 6.2 SOVRACCARICO NEVE (C7)

Il carico provocato dalla presenza della neve agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura. Esso è valutato con la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

Zona : I - Mediterranea

Altitudine : 0 m s.l.m.

Valore caratteristico neve al suolo :  $q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$

Coefficiente di esposizione  $C_E$  : 1 (Normale)

Coefficiente termico  $C_t$  : 1

Tipo di copertura: piana ( $\alpha = 0^\circ$ )

**Carico da neve :  $q_s = 1,0 \text{ kN/m}^2$**

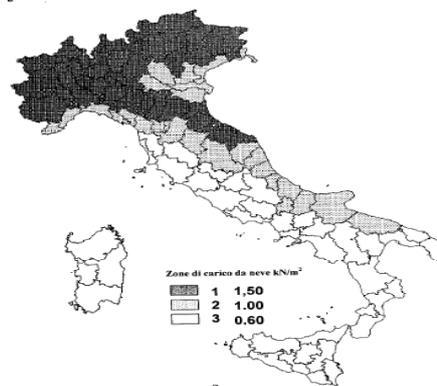


Figura 3.4.1 – Zone di carico da neve

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## Zona II

Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona:

$$\begin{aligned}
 q_{sk} &= 1,00 \text{ kN/m}^2 & a_s &\leq 200 \text{ m} \\
 q_{sk} &= 0,85 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 & a_s &> 200 \text{ m}
 \end{aligned}
 \quad (3.3.10)$$

### 6.3 AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE (C9)

La forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale per i ponti di 1<sup>a</sup> categoria :

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6(2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \times w_1 \times L \leq 900 \text{ kN} \quad (\text{\S}5.1.4 - \text{NTC}2008)$$

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6(2 \times 300) + 0,10 \times 9 \times 3 \times 15 = \mathbf{400,5 \text{ KN}} \leq 900 \text{ kN}$$

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

$$q = 397800 / 15 =$$

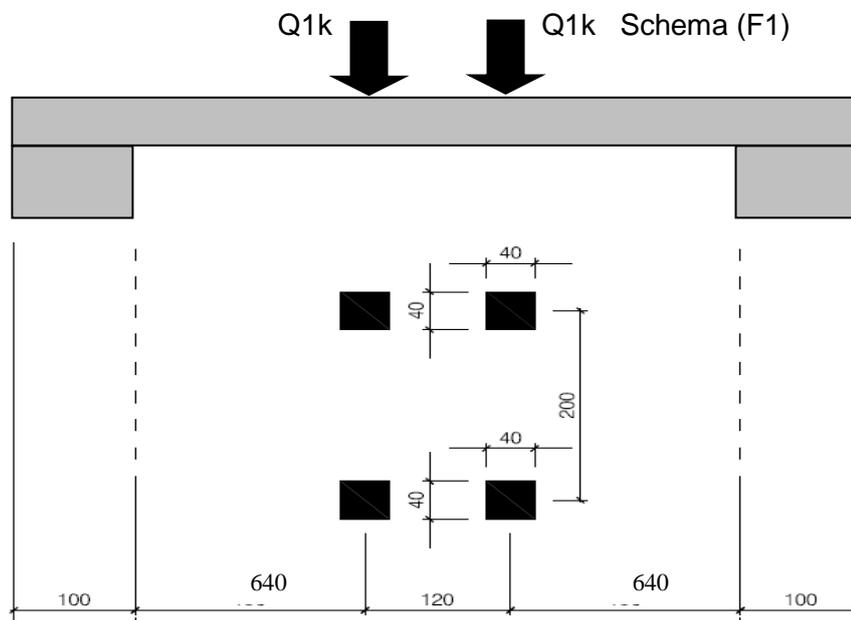
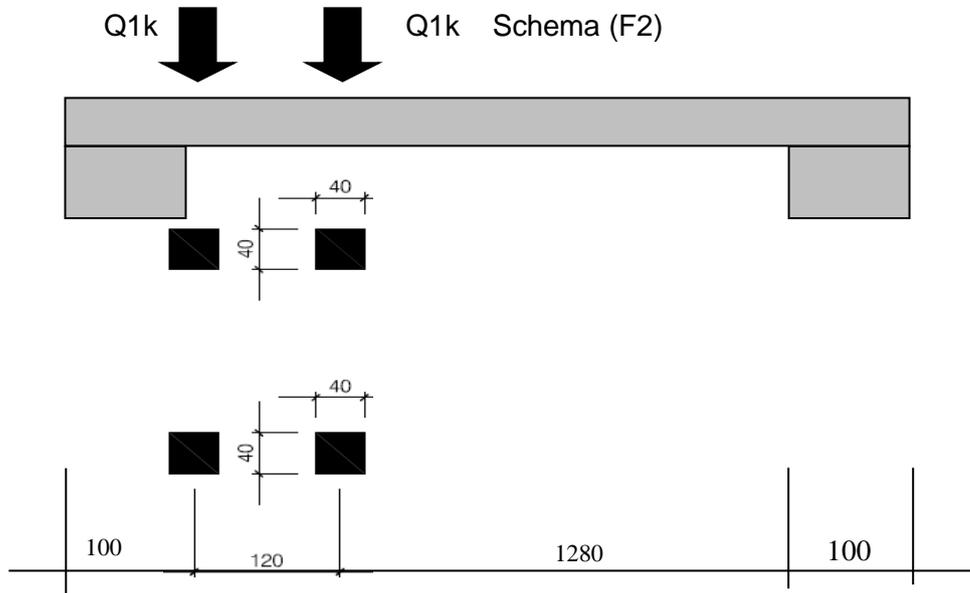
$$\mathbf{26520 \text{ N/m}}$$

### 6.4 AZIONI VARIABILI DEL TRAFFICO VERTICALE ( F1-F2) ; (C1)

Si ipotizza un treno di carico per ponti di 1<sup>o</sup> categoria, con un carico asse  $Q_{1k} = 300 \text{ KN}$  disposto in tandem , come indicato nella nuova NTC 2008.

Il carico verrà applicato nelle due posizioni più severe per la struttura: al limite dell'appoggio in modo da avere il massimo taglio, e in mezzeria in modo da avere il momento massimo

Si ritiene di trascurare, a favore di sicurezza, la diffusione del carico a 45° dall'estradosso della pavimentazione ad asse soletta superiore in quanto avendo un'altezza di ricoprimento pari a circa  $h = 1.10 \text{ m}$ , porta ad avere una area di applicazione del carico minore e pertanto un carico per mq ridotto.



Si applica inoltre su tutta la superficie il carico distribuito  $q_{ik} = 9 \text{ KN/mq}$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricicatura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 6.5 AZIONI DEL SISMA ( C5)

Nell' **ANALISI PSEUDO-STATICA** l'azione sismica è rappresentata da una **FORZA STATICA EQUIVALENTE** pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Gli effetti inarziali nelle strutture costituenti il manufatto sono stati tenuti in conto applicando un coefficiente sismico determinato sulla base dello spettro elastico di riferimento e riferito a un ordinata spettrale collocata nell'ambito del Plateau. Tale scelta è motivata dal fatto che il manufatto pur essendo altamente rigido, da un'analisi dinamica eseguita, ha restituito dei periodi di risposta compresi tra 0.18s e 0.55s relativi ad una massa sismica eccitata pari al 85% nelle due direzioni principali. Per tali motivazioni le accelerazioni inarziali applicate alle strutture sono pari a:

Componente orizzontale:  $(a_{max}/g) = (a_g/g) (S_T S_S) F_0 = 0.093 \times (1 \times 1) \times 2,777 = \mathbf{0.310}$

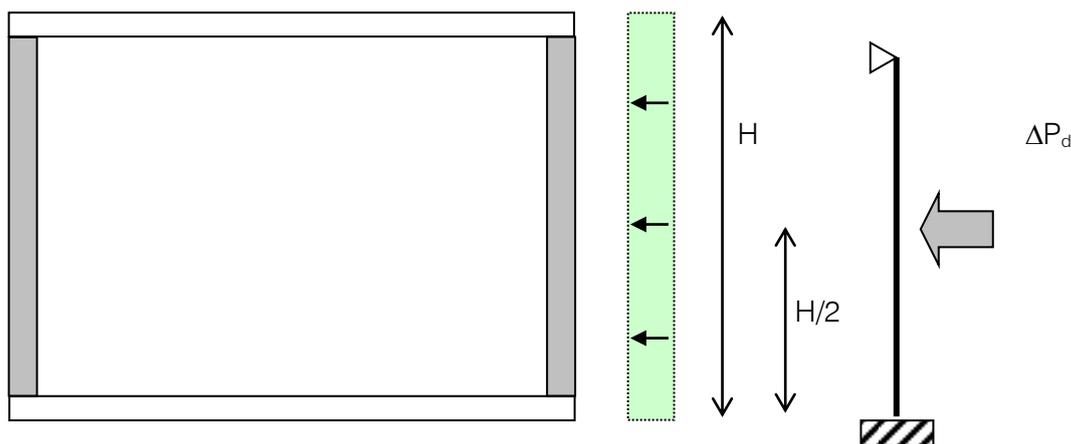
Componente verticale:  $0,5 \times (a_{max}/g) = \mathbf{0.155}$

Per strutture rigide, l'NTC, in accordo con l'Eurocodice indica il seguente incremento di spinta laterale del terreno sulle pareti dovuto al sisma :

$\Delta P_d = (a_{max}/g) \gamma H^2 = 0.093 \times 20000 \times 5,10^2 = 48378.60 \text{ N/ml}$  (carico per metro di larghezza)

Ripartendo il carico sulla superficie (altezza della spalla nel modello di calcolo) si ottiene

$\Delta p_d = 48378.60 / 4,00 = 12094.65 \text{ N/mq}$



Nota : H altezza totale comprensiva di fondazione muro e soletta superiore

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

*In presenza di acqua di falda libera all'interno del manufatto, si deve tenere conto della sovrappressione (positiva e negativa) dell'acqua sul muro, dovuta all'effetto idrodinamico delle azioni sismiche.*

Tale sovrappressione può esser calcolata in riferimento al Eurocodice 8 – appendice E

(UNIENV 1998-5)

$$q_{wE}(z) = (- +) \frac{7}{12} k_h \gamma_w (h_w)^{1/2} = \frac{7}{12} \times 0.093 \times 10000 \times (2,9)^{1/2} = 924 \text{ N/m}$$

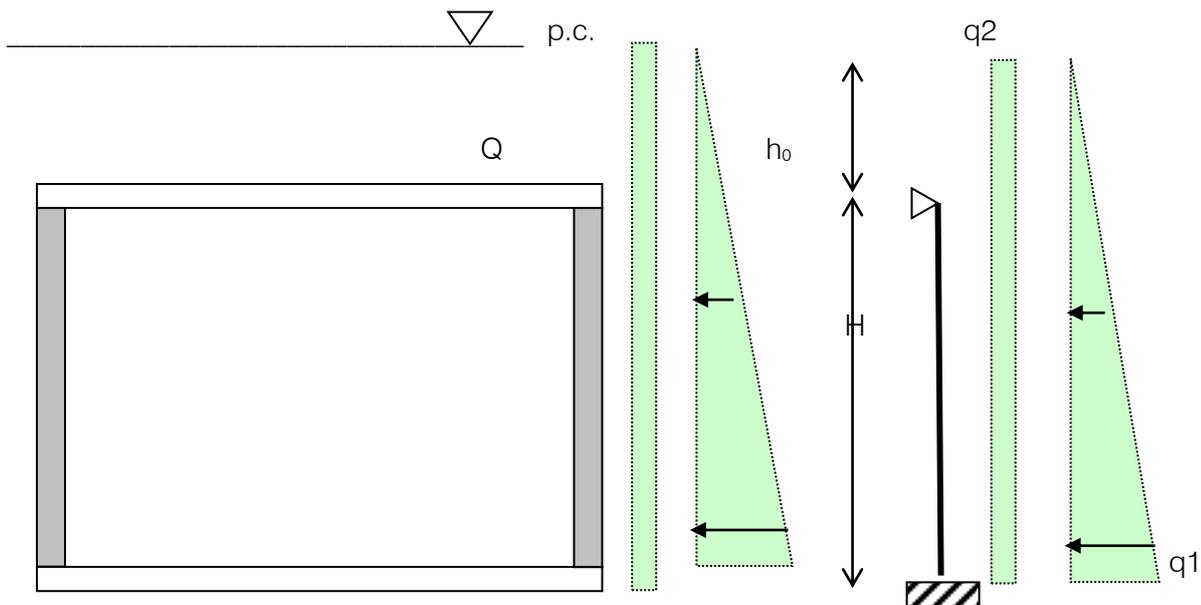
$h_w$  = quota del pelo libero dell'acqua = 2.90 m  
 $\gamma_w$  = peso specifico dell'acqua = 10000 N/mc  
 $k_h = S (a_g/g) / r = \text{coeff sismico orizzontale} = 0.093 / 1 = 0.093$   
 $r = \text{coeff per muri in c.a.} = 1$

L'analisi viene condotta in ipotesi di struttura NON DISSIPATIVA, e quindi con coefficiente di struttura unitario

Per la determinazione degli effetti sismici delle azioni del traffico si farà di regola riferimento alle sole masse corrispondenti ai pesi propri ed ai sovraccarichi permanenti (NTC **5.1.3.8**), considerando nullo il valore quasi permanente delle masse corrispondenti ai carichi da traffico.

## 6.6 SPINTE DEL TERRENO E DELL'ACQUA (C6)

Si calcola la spinta del terreno



|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

|                      |  |            |
|----------------------|--|------------|
| H =                  | altezza parete (compresa la soletta)                 | 5,10 m     |
| h <sub>0</sub> =     | altezza terreno sovrastante il canale                | 0,5 m      |
| φ =                  | angolo di attrito del terreno (riporto)              | 35°        |
| γ <sub>t,sat</sub> = | peso specifico terreno saturo                        | 20000 N/mq |
| Q =                  | sovraccarico sul terreno a ridosso dei muri laterali |            |

Secondo le NTC 2008

#### C5.1.3.3.7.1 Carichi verticali da traffico su rilevati e su terrapieni adiacenti al ponte

Ai fini del calcolo delle spalle, dei muri d'ala e delle altre parti del ponte a contatto con il terreno, sul rilevato o sul terrapieno si può considerare applicato lo schema di carico 1, in cui per semplicità, i carichi tandem possono essere sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare larga 3,0 m e lunga 2,20 m.

Ne consegue :

$$Q = 1,00 * 20000 + (300000 * 2) / (3 * 2,2) = 20000 + 90909 = \mathbf{110909 \text{ N/mq}}$$

Visto il carattere rigido della struttura, per il calcolo della spinta si utilizza il coefficiente di spinta a riposo;

$$k_0 = \text{coefficiente di spinta a riposo } 1 - \text{sen } \varphi = 0,426$$

$$q_1 = (H + h_0) \gamma_{t,sat} k_0 = (5,10 + 0,5) * 20000 * 0,426 = 47712 \text{ N/m}$$

$$q_2 = Q k_0 = 110909 * 0,426 = 47247 \text{ N/m}$$

#### riferimento carico (C8)

La quota di falda è situata alla profondità variabile tra 12,50 e 19,00 m da p.c., pertanto non si tiene conto della spinta idrostatica esterna inferiore.

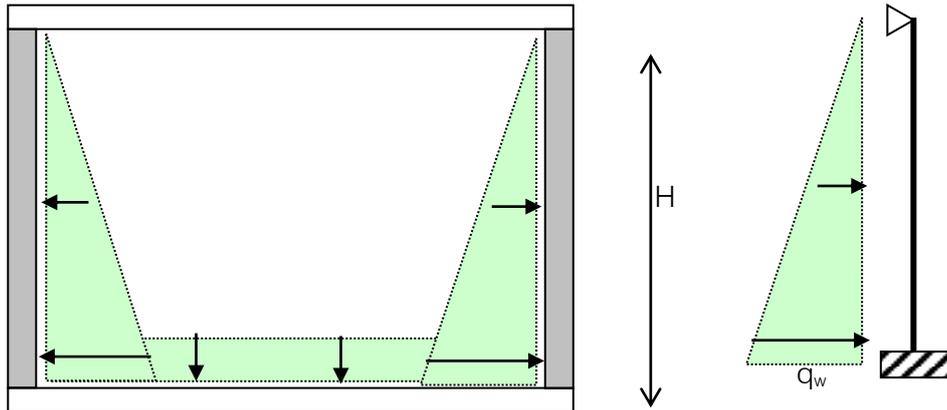
Applicando la spinta triangolare ai nodi del modello di calcolo, i valori estremi ai nodi inf e sup sono rispettivamente : (C6)

$$q_{1,inf} = (47712 / 5,60) * (5,6 - 1,10/2) = \mathbf{43026 \text{ N/m}}$$

$$q_{1,sup} = (47712 / 5,60) * (0,5 + 1,10/2) = \mathbf{8946 \text{ N/m}}$$

Le spinte su soletta e platea sono equilibrate e si annullano a vincenda

## 6.7 SPINTE IDROSTATICA INTERNA (C4)



### Spinta idrostatica laterale

$$q_w = H \gamma_w = 2,90 \times 10000 =$$

$$29000 \text{ N/mq}$$

$$\gamma_w = \text{peso dell'acqua}$$

$$10000 \text{ N/mc}$$

$$H = \text{altezza interna muro}$$

$$2,90 \text{ m}$$

Nota : anche se è previsto un franco di sicurezza tra cielo dell'attraversamento e pelo acqua, si condera la spinta a manufatto completamente riempito

### Spinta verticale sul fondo

$$q_w = H \gamma_w = 2,90 \times 10000 =$$

$$29000 \text{ N/mq}$$

$$\gamma_w = \text{peso dell'acqua}$$

$$10000 \text{ N/mc}$$

$$H = \text{altezza interna}$$

$$2,90 \text{ m}$$

## 6.8 RITIRO (C11)

Gli effetti del ritiro sono calcolati per un ambiente con umidità del 55% e  $t_0 > 60\text{gg}$ .

I fenomeni di ritiro sono stati considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente pari a:  $\Delta T_{\text{ritiro}} = -10,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 6.9 AZIONI TERMICHE (C12)

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

## 6.10 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Con riferimento alle CC SLU, si utilizza l'approccio 2

$$\text{CC statica} \quad F_d = \sum \gamma_{Gi} G_k + \gamma_q [ Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} Q_{ik}) ]$$

$$\text{CC sismica} \quad (\text{NTC §3.2.4}) \quad G_1 + G_2 + E + F_d \sum_i \psi_{2j} Q_{ki}$$

$G_i$  peso proprio elementi strutturali

$Q_{k,i}$  valore caratteristico dell'azione variabile

$E$  azione sismica

$\psi_{0ij}; \psi_{2ij}$  coefficienti di combinazione delle azioni variabili (tab. 2.5.I.)

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

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2j} Q_{ki}$$

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

**Tabella 5.1.V** – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU (da DM 14/01/2008) previste per strutture soggette al passaggio di carichi mobili di tipo stradale

|   |             | Coefficiente                            | EQU <sup>(1)</sup>  | A1 STR              | A2 GEO |
|---|-------------|---|---------------------|---------------------|--------|
| Carichi permanenti  | favorevoli  | $\gamma_{G1}$                           | 0,90                | 1,00                | 1,00   |
|   | sfavorevoli |   | 1,10                | 1,35                | 1,00   |
| Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>   | favorevoli  | $\gamma_{G2}$                           | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|   | sfavorevoli |   | 1,50                | 1,50                | 1,30   |
| Carichi variabili da traffico   | favorevoli  | $\gamma_Q$                              | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|   | sfavorevoli |   | 1,35                | 1,35                | 1,15   |
| Carichi variabili   | favorevoli  | $\gamma_{Qi}$                           | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|   | sfavorevoli |   | 1,50                | 1,50                | 1,30   |
| Distorsioni e presollecitazioni di progetto   | favorevoli  | $\gamma_{e1}$                           | 0,90                | 1,00                | 1,00   |
|   | sfavorevoli |   | 1,00 <sup>(3)</sup> | 1,00 <sup>(4)</sup> | 1,00   |
| Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari  | favorevoli  | $\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00   |
|   | sfavorevoli |   | 1,20                | 1,20                | 1,00   |
| <sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.<br><sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.<br><sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna<br><sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali |             |   |                     |                     |        |

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

**Tabella 5.1.VI – Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali (da DM 14/01/2008)**

| <i>Azioni</i>                              | <i>Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)</i> | <i>Coefficiente <math>\Psi_0</math> di combinazione</i> | <i>Coefficiente <math>\Psi_1</math> (valori frequenti)</i> | <i>Coefficiente <math>\Psi_2</math> (valori quasi permanenti)</i> |
|--|--|---|--|---|
| <i>Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)</i> | Schema 1 (Carichi tandem)                | 0,75  | 0,75   | 0,0   |
|  | Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)    | 0,40  | 0,40   | 0,0   |
|  | Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)       | 0,40  | 0,40   | 0,0   |
|  | Schema 2                                 | 0,0   | 0,75   | 0,0   |
|  | 2  | 0,0   | 0,0  | 0,0   |
|  | 3  | 0,0   | 0,0  | 0,0   |
| <i>Vento <math>q_s</math></i>              | 4 (folla)                                | ----  | 0,75   | 0,0   |
|  | 5  | 0,0   | 0,0  | 0,0   |
|  | Vento a ponte scarico<br>SLU e SLE       | 0,6   | 0,2  | 0,0   |
|  | Esecuzione                               | 0,8   | ----   | 0,0   |
| <i>Neve <math>q_s</math></i>               | Vento a ponte carico                     | 0,6   |  |   |
|  | SLU e SLE                                | 0,0   | 0,0  | 0,0   |
| <i>Temperatura</i>                         | esecuzione                               | 0,8   | 0,6  | 0,5   |
|  | $T_k$                                    | 0,6   | 0,6  | 0,5   |

Nella combinazione sismica le azioni indotte dai carichi mobili sono combinate con un coefficiente  $\psi_2 = 0.2$  (punto 3.2.4 del DM 14/01/2008) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Tabella riepilogativa delle combinazioni di carico con relativi coefficienti:

| CC statica    | Carichi perm. | Carichi perm. Non strutturali | Carichi variabili Spinta terre | Carichi vert. traffico | Carichi orizzontali Frenatura accelerazione | Carichi variabili Neve | Carichi variabili Sovracc. su terreno | Carichi variabili Spinta idrost. interna | Carichi termici | Carichi termici ritiro | Sisma X | Sisma Y |
|---------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|---|------------------------|---------------------------------------|--|-----------------|------------------------|---------|---------|
| Codici carico | (C0)          | (C2)                          | (C6)                           | (F1-C1)                | (C9)  | (C7)                   | (C8)                                  | (C4)                                     | (C12)           | (C11)                  | (C5)    | (C5)    |
| 1             | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | /   | 1,5                    | 1,5 x 0,75                            | /  | /               | /                      | /       | /       |
| 2             | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35                   | /   | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | /  | -0.9            | 1.2                    | /       | /       |
| 3             | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35                   | 1,35x0,75                                   | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | /  | /               | /                      | /       | /       |
| 4             | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35                   | 1,35x0,75                                   | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | 1,5 x 0,7                                | /               | /                      | /       | /       |
| 5             | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | /   | /                      | 1,5                                   | /  | /               | /                      | /       | /       |
| 6             | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | 1,35x0,75                                   | 1,5x0,6                | 1,5                                   | /  | 0,9             | 1,2                    | /       | /       |
| 7             | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | 1,35  | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | /  | -0,9            | -1,2                   | /       | /       |
| 8             | 1,35          | 1,5                           | /                              | 1,35x0,75              | /   | /                      | /                                     | 1,5                                      | /               | /                      | /       | /       |
| 9             | 1,35          | 1,5                           | /                              | 1,35x0,75              | 1,35x0,75                                   | /                      | /                                     | 1,5                                      | - 1,5           | 1,2                    | /       | /       |
| 10            | 1,35          | 1,5                           | /                              | 1,35x0,75              | 1,35x0,75                                   | 1,5x0,6                | /                                     | 1,5                                      | 1,5             | 1,2                    | /       | /       |
| Codici carico | (C0)          | (C2)                          | (C6)                           | (F2 -C1)               | (C9)  | (C7)                   | (C8)                                  | (C4)                                     | (C12)           | (C11)                  | (C5)    | (C5)    |
| 11            | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | /   | 1,5                    | 1,5 x 0,75                            | /  | /               | /                      | /       | /       |
| 12            | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35                   | /   | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | /  | -0.9            | 1.2                    | /       | /       |
| 13            | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35                   | 1,35x0,75                                   | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | /  | /               | /                      | /       | /       |
| 14            | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35                   | 1,35x0,75                                   | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | 1,5 x 0,7                                | /               | /                      | /       | /       |
| 15            | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | /   | /                      | 1,5                                   | /  | /               | /                      | /       | /       |
| 16            | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | 1,35x0,75                                   | 1,5x0,6                | 1,5                                   | /  | 0,9             | 1,2                    | /       | /       |
| 17            | 1,35          | 1,5                           | 1,5                            | 1,35x0,75              | 1,35  | 1,5x0,6                | 1,5 x 0,75                            | /  | /               | /                      | /       | /       |
| 18            | 1,35          | 1,5                           | /                              | 1,35x0,75              | /   | /                      | /                                     | 1,5                                      | - 1,5           | 1,2                    | /       | /       |
| 18            | 1,35          | 1,5                           | /                              | 1,35x0,75              | 1,35x0,75                                   | /                      | /                                     | 1,5                                      | 1,5             | 1,2                    | /       | /       |

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

| 20            | 1,35 | 1,5  | /    | 1,35x0,75           | 1,35x0,75 | 1,5x0,6 | /    | 1,5  | /     | /     | /    | /    |
|---------------|------|------|------|---------------------|-----------|---------|------|------|-------|-------|------|------|
| CC<br>sismica | (C0) | (C2) | (C6) | (F2 -C1)<br>(F1-C1) | (C9)      | (C7)    | (C8) | (C4) | (C12) | (C11) | (C5) | (C5) |
| 21            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | 1    | -0,5  | /     | 1    | 0.3  |
| 22            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | /    | -0,5  | /     | 1    | -0.3 |
| 23            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | 1    | -0,5  | /     | -1   | 0.3  |
| 24            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | /    | -0,5  | /     | -1   | -0.3 |
| 25            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | 1    | -0,5  | /     | 0.3  | 1    |
| 26            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | /    | -0,5  | /     | -0.3 | 1    |
| 27            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | 1    | -0,5  | /     | 0.3  | -1   |
| 28            | 1    | 1    | 1    | /                   | /         | /       | /    | /    | -0,5  | /     | -0.3 | -1   |

NOTA 1: considerata la simmetria del manufatto, per semplificare l'analisi e ridurre il numero di combinazioni di carico si è ritenuto opportuno prendere in analisi le sollecitazioni orizzontali solo nel verso positivo (sisma +X, sisma +Y, frenatura +X). In fase di verifica e dimensionamento degli elementi strutturali si è poi provveduto ad armare simmetricamente il manufatto dimensionandolo sulle sollecitazioni più gravose in caso di distribuzioni asimmetriche

NOTA 2: I carichi mobili sono stati simulati con due gruppi di condizioni di carico distinte relative rispettivamente:

- treno di carico di 300 kN x 4 in tandem collocato in mezzeria a generare il massimo momento positivo sulla soletta ( F1-C1);
- treno di carico di 300 kN x 4 in tandem collocato sulla spalla del manufatto a generare il massimo taglio sulla soletta (F2-C1).

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricicatura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

CC SLE – Stati limite di esercizio

**Si verifica la struttura nella condizione peggiore**

**CC rara**

$$F_d = \Sigma G_k + \psi_{02} Q_{k2} + \Sigma_{i=2}^n (\psi_{0i} Q_{ik})$$

| CC statica    | Carichi perm. | Carichi perm. Non strutturali | Carichi variabili Spinta terre | Carichi vert. traffico     | Carichi orizzontali Frenatura accelerazione | Carichi variabili Sovracc. su terreno | Carichi variabili Spinta idrost. interna | Carichi termici | Carichi termici ritiro |
|---------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------------|--|-----------------|------------------------|
| $\psi_{0i}$   | /             | /                             | 1                              | 0,75 per F1<br>0,40 per C1 | 0,6   | 0,75                                  | 1  | 0,6             | 0,6                    |
| Codici carico | (C0)          | (C2)                          | (C6)                           | (F1-C1)                    | (C9)  | (C8)                                  | (C4)                                     | (C12)           | (C11)                  |
| 29            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | /                                     | /  | /               | /                      |
| 30            | 1             | 1                             | 1                              | 0,75 / 0,4                 | /   | /                                     | /  | 0,6             | 0,6                    |
| 31            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | 0,75                                  | /  | 0,6             | 0,6                    |
| 33            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | 0,6   | /                                     | /  | 0,6             | 0,6                    |
| 33            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | /               | /                      |
| 34            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | 0,6             | 0,6                    |
| Codici carico | (C0)          | (C2)                          | (C6)                           | (F2 -C1)                   | (C9)  | (C8)                                  | (C4)                                     | (C12)           | (C11)                  |
| 35            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | /                                     | /  | /               | /                      |
| 36            | 1             | 1                             | 1                              | 0,75 / 0,4                 | /   | /                                     | /  | 0,6             | 0,6                    |
| 37            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | 0,75                                  | /  | /               | /                      |
| 38            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | 0,6   | /                                     | /  | 0,6             | 0,6                    |
| 39            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | /               | /                      |
| 40            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | 0,6             | 0,6                    |

CC frequente

$$F_d = \Sigma G_k + \psi_{11} Q_{k1} + \Sigma_{i=2}^n (\psi_{2i} Q_{ik})$$

| CC statica    | Carichi perm. | Carichi perm. Non strutturali | Carichi variabili Spinta terre | Carichi vert. traffico     | Carichi orizzontali Frenatura accelerazione | Carichi variabili Sovracc. su terreno | Carichi variabili Spinta idrost. interna | Carichi termici | Carichi termici ritiro |
|---------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------------|--|-----------------|------------------------|
| $\psi_{11}$   | /             | /                             | 1                              | 0,75 per F1<br>0,40 per C1 | 0,5   | 0,5                                   | 1  | 0,6             | 0,6                    |
| $\psi_{2i}$   | /             | /                             | 1                              | 0                          | 0   | 0                                     | 1  | 0,5             | 0,5                    |
| Codici carico | (C0)          | (C2)                          | (C6)                           | (F1-C1)                    | (C9)  | (C8)                                  | (C4)                                     | (C12)           | (C11)                  |
| 31            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | /                                     | /  | /               | /                      |
| 32            | 1             | 1                             | 1                              | 0,75 / 0,4                 | /   | /                                     | /  | 0,6             | 0,5                    |
| 33            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | 0,75                                  | /  | 0,6             | 0,5                    |
| 34            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | 0,5   | /                                     | /  | 0,6             | 0,5                    |
| 35            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | /               | /                      |
| 36            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | 0,5             | 0,6                    |
| Codici carico | (C0)          | (C2)                          | (C6)                           | (F2 -C1)                   | (C9)  | (C8)                                  | (C4)                                     | (C12)           | (C11)                  |
| $\psi_{11}$   | /             | /                             | 0,5                            | 0,75 per F2<br>0,40 per C1 | 0,5   | 0,5                                   | 1  | 0,6             | 0,6                    |
| $\psi_{2i}$   | /             | /                             | 0                              | 0                          | 0   | 0                                     | 1  | 0,5             | 0,5                    |
| 37            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | /                                     | /  | /               | /                      |
| 38            | 1             | 1                             | 1                              | 0,75 / 0,4                 | /   | /                                     | /  | 0,6             | 0,5                    |
| 39            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | /   | 0,75                                  | /  | /               | /                      |
| 40            | 1             | 1                             | 1                              | /                          | 0,5   | /                                     | /  | 0,6             | 0,5                    |
| 41            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | /               | /                      |
| 42            | 1             | 1                             | /                              | /                          | /   | /                                     | 1  | 0,5             | 0,6                    |

CC quasi permanente

$$F_d = \Sigma G_k + \Sigma_{i=1}^n (\psi_{2i} Q_{ik})$$

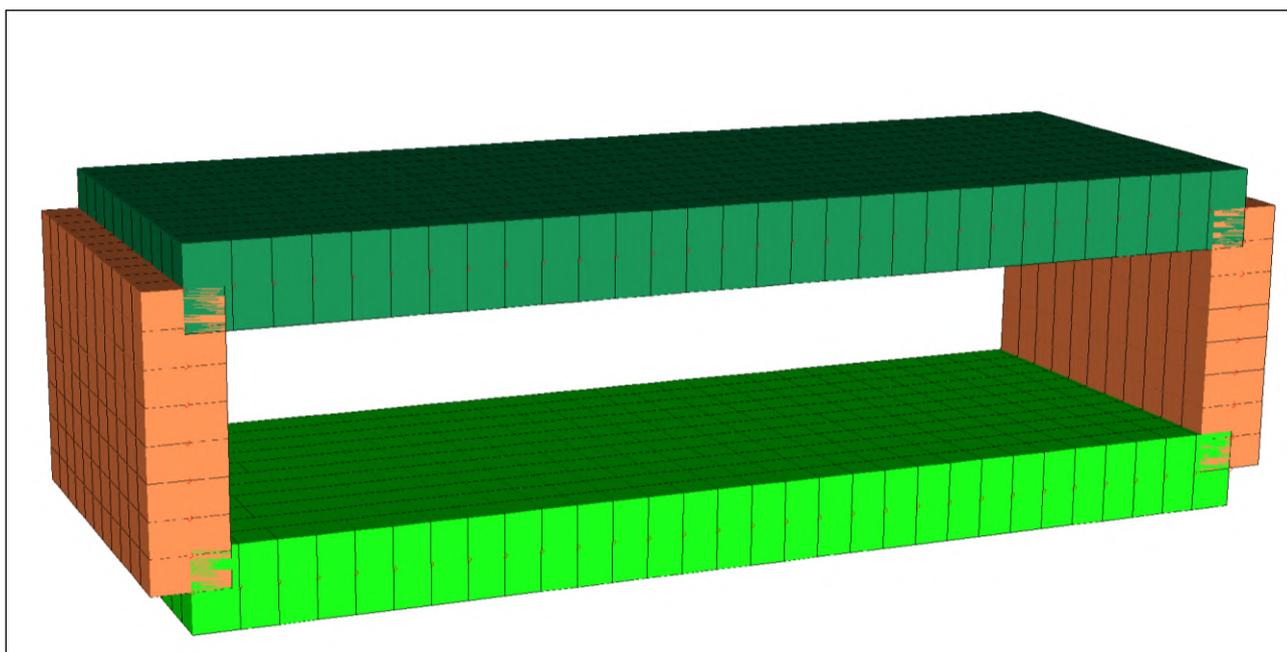
| CC statica    | Carichi perm. | Carichi perm. Non strutturali | Carichi variabili Spinta terre | Carichi variabili Sovracc. su terreno | Carichi variabili Spinta idrost. interna | Carichi termici | Carichi termici ritiro |
|---------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------|------------------------|
| Codici carico | (C0)          | (C2)                          | (C6)                           | (C8)                                  | (C4)                                     | (C12)           | (C11)                  |
| $\psi_{2i}$   | /             | /                             | 1                              | 0                                     | 1  | 0,5             | 0,5                    |
| 43            | 1             | 1                             | 1                              | /                                     | /  | /               | /                      |
| 44            | 1             | 1                             | 1                              | /                                     | /  | -0,5            | 0,5                    |
| 45            | 1             | 1                             | 1                              | 0,5                                   | /  | /               | /                      |
| 46            | 1             | 1                             | 1                              | 0,5                                   | 1  | /               | /                      |
| 47            | 1             | 1                             | 1                              | 1                                     | /  | /               | /                      |
| 48            | 1             | 1                             | 1                              | 1                                     | /  | 0,5             | 0,5                    |
| 49            | 1             | 1                             | 1                              | 0,5                                   | /  | -0,5            | -0,5                   |
| 50            | 1             | 1                             | /                              | /                                     | 1  | /               | /                      |
| 51            | 1             | 1                             | /                              | /                                     | 1  | -0,5            | 0,5                    |
| 52            | 1             | 1                             | /                              | /                                     | 1  | 0,5             | 0,5                    |

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 7 VERIFICA DEL MANUFATTO

### 7.1 MODELLO DI CALCOLO

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia). E' stato utilizzata un'analisi lineare statica e equivalente dinamica modale nel rispetto delle norme indicate in precedenza. Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo degli stati limite (NTC 2008)



La struttura è composta essenzialmente da elementi shell.

Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap con la relativa numerazione di nodi, aste e carichi

#### INODI

La struttura è individuata da nodi riportati in coordinate.

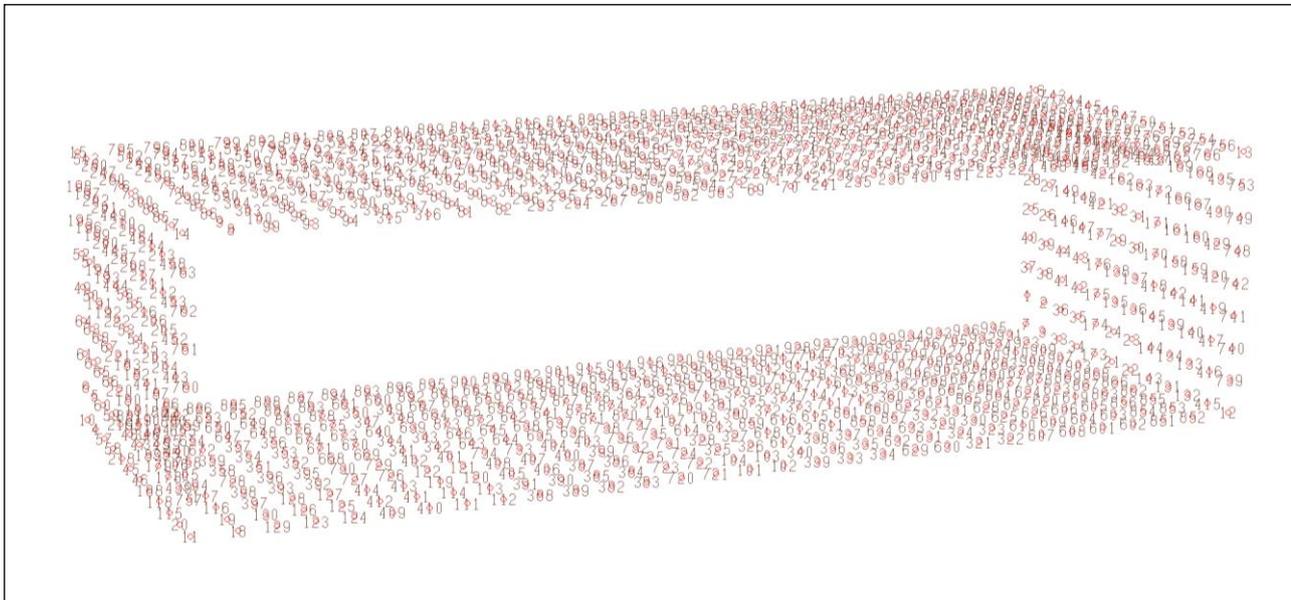
Ogni nodo possiede sei gradi di libertà, associati alle sei possibili deformazioni. I gradi di libertà possono essere liberi (spostamenti generalizzati incogniti), bloccati (spostamenti generalizzati corrispondente uguale a zero), di tipo slave o linked (il parametro cinematico dipende dalla relazione con altri gradi di libertà).

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricicatura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

Si può intervenire sui gradi di libertà bloccando uno o più gradi. I blocchi vengono applicate nella direzione della terna locale del nodo.

Le relazioni complesse creano un legame tra uno o più gradi di libertà di un nodo detto slave con quelli di un altro nodo detto master

La relazione di piano rigido prescrive che il nodo slave appartiene ad un piano rigido e quindi che i due spostamenti in piano e la rotazione normale al piano sono legati ai tre parametri di roto-traslazione rigida di un piano.



### ELEMENTO SHELL (GUSCIO)

L'elemento shell implementa il modello del guscio piatto ortotropo nello spazio tridimensionale. E' caratterizzato da 3 o 4 nodi I, J, K ed L posti nei vertici e 6 gradi di libertà per ogni nodo. Il comportamento flessionale e quello membranale sono disaccoppiati.

Gli elementi guscio/piastra si caratterizzano perché possono subire carichi nel piano ma anche ortogonali al piano ed essere quindi soggetti anche ad azioni flettenti e torcenti.

Gli elementi in esame hanno formalmente tutti i sei gradi di libertà attivi, ma non posseggono rigidità per la rotazione ortogonale al piano dell'elemento.

Nei gruppi shell definiti "platea" viene attuato il blocco di tre gradi di libertà, uX, uY, rZ, per tutti i nodi del gruppo.

Ogni gruppo può contenere uno o più elementi (max 1999). Ogni elemento viene definito da questi parametri:

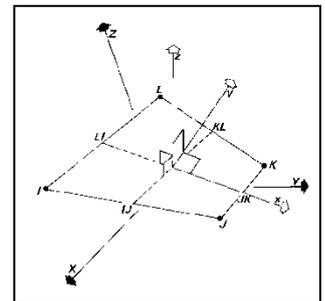
- elemento numero (massimo 1999 per ogni gruppo);
- nodi di riferimento I, J, K, L;

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

- spessore;
- materiale;
- pressioni e relative aliquote dinamiche;
- temperatura;
- gradiente termico;
- carichi distribuiti e relative aliquote dinamiche.

Il programma propone i risultati al “centro” di ogni elemento. Per ogni elemento e per ogni combinazione di carico statica vengono evidenziate:

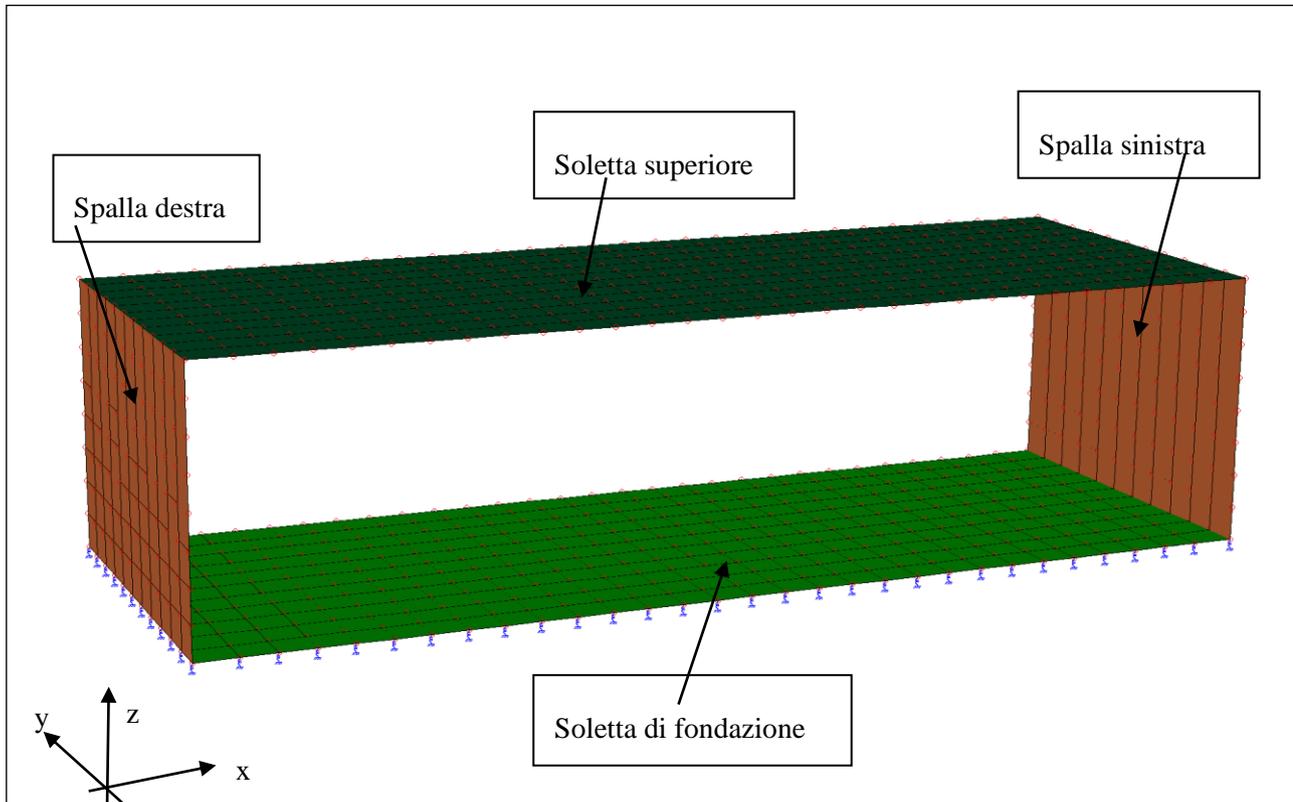
- $S_{xx}$  (F/L<sup>2</sup>);
- $S_{yy}$  (F/L<sup>2</sup>);
- $S_{xy}$  (F/L<sup>2</sup>);
- $M_{xx}$  (F\*L/L);
- $M_{yy}$  (F\*L/L);
- $M_{xy}$  (F\*L/L);
- $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$  rappresentano le tensioni membranali (vedi figura)
- $M_{xx}$  rappresenta il momento flettente (per unità di lunghezza) che produce tensioni in direzione locale x; analogamente per  $M_{yy}$ ;
- $M_{xy}$  rappresenta il momento torcente (sempre per unità di lunghezza).



I momenti flettenti generano ai bordi dell'elemento delle tensioni valutate in base al modulo di resistenza dell'elemento. Le tensioni da momento flettente  $M_{xx}$  si sovrappongono alle tensioni  $S_{xx}$ , con segno positivo al bordo superiore, con segno negativo al bordo inferiore (analogamente per  $M_{yy}$  e  $S_{yy}$ ). Gli effetti tensionali da momento torcente vengono sovrapposti a  $S_{xy}$ .

Le convenzioni sui segni dei momenti sono caratteristiche dei codici di calcolo automatici e sono mantenute solo nelle stampe dei risultati conseguenti all'elaborazione strutturale, nelle rappresentazioni grafiche e nelle stampe dei postprocessori vengono invece adottate le convenzioni tipiche della Scienza delle Costruzioni.

Nell'analisi dinamica, per ogni direzione sismica e per ogni elemento, viene indicato il modo che dà luogo all'effetto massimo, la risultante per sovrapposizione modale per  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$ ,  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $M_{xy}$ .



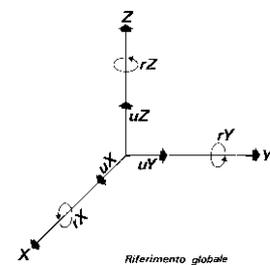
Gruppi elementi

## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE

### DEFORMATE

Per ogni combinazione di carico e per tutti i nodi non completamente bloccati il programma calcola spostamenti (unità di misura L) e rotazioni (radianti). Viene anche rappresentata la deformata in luce dell'asta che riproduce il comportamento di una funzione polinomiale di quarto grado. Gli spostamenti sono positivi se diretti nel verso assi globali X Y Z, le rotazioni positive se antiorarie rispetto all'asse di riferimento, per osservatore disteso lungo il corrispondente semiasse positivo (vedi figura a lato).

Viene anche determinato il valore massimo assoluto (con segno) di ogni singola deformazione e il valore massimo dello spostamento nello spazio (radice quadrata della somma dei quadrati degli spostamenti).



degli  
un

## I RISULTATI DELLE VERIFICHE AGLI SL PER ELEMENTI GUSCIO

Il tabulato riporta:

|   |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|---|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|   | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

- numero elemento in esame.;
- numero combinazione di carico;
- $N_{xx}$  (F),  $M_{xx}$  (F\*m),  $N_{yy}$  (F),  $M_{yy}$  (F\*m): sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente; le sollecitazioni con indice xx producono tensioni in direzione locale xx; analogamente per yy. Si tenga presente che gli sforzi normali sono positivi se di trazione, i momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori.

Successivamente vengono riportati gli esiti della verifica:

- $A_{xx}$  inf,  $A_{xx}$  sup,  $A_{yy}$  inf,  $A_{yy}$  sup ( $cm^2$ ): le armature in direzione xx risultano dalla verifica a pressoflessione effettuata sulla base di  $N_{xx}$  e  $M_{xx}$ ; analogamente per yy; le sollecitazioni sono calcolate per un tratto pari al passo;
- indici di resistenza per le verifica a pressoflessione, a taglio nel piano e a taglio fuori piano. Per il taglio nel piano si controlla che  $S_{xy} \leq f_{cd}/(f_{ck})1/2$ ; l'indice di resistenza a taglio è il rapporto fra il primo e il secondo termine della disuguaglianza;
- il taglio fuori piano (chiamato  $V_z$ ), agente lungo l'asse locale z ortogonale all'elemento, viene perciò utilmente confrontato con il taglio limite  $V_{rd1}$  contemplato per sezioni sprovviste di armatura a taglio.

I risultati della verifica a punzonamento si riferiscono alla situazione più sfavorevole che determina il valore più elevato dell'azione di punzonamento.

Vengono riportati:

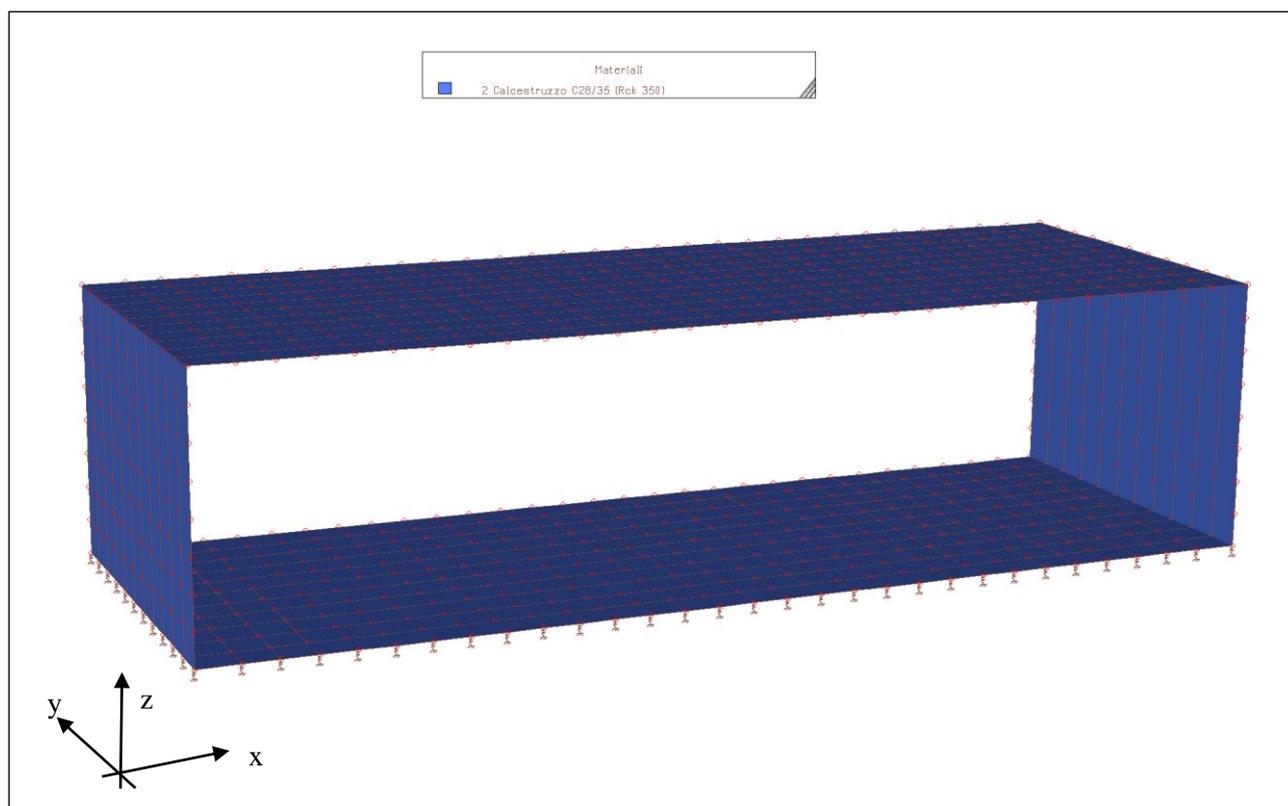
- forza di punzonamento (valore dell'azione di punzonamento agente al nodo);
- carico limite di punzonamento;
- se necessaria: armatura totale teorica nella 1<sup>a</sup> direzione locale ( $cm^2$ ), ovvero parallelamente all'asse locale y del pilastro;
- analogamente per la 2<sup>a</sup> direzione, parallela all'asse locale z.

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## I MATERIALI

I materiali sono individuati da un codice specifico e descritti dal modulo di elasticità, dal coefficiente di Poisson, dal peso specifico, dal coefficiente di dilatazione termica. In questo modello si è utilizzato solamente calcestruzzo

| Codice | Descrizione  | Mod. elast. | Coef. Poisson | Peso unit.  | Dil. term. | Aliq. inerz. | Rigid. taglio | Rigid. fless. |
|--------|--------------|-------------|---------------|-------------|------------|--------------|---------------|---------------|
| 1      | Calcestruzzo | +2.79e+010  | 0.120         | 24525.00000 | +1.00e-005 | 1.000        | 1.000         | 1.000         |



**Materiali**

I CARICHI

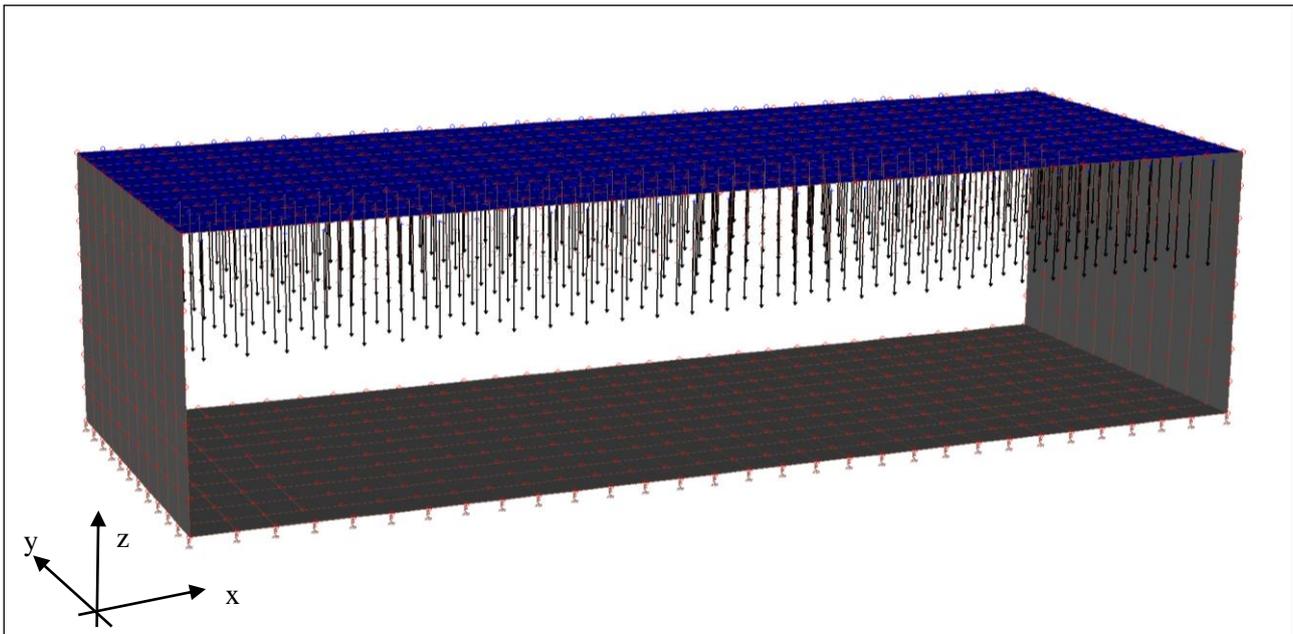


Figura 5 – Carichi permanenti – C0 [10 kN/mq]

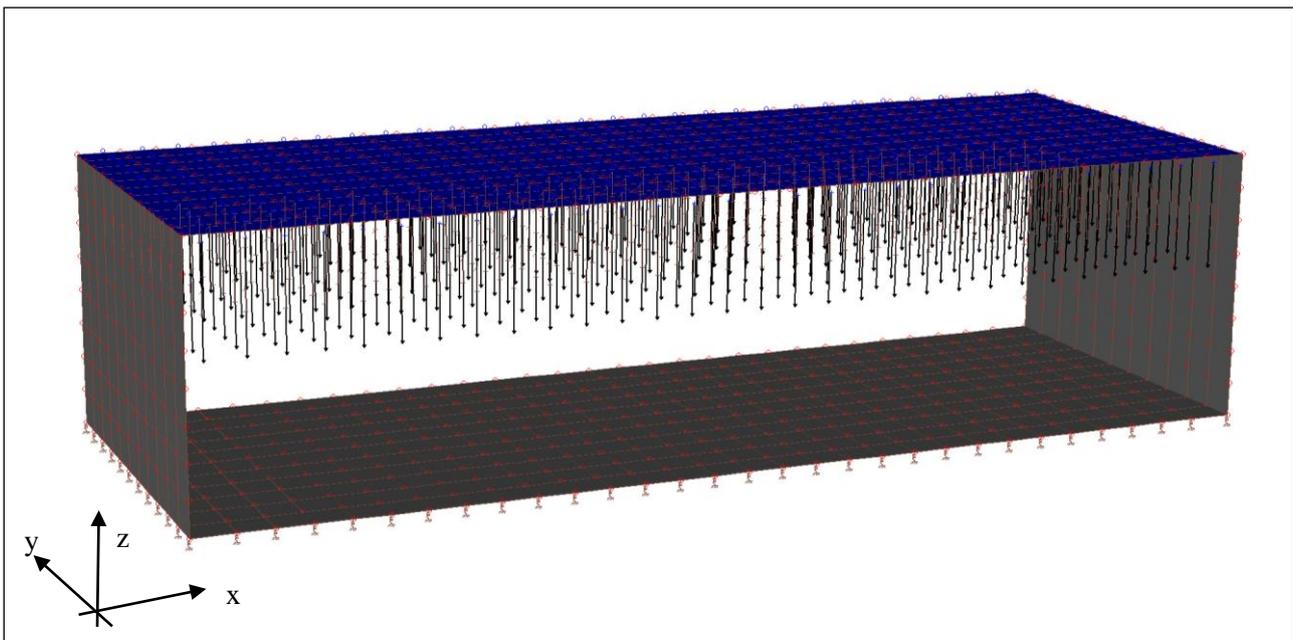


Figura 6 – sovraccarico neve C7 [1 kN/mq]

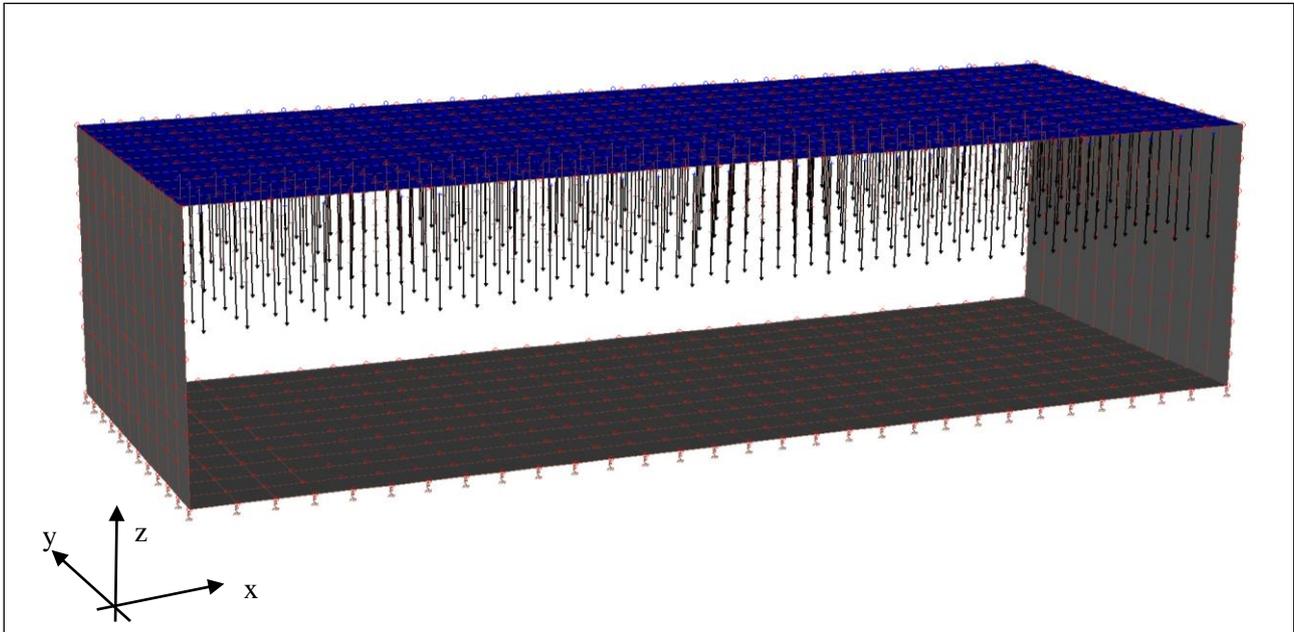


Figura 7 – sovraccarico accidentale distribuita ponti cat 1 - automezzi - C1 [9 kN]

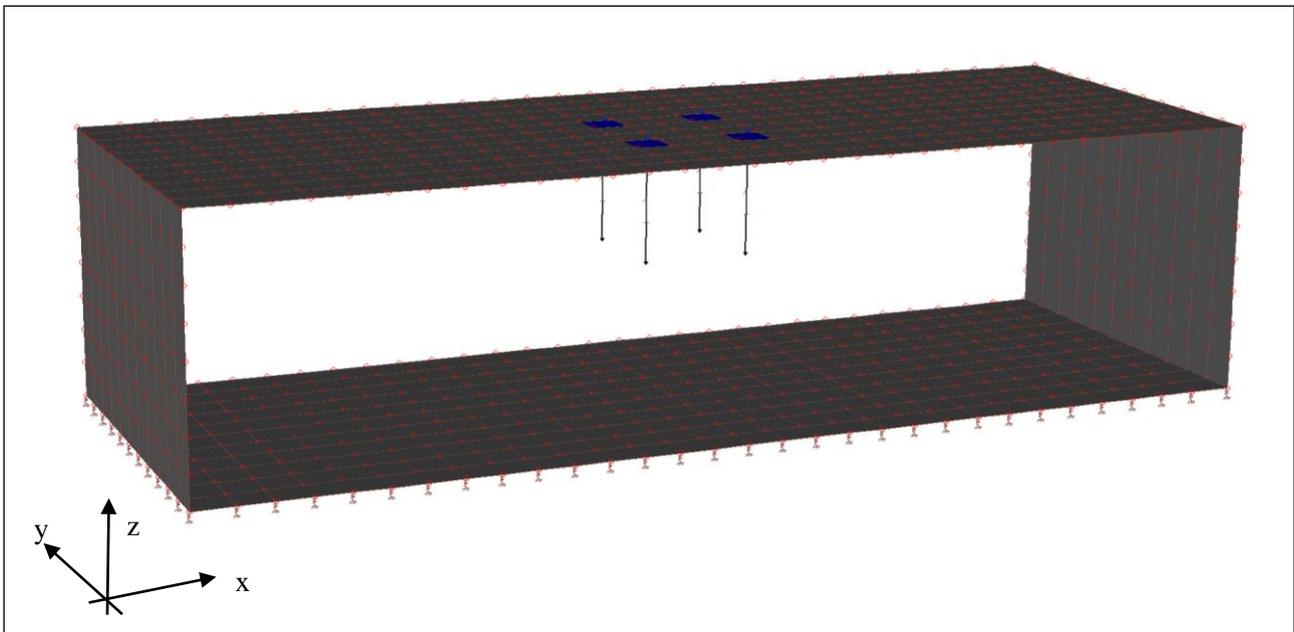


Figura 8 – sovraccarico concentrato ponti cat 1 - automezzi - centro – F1 [300+300 kN]

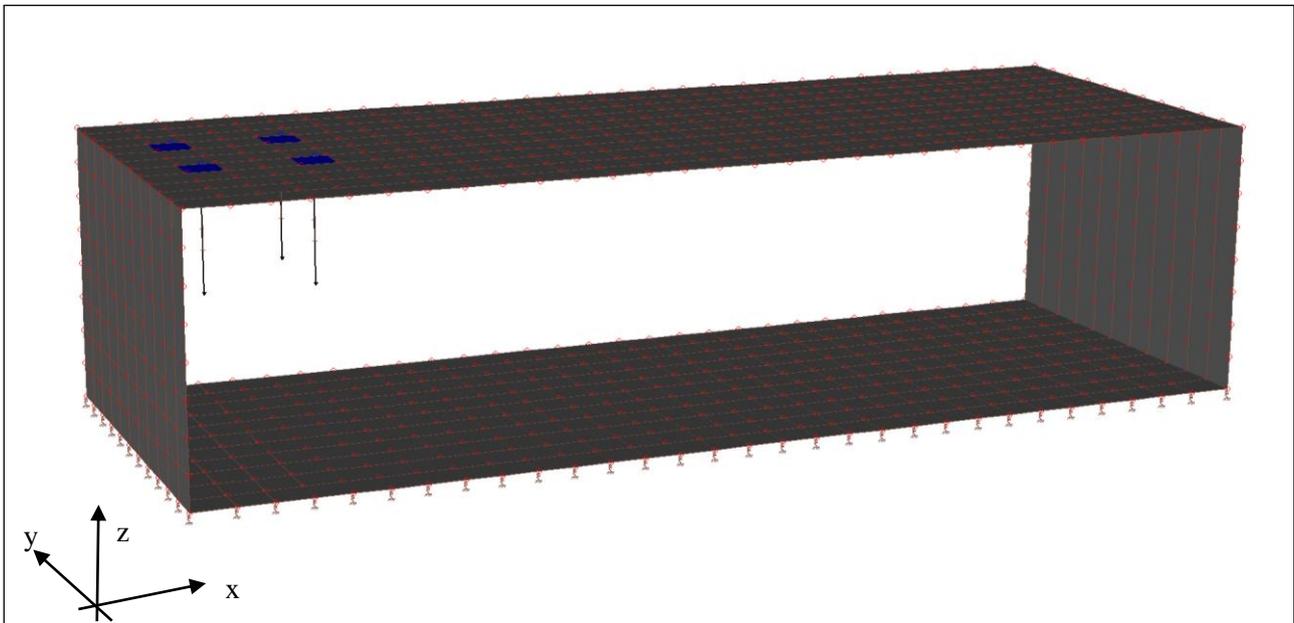


Figura 9 – sovraccarico concentrato ponti cat 1 - automezzi - spalla- F2 [300+300 kN]

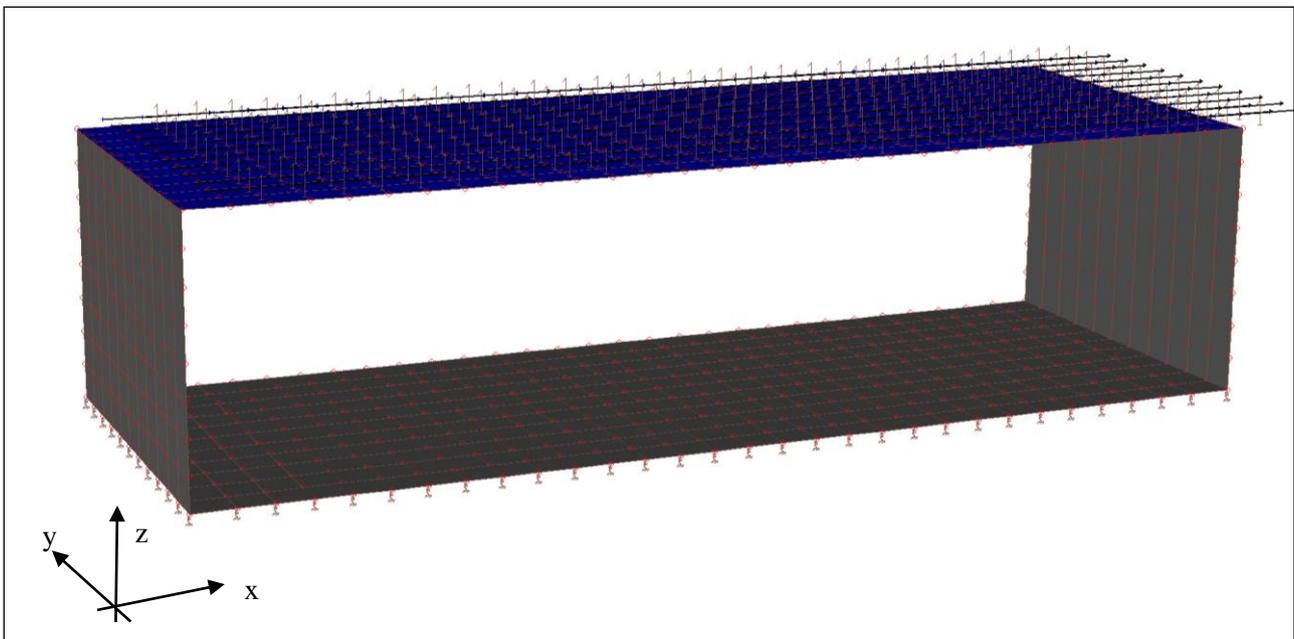


Figura 10 - frenatura – C9 [26878 N/m tangenziale alla strada]

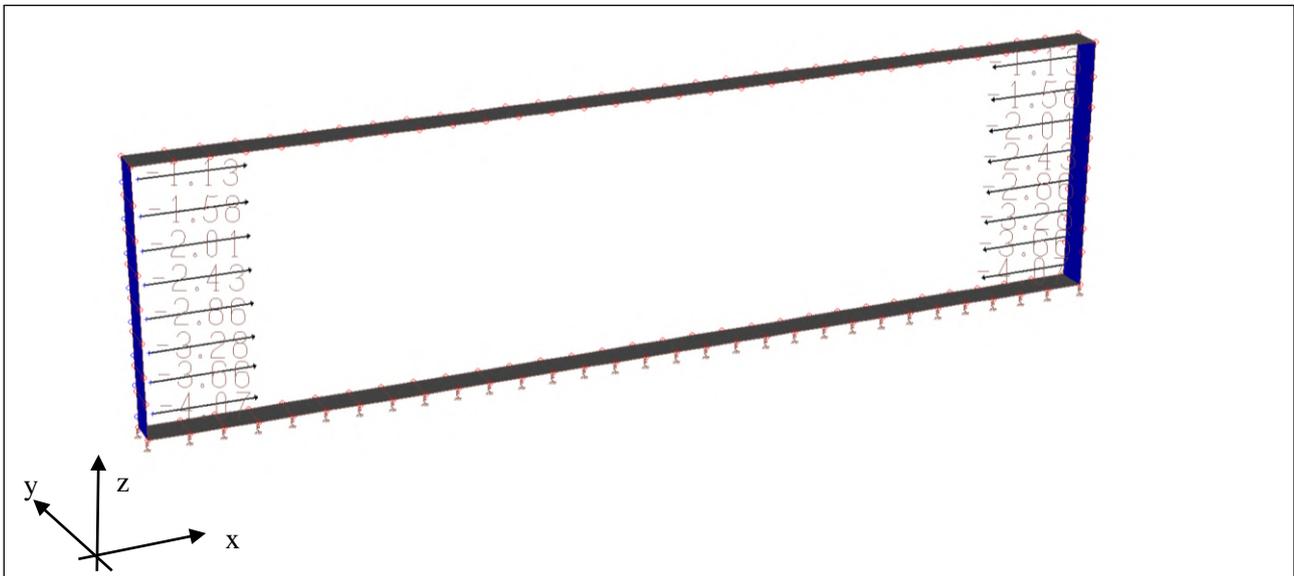


Figura 11 – coefficiente moltiplicativo della spinta del terreno – C6 [ 43026 N/ml inf - 8946 N/ml sup]

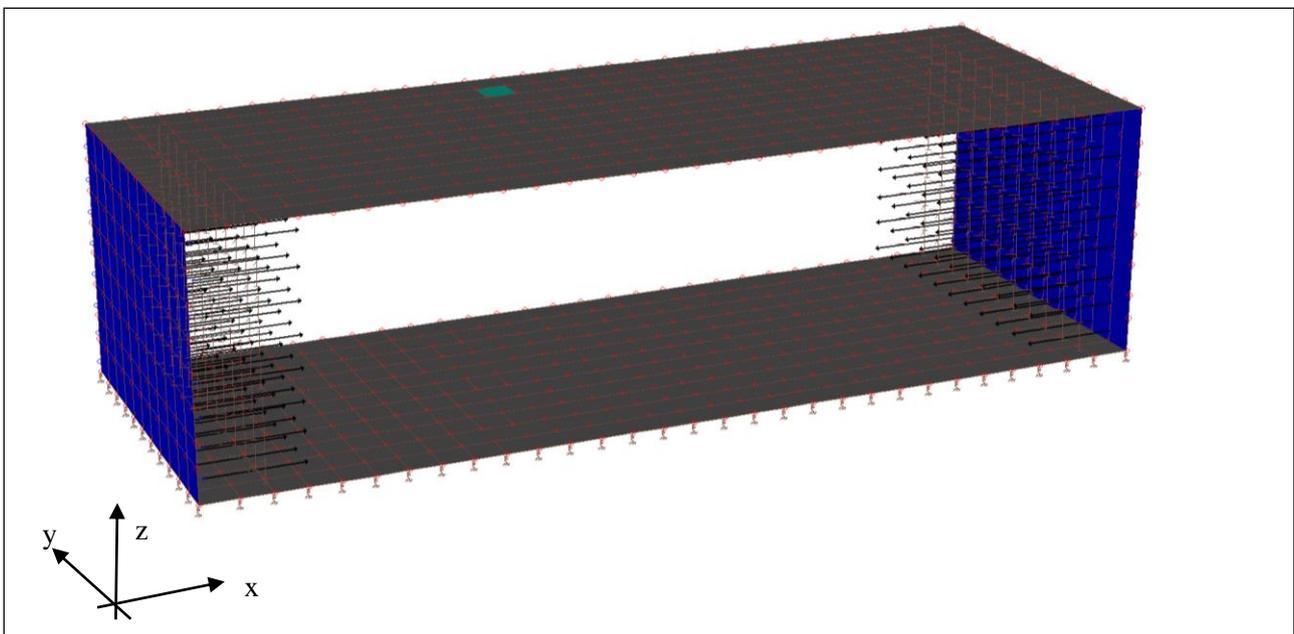


Figura 12 – coeff. molt. della spinta del terreno dovuta al sovraccarico sul terreno [110909 N/ml]



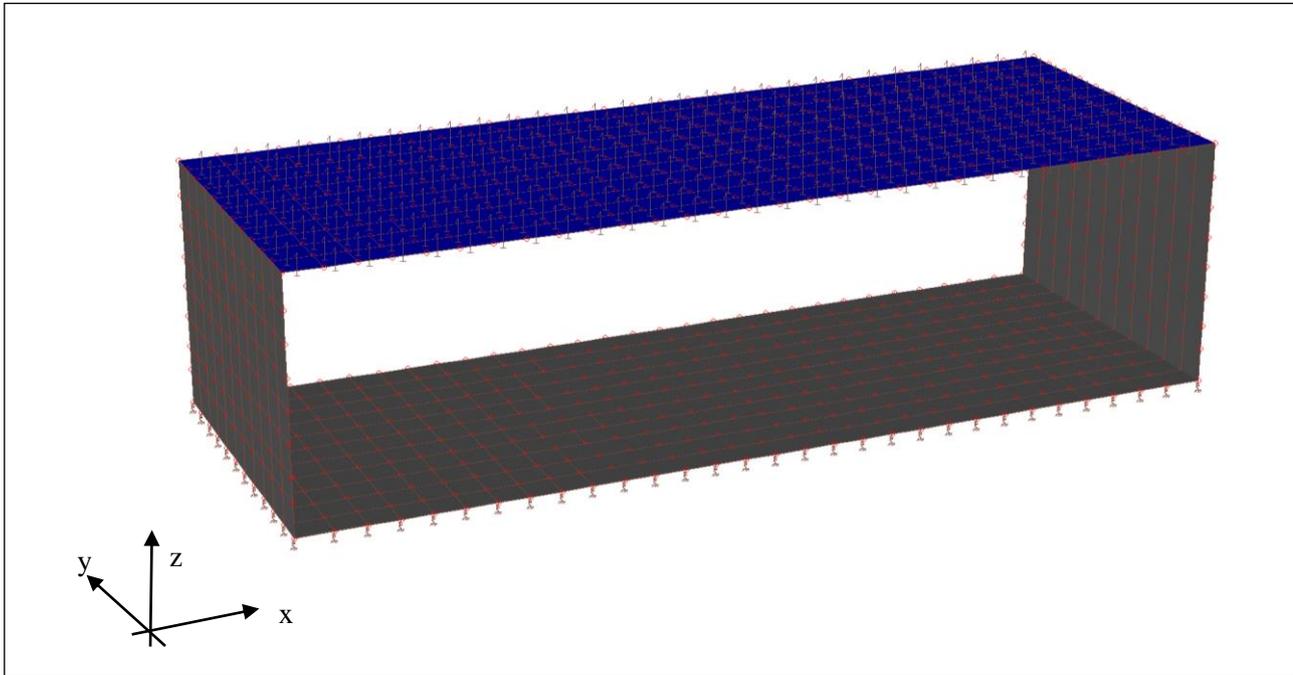


Figura 15 – Azioni termiche – C12

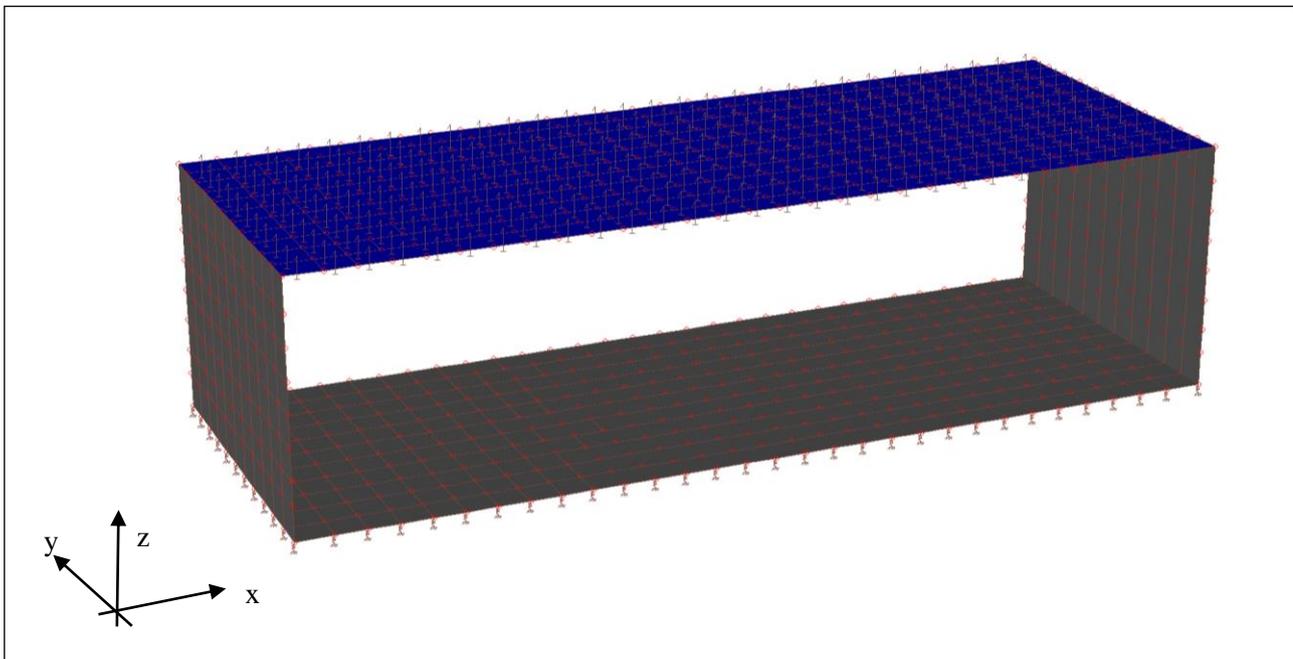
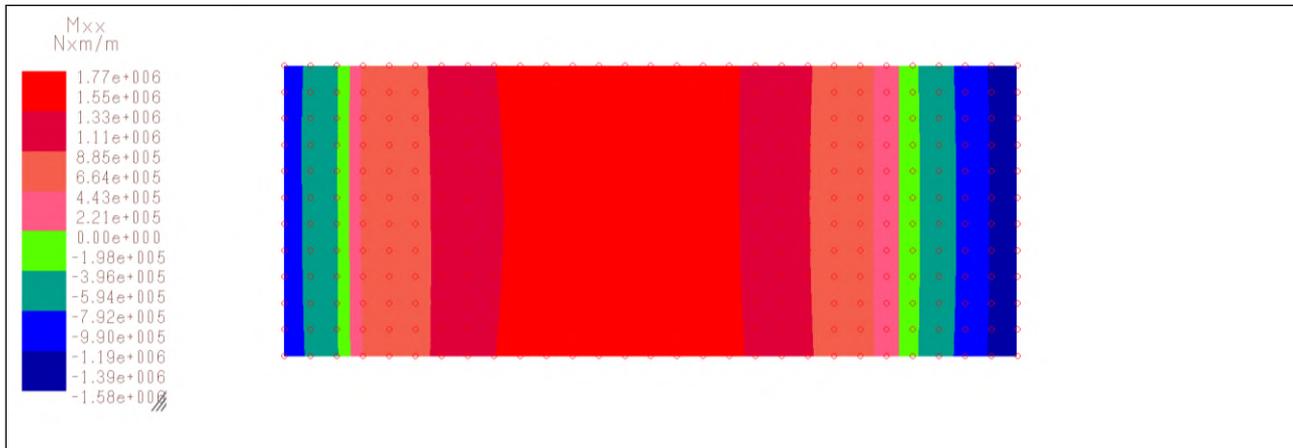
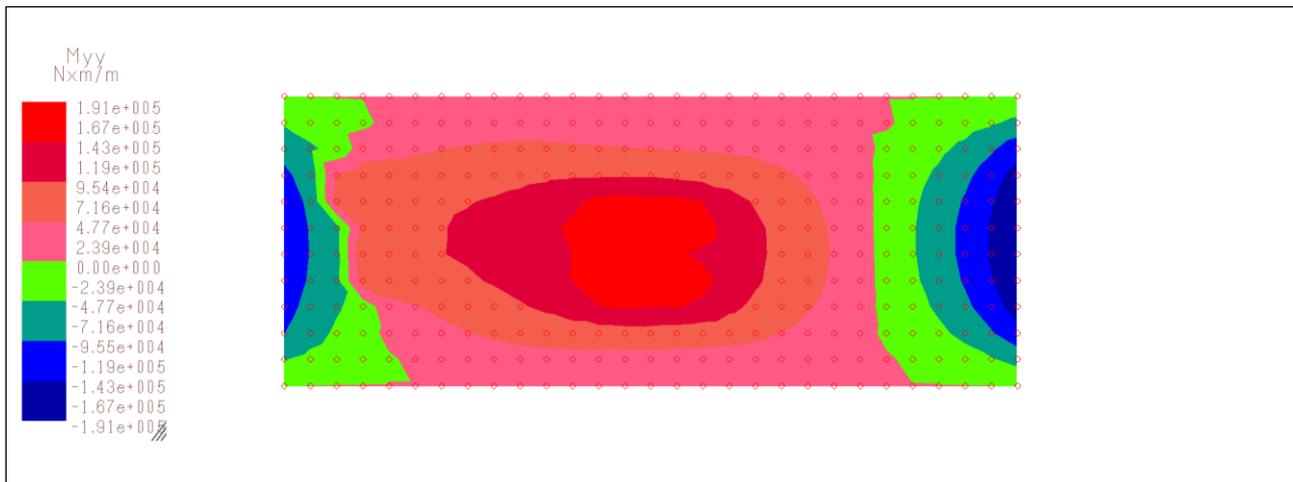


Figura 16 – Ritiro – C11

## 7.2 SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA SLU



**Figura 17 - Momento flettente per unità di lunghezza Mxx [Nm/m] – involucro**



**Figura 18 - Momento flettente per unità di lunghezza Myy [Nm/m] – involucro**

Valori massimi :

M+ : massimo momento positivo Mxx in campata

1770000 Nm/m (CC12)

M- : massimo momento negativo Mxx all'appoggio

-1580000 Nm/m (CC18)

M+ : massimo momento positivo Myy

19100 Nm/m (CC25)

M- : massimo momento negativo Myy

-19100 Nm/m (CC25)

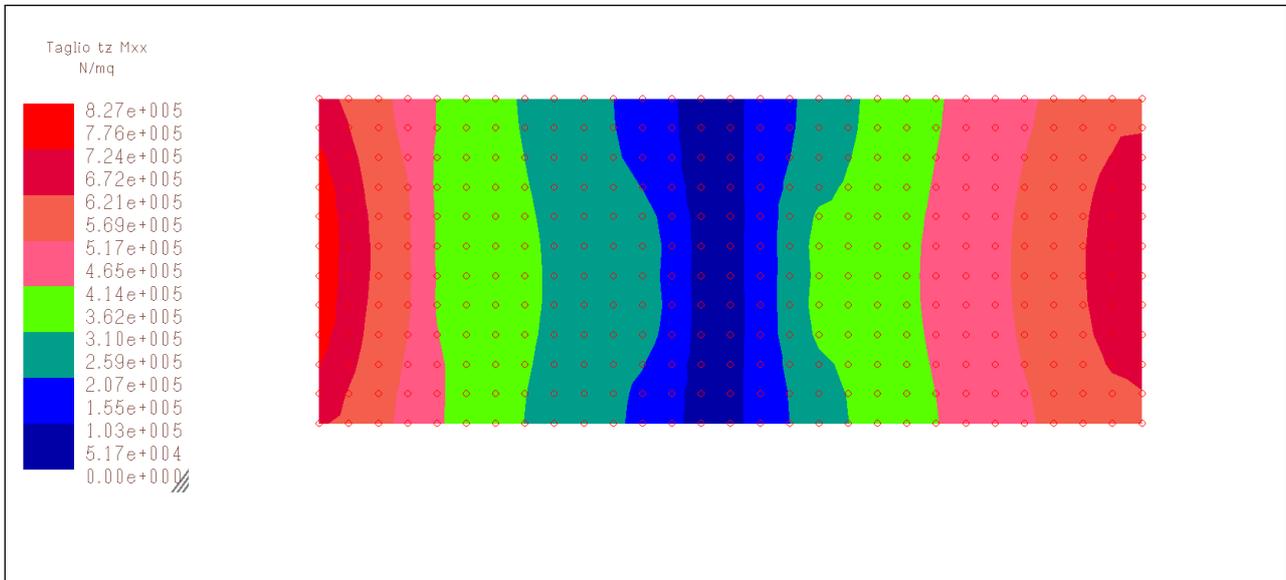


Figura 19 - Taglio Tz (relativo a Mxx) per unità di lunghezza [N/mq] – involucro

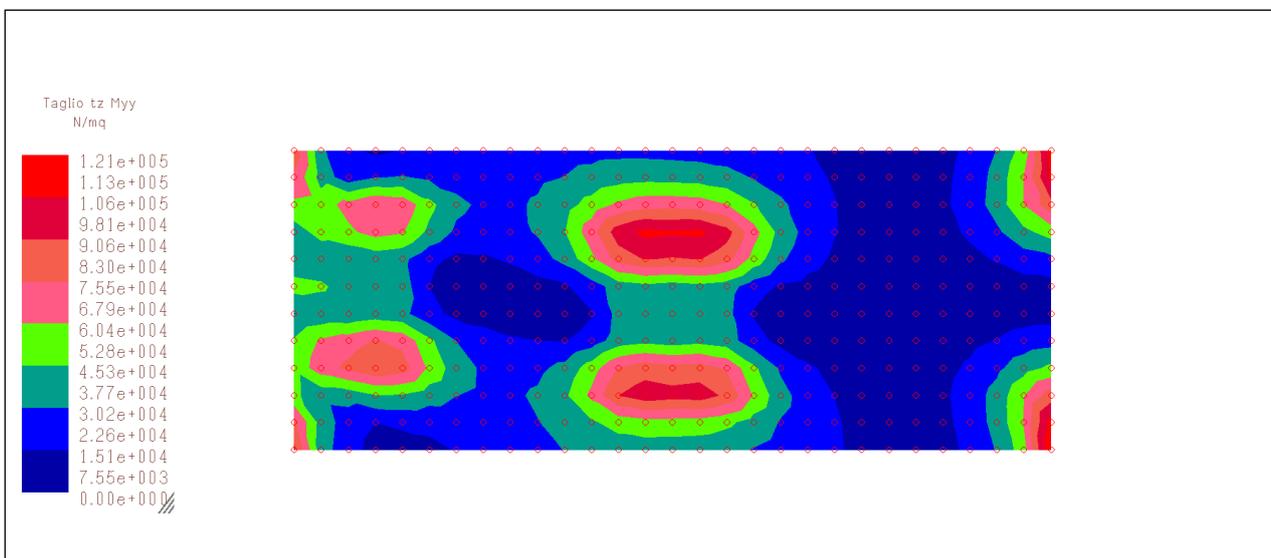


Figura 20 - Taglio Tz (relativo a Myy) per unità di lunghezza [N/mq] – involucro

Valori massimi :

T : massimo taglio relativo a Mxx =  $82700 \times (1 \times 1,1) = 90970 \text{ N/m}$  (CC18)

T : massimo taglio relativo a Myy =  $12100 \times (1 \times 1,1) = 13310 \text{ N/m}$  (CC25)

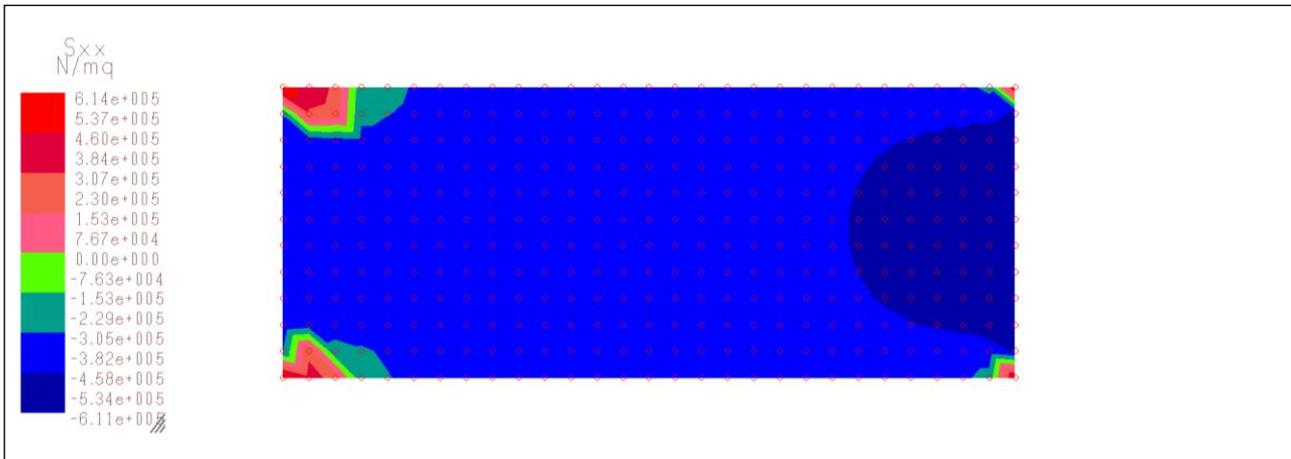


Figura 21 – Tensione membranale Sxx longitudinale per unità di lunghezza [N/mq] – involucro

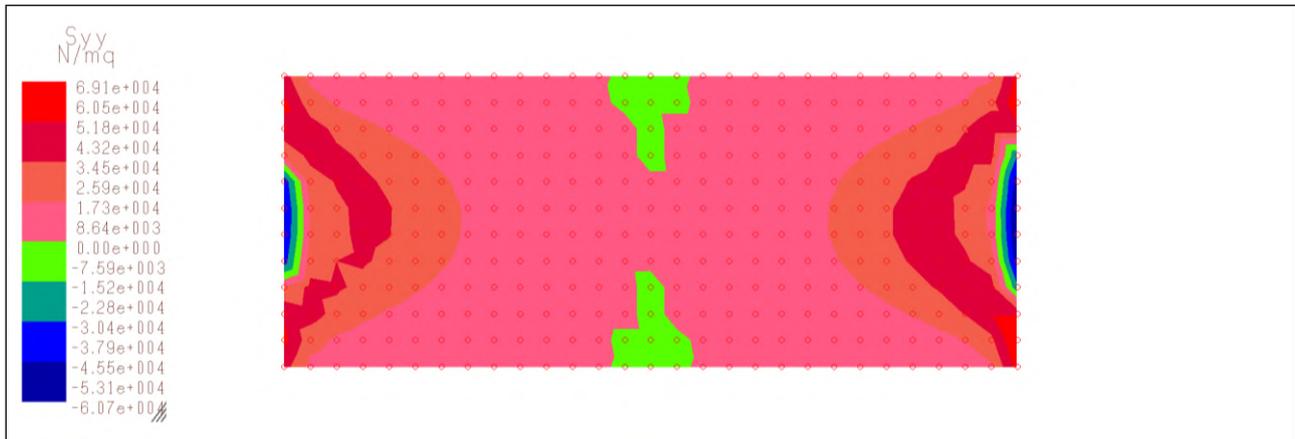


Figura 22 – Tensione membranale Syy trasversale per unità di lunghezza [N/mq] – involucro

Valori massimi :

$N_x$  : massimo compressione longitudinale =  $-61100 \times (1 \times 1,1) = -67210 \text{ N/m (CC20)}$

$N_y$  : massimo compressione trasversale =  $6070 \times (1 \times 1,1) = 6677 \text{ N/m (CC17)}$

Di seguito si riportano le verifiche delle solette che sono state effettuate prescindendo dallo sforzo normale ricavato, in favore di sicurezza.

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

### Verifica a flessione momento positivo soletta superiore

#### Materiali e geometria

$$f_{sd} = f_{yk} / \gamma_m = f_{yk} / 1,15 = \mathbf{B450C} \quad 391 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \mathbf{Rck37} \quad 0,83 R_{ck} / \gamma_m = 0,83 R_{ck} / 1,5 = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

$$0,85 f_{cd} = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 10 \quad \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad b = \text{base} \quad 100 \text{ cm}$$

$$H = \text{altezza} \quad 110 \text{ cm}$$

$$A's = 10 \quad \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad d' = \text{copriferro} \quad 5 \text{ cm}$$

$$d = H - d - \phi / 2 = 103,8 \text{ cm}$$

#### Coefficienti adimensionali

$$\rho = A_s / (b d) = \mathbf{0,44\%} \quad \rho' = A's / (bd) = 0,44\%$$

$$\alpha_d = f_{sd} / (0,85 f_{cd}) = 22,49 \quad \omega = \rho \alpha_d = 0,098$$

$$\delta' = d' / d = 0,048 \quad \varepsilon' = 0,000$$

$$\eta = (\rho \alpha_d - \rho' \alpha_d) / 0,8 = 0,000 < \eta_{2-3} = 0,259$$

$$a = -0,800 \quad b = 1,591 \quad c = -0,131$$

$$\eta = x/d = \mathbf{0,086} \quad \varepsilon' = 0,000 \quad \alpha' = 6,64$$

$$m_u = \rho' \alpha' (0,4 \eta - \delta') + \rho \alpha (1 - 0,4 \eta) = 0,094$$

$$\mathbf{M_{Rdu} = m_u b d^2 (0,85 f_{cd}) = \text{momento ultimo} \quad 1784308 \text{ Nm}}$$

$$M_{Sdu} = \text{momento sollecitante SLU} \quad 1770000 \text{ Nm}$$

$$\mathbf{M_{Sdu}/M_{Rdu} = \text{indice di resistenza} \quad 1770000 / 1784308 = \mathbf{0,99}}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

Verifica a flessione momento negativo sullo spigolo soletta superiore

**Materiali e geometria**

$$f_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \mathbf{B450C} \quad 391 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{R_{ck}}{1,5} = \frac{0,83 R_{ck}}{1,5} = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

$$0,85 f_{cd} = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 10 \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad b = \text{base} \quad 100 \text{ cm}$$

$$H = \text{altezza} \quad 110 \text{ cm}$$

$$A's = 10 \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad d' = \text{copriferro} \quad 5 \text{ cm}$$

$$d = H - d - \phi / 2 = 103,8 \text{ cm}$$

**Coefficienti adimensionali**

$$\rho = \frac{A_s}{(b d)} = \mathbf{0,44\%} \quad \rho' = \frac{A's}{(bd)} = 0,44\%$$

$$\alpha_d = \frac{f_{sd}}{(0,85 f_{cd})} = 22,49 \quad \omega = \rho \alpha_d = 0,098$$

$$\delta' = \frac{d'}{d} = 0,048 \quad \varepsilon' = 0,000$$

$$\eta = \frac{(\rho \alpha_d - \rho' \alpha_d)}{0,8} = 0,000 < \eta_{2-3} = 0,259$$

$$a = -0,800 \quad b = 1,582 \quad c = -0,131$$

$$\eta = x/d = \mathbf{0,086} \quad \varepsilon' = 0,000 \quad \alpha' = 6,64$$

$$m_u = \rho' \alpha' (0,4 \eta - \delta') + \rho \alpha (1 - 0,4 \eta) = 0,094$$

$$\mathbf{M_{Rdu}} = m_u b d^2 (0,85 f_{cd}) = \mathbf{\text{momento ultimo}} \quad \mathbf{1766641 \text{ Nm}}$$

$$M_{Sdu} = \text{momento sollecitante SLU} \quad -1580000 \text{ Nm}$$

$$\mathbf{M_{Sdu}/M_{Rdu}} = \text{indice di resistenza} \quad 1580000 / 1766641 = \mathbf{0,89}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

La soletta sarà realizzata senza armatura al taglio sino al limite del valore calcolato di seguito :

**NTC 4.1.2.1.3.1**      **Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad \mathbf{435637 \text{ N}}$$

$$\geq (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = \mathbf{357597,2 \text{ N}}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad \mathbf{1,44}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad \mathbf{0,33}$$

$$H = \text{altezza della sezione} \quad \mathbf{1100 \text{ mm}}$$

$$c = \text{copriferro} \quad \mathbf{50 \text{ mm}}$$

$$d = H - c - \phi / 2 = \text{altezza utile sezione} \quad \mathbf{1038 \text{ mm}}$$

$$b_w = \text{larghezza membratura resistente a taglio} \quad \mathbf{1000 \text{ mm}}$$

$$A_{sl} = 10 \Phi 24 \text{ armatura longitudinale (solo armatura tesa)} \quad \mathbf{4524 \text{ mm}^2}$$

$$A_c = b_w \cdot d \quad \text{area calcestruzzo} \quad \mathbf{1038000 \text{ mm}^2}$$

$$f_{ck} = 0,83 \quad R_{ck} = (\text{con } R_{ck} = 37 \text{ N/mm}^2) \quad \mathbf{30,71 \text{ N/mm}^2}$$

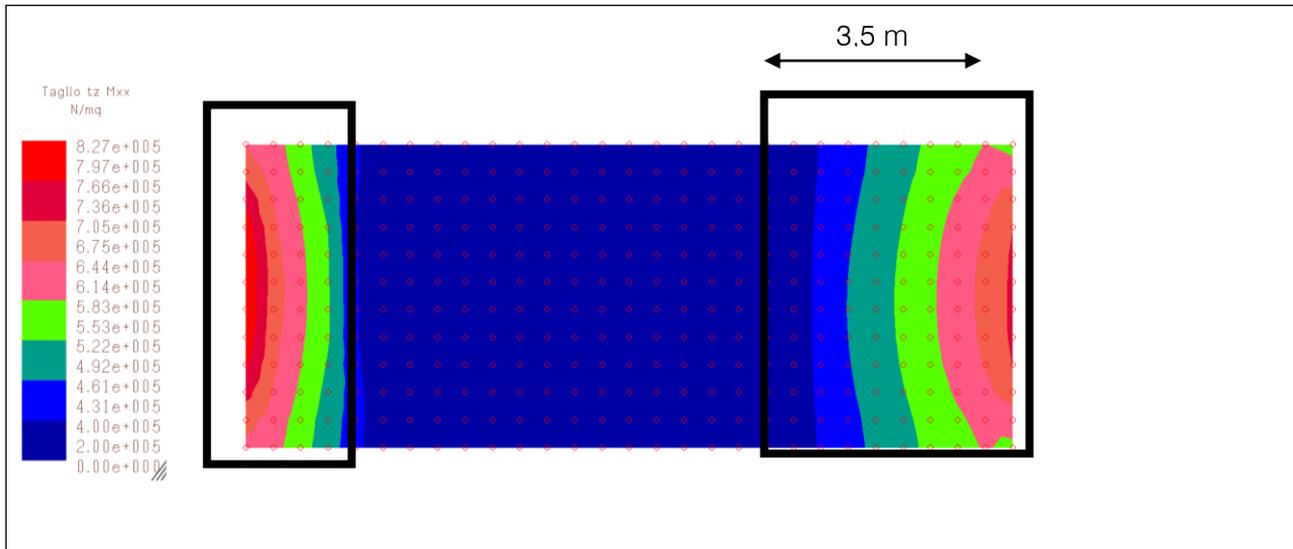
$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \quad \text{rapporto geom armatura longitud} (<=0,02) \quad \mathbf{0,0044 < 0,02}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \quad \text{tensione media compress. ( <=0,2 } f_{cd}) \quad \mathbf{0,06475 \text{ N/mm}^2}$$

$$N_{Ed} = \text{compressione sulla sezione} \quad \mathbf{67210 \text{ N}}$$

Riportando il taglio resistente ad un valore di tensione per unità di superficie

$$V_{rd}' = 435637 / (1,1 \times 1) = \mathbf{396034 \text{ N/mq}}$$



**Figura 23 – Rappresentato in blu scuro le zone con  $V_{sd} < 396033$  N/mq**

Nel diagramma qui sopra riportato si rappresenta in blu scuro le zone con taglio sollecitante inferiore al taglio resistente per strutture non armate a taglio; calibrando per simmetria le armature integrative a taglio sul lato più sfavorevole, si osserva che saranno necessarie armature integrative dallo spigolo della spalla per 3,5 metri verso il centro del manufatto.

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

### NTC 4.1.2.1.3.2      Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con :

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot (A_{sw} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \sin \alpha \quad 1135848 \text{ N}$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con :

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad 3332046 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd} ; V_{Rcd}) \quad \text{resistenza a taglio} \quad \mathbf{1135848 \text{ N}}$$

$$H = \text{altezza della sezione} \quad 1100 \text{ mm}$$

$$c = \text{copriferro} \quad 50 \text{ mm}$$

$$d = H - c - \phi / 2 = \text{altezza utile sezione} \quad 1038 \text{ mm}$$

$$b_w = \text{larghezza membratura resistente a taglio} \quad 1000 \text{ mm}$$

$$A_c = b_w \cdot d \quad \text{area calcestruzzo} \quad 1038000 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ed} = \text{compressione sulla sezione} \quad 67210 \text{ N}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \quad \text{tensione media compress.} \quad 0,065 \text{ N/mm}^2$$

$$0,000 \quad 0,065 \quad 5,12 \quad 10,237 \quad 20,473$$

$$0,25 f_{cd} \quad 0,5 f_{cd} \quad f_{cd}$$

$$\alpha_c = \text{coeffic. Maggiorativo} \quad 1,003163$$

$$1 \quad \text{per membrature non compresse}$$

$$1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1,003163 \quad \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$$

$$1,25 \quad \text{per } 0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$$

$$2,5(1 - \sigma_{cp} / f_{cd}) = \quad \text{per } 0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq f_{cd}$$

$$A_{sw} = \text{staffe } \Phi 12 \quad \mathbf{3,33 \text{ bracci}}$$

$$\text{area armatura trasversale} \quad A_{sw} = 377 \text{ mm}^2$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

|             |                           |   |        |                           |
|-------------|---------------------------|---|--------|---------------------------|
| $f_{yd} =$  | $f_{y,k} / \gamma_s =$    | 450 /                                     | 1,15 = | 391 N/mm <sup>2</sup>     |
| <b>s =</b>  |                           | <b>passo staffe o ferri piegati</b>       |        | <b>300 mm</b>             |
| $\alpha =$  |                           | inclinaz. armatura trasversale risp. Asse |        | 90 °                      |
| $f'_{cd} =$ | $0,5 R_{cd} / \gamma_c =$ | (con $R_{ck} =$ 37 N/mm <sup>2</sup> )    |        | 10,24 N/mm <sup>2</sup>   |
| $\theta =$  | 22 °                      | inclinaz. del traliccio compresso         |        | ctg $\theta =$ <b>2,5</b> |

Riportando il taglio resistente ad un valore di tensione per unità di superficie

$$V_{rd}' = 1135848 / (1,1 \times 1) = 1032589 \text{ N/mq}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

### NTC 4.1.2.1.3.2

### Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con :

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot (A_{sw} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \sin \alpha \quad 681509 \text{ N}$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con :

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad 3332046 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) \quad \text{resistenza a taglio} \quad 681509 \text{ N}$$

$$H = \text{altezza della sezione} \quad 1100 \text{ mm}$$

$$c = \text{copriferro} \quad 50 \text{ mm}$$

$$d = H - c - \phi / 2 = \text{altezza utile sezione} \quad 1038 \text{ mm}$$

$$b_w = \text{larghezza membratura resistente a taglio} \quad 1000 \text{ mm}$$

$$A_c = b_w \cdot d \quad \text{area calcestruzzo} \quad 1038000 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ed} = \text{compressione sulla sezione} \quad 67210 \text{ N}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \quad \text{tensione media compress.} \quad 0,065 \text{ N/mm}^2$$

$$0,000 \quad 0,065 \quad 5,12 \quad 10,237 \quad 20,473$$

$$0,25 f_{cd} \quad 0,5 f_{cd} \quad f_{cd}$$

$$\alpha_c = \text{coeffic. Maggiorativo} \quad 1,003163$$

$$1 \quad \text{per membrature non compresse}$$

$$1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1,003163 \quad \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$$

$$1,25 \quad \text{per } 0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$$

$$2,5(1 - \sigma_{cp} / f_{cd}) = \quad \text{per } 0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq f_{cd}$$

|                         |   |                                   |                        |                         |
|-------------------------|---|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>A<sub>sw</sub> =</b> | <b>staffe</b>                             | <b>Φ12</b>                        | <b>3,33 bracci</b>     |                         |
|                         | area armatura trasversale                 |                                   | A <sub>sw</sub> =      | 377 mmq                 |
| f <sub>yd</sub> =       | f <sub>y,k</sub> / γ <sub>s</sub> =       | 450 /                             | 1,15 =                 | 391 N/mm <sup>2</sup>   |
| <b>s =</b>              | <b>passo staffe o ferri piegati</b>       |                                   |                        | <b>500 mm</b>           |
| α =                     | inclinaz. armatura trasversale risp. Asse |                                   |                        | 90 °                    |
| f' <sub>cd</sub> =      | 0,5 R <sub>cd</sub> / γ <sub>c</sub> =    | (con R <sub>ck</sub> =            | 37 N/mm <sup>2</sup> ) | 10,24 N/mm <sup>2</sup> |
| θ =                     | 22 °                                      | inclinaz. del traliccio compresso | ctg θ =                | <b>2,5</b>              |

Riportando il taglio resistente ad un valore di tensione per unità di superficie

$$V_{rd}' = 681509 / (1,1 \times 1) = 619553 \text{ N/mq}$$

### 7.3 SOLETTA INFERIORE – VERIFICA SLU

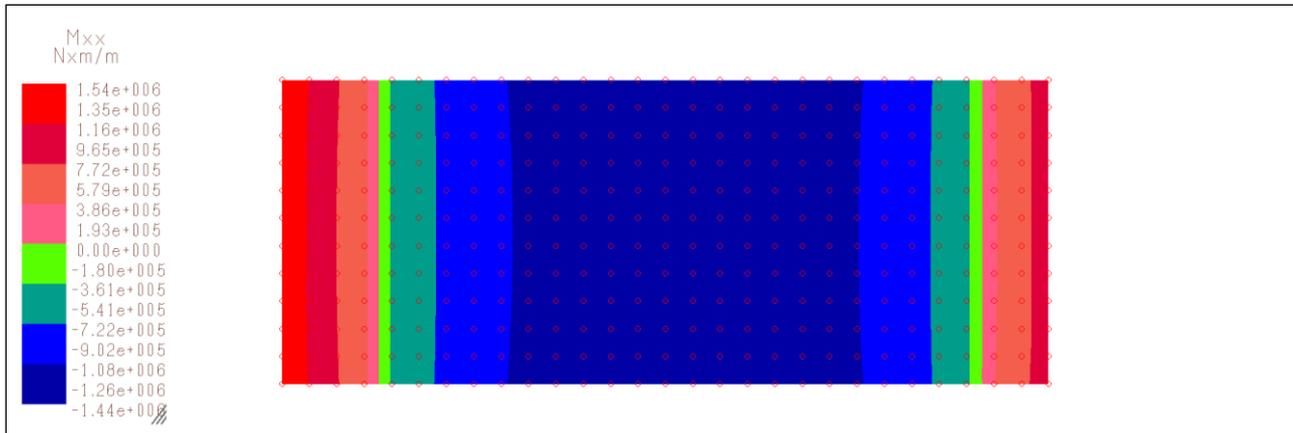


Figura 24 - Momento flettente per unità di lunghezza  $M_{xx}$  [Nm/m] – involucro

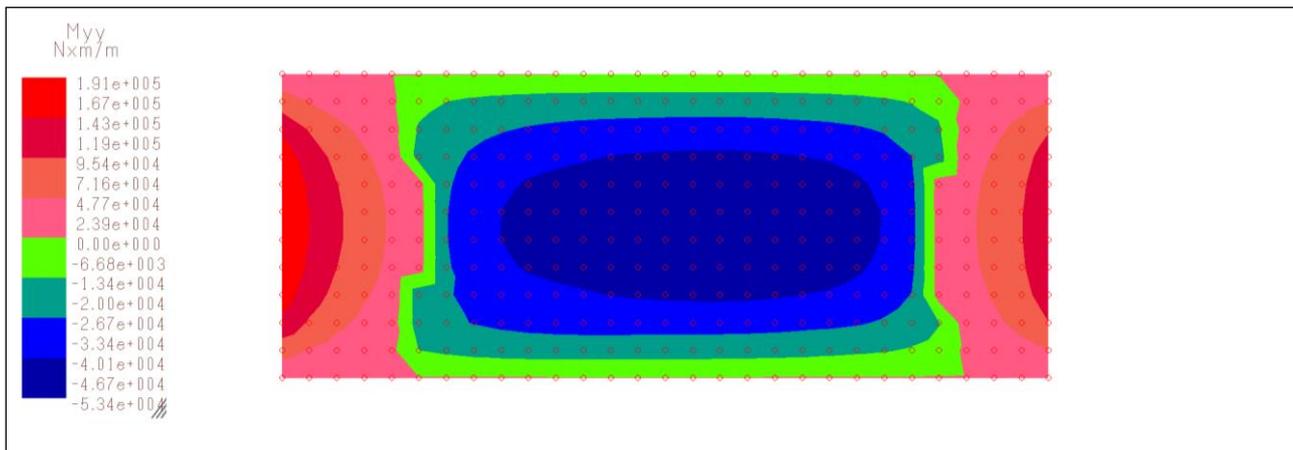


Figura 25 - Momento flettente per unità di lunghezza  $M_{yy}$  [Nm/m] – involucro

Valori massimi :

|   |                      |
|---|----------------------|
| $M+$ : massimo momento positivo $M_{xx}$ in campata   | 1540000 Nm/m (CC6)   |
| $M-$ : massimo momento negativo $M_{xx}$ all'appoggio | -1440000 Nm/m (CC13) |
| $M+$ : massimo momento positivo $M_{yy}$              | 19100 Nm/m (CC7)     |
| $M-$ : massimo momento negativo $M_{yy}$              | -5340 Nm/m (CC14)    |

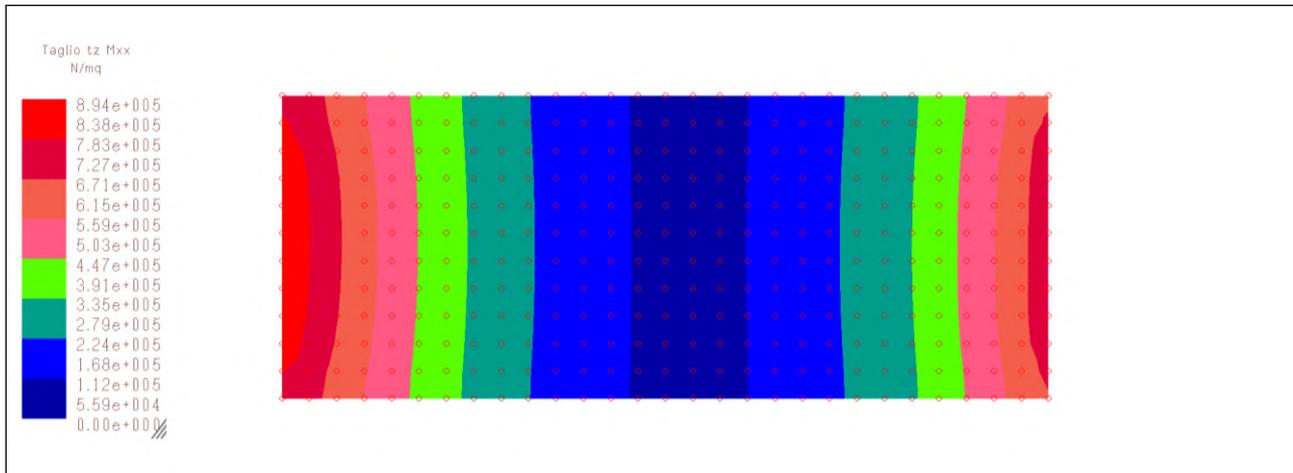


Figura 26 - Taglio Tz (relativo a Mxx) per unità di lunghezza [N/mq] – involucro

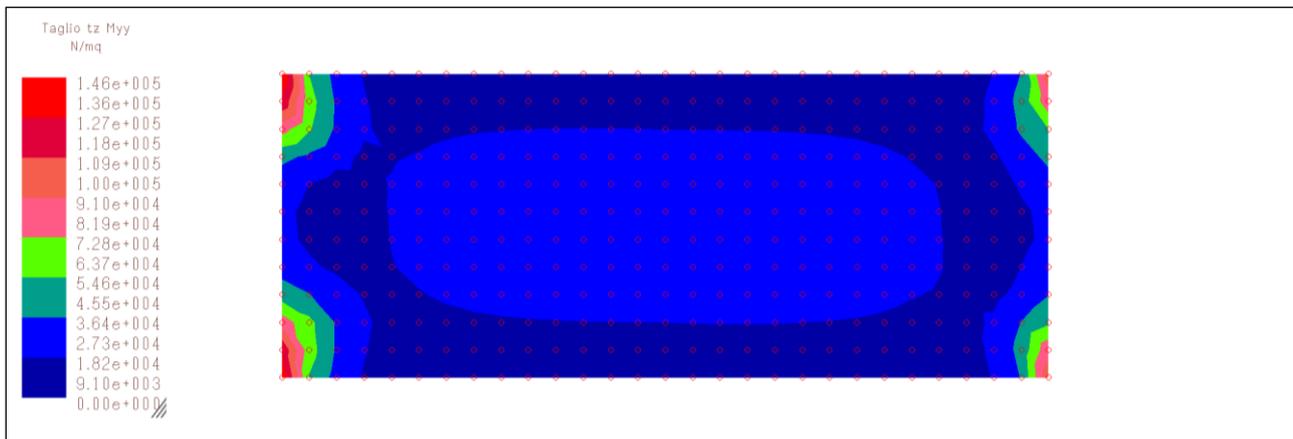


Figura 27 - Taglio Tz (relativo a Myy) per unità di lunghezza [N/mq] – involucro

Valori massimi :

T : massimo taglio relativo a Mxx =  $89400 \times (1 \times 1,1) = 98340 \text{ N/m (CC6)}$

T : massimo taglio relativo a Myy =  $14600 \times (1 \times 1,1) = 16060 \text{ N/m (CC13)}$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

Di seguito si riportano le verifiche delle solette che sono state effettuate prescindendo dallo sforzo normale ricavato, in favore di sicurezza.

#### Verifica a flessione momento positivo soletta inferiore

##### Materiali e geometria

$$f_{sd} = f_{yk} / \gamma_m = f_{yk} / 1,15 = \mathbf{B450C} \quad 391 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \mathbf{Rck37} \quad 0,83 R_{ck} / \gamma_m = 0,83 R_{ck} / 1,5 = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

$$0,85 f_{cd} = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 10 \quad \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad b = \text{base} \quad 100 \text{ cm}$$

$$H = \text{altezza} \quad 110 \text{ cm}$$

$$A's = 10 \quad \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad d' = \text{copriferro} \quad 5 \text{ cm}$$

$$d = H - d - \phi / 2 = 103,8 \text{ cm}$$

##### Coefficienti adimensionali

$$\rho = A_s / (b d) = \mathbf{0,43\%} \quad \rho' = A's / (bd) = 0,44\%$$

$$\alpha_d = f_{sd} / (0,85 f_{cd}) = 22,49 \quad \omega = \rho \alpha_d = 0,098$$

$$\delta' = d' / d = 0,048 \quad \varepsilon' = 0,000$$

$$\eta = (\rho \alpha_d - \rho' \alpha_d) / 0,8 = 0,000 < \eta_{2-3} = 0,259$$

$$a = -0,800 \quad b = 1,591 \quad c = -0,131$$

$$\eta = x/d = \mathbf{0,086} \quad \varepsilon' = 0,000 \quad \alpha' = 6,64$$

$$m_u = \rho' \alpha' (0,4 \eta - \delta') + \rho \alpha (1 - 0,4 \eta) = 0,094$$

$$\mathbf{M_{Rdu}} = m_u b d^2 (0,85 f_{cd}) = \mathbf{\text{momento ultimo}} \quad \mathbf{1766641 \text{ Nm}}$$

$$M_{Sdu} = \text{momento sollecitante SLU} \quad 1540000 \text{ Nm}$$

$$\mathbf{M_{Sdu}/M_{Rdu}} = \text{indice di resistenza} \quad 1540000 / 1766641 = \mathbf{0,87}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

Verifica a flessione momento negativo sullo spigolo soletta inferiore

**Materiali e geometria**

$$f_{sd} = f_{yk} / \gamma_m = f_{yk} / 1,15 = \mathbf{B450C} \quad 391 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \mathbf{Rck37} \quad 0,83 R_{ck} / \gamma_m = 0,83 R_{ck} / 1,5 = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

$$0,85 f_{cd} = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 10 \quad \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad b = \text{base} \quad 100 \text{ cm}$$

$$H = \text{altezza} \quad 110 \text{ cm}$$

$$A's = 10 \quad \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad d' = \text{copriferro} \quad 5 \text{ cm}$$

$$d = H - d - \phi / 2 = 103,8 \text{ cm}$$

**Coefficienti adimensionali**

$$\rho = A_s / (b d) = \mathbf{0,44\%} \quad \rho' = A's / (bd) = 0,44\%$$

$$\alpha_d = f_{sd} / (0,85 f_{cd}) = 22,49 \quad \omega = \rho \alpha_d = 0,098$$

$$\delta' = d' / d = 0,048 \quad \varepsilon' = 0,000$$

$$\eta = (\rho \alpha_d - \rho' \alpha_d) / 0,8 = 0,000 < \eta_{2-3} = 0,259$$

$$a = -0,800 \quad b = 1,591 \quad c = -0,131$$

$$\eta = x/d = \mathbf{0,086} \quad \varepsilon' = 0,000 \quad \alpha' = 6,64$$

$$m_u = \rho' \alpha' (0,4 \eta - \delta') + \rho \alpha (1 - 0,4 \eta) = 0,093$$

$$\mathbf{M_{Rdu} = m_u b d^2 (0,85 f_{cd}) = \text{momento ultimo} \quad 1766641 \text{ Nm}}$$

$$M_{Sdu} = \text{momento sollecitante SLU} \quad -1440000 \text{ Nm}$$

$$\mathbf{M_{Sdu}/M_{Rdu} = \text{indice di resistenza} \quad 1440000 / 1766641 = \mathbf{0,82}}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

La soletta sarà realizzata senza armatura al taglio sino al limite del valore calcolato di seguito :

**NTC 4.1.2.1.3.1      Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad \mathbf{425556 \text{ N}}$$

$$\geq (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = \mathbf{350611,8 \text{ N}}$$

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} < 2 \quad \mathbf{1,44}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad \mathbf{0,33}$$

$$H = \text{altezza della sezione} \quad \mathbf{1100 \text{ mm}}$$

$$c = \text{copriferro} \quad \mathbf{50 \text{ mm}}$$

$$d = H - c - \phi/2 \quad \text{altezza utile sezione} \quad \mathbf{1038 \text{ mm}}$$

$$b_w = \text{larghezza membratura resistente a taglio} \quad \mathbf{1000 \text{ mm}}$$

$$A_{sl} = 10 \ \Phi 24 \quad \text{armatura longitudinale (**solo armatura tesa**)} \quad \mathbf{4524 \text{ mm}^2}$$

$$A_c = b_w \cdot d \quad \text{area calcestruzzo} \quad \mathbf{1038000 \text{ mm}^2}$$

$$f_{ck} = 0,83 \ R_{ck} = (\text{con } R_{ck} = \mathbf{37 \text{ N/mm}^2}) \quad \mathbf{30,71 \text{ N/mm}^2}$$

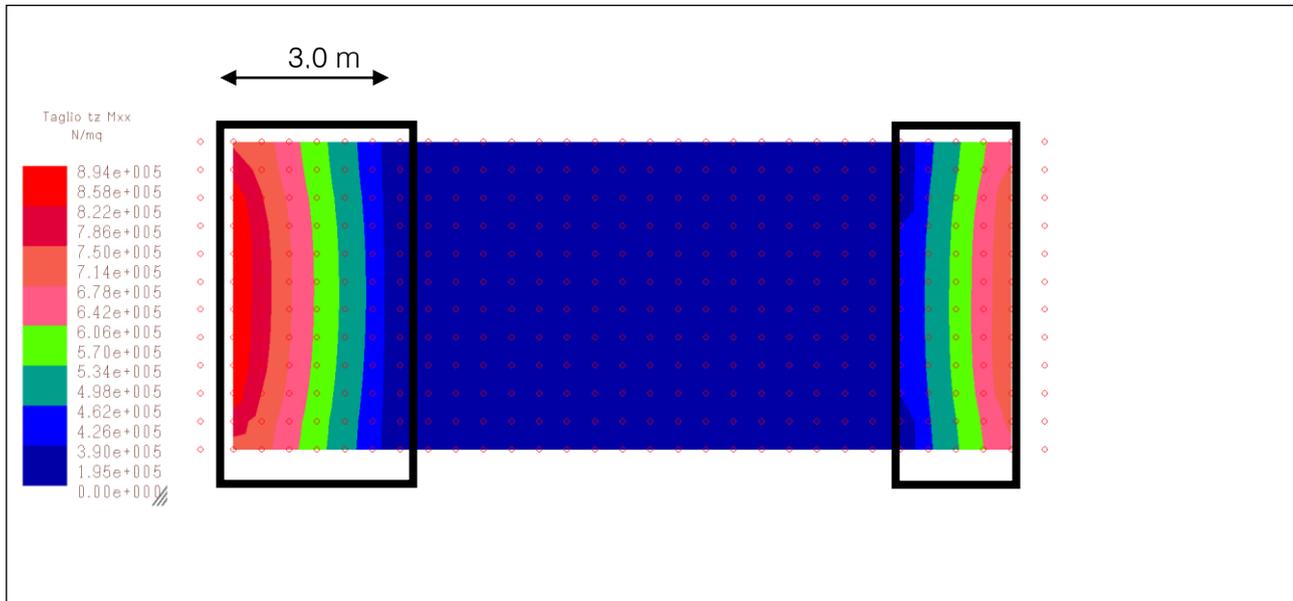
$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \quad \text{rapporto geom armatura longitud} (<=0,02) \quad \mathbf{0,0044 < 0,02}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \quad \text{tensione media compress. ( <=0,2 } f_{cd}) \quad \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$$

$$N_{Ed} = \text{compressione sulla sezione} \quad \mathbf{0 \text{ N}}$$

Riportando il taglio resistente ad un valore di tensione per unità di superficie

$$V_{rd}' = 425556 / (1,1 \times 1) = \mathbf{386869 \text{ N/mq}}$$



Nel diagramma qui sopra riportato si rappresenta in blu scuro le zone con taglio sollecitante inferiore al taglio resistente per strutture non armate a taglio; calibrando per simmetria le armature integrative a taglio sul lato più sfavorevole, si osserva che saranno necessarie armature integrative dallo spigolo della spalla per 3,0 metri verso il centro del manufatto

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

Nelle zone ove il taglio supera tale valore si predisporranno dei ferri di collegamento verticali fi 12 con maglia **300 x 300** e **300 x 500** a riprendere il TAGLIO :

#### NTC 4.1.2.1.3.2      Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con :

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot (A_{sw} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \sin \alpha \quad 1364382 \text{ N}$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con :

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad 3530512 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd}) \quad \text{resistenza a taglio} \quad \mathbf{1364382 \text{ N}}$$

$$H = \text{altezza della sezione} \quad 1100 \text{ mm}$$

$$c = \text{copriferro} \quad 50 \text{ mm}$$

$$d = H - c - \phi/2 \quad \text{altezza utile sezione} \quad 1038 \text{ mm}$$

$$b_w = \text{larghezza membratura resistente a taglio} \quad 1000 \text{ mm}$$

$$A_c = b_w \cdot d \quad \text{area calcestruzzo} \quad 1038000 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ed} = \text{compressione sulla sezione} \quad 1337000 \text{ N}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \quad \text{tensione media compress.} \quad 1,288 \text{ N/mm}^2$$

$$0,000 \quad 0,064 \quad 5,12 \quad 10,237 \quad 20,473$$

$$0,25 f_{cd} \quad 0,5 f_{cd} \quad f_{cd}$$

$$\alpha_c = \text{coeffic. Maggiorativo} \quad 1,062914$$

$$1 \quad \text{per membrature non compresse}$$

$$1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1,062914 \quad \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

1,25 per  $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$

$2,5(1 - \sigma_{cp} / f_{cd}) =$  per  $0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq f_{cd}$

**A<sub>sw</sub> =** staffe  $\Phi 12$  **3,33 bracci**  
 area armatura trasversale  $A_{sw} =$  377 mmq  
 $f_{yd} =$   $f_{y,k} / \gamma_s =$  450 / 1,15 = 391 N/mm<sup>2</sup>  
**s =** passo staffe o ferri piegati **300 mm**  
 $\alpha =$  inclinaz. armatura trasversale risp. Asse 90 °  
 $f'_{cd} =$   $0,5 R_{cd} / \gamma_c =$  (con  $R_{ck} =$  37 N/mm<sup>2</sup>) 10,24 N/mm<sup>2</sup>  
 $\theta =$  22 ° inclinaz. del traliccio compresso  $\text{ctg } \theta =$  **2,5**

Riportando il taglio resistente ad un valore di tensione per unità di superficie

$$V_{rd}' = 1364382 / (1,1 \times 1) = 1240347 \text{ N/mq}$$

#### 7.4 MURO DI SPALLA – VERIFICA SLU

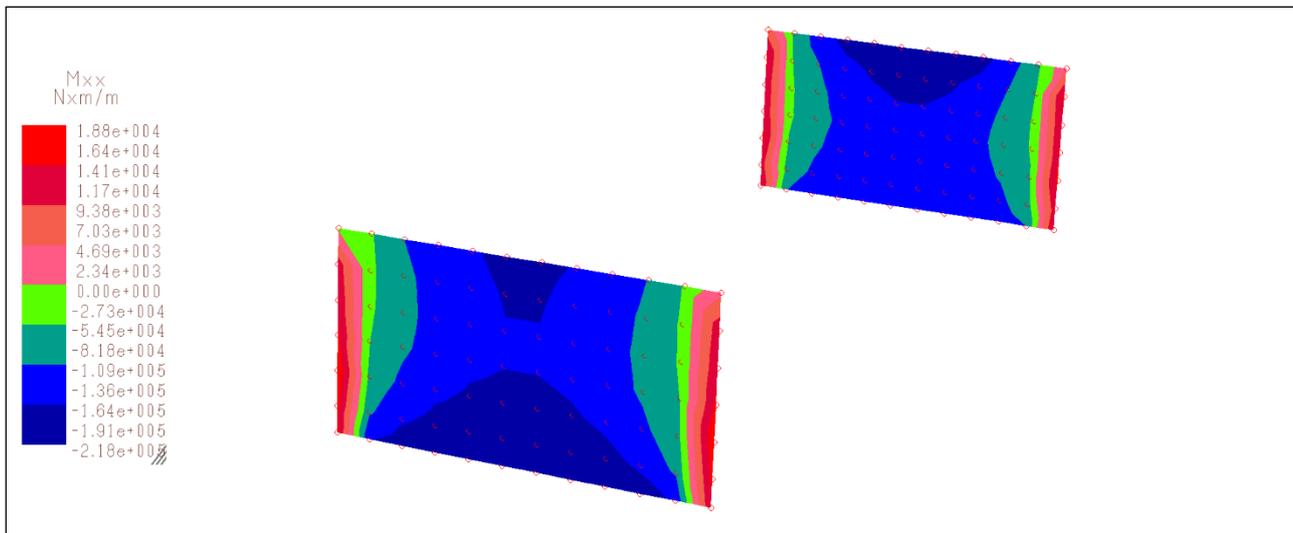


Figura 28 - Momento flettente per unità di lunghezza Mxx [Nm/m] – involucro

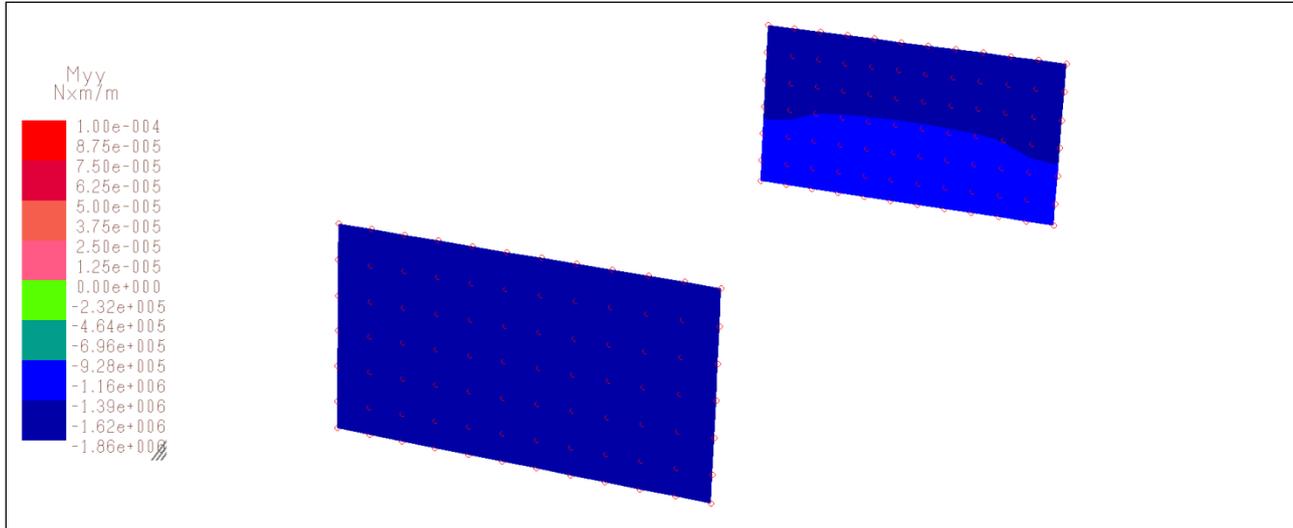


Figura 29 - Momento flettente per unità di lunghezza Myy [Nm/m] – involucro

Valori massimi :

M+ : massimo momento positivo Mxx

1880 Nm/m (CC22)

M- : massimo momento negativo Mxx

-21800 Nm/m (CC22)

M+ : massimo momento positivo Myy

1000 Nm/m (CC26)

M- : massimo momento negativo Myy

-1860000 Nm/m (CC26)

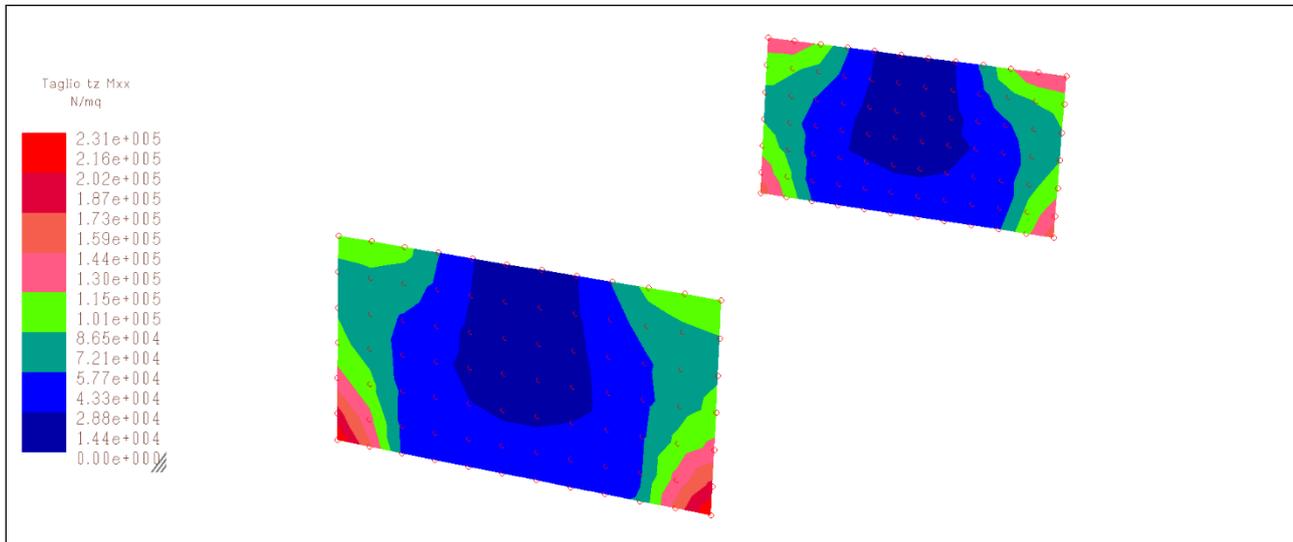


Figura 30 - Taglio Tz (relativo a Mxx) per unità di lunghezza [N/mq] – inviluppo

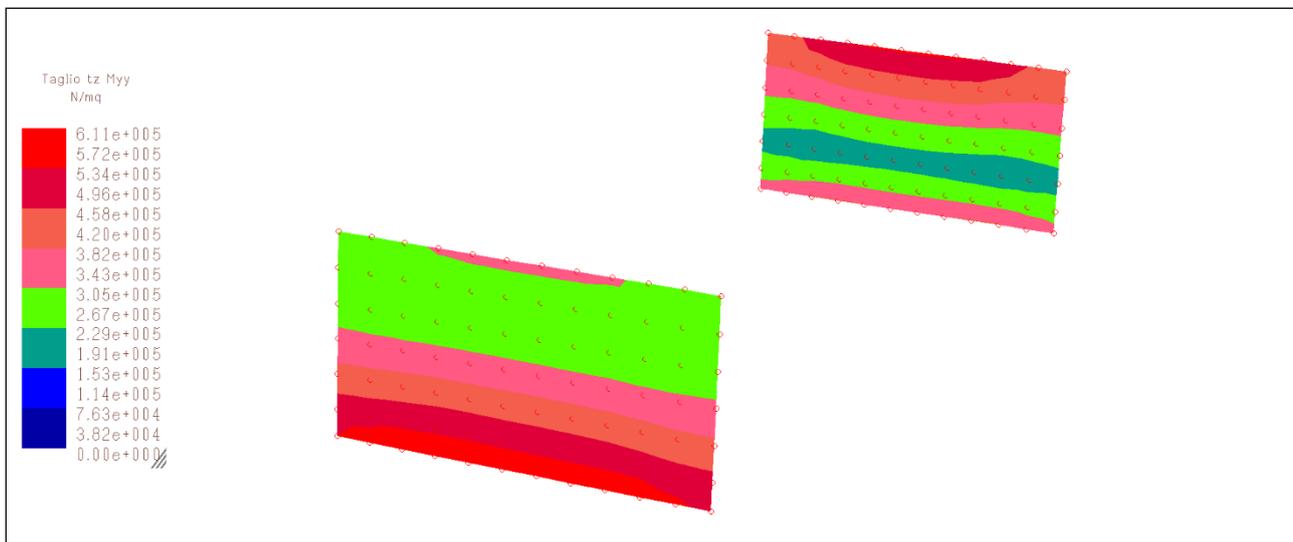


Figura 31 - Taglio Tz (relativo a Myy) per unità di lunghezza [N/mq] – inviluppo

Valori massimi :

T : massimo taglio relativo a Mxx = 23100 x (1 x 1) =

23100 N/m (CC22)

T : massimo taglio relativo a Myy = 61100 x (1 x 1) =

61100 N/m (CC26)

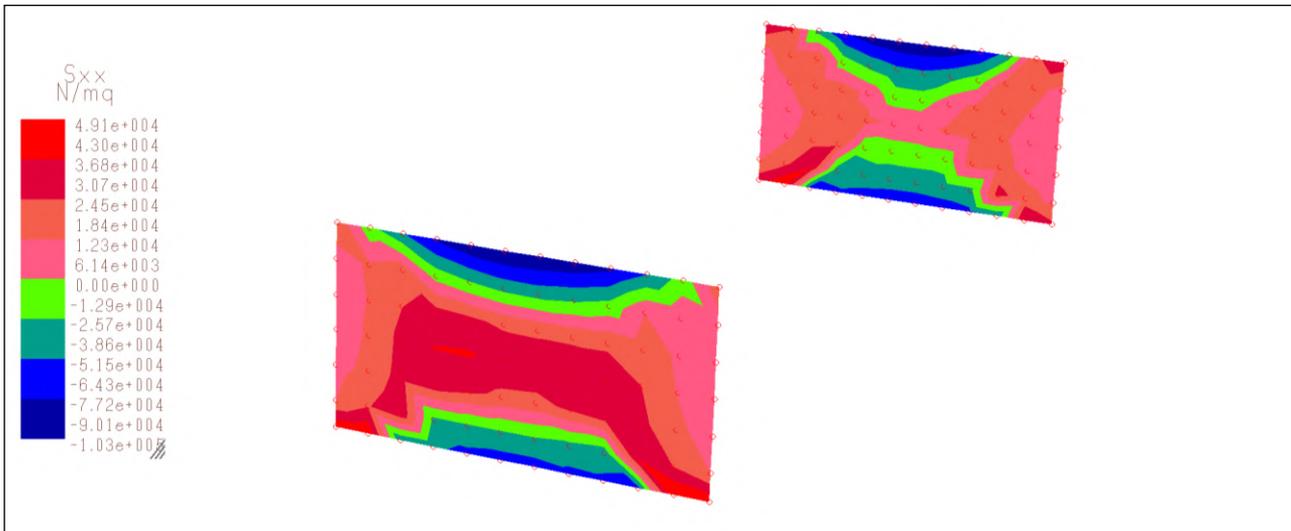


Figura 32 – Tensione membranale  $S_{xx}$  orizzontale per unità di lunghezza  $[N/mq]$  – involucro

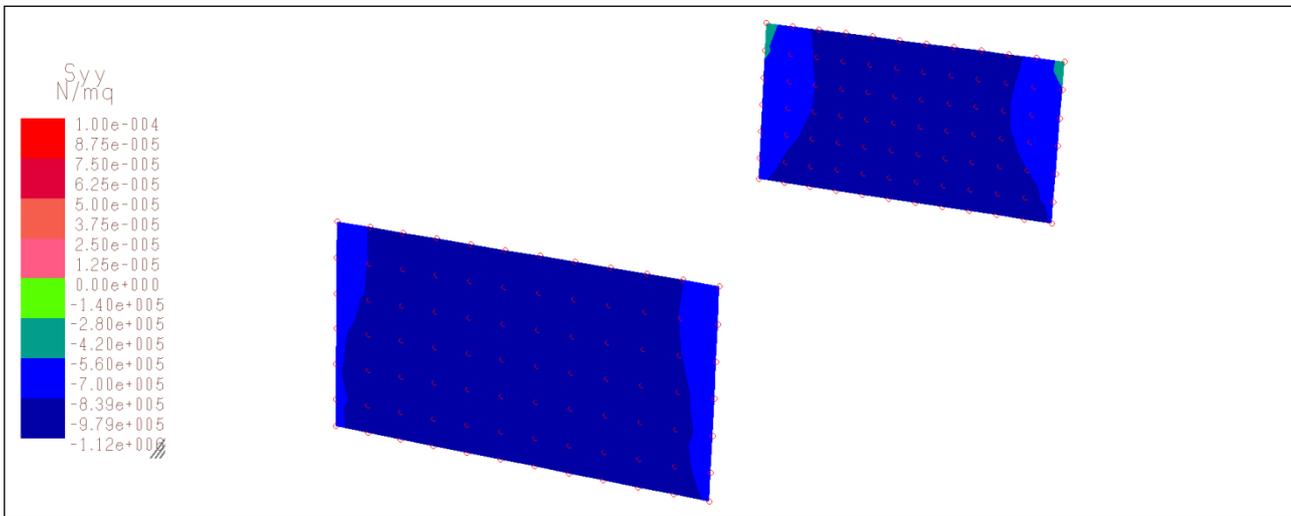


Figura 33 – Tensione membranale  $S_{yy}$  verticale per unità di lunghezza  $[N/mq]$  – involucro

Valori massimi :

$N_x$  : massimo compressione longitudinale =  $4910 \times (1 \times 1) = 4910 \text{ N/m}$  (CC6)

$N_y$  : massimo compressione trasversale =  $-1120000 \times (1 \times 1) = -1120000 \text{ N/m}$  (CC22)

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

### Verifica a flessione spalla

Si verifica analiticamente la peggior condizione

### Dominio di resistenza a pressoflessione sezione in CA agli SLU

#### Acciaio

$$f_{sd} = f_{yk} / \gamma_m = f_{yk} / 1,15 = 391 \text{ N/mm}^2$$

#### B450C

#### Calcestruzzo

$$f_{cd} = 0,83 R_{ck} / \gamma_m = 0,83 R_{ck} / 1,5 = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

#### Rck37

$$0,85 f_{cd} = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 10 \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad b = \text{base} \quad 100$$

$$A's = 10 \Phi 24 \quad 45,24 \text{ cm}^2 \quad H = \text{altezza} \quad 100$$

$$d = H - d - \phi/2 = 92 \text{ cm} \quad d' = \text{copriferro} \quad 6,8 \text{ cm}$$

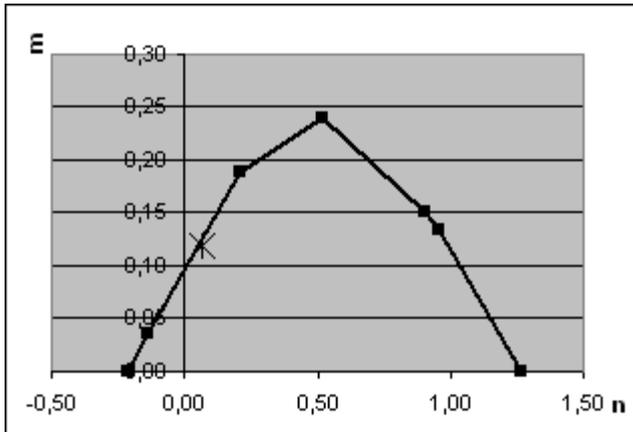
### Coefficienti adimensionali

$$\rho = A_s / (b d) = 0,49\% \quad \rho' = A's / (b d) = 0,49\%$$

$$\alpha_d = f_{sd} / (0,85 f_{cd}) = 22,49 \quad \delta' = d' / d = 0,074$$

$$\omega = \rho \alpha_d = 0,111 \quad \omega' = \rho' \alpha_d = 0,111$$

|          |               |               |                 |              |              |              |              |
|----------|---------------|---------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|          | 0             | 1-2           | 2-3             | 3-4          | 4-5          | 5-6          | 6            |
| <b>n</b> | <b>-0,221</b> | <b>-0,154</b> | <b>0,207</b>    | <b>0,519</b> | <b>0,911</b> | <b>0,984</b> | <b>1,295</b> |
| <b>m</b> | <b>0,000</b>  | <b>0,031</b>  | <b>0,192256</b> | <b>0,246</b> | <b>0,161</b> | <b>0,137</b> | <b>0,000</b> |



### Sollecitazioni

$$N = 1120000 \text{ N}$$

$$n = N / (b d 0,85f_{dc}) =$$

$$n = 0,07$$

$$M = 1860000 \text{ Nm}$$

$$m = M / (b d^2 0,85f_{dc}) =$$

$$m = 0,13$$

Sollecitazioni agenti

Sforzo normale N =

-1120000 N

Momento flettente Mz =

1860000 Nm

Sollecitazioni resistenti di calcolo

Sforzo normale N =

-1333310 N

Momento flettente Mz =

2142630 Nm

Indice di resistenza a flessione  $i = MRd / Msd = 0,84 < 1$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

Si predisporranno dei ferri di collegamento orizzontali  $f_i$  12 con maglia **300 x 300** a riprendere il TAGLIO :

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con :

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot (A_{sw} / s) \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \sin \alpha \quad 1006725 \text{ N}$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con :

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad 2954453 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) \quad \text{resistenza a taglio} \quad \mathbf{1006725 \text{ N}}$$

$$H = \text{altezza della sezione} \quad 1000 \text{ mm}$$

$$c = \text{copriferro} \quad 68 \text{ mm}$$

$$d = H - c - \phi / 2 \quad \text{altezza utile sezione} \quad 920 \text{ mm}$$

$$b_w = \text{larghezza membratura resistente a taglio} \quad 1000 \text{ mm}$$

$$A_c = b_w \cdot d \quad \text{area calcestruzzo} \quad 920000 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ed} = \text{compressione sulla sezione} \quad 67210 \text{ N}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \quad \text{tensione media compress.} \quad 0,073 \text{ N/mm}^2$$

$$0,000 \quad 0,071 \quad 5,12 \quad 10,237 \quad 20,473$$

$$0,25 f_{cd} \quad 0,5 f_{cd} \quad f_{cd}$$

$$\alpha_c = \text{coeffic. Maggiorativo} \quad 1,003568$$

$$1 \quad \text{per membrature non compresse}$$

$$1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1,003568 \quad \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$$

$$1,25 \quad \text{per } 0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$$

$$2,5(1 - \sigma_{cp} / f_{cd}) = \quad \text{per } 0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq f_{cd}$$

|                         |   |                                   |                        |                         |
|-------------------------|---|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>A<sub>sw</sub> =</b> | <b>staffe</b>                             | <b>Φ12</b>                        | <b>3,33 bracci</b>     |                         |
|                         | area armatura trasversale                 |                                   | A <sub>sw</sub> =      | 377 mmq                 |
| f <sub>yd</sub> =       | f <sub>y,k</sub> / γ <sub>s</sub> =       | 450 /                             | 1,15 =                 | 391 N/mm <sup>2</sup>   |
| <b>s =</b>              | <b>passo staffe o ferri piegati</b>       |                                   |                        | <b>300 mm</b>           |
| α =                     | inclinaz. armatura trasversale risp. Asse |                                   |                        | 90 °                    |
| f' <sub>cd</sub> =      | 0,5 R <sub>cd</sub> / γ <sub>c</sub> =    | (con R <sub>ck</sub> =            | 37 N/mm <sup>2</sup> ) | 10,24 N/mm <sup>2</sup> |
| θ =                     | 22 °                                      | inclinaz. del traliccio compresso | ctg θ =                | <b>2,5</b>              |

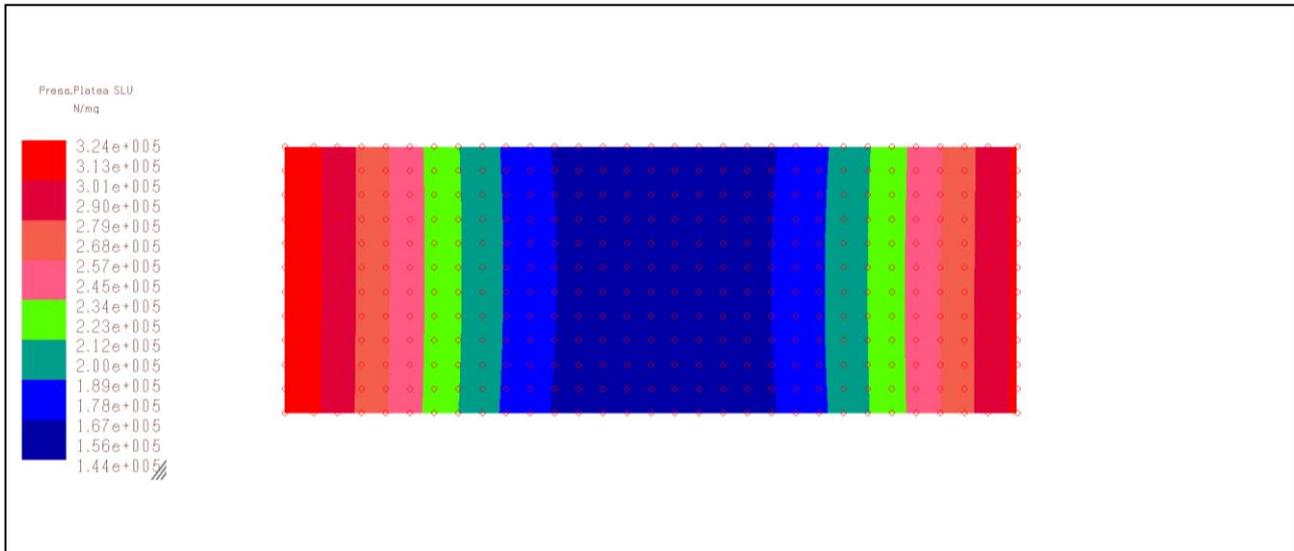
Riportando il taglio resistente ad un valore di tensione per unità di superficie

$$V_{rd}' = 1006725 (1,0 \times 1) =$$

$$915204 \text{ N/mq}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

### 7.5 VERIFICHE CARICO LIMITE INSIEME FONDAZIONE TERRENO (SLU GEO)



La pressione massima sul terreno agli SLU GEO , (approccio 2 – combinazione A1 – M1 – R3), è pari a

$$p = 324000 \text{ N/mq} = 3,24 \text{ daN/cmq} = 0,324 \text{ N/mmq}$$

La pressione è ampiamente inferiore alla pressione limite per il tipo di terreno, ridotta con coefficiente R3=2,3

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

## 7.6 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE - SLE

### “5.1.4.4 Verifiche allo stato limite di fessurazione”

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture viene prefissato uno stato limite di fessurazione, commisurato alle condizioni ambientali e di sollecitazione, nonché alla sensibilità delle armature alla corrosione.

*Strutture in calcestruzzo armato ordinario.* Per le strutture in calcestruzzo armato ordinario, devono essere rispettate le limitazioni di cui alla Tab. 4.1.VI per armatura poco sensibile.”

Classe di esposizione del manufatto

**XA1**

Condizioni ambientali (dedotte dal tabella 4.1.III)

**Aggressive**

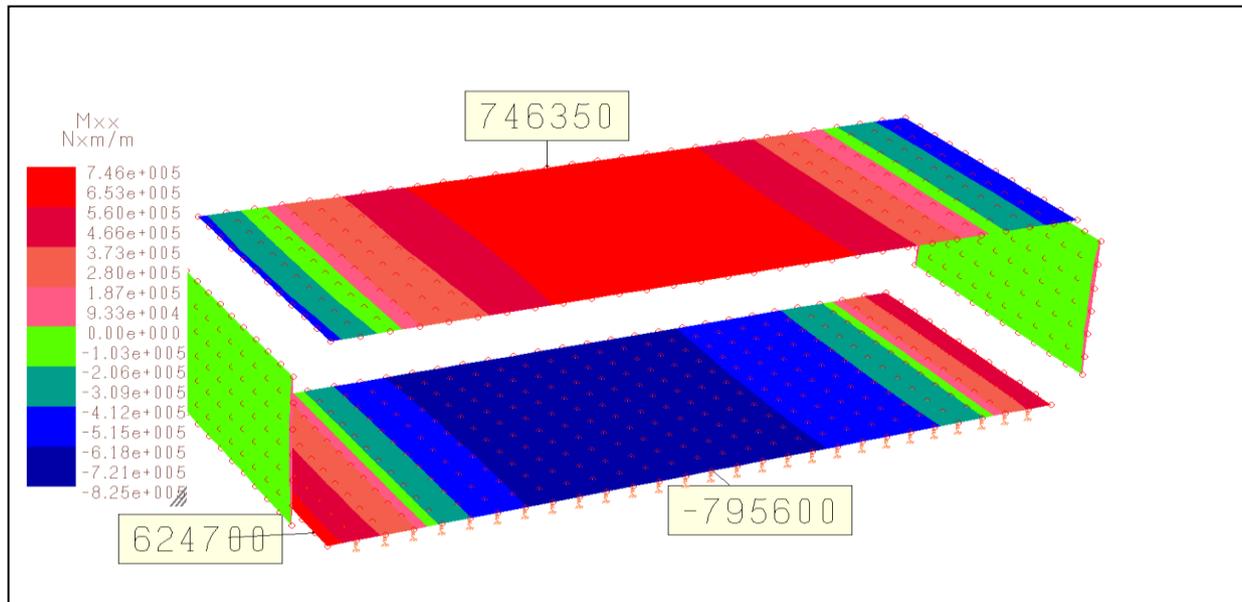
Sensibilità delle armature (acciai ordinari)

**Poco sensibili**

Dalla tabella 4.1.IV, per condizioni ambientali aggressive e armature poco sensibili si ottengono i seguenti vincoli : (i valori di riferimento NTC sono stati ridotti secondo le indicazioni 1.8.3.2.1. della specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A)

- in combinazione **rara**

**$w_d$  (ap. fessure)  $\leq w_1 = 0,2$  mm**



Combinazione rara – Momento flettente principale [Nm]

**Verifica della soletta inferiore maggiormente sollecitata**

**7.3.4. Calcolo dell'ampiezza delle fessure**

NTC C.4.1.2.2.4.

L'ampiezza delle fessure,  $w_k$ , può essere ottenuta con l'espressione (7.8):

$$w_d = s_{r,max} (\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m}) = 31 \cdot 0,00056 = 0,02 \text{ cm} = 0,174 \text{ mm}$$

$s_{r,max}$  = distanza massima tra le fessure

$\epsilon_{s,m}$  = deformazione media armatura (compreso "tension stiffening")

$\epsilon_{c,m}$  = deformazione media del calcestruzzo tra le fessure.

$$\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$(\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m}) = \frac{[183 - 0,6 (2,94 / 0,03) (1 + 6,06 \cdot 0,03)]}{200000} = 0,00056$$

$$> 0,6 \sigma_s / E_s = 0,00055 \quad \text{adotto } (\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m}) = 0,000561$$

$\sigma_{s,m}$  = tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata 183 N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$   $R_{ck} = 37$  6,06

$f_{cm} = 0,83 R_{ck} + 8 = 38,71 \text{ N/mm}^2$

$$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0,3} = 33019 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = \text{valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure} = 2,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\xi = \text{rapporto modificato della resistenza per aderenza che tiene conto dei diversi diametri dell'acciaio da precompressione e di quello ordinario} = 0,84$$

$$k_t = \text{carichi di breve durata} = 0,6$$

$$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi^2 A_p') / A_{c,eff} = 0,02919$$

$$A_s = \text{area delle armature di acciaio tese} = 45,24 \text{ cm}^2$$

$$A_p' = \text{area delle armature di precompressione} = 0 \text{ cm}^2$$

$$A_{c,eff} = \text{è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura ordinaria o a quella di precompressione di altezza, } h_{c,ef}, \text{ dove } h_{c,ef}$$

è il minore tra  $2,5 (h - d)$ ,  $(h - x) / 3$  o  $h / 2$  (vedere figura 7.1)

$$\left. \begin{aligned} 2,5 (h - d) &= 2,5 (110 - 103,8) = 15,50 \text{ cm} \\ (h - x) / 3 &= (110 - 27,181) / 3 = 27,61 \text{ cm} \text{ min } 15,50 \\ h / 2 &= 55 \text{ cm} \end{aligned} \right\}$$

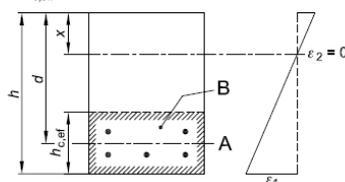
**Area tesa efficace (casi tipici)**

Legenda

a) Trave

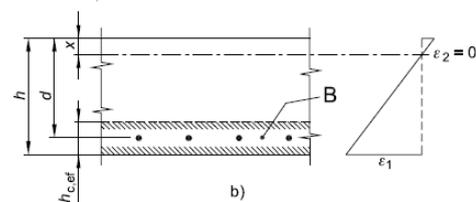
A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace,  $A_{c,eff}$



b) Piastra

B Area tesa efficace,  $A_{c,eff}$



Distanza massima tra le fessure

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 \quad 5 + \quad 0,8 \quad 0,5 \quad 0,425 \quad 2,4 / 0,0292 = 31 \text{ cm}$$

$$k_1 = \text{barre ad aderenza migliorata} = 0,8$$

$$k_2 = \text{flessione} = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$c = \text{copriferro} = 5 \text{ cm}$$

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

$\phi =$  diametro barre di armatura 24 mm

Calcolo parametri geometrici e di tensione della sezione fessurata

Adotto

|          |                                  |       |    |
|----------|----------------------------------|-------|----|
| B =      | Base                             | 100   | cm |
| h =      | Altezza                          | 110   | cm |
| c = h1 = | Copriferro                       | 5     | cm |
| d =      | H - c - $\phi/2 =$ altezza utile | 103,8 | cm |

As : 10  $\Phi 24$  + 0  $\Phi 14$  = 45,24 cm<sup>2</sup>

A's : 10  $\Phi 24$  + 0  $\Phi 16$  = 45,24 cm<sup>2</sup>

y =  $n (As+A's)/B [-1+\sqrt{1+[(2 \cdot B (As \cdot d+A's \cdot h1))/(n(As+A's)^2)]}] =$  27,18 cm  
 Jc =  $B y^3/3 + n \cdot As (d - y)^2 + n \cdot A'a (y - h1)^2$  4986853 cm<sup>4</sup>

M = momento allo stato limite di fessurazione 795600 Nm

*Tensioni acciaio*

$\sigma_a =$  n . (M / Jc) (d - y) lembo teso 183 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma'_a =$  n . (M / Jc) (y - h') lembo compresso 53 N/mm<sup>2</sup>

*Tensioni calcestruzzo*

$\sigma_c =$  (M / Jc) y 4,3 N/mm<sup>2</sup>

**Verifica del la spalla maggiormente sollecitata**

7.3.4. Calcolo dell'ampiezza delle fessure NTC C.4.1.2.2.4.

L'ampiezza delle fessure, wk, può essere ottenuta con l'espressione (7.8):

$w_d = s_{r,max} (\epsilon_{s,m} - \epsilon_{c,m}) = 41 \cdot 0,00050 = 0,02$  cm  
 0,20 mm

$s_{r,max} =$  distanza massima tra le fessure

$\epsilon_{s,m} =$  deformazione media armatura (compreso "tension stiffening")

$\epsilon_{c,m} =$  deformazione media del calcestruzzo tra le fessure.

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$(\varepsilon_{s,m} - \varepsilon_{c,m}) = [166 - 0,6 (2,94 / 0,02) (1 + 6,06 \cdot 0,02)] / 200000 = 0,00039$$

$$< 0,6 \sigma_s / E_s = 0,000498 \quad \text{adotto} \quad (\varepsilon_{s,m} - \varepsilon_{c,m}) = 0,000498$$

$\sigma_{s,m}$  = tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata 166 N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_e$  =  $E_s / E_{cm}$   $R_{ck} =$  37 6,06

$f_{cm}$  =  $0,83 R_{ck} + 8 =$  38,71 N/mm<sup>2</sup>

$E_{cm}$  =  $22000 (f_{cm}/10)^{0,3} =$  33019 N/mm<sup>2</sup>

$E_s$  = 200000 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  = valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure 2,94 N/mm<sup>2</sup>

$\xi$  = rapporto modificato della resistenza per aderenza che tiene conto dei diversi diametri dell'acciaio da precompressione e di quello ordinario 0,84

$k_t$  = carichi di breve durata 0,6

$\rho_{p,eff}$  =  $(A_s + \xi^2 A_p') / A_{c,eff}$  0,02262

$A_s$  = area delle armature di acciaio tese 45,24 cm<sup>2</sup>

$A_p'$  = area delle armature di precompressione 0 cm<sup>2</sup>

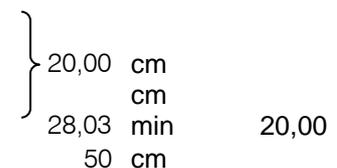
$A_{c,eff}$  = è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura ordinaria o a quella di precompressione di altezza,  $h_{c,ef}$ , dove  $h_{c,ef}$

è il minore tra  $2,5 (h - d)$ ,  $(h - x) / 3$  o  $h / 2$  (vedere figura 7.1)

$$2,5 (h-d) = 2,5 (100 - 92) =$$

$$(h-x)/3 = (100 - 15,9) / 3 =$$

$$h/2 =$$



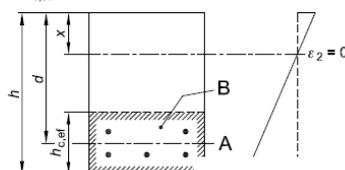
**Area tesa efficace (casi tipici)**

**Legenda**

a) Trave

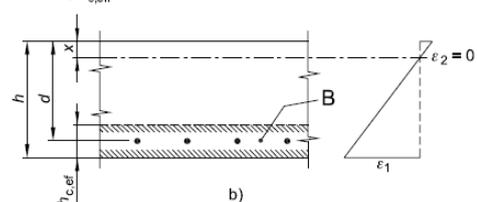
A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace,  $A_{c,eff}$



b) Piastra

B Area tesa efficace,  $A_{c,eff}$



$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

Distanza massima tra le

fessure:

$$s_{r,max} = 3,4 \quad 6,8 + \quad 0,8 \quad 0,5 \quad 0,425 \quad 2,4 / \quad 0,0226 = 41 \text{ cm}$$

$$k_1 = \text{barre ad aderenza migliorata} \quad 0,8$$

$$k_2 = \text{flessione} \quad 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$c = \text{copriferro} \quad 6,8 \text{ cm}$$

$$\phi = \text{diametro barre di armatura} \quad 24 \text{ mm}$$

Calcolo parametri geometrici e di tensione della sezione fessurata

Adotto

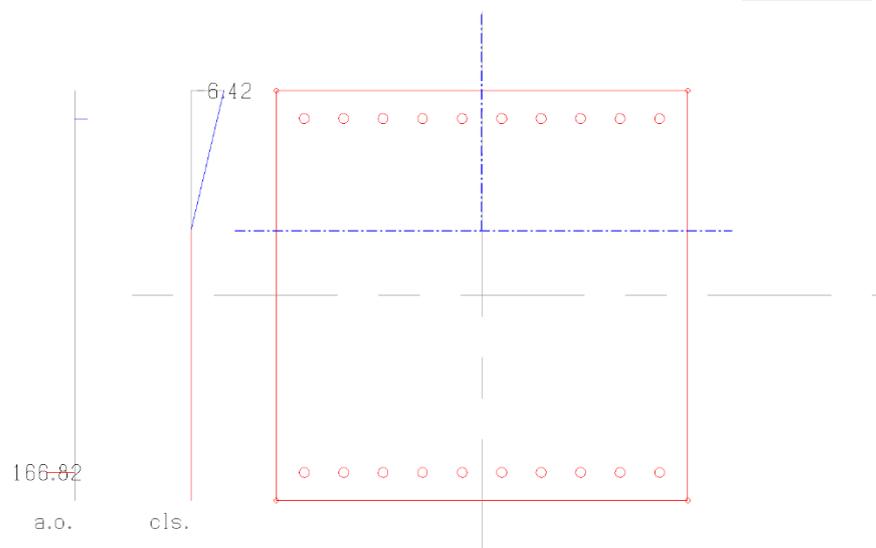
|                 |                                  |     |    |
|-----------------|----------------------------------|-----|----|
| <b>B</b> =      | Base                             | 100 | cm |
| <b>h</b> =      | Altezza                          | 100 | cm |
| <b>c = h1</b> = | Copriferro 5+1,8                 | 6,8 | cm |
| <b>d</b> =      | H - c - $\phi/2$ = altezza utile | 92  | cm |

$$A_s : 10 \quad \Phi 24 \quad + \quad 0 \quad \Phi 20 \quad = \quad 45,24 \text{ cm}^2$$

$$A's : 10 \quad \Phi 24 \quad + \quad 0 \quad \Phi 16 \quad = \quad 45,24 \text{ cm}^2$$

$$M = \text{momento allo stato limite di fessurazione} \quad 900000 \text{ Nm}$$

$$N = \text{compressione allo stato di fessurazione} \quad -690000 \text{ N}$$



$$y = \text{asse neutro} \quad 15,9 \text{ cm}$$

Tensioni acciaio

|  |  |                         |                    |                            |                                  |                  |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>RIASSETTO NODO DI BARI</b><br><b>TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE</b><br>Canale idraulico e strade di ricucitura |                         |                    |                            |                                  |                  |
|  | OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO<br>Relazione di calcolo scatolare   | COMMESSA<br><b>IA1U</b> | LOTTO<br><b>03</b> | CODIFICA<br><b>E 78 CL</b> | DOCUMENTO<br><b>NI 02 00 301</b> | REV.<br><b>A</b> |

|                              |                 |             |
|------------------------------|-----------------|-------------|
| $\sigma_a =$                 | lembo teso      | 166 N/mmq   |
| $\sigma_a =$                 | lembo compresso | -77 N/mmq   |
| <i>Tensioni calcestruzzo</i> |                 |             |
| $\sigma_c =$                 |                 | -6,42 N/mmq |

## 7.7 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE - SLE

### 4.1.2.2.5 Verifica delle tensioni di esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati. (i valori di riferimento NTC sono stati ridotti secono le indicazioni 1.8.3.2.1. della specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A)

#### 4.1.2.2.5.1 Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$  deve rispettare la limitazione seguente:

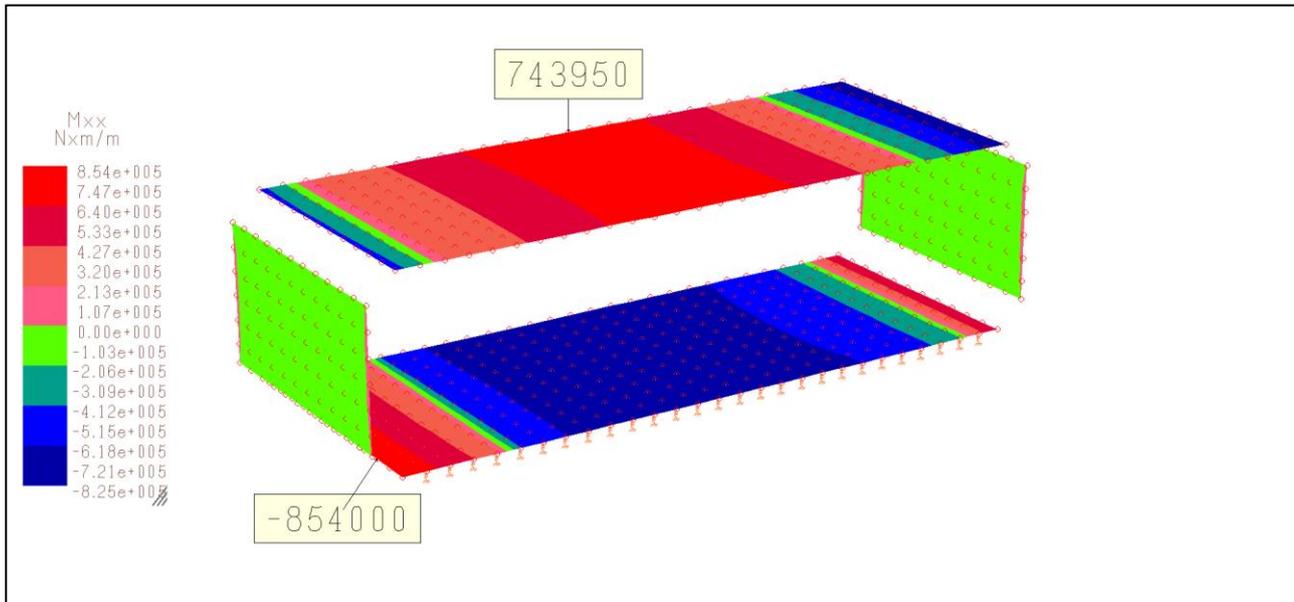
$$\sigma_c < 0,55 f_{ck} = 0,55 \times 30,7 = 16,88 \text{ N/mmq per combinazione caratteristica rara.}$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 30,7 = 13,81 \text{ N/mmq per combinazione quasi permanente.}$$

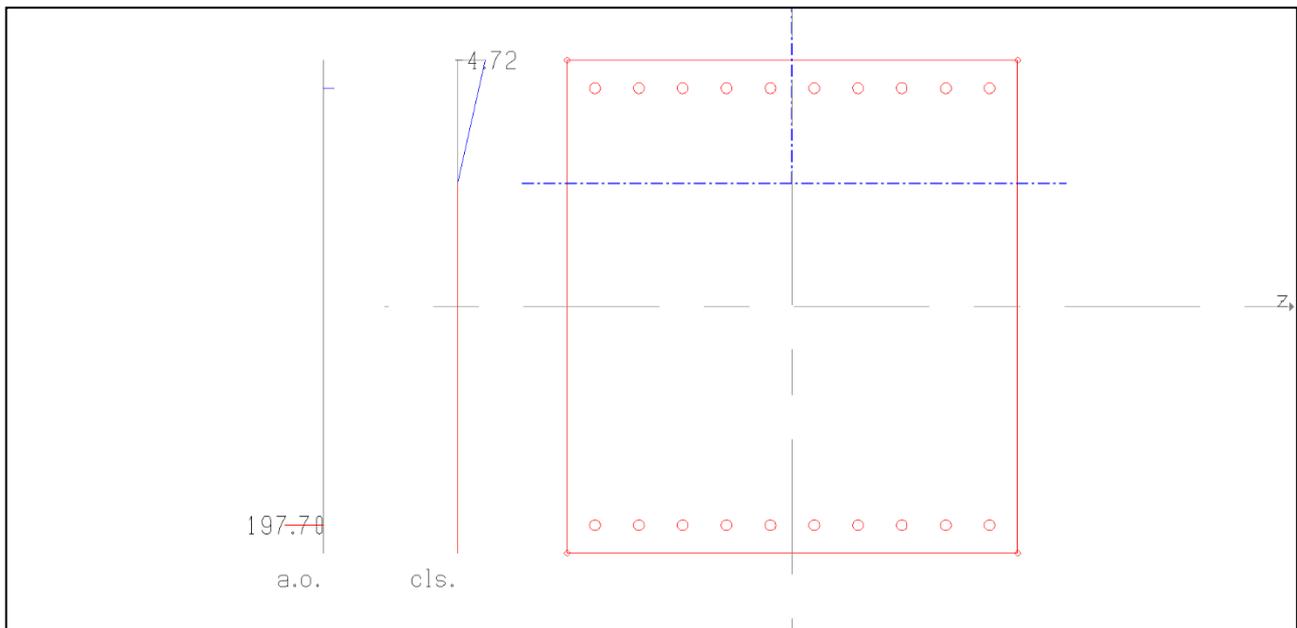
#### 4.1.2.2.5.2 Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. 11, la tensione massima,  $\sigma_s$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 0,75 \times 450 = 337 \text{ N/mmq}$$

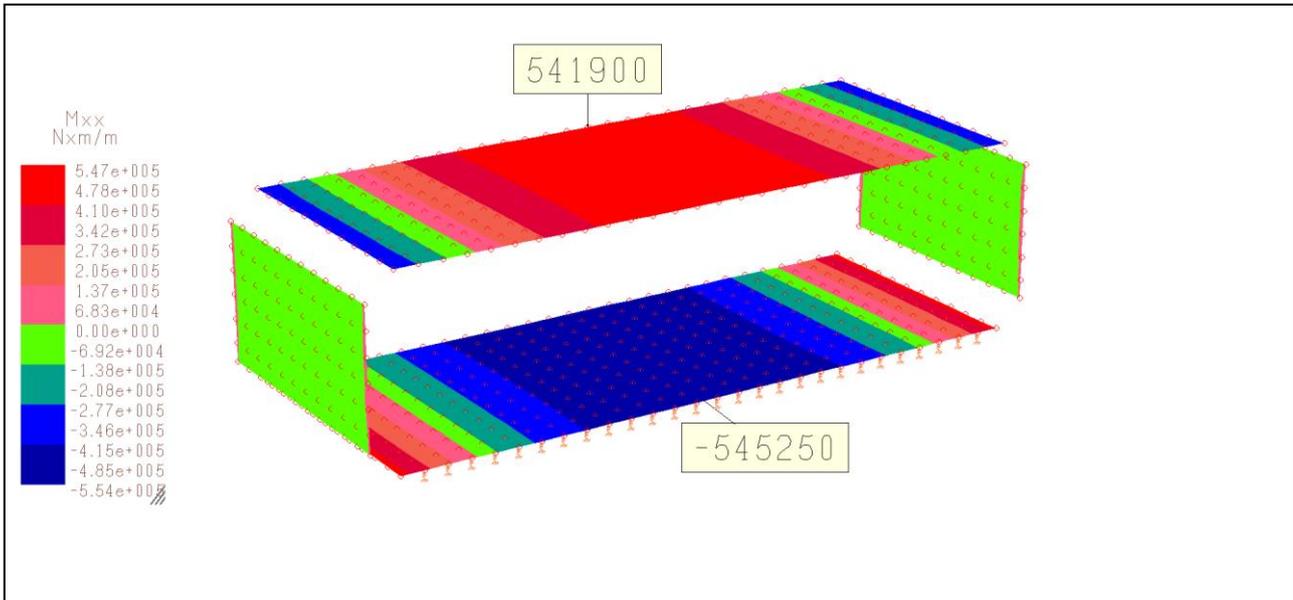


Combinazione rara – Momento flettente principale [Nm]

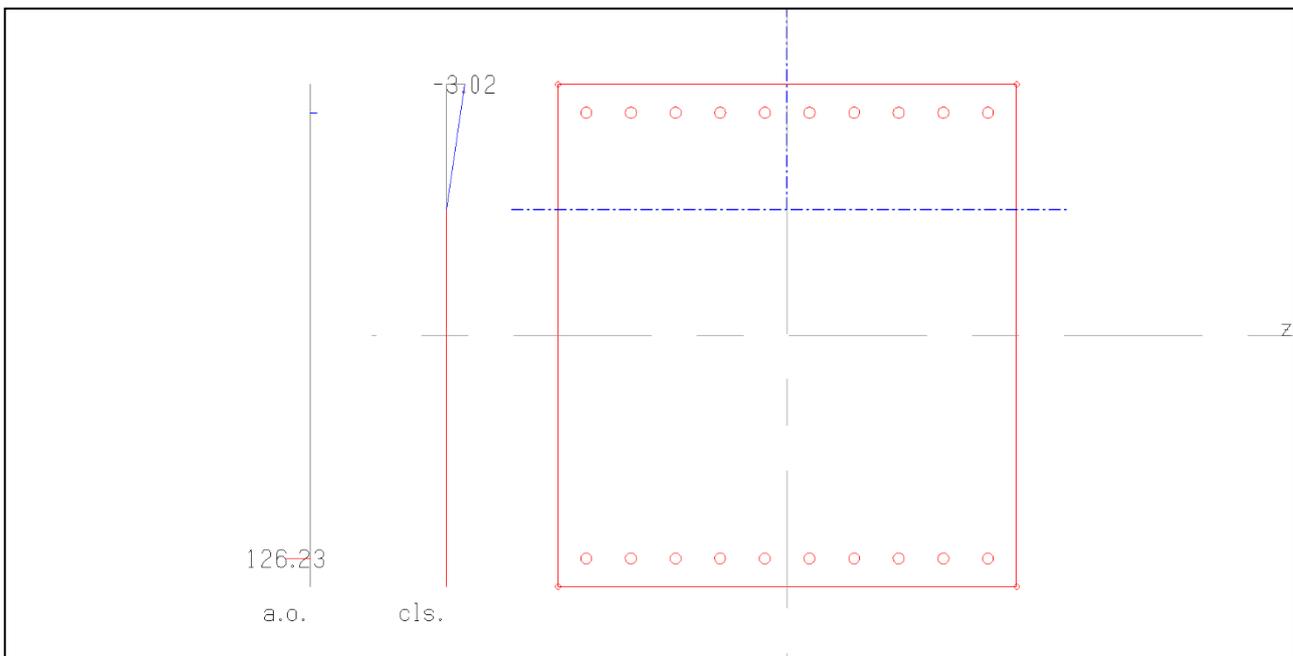


La tensione sul calcestruzzo è inferiore a  $0,55 f_{ck} = 0,55 \times 30,7 = 16,88 \text{ N/mm}^2$

La tensione sull'acciaio è inferiore a  $0,75 f_{yk} = 0,75 \times 450 = 337 \text{ N/mm}^2$



Combinazione quasi permanente – Momento flettente principale [Nm]

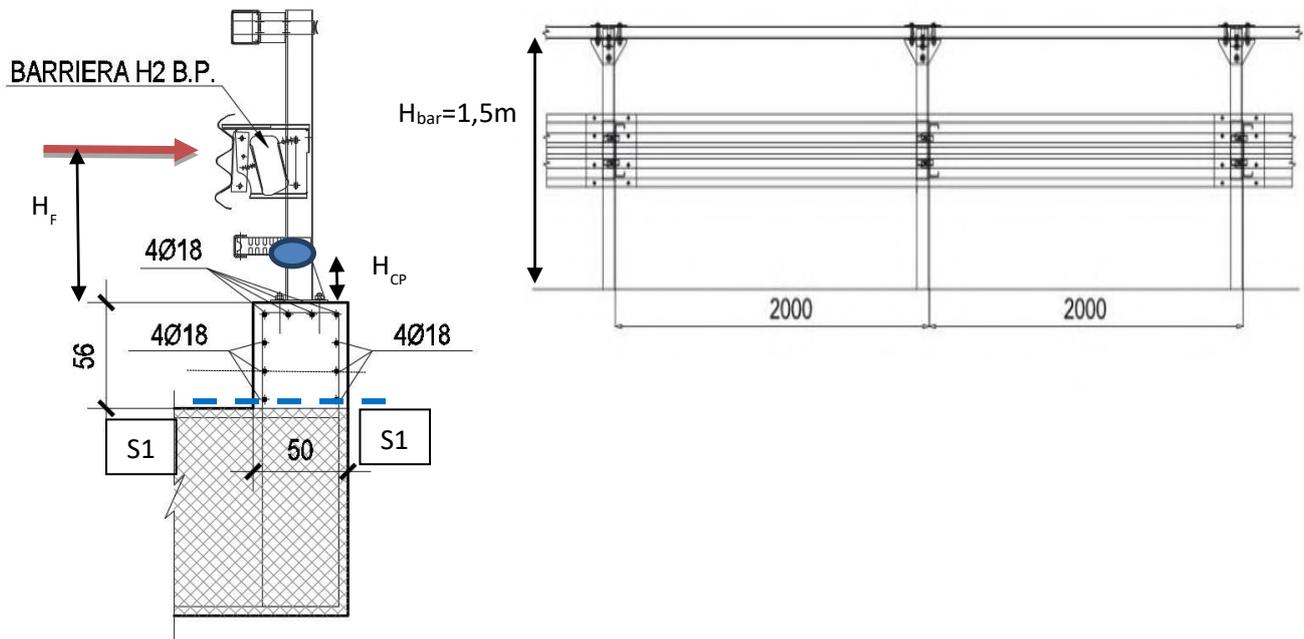


La tensione sul calcestruzzo è inferiore a  $0,45 f_{ck} = 0,45 \times 30,7 = 13,81 \text{ N/mm}^2$

La tensione sull'acciaio è inferiore a  $0,75 f_{yk} = 0,75 \times 450 = 337 \text{ N/mm}^2$

## 7.8 VERIFICA CORDOLO BARRIERA DI SICUREZZA H2

Si esegue la verifica del cordolo per una barriera di sicurezza bordo ponte di classe H2, installato mediante piastra di base e ancoraggi. Il cordolo è armato con ferri correnti  $\phi 18$  e staffe  $\phi 18 / 20$  cm, di seguito si riporta la verifica:



$$H_{CP} = \text{altezza della cerniera plastica} = 50 \text{ mm}$$

$$H_F = \min ( H_{\text{barr}} ; 1 \text{ m} ) = 1000 \text{ mm}$$

### Sezione montante (ipotesi)

profilo U120 x 80 x 6 mm

$W_{pl}$  = momento di resistenza plastico

$$72216 \text{ mm}^3$$

$$M_{px} = f_{yk} W_{pl} = 25878509$$

$$N_{mm} = \mathbf{25878,51b} \text{ Nm} = \mathbf{25,9} \text{ kNm}$$

### Resistenza di snervamento

Il momento di plasticizzazione che stiamo calcolando deve diventare una azione caratteristica, pertanto bisogna passare dal 5° percentile al 95° percentile.

$$f_{yk} = \mathbf{S275JR} \quad 275 \text{ N/mm}^2$$

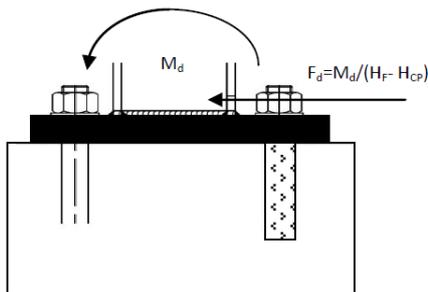
$$\varepsilon = (235 / f_y)^{1/2} = 0,92$$

$$f_{y95\%} = f_{yk} * (1 + 1,645 \delta) / (1 - 1,645 \delta) = 358 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta = \text{acciaio con caratteristiche da S235 a S355} \quad 0,08$$

## Carichi di progetto

Le sollecitazioni derivanti da un urto sono carichi eccezionali e pertanto i coefficienti di sicurezza parziale sono unitari ( NTC'08). Tuttavia si considera un coefficiente parziale  $\gamma_{Qi}$  diverso da 1 in quanto la variabilità della posizione della cerniera plastica non è statisticamente nota.



$$F_d = F_{yk} = \gamma_{Qi} \cdot \frac{M_{yk}}{H_F - H_{CP}}$$

$$M_d = F_d \cdot H_F = \gamma_{Qi} \cdot M_{yk} \frac{H_F}{H_F - H_{CP}}$$

essendo:

$H_F$  = la distanza della forza  $d$  al piano viabile

$H_{CP}$  = la distanza della cerniera plastica del piano viabile

$\gamma_{Qi} = 1 - 1,35$  coefficiente parziale relativo ai carichi

$$F_{ed} = 1,35 * 25878509 / (1000-50) = \mathbf{36775 \text{ N}}$$

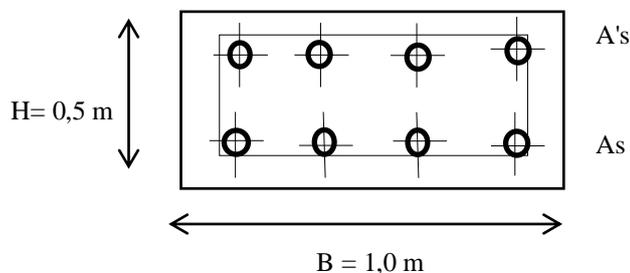
$$M_{ed} = 1,35 * 25878509 [1000/(1000-50)] = 36774723 \text{ Nmm} = \mathbf{36775 \text{ Nm}}$$

## Verifica cordolo in c.a. ( sezione S1 – S1)

Calcolo sollecitazioni

$$T = F_{ed} = \mathbf{36775 \text{ N}}$$

$$M_{s1-s1} = M_{ed} * d = 36775 * 0,56 = \mathbf{20594 \text{ Nm}}$$



## Verifica a momento

### Materiali e geometria

$$f_{sd} = f_{yk} / \gamma_m = f_{yk} / 1,15 = \text{B450C} \quad 391 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = R_{ck37} \cdot 0,83 R_{ck} / \gamma_m = 0,83 R_{ck} / 1,5 = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

$$0,85 f_{cd} = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 4 \Phi 18 \quad 10,18 \text{ cm}^2 \quad b = \text{base} \quad 50 \text{ cm}$$

$$H = \text{altezza} \quad 100 \text{ cm}$$

$$A's = 4 \Phi 18 \quad 10,18 \text{ cm}^2 \quad d' = \text{copriferro} \quad 4 \text{ cm}$$

$$d = H - d = 96 \text{ cm}$$

### Coefficienti adimensionali

$$\rho = A_s / (b d) = 0,21\% \quad \rho' = A's / (b d) = 0,21\%$$

$$\alpha_d = f_{sd} / (0,85 f_{cd}) = 22,49 \quad \omega = \rho \alpha_d = 0,048$$

$$\delta' = d' / d = 0,042 \quad \varepsilon' = 0,000$$

$$\eta = (\rho \alpha_d - \rho' \alpha_d) / 0,8 = 0,000 < \eta_{2-3} = 0,259$$

$$a = -0,800 \quad b = 1,185 \quad c = -0,062$$

$$\eta = x/d = 0,054 \quad \varepsilon' = 0,000 \quad \alpha' = 2,09$$

$$m_u = \rho' \alpha' (0,4 \eta - \delta') + \rho \alpha (1 - 0,4 \eta) = 0,047$$

$$M_{Rdu} = m_u b d^2 (0,85 f_{cd}) = \text{momento ultimo} \quad 373386 \text{ Nm}$$

$$M_{Sdu} = \text{momento sollecitante SLU} \quad 20594 \text{ Nm}$$

indice di resistenza

$$M_{Sdu}/M_{Rdu} = 20594 / 373386 = 0,06$$

## Verifica a taglio

### NTC 4.1.2.1.3.1

### Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

|          |   |                    |
|----------|---|--------------------|
| $V_{Rd}$ | > | $V_{Ed}$           |
| 190715 N | > | 36775 N verificato |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| $V_{Ed} / V_{Rd}$ | < 1 |
| 0,19              | < 1 |

$$V_{Ed} = \text{taglio sollecitante allo stato limite ultimo} \quad 36775 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad 190715 \text{ N}$$

$$\geq (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 190715 \text{ N}$$

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} < 2 \quad 1,66$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad 0,41$$

|                   |  |  |                         |
|-------------------|--|--|-------------------------|
| H =               |  | altezza della sezione                                | 500 mm                  |
| c =               |  | copriferro   | 40 mm                   |
| d =               | H - c                                    | altezza utile sezione                                | 460 mm                  |
| b <sub>w</sub> =  |  | larghezza membratura resistente a taglio             | 1000 mm                 |
| A <sub>sl</sub> = | 4 Φ18<br>0 Φ14                           | armatura longitudinale ( <b>solo armatura tesa</b> ) | 1018 mmq                |
| A <sub>c</sub> =  | b <sub>w</sub> · d                       | area calcestruzzo                                    | 460000 mmq              |
| f <sub>ck</sub> = | 0,83 R <sub>ck</sub> =                   | (con R <sub>ck</sub> = 37 N/mm <sup>2</sup> )        | 30,71 N/mm <sup>2</sup> |
| ρ <sub>l</sub> =  | A <sub>sl</sub> / ( b <sub>w</sub> · d ) | rapporto geom armatura longitud (<=0,02)             | 0,0022 <0,02            |
| σ <sub>cp</sub> = | N <sub>Ed</sub> / A <sub>c</sub>         | tensione media compress. ( <=0,2 f <sub>cd</sub> )   | 0 N/mm <sup>2</sup>     |
| N <sub>Ed</sub> = |  | compressione sulla sezione                           | 0 N                     |

### Verifica armatura longitudinale all'appoggio

L'armatura longitudinale deve poter resistere a una forza di trazione pari al taglio sull'appoggio

|                 |   |                           |
|-----------------|---|---------------------------|
| $T_{Rd}$        | > | $V_{Ed}$                  |
| <b>398299 N</b> | > | <b>36775 N verificato</b> |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| $V_{Ed} / T_{Rd}$ | < 1 |
| <b>0,09</b>       | < 1 |

|                   |                                     |  |                       |
|-------------------|-------------------------------------|--|-----------------------|
| $T_{Rd} =$        | A <sub>sl</sub> · f <sub>yd</sub> = | resistenza a rottura dell'armatura longitudin. | <b>398299 N</b>       |
| f <sub>yd</sub> = | f <sub>y,k</sub> / γ <sub>s</sub> = | 450 / 1,15 =                                   | 391 N/mm <sup>2</sup> |