

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO**

FABBRICATI VIAGGIATORI

Fermata Pontecagnano Aeroporto - Sottopasso viaggiatori

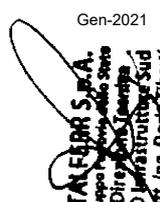
Relazione di calcolo della struttura della scala tipo B

SCALA:

-

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

NN1X   
 00   
 D   
 78   
 CL   
 FV05A0   
 006   
 B

| Rev. | Descrizione         | Redatto      | Data     | Verificato | Data     | Approvato | Data     | Autorizzato Data   |
|------|---------------------|--------------|----------|------------|----------|-----------|----------|--|
| A    | Emissione Esecutiva | F.Durastanti | Ott-2020 | G.Romano   | Ott-2020 | M.D'Avino | Ott-2020 | D.Tiberti<br>Gen-2021  |
| B    | Emissione Esecutiva | F.Durastanti | Gen-2021 | G.Romano   | Gen-2021 | M.D'Avino | Gen-2021 | <br>ITALFERR S.p.A.<br>Gruppo Ferrovie dello Stato<br>Direzione Generale<br>UO Infrastrutture Sud<br>Prof. Ing. Danilo Tiberti<br>Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10376 |
|      |                     |              |          |            |          |           |          |  |
|      |                     |              |          |            |          |           |          |  |
|      |                     |              |          |            |          |           |          |  |
|      |                     |              |          |            |          |           |          |  |

NN1X.0.0.D.78.CL.FV.05.A.0.006.B

n. Elab.:

## INDICE

|        |   |           |
|--------|---|-----------|
| 1.     | PREMESSA.....   | 3         |
| 2.     | DESCRIZIONE DELL'OPERA.....                               | 4         |
| 3.     | PROGETTO NUOVI VANI SCALE.....                            | 6         |
| 3.1.   | NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....                             | 6         |
| 3.2.   | UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA.....                        | 6         |
| 3.3.   | MATERIALI.....  | 7         |
| 3.4.   | INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....                             | 8         |
| 3.5.   | INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....                        | 9         |
| 4.     | SEZIONE 1: SEZIONE A "U".....                             | 11        |
| 4.1.   | GEOMETRIA.....  | 11        |
| 4.2.   | MODELLAZIONE ADOTTATA.....                                | 11        |
| 4.3.   | ANALISI DEI CARICHI.....                                  | 13        |
| 4.3.1. | <i>REAZIONI SCARICHI DELLA PENSILINA.....</i>             | <i>19</i> |
| 4.3.2. | <i>REAZIONI INCASTRI DELLA STRUTTURA DELLE SCALE.....</i> | <i>21</i> |
| 4.4.   | COMBINAZIONI DI CARICO.....                               | 21        |
| 4.5.   | CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI.....                 | 25        |
| 4.5.1. | <i>INVILUPPO SLU/SLV.....</i>                             | <i>25</i> |
| 4.5.2. | <i>INVILUPPO SLE (RARA).....</i>                          | <i>29</i> |
| 4.6.   | VERIFICHE SLU/SLV/SLE.....                                | 32        |
| 4.7.   | ARMATURE DI RIPARTIZIONE.....                             | 35        |
| 4.8.   | RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE.....                       | 38        |
| 5.     | SEZIONE 2 - SEZIONE SCATOLARE.....                        | 39        |
| 5.1.   | GEOMETRIA.....  | 39        |
| 5.2.   | MODELLAZIONE ADOTTATA.....                                | 39        |
| 5.3.   | ANALISI DEI CARICHI.....                                  | 41        |
| 5.3.1. | <i>REAZIONI SCARICHI DELLA PENSILINA.....</i>             | <i>48</i> |
| 5.3.2. | <i>REAZIONI INCASTRI DELLA STRUTTURA DELLE SCALE.....</i> | <i>50</i> |

|  |    |
|--|----|
| 5.4. COMBINAZIONI DI CARICO .....              | 50 |
| 5.5. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI..... | 55 |
| 5.5.1. INVILUPPO SLU/SLV.....                  | 55 |
| 5.5.2. INVILUPPO SLE (RARA).....               | 59 |
| 5.6. VERIFICHE SLU/SLV/SLE.....                | 62 |
| 5.7. ARMATURE DI RIPARTIZIONE.....             | 68 |
| 5.8. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE.....       | 71 |

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo è sviluppato il progetto, ai sensi delle norme attualmente vigenti NTC18, dei muri di sostegno di sei dei sette vani scala previsti nella nuova stazione dell' "aeroporto di Pontecagnano" di Salerno, lungo la linea metropolitana "Salerno - Pontecagnano aeroporto" alla progressiva 9+000.

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

Si riportano di seguito uno stralcio planimetrico e una sezione trasversale dello stato di progetto della stazione con evidenziato il vano scala oggetto di tale relazione di calcolo:

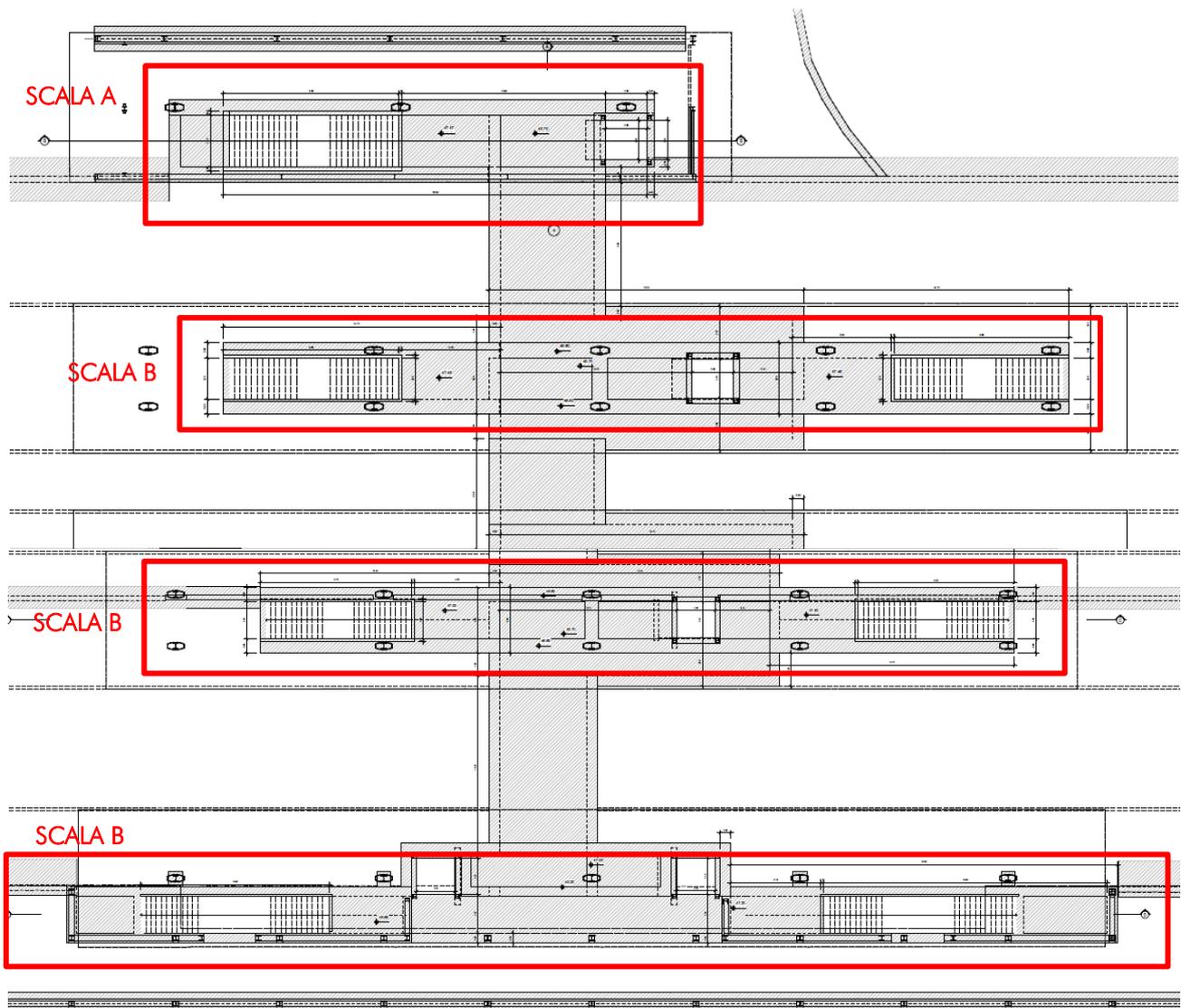


Figura 1a. Planimetria dell'opera con individuazione dei vani scala

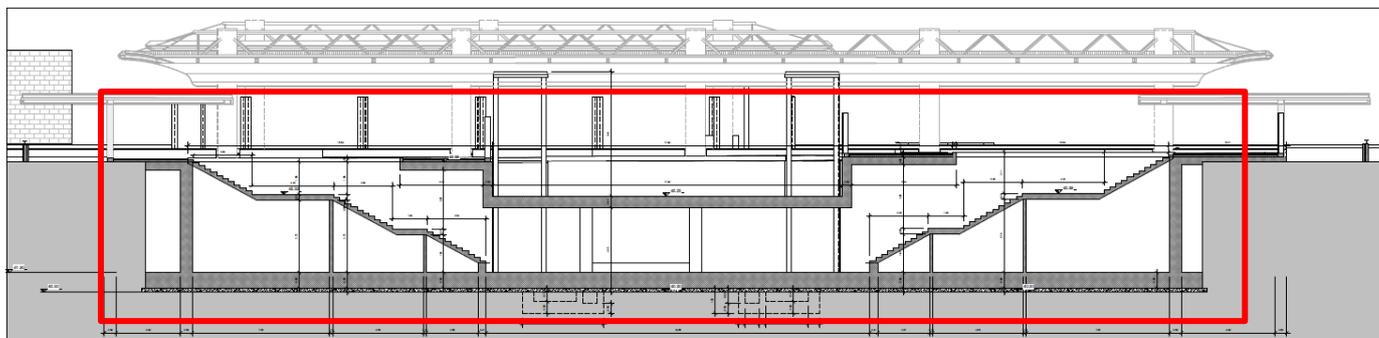


Figura 1b. Sezione longitudinale dell'opera con individuazione dei vani scala

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nell'ambito del progetto della nuova stazione dell'aeroporto di Salerno lungo la linea Salerno-Pontecagnano aeroporto è prevista la realizzazione di sette vani scale per consentire il raggiungimento del piano dei binario dal sottopasso realizzato al di sotto della linea metropolitana. Tali vani possono essere distinti in due tipologie individuate come SCALA A e SCALA B in figura 1a e aventi le seguenti caratteristiche:

- SCALA A : luce interna 2,80 m e altezza max 6,20 m
- SCALA B : luce interna 2,20 m e altezza max 5,95 m

Nel seguito si riportano i calcoli necessari al dimensionamento delle strutture che costituiscono la "SCALA B".

Si è scelto di dimensionare due sezioni notevoli, una sezione a U in corrispondenza delle parti aperte in sommità (sezione 1 in Figura 2b) e una sezione SCATOLARE in corrispondenza delle parti chiuse (sezione 2 in Figura 2b).

L'opera ha dimensioni interne  $L_{int} \times H_{int}$ , con muri di spessore  $S_p$  e soletta inferiore di spessore  $S_f$ . Nel seguito verrà esaminata una striscia avente lunghezza 1.00 m. per ognuna delle due sezioni:

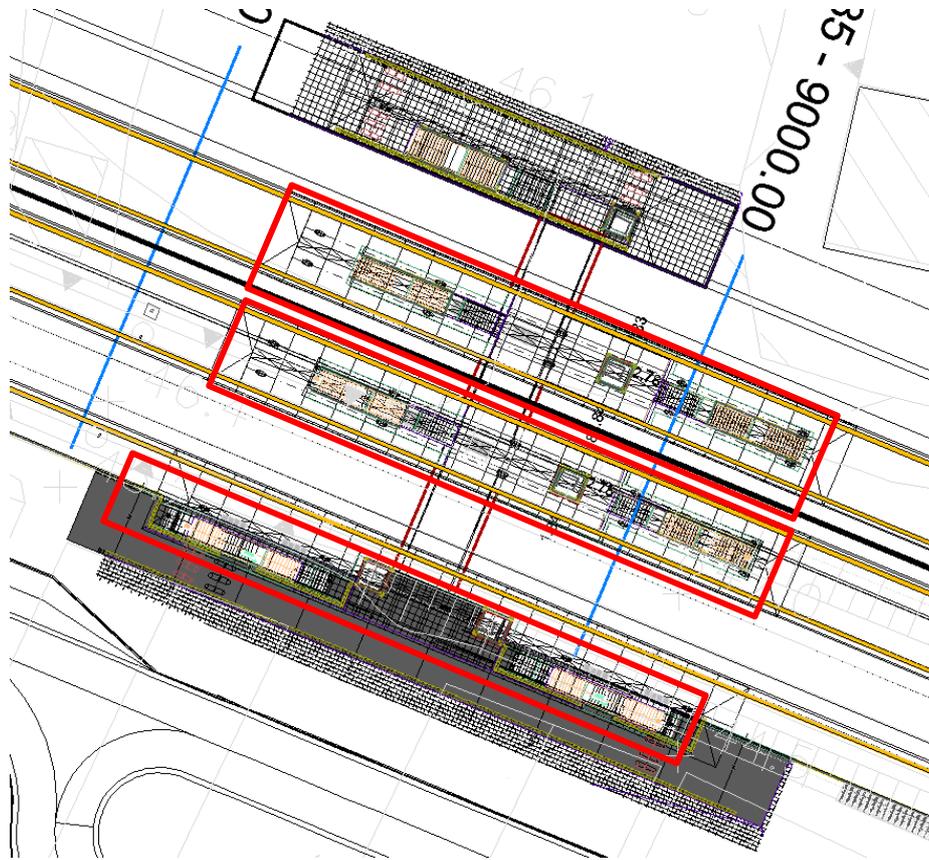


Figura 2a. Configurazione di progetto nuova stazione

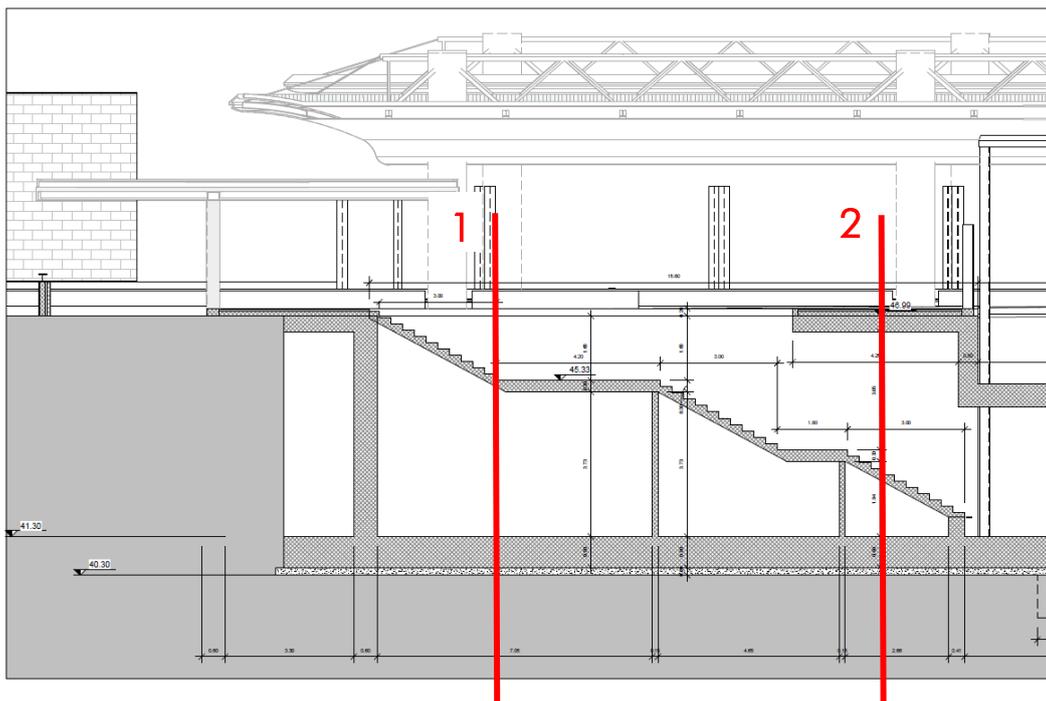


Figura 2b. Individuazione sezione dimensionate

### 3. PROGETTO NUOVI VANI SCALE

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione delle strutture in oggetto nel rispetto della norma attualmente vigente NTC18.

#### 3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le calcolazioni sono state eseguite nel rispetto delle normativa NTC18 attualmente vigente.. In particolare si è fatto riferimento:

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

[N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

[N.3]. Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019

[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2

[N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20 dicembre 2019 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

#### 3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

Unità di misura principali

- N (Newton) unità di forza
- m (metro) unità di lunghezza
- kg (kilogrammo) unità di massa
- s (secondo) unità di tempo

Unità di misura derivate da N

- (kiloNewton)  $10^3$  N

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

|                         |                           |                        |   |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|---|
| $\gamma$ (gamma)        | peso dell'unità di volume | (kN/m <sup>3</sup> )   |   |
| $\sigma$ (sigma)        | tensione normale          | (N/mm <sup>2</sup> )   |   |
| $\tau$ (tau)            | tensione tangenziale      | (N / mm <sup>2</sup> ) |   |
| $\varepsilon$ (epsilon) | deformazione              | (m/m)                  | - |
| $\phi$ (fi)             | angolo di resistenza      | (° sessagesimali)      |   |

### 3.3. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo **C30/37** le cui caratteristiche principali sono:

- Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione semplice:  $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_m$ , dove:
  - $\alpha_{cc} = 0.85$  e  $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{cd} = 17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice:  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_m$ , dove :
  - $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{ctd} = 1,35 \text{ N/mm}^2$ .
- Modulo elastico:  $E_c = 32836 \text{ N/mm}^2$ .
- Tolleranza di posa del copriferro = **10 mm**;
- Classe di esposizione **XA1**
- Copriferro = **40 mm**
- Condizioni ambientali: **aggressive**
- Apertura fessure limite: **w1 = 0.2 mm**

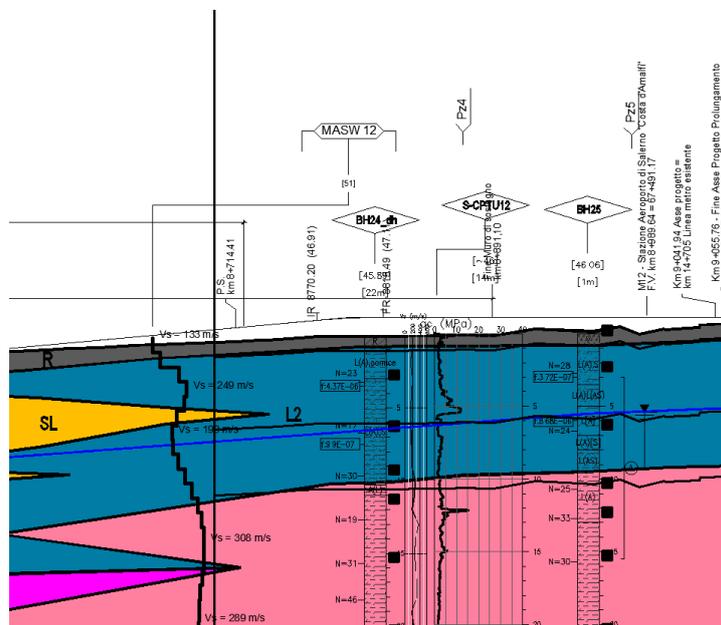
Acciaio da cemento armato normale **B450C** controllato in stabilimento. Le barre sono ad aderenza migliorata. Le caratteristiche meccaniche sono:

- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ Nmm}^2$
- Resistenza di calcolo dell'acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$  dove:
  - $\gamma_s = 1.15$
  - $f_{yd} = 391 \text{ Nmm}^2$

- Allungamento **D1 > 12%**
- Modulo di elasticità: **Es=206000 Nmm<sup>2</sup>**
- Sovrapposizioni barre **≥ 40φ**

### 3.4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si riporta di seguito la stratigrafia in corrispondenza della zona di riferimento:



Per l'inquadramento geotecnico si fa riferimento alla relazione geotecnica, della quale si riportano gli stralci significativi del profilo geotecnico e dei parametri geotecnici del terreno di fondazione, del rinterro e del rinfianco.

Lo strato significativo del profilo geotecnico è l'unità  
la cui descrizione nella relazione geotecnica è:

3)L2

Limo media consistenza

|                              |            |                        |
|------------------------------|------------|------------------------|
| Peso specifico terreno       | $\gamma_t$ | 18.0 kN/m <sup>3</sup> |
| angolo d'attrito terreno     | $\phi$     | 22.0 [°]               |
| coesione efficace terreno    | $c'$       | 10.0 kN/m <sup>2</sup> |
| coesione non drenata terreno | $c_u$      | 45.0 kN/m <sup>2</sup> |

I parametri geotecnici del rinterro e del terreno di rinfianco sono i seguenti:

|  |             |            |                        |             |
|--|-------------|------------|------------------------|-------------|
| Peso specifico rinterro                | FERROVIARIO | $\gamma_t$ | 20.0 kN/m <sup>3</sup> |             |
| angolo di attrito rinterro             |             | $\phi'$    | 38.0 [°]               | 0.663 [rad] |
| coesione rinterro                      |             | $c_u$      | 0.0 kN/m <sup>2</sup>  |             |
| Peso specifico terreno di rinfianco    |             | $\gamma_t$ | 18.0 kN/m <sup>3</sup> |             |
| angolo di attrito terreno di rinfianco |             | $\phi'$    | 22.0 [°]               | 0.384 [rad] |
| coesione terreno di rinfianco          |             | $c_u$      | 45.0 kN/m <sup>2</sup> |             |

#### FALDA

|                      |            |                         |
|----------------------|------------|-------------------------|
| Quota falda dal p.c. | $q_w$      | 6.50 m                  |
| Peso specifico       | $\gamma_w$ | 10.00 kN/m <sup>3</sup> |

### 3.5. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

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:

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

dove:

- s = cedimento elastico totale;
- B = lato minore della fondazione;
- ct = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (L = lato maggiore della fondazione):

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

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

- $q$  = pressione media agente sul terreno;
- $\sigma_v0$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- $E'_{op}$  = modulo elastico operativo del terreno sottostante.

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

$$\bullet k_w = E'_{op} / [(1-\nu^2) \cdot B \cdot ct]$$

Di seguito si riportano in forma tabellare i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, avendo considerato per  $E'_{op}$  il valore minimo tra quelli indicati per l'Unità Geotecnica in esame ed una dimensione longitudinale della fondazione ritenuta potenzialmente collaborante nella diffusione dei carichi:

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Unità stratigrafica                   | 3)L2  |
| Descrizione unità stratigrafica       | Limo media consistenza  |
| Modulo elastico medio terreno         | $E'_{op}$ <b>40000</b> kN/m <sup>2</sup> <i>(il minore tra i valori proposti)</i> |
| Coefficiente di Poisson medio terreno | $\nu$ 0.3   |
| Lato minore della fondazione          | B 3.8 m   |
| Lato maggiore della fondazione        | L 14.0 m  |
| Rapporto dei lati                     | L/B 3.7   |
| Coefficiente adimensionale            | ct 1.549  |
| Costante di sottofondo                | $k_w$ <b>7466</b> kN/m <sup>3</sup>   |

## 4. SEZIONE 1: SEZIONE A “U”

### 4.1. GEOMETRIA

|                     |      |        |                                   |
|---------------------|------|--------|-----------------------------------|
| Larghezza utile     | Lint | 2.20 m | luce interna scatolare            |
| Altezza libera      | Hint | 5.95 m | altezza interna scatolare         |
| Spessore piedritti  | Sp   | 0.80 m | (consigliato: $Sp = Ss$ )         |
| Spessore fondazione | Sf   | 0.80 m | (consigliato: $Sf = Ss + 10cm.$ ) |
| Larghezza totale    | Ltot | 3.80 m | $Lint + 2 \times Sp$              |
| Altezza totale      | Htot | 6.75 m | $Hint + Sp_s + Sp_f$              |

### 4.2. MODELLAZIONE ADOTTATA

Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

| asta      | base   | altezza | descrizione         |
|-----------|--------|---------|---------------------|
| Asta 1    | 100 cm | 80 cm   | (soletta inferiore) |
| Aste 2, 4 | 100 cm | 80 cm   | (Piedritti)         |

Le caratteristiche geometriche del modello e le coordinate dei nodi sono le seguenti:

|             |        |
|-------------|--------|
| Linterasse  | 3.00 m |
| Hinterasse  | 6.35 m |
| N.nodi      | 13     |
| N.nodi sup  | 2      |
| N.nodi inf  | 11     |
| N.spazi inf | 10     |

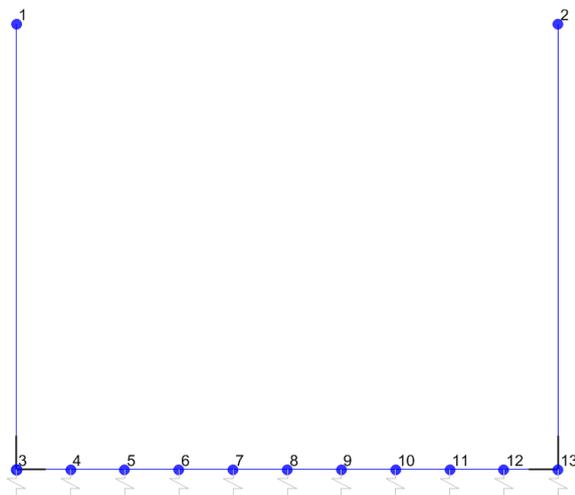


Figura 3. Numerazione nodi modello SAP

| Nodo | X     | Z     |
|------|-------|-------|
| 1    | 0.000 | 6.350 |
| 2    | 3.000 | 6.350 |
| 3    | 0.000 | 0.000 |
| 4    | 0.300 | 0.000 |
| 5    | 0.600 | 0.000 |
| 6    | 0.900 | 0.000 |
| 7    | 1.200 | 0.000 |
| 8    | 1.500 | 0.000 |
| 9    | 1.800 | 0.000 |
| 10   | 2.100 | 0.000 |
| 11   | 2.400 | 0.000 |
| 12   | 2.700 | 0.000 |
| 13   | 3.000 | 0.000 |

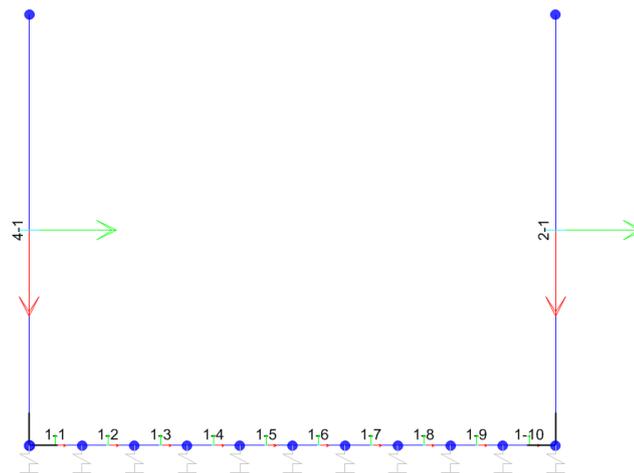


Figura 4: Individuazione elementi modello SAP

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Per la rigidità delle molle, nel il caso in esame, si assume il valore del Modulo di reazione verticale desunto dai parametri della relazione geotecnica:

**Rigidità molle nodali SAP**

|                            |                      |                               |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------|
| ks                         |                      | <b>7466</b> kN/m <sup>3</sup> |
| nodi centrali (6,7,8,9,10) |                      |                               |
| Linfl                      |                      | 0.300 m                       |
| Kcentrale                  | ks x Linfl x 1       | <b>2240</b> kN/m              |
| nodi intermedi (4,5,11,12) |                      |                               |
| Linfl                      |                      | 0.300 m                       |
| Kintermedio                | 1,5 x ks x Linfl x 1 | <b>3360</b> kN/m              |
| nodi estremità (3,13)      |                      |                               |
| Linfl                      |                      | 0.550 m                       |
| Kestremità                 | 2,0 x ks x Linfl x 1 | <b>8212</b> kN/m              |

### 4.3. ANALISI DEI CARICHI

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

#### Peso proprio della struttura (condizione DEAD)

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

|                                    |                |                      |                           |
|------------------------------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| Peso specifico calcestruzzo armato | $\gamma_{cls}$ | 25 kN/m <sup>3</sup> |                           |
| peso singolo piedritto             | $P_p$          | 20.00 kN/m           | $\gamma_{cls} \times S_p$ |
| peso fondazione                    | $P_{sf}$       | 20.00 kN/m           | $\gamma_{cls} \times S_f$ |

#### Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX)

|  |                |                         |   |
|--|----------------|-------------------------|---|
| angolo di attrito rinterro               | $\varnothing'$ | 38.0 [°]                | 0.663 [rad]   |
| coefficiente spinta attiva $k_a$         | $k_a$          | 0.238                   | $(1 - \text{sen}\varnothing) / (1 + \text{sen}\varnothing)$ |
| coefficiente spinta riposo $k_o$         | $k_o$          | 0.384                   | $(1 - \text{sen}\varnothing)$                               |
| coefficiente spinta passiva $k_p$        | $k_p$          | 4.204                   | $(1 + \text{sen}\varnothing) / (1 - \text{sen}\varnothing)$ |
| Pressione asse soletta superiore         | $P_2$          | 0.00 kN/m <sup>2</sup>  | $Z=0$   |
| Pressione asse soletta inferiore         | $P_3$          | 48.81 kN/m <sup>2</sup> | $k_o \times \gamma t \times (H_{int} + S_f / 2)$            |
| Pressione intradosso soletta inferiore   | $P_4$          | 51.89 kN/m <sup>2</sup> | $k_o \times (P_b + P_r + P_m + \gamma r \times H_{tot})$    |
| Forza concentrata asse soletta inferiore | $F_2$          | 20.14 kN/m              | $(P_3 + P_4) / 2 \times S_f / 2$                            |

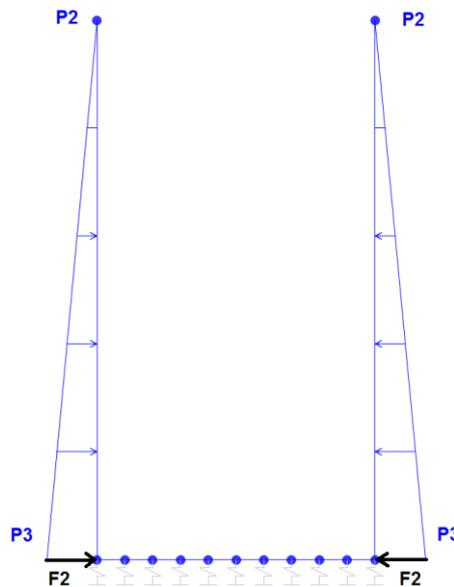


Figura 6. Condizione di carico SPTDX-SPTSX da SAP2000

Il carico concentrato nel nodo 3 (per la SPTSX) oppure 13 (per la SPTDX) rappresentano la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta inferiore.

### Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

Il carico del treno di riferimento è il più gravoso tra LM71 e SW/2.

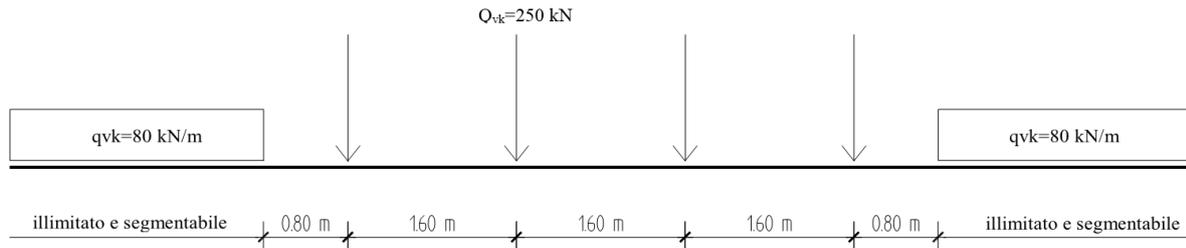


Figura 7. Treno LM71

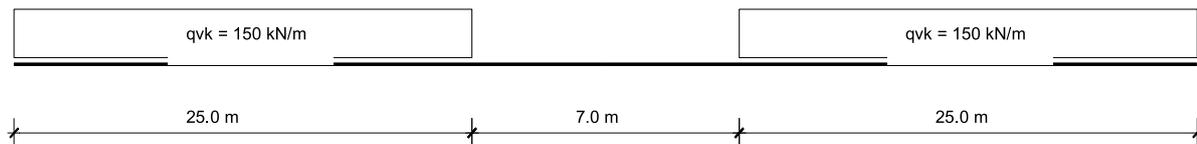


Figura 8. Treno SW/2

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno SW/2 rispetto al carico dovuto al treno LM 71. Nei calcoli pertanto sarà utilizzato il valore del SW2.

#### CARICO TRENO (ACCMSW/02)

|   |    |                         |
|---|----|-------------------------|
| Carico distribuito per treno SW/2         | q  | 150.00 kN/m             |
| Larghezza di diffusione del carico        | Ld | 3.00 m                  |
| Carico distribuito per treno SW/2 diffuso | qv | 50.00 kN/m <sup>2</sup> |

Inoltre si considera il carico accidentale dovuto alla presenza di persone sui marciapiedi così come prescritto nelle NTC2018 §5.2.2.2.2

#### CARICO FOLLA (ACCMQ)

|                     |    |                         |
|---------------------|----|-------------------------|
| Carico manutenzione | q' | 10.00 kN/m <sup>2</sup> |
|---------------------|----|-------------------------|

I Carichi accidentali sopra riportati (ACCMSW/02 e ACCMQ) non sono stati assegnati al modello come carichi verticali agenti sulla soletta, in quanto quest'ultima risulta assente, ma sono stati utilizzati per il calcolo delle spinte sui muri laterali dovuti alla presenza dei treni e della folla sul lato del vano scala (condizioni SPACCSXSW/02, SPACCDXSW/02, SPACCSXQ e SPACCDXQ).

**Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXSW/02 e SPACCDXSW/02)**

Carico distrib treno SW/2 su piedritto sx      SQ1      **16.47** kN/m<sup>2</sup>     $q_v \times K_o$   
spinta semispessore soletta inferiore      Fq1inf      **6.59** kN/m       $SPQ1 \times SPi / 2$

**Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXQ e SPACCDXQ)**

Carico distrib FOLLA su piedritto sx      SQ1      **3.84** kN/m<sup>2</sup>     $q_v \times K_o$   
spinta semispessore soletta inferiore      Fq1inf      **1.54** kN/m       $SPQ1 \times SPi / 2$

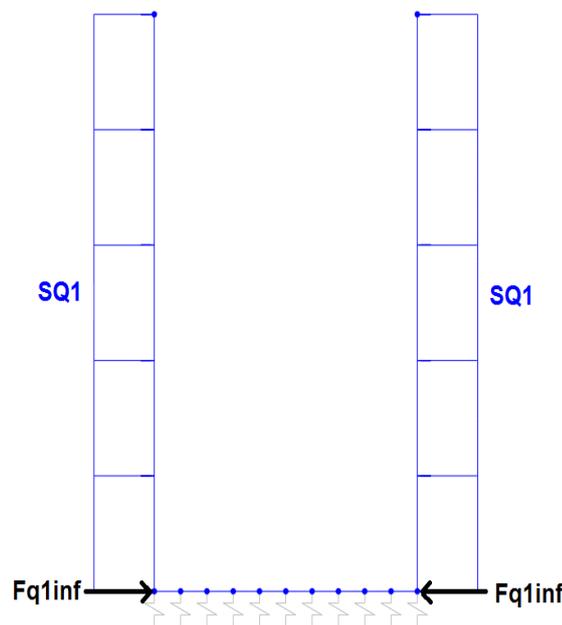


Figura 9. Condizione di carico SPACCSX e SPACCDX da SAP2000

Le ultime due condizioni di carico sopra riportate (SPACCSXSW/02, SPACCDXSW/02 e SPACCSXQ, SPACCDXQ), vista la configurazione prevista per la stazione (vedi figura 2a), sono state applicate simmetricamente su entrambi i paramenti, questo perché su entrambi i lati è previsto il transito dei treni e la presenza di banchine per il transito dei passeggeri.

Per meglio comprendere tale aspetto si rimanda ai relativi elaborati grafici.

## CONDIZIONI DI CARICO SISMICHE

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

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$

$k_h = a_{max} / g$

$k_v = \pm 0,5 * k_h$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N$  ed una classe d'uso  $C_U$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_U$ .

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari ad  $a_g$ , il cui valore è di seguito riportato, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

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

$a_{max} = S * a_g = S_s * S_t * a_g$

Le forze di inerzia sullo **scatolare** (masse di peso proprio soletta superiore e piedritti, rinterro e ballast, 20% treno di carico,..) sono pari alle masse moltiplicate per  $k_h$  e  $k_v$  ove:  $k_h = \beta M_x S_x a_g / g$  e  $k_v = k_h / 2$ . Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno,  $\beta M = 1$ .

|   |          |            |
|---|----------|------------|
| vita nominale   | $V_N$    | 75 anni    |
| classe d'uso  | CL       | III        |
| coefficiente d'uso                                    | $C_U$    | 1.50       |
| vita di riferimento = $C_U * V_N$                     | $V_R$    | 112.5 anni |
| probabilità di superamento nel periodo di riferimento | $P_{VR}$ | 10%        |
| periodo di ritorno del sisma                          | $T_R$    | 1068 anni  |

## Spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

Coordinate del sito in oggetto:

|             |          |
|-------------|----------|
| Latitudine  | 40.62408 |
| Longitudine | 14.92369 |

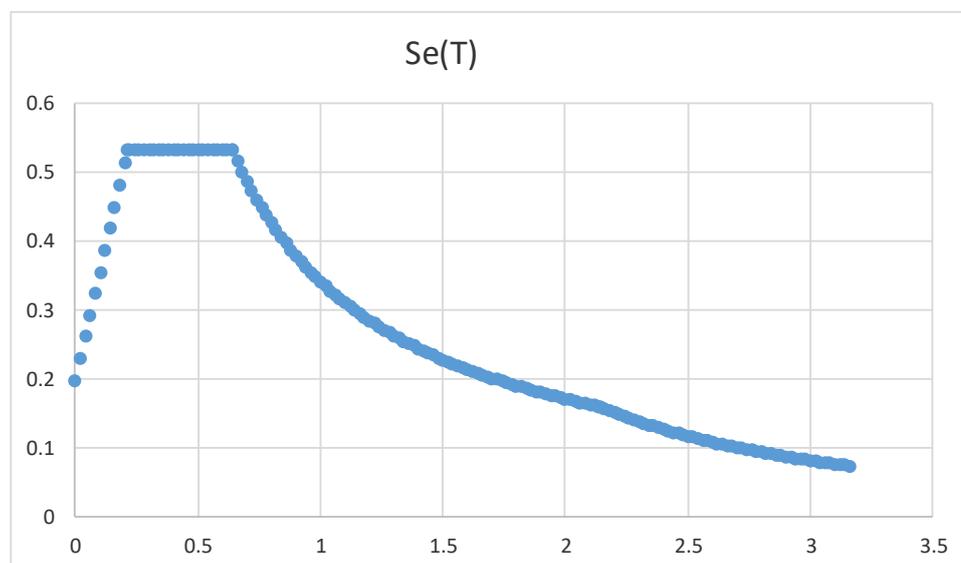
Parametri sismici di progetto

|   |                |           |
|---|----------------|-----------|
| accelerazione massima orizzontale al bedrock                  | ago            | 0.130 g   |
| fattore amplificazione massima spettro accelerazione          | Fo             | 2.701 sec |
| periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz. | T*c            | 0.487     |
| categoria sottosuolo  |                | C         |
| categoria topografica   |                | T1        |
| amplificazione topografica                                    | S <sub>T</sub> | 1.000     |
| smorzamento viscoso convenzionale                             | ξ              | 5%        |
| fattore di correzione per ξ <> 5%                             | η              | 1.000     |

| Tab.3.2.V | S <sub>S</sub> | C <sub>C</sub> | S <sub>S</sub> | C <sub>C</sub> |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A         | 1.00           | 1.00           | 1.49           | 1.33           |
| B         | 1.20           | 1.27           |                |                |
| C         | 1.49           | 1.33           |                |                |
| D         | 1.80           | 1.79           |                |                |
| E         | 1.60           | 1.53           |                |                |

|   |                |                |
|---|----------------|----------------|
| coefficiente amplificazione stratigrafica   | S <sub>S</sub> | 1.489          |
| coefficiente di amplificazione  | S              | <b>1.489</b>   |
| coefficiente categoria sottosuolo   | C <sub>C</sub> | 1.331          |
| periodo inizio tratto a accelerazione costante = T <sub>c</sub> / 3                 | T <sub>B</sub> | 0.216 sec      |
| periodo inizio tratto a velocità costante = C <sub>c</sub> * T*c                    | T <sub>C</sub> | 0.648 sec      |
| periodo inizio tratto a spostamento costante = 4 * ag/g + 1,6                       | T <sub>D</sub> | 2.120 sec      |
| accelerazione massima orizzontale al suolo = S <sub>s</sub> x S <sub>t</sub> x ag/g | ago,max        | <b>0.194 g</b> |

**SPETTRO ORIZZONTALE ELASTICO SLV**



### Accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo struttura

|   |                               |                             |
|---|-------------------------------|-----------------------------|
| Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito | $\beta$                       | <b>1.000</b>                |
| $a_o = k_h = a_{g0,max} = S \times a_g/g$             | valore $PGA \times$ scatolare | $a_o = k_h$ <b>0.1936 g</b> |
| $a_v = k_v = k_h / 2$                                 | valore $PGA \times$ scatolare | $a_v = k_v$ <b>0.0968 g</b> |

### Forze di inerzia (condizione SismaH)

|  |         |  |
|--|---------|--|
| Forza di inerzia treno di carico - (%) | %       | <b>20%</b>                                     |
| Forza orizzontale su singolo piedritto | $F''_h$ | <b>3.87</b> kN/m <sup>2</sup> $P_p \times k_b$ |

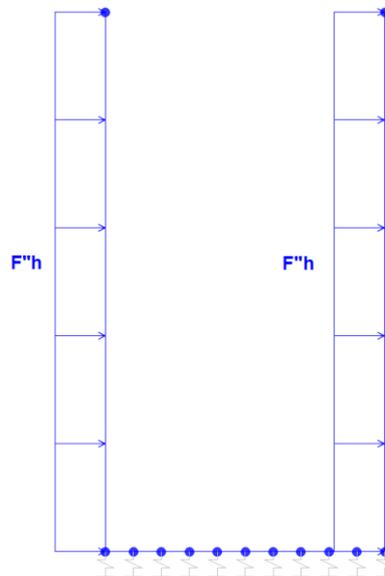


Figura 10. Condizione di carico SismaH e SismaV da SAP2000

### Spinta sismica terreno - Teoria di WOOD (condizioni SPSPDX e SPSSX)

|  |            |   |
|--|------------|---|
| Forza distribuita sui piedritti            | $qW$       | <b>30.01</b> kN/m <sup>2</sup> $(\%q_v + q' + \gamma r \times H_{tot}) \times (a_{g0,max})$ |
| Forza concentrata nodo inferiore piedritti | $QW_{inf}$ | <b>12.00</b> kN $qW \times S_f / 2$   |

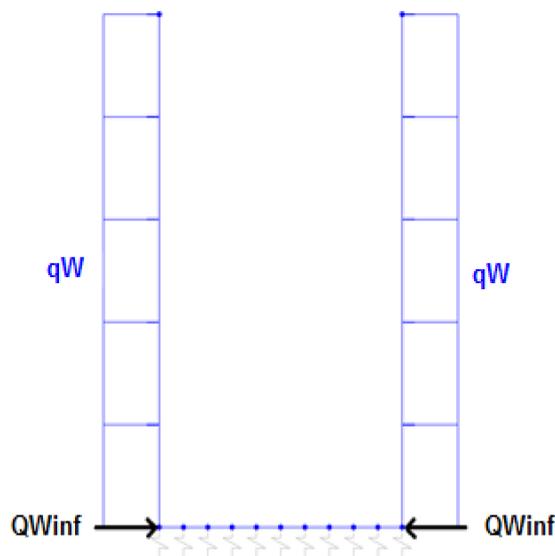


Figura 11. Condizione di carico SPSPDX e SPSSX da SAP2000

#### 4.3.1. Reazioni scarichi della pensilina

Al modello dei muri sono stati applicati, inoltre, anche gli scarichi delle pensiline che poggiano su di essi, tali valori sono stati dedotti dalle relative relazioni di calcolo e vengono nel seguito riportati per ognuna delle condizioni di carico considerate. I valori riportati in tabella riguardano solo i piedritti della pensilina che poggiano direttamente sui muri, nel modello a favore di sicurezza verranno applicati solo quelli con effetti sfavorevoli e quindi le traslazioni orizzontali verso l'interno del vano scala, le reazioni verticali positive (per trazione sul piedritto) e negative (per taglio e momento sulla soletta di fondazione) e i momenti con rotazione anch'essa verso l'interno del vano scala, tali carichi risultano in accordo con quelli dovuti alla spinta del terreno, alla spinta dovuta al passaggio dei convogli e alla presenza di persone sulle banchine, e alle azioni sismiche considerate.

I valori considerati sono quelli evidenziati in rosso nella tabella.

Si specifica che quelle riportate in tabella sono le reazioni alla base delle pensiline, i carichi applicati al modello avranno quindi segno opposto.

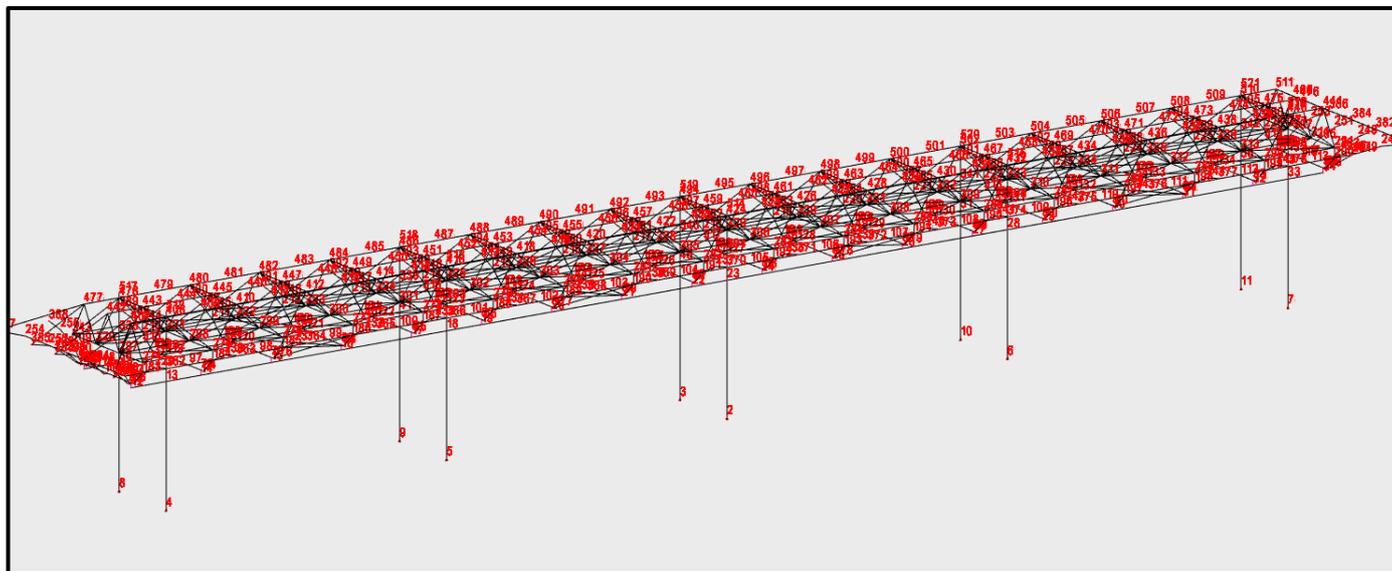
| NODO | CONDIZIONE DI CARICO | TRASLAZIONI |         |          | MOMENTI |          |        |
|------|----------------------|-------------|---------|----------|---------|----------|--------|
|      |                      | X           | Y       | Z        | X       | Y        | Z      |
| 5    | Pesi                 | 0.020       | 0.010   | 26.340   | -0.025  | 0.025    | 0.000  |
| 5    | Port.                | 0.060       | -0.380  | 75.770   | 0.718   | 0.058    | 0.000  |
| 5    | Neve                 | 0.010       | -0.130  | 23.760   | 0.236   | 0.010    | 0.000  |
| 5    | Vento X (+Z)         | -7.090      | 0.480   | -91.010  | -0.896  | -16.638  | 0.000  |
| 5    | Vento Y (+Z)         | -0.030      | -16.470 | -107.300 | 44.825  | 0.003    | 0.000  |
| 5    | Passaggio convogli   | -0.020      | -3.140  | 3.870    | 7.893   | 0.256    | 0.000  |
| 5    | Vento Y (-Z)         | 0.070       | -3.700  | 57.000   | 11.886  | 0.084    | 0.000  |
| 5    | $\Delta T$           | 3.480       | 0.630   | -1.270   | -2.310  | 9.883    | 0.000  |
| 5    | X SLV                | -45.010     | 0.440   | 9.970    | -1.564  | -134.557 | 0.000  |
| 5    | Y SLV                | 1.250       | -14.930 | -20.750  | 50.401  | 2.033    | -0.003 |
| 7    | Pesi                 | 0.240       | -0.160  | 21.760   | 0.316   | 0.373    | 0.000  |
| 7    | Port.                | 0.990       | -1.040  | 54.720   | 2.099   | 1.594    | 0.001  |
| 7    | Neve                 | 0.320       | -0.330  | 17.350   | 0.670   | 0.522    | 0.000  |
| 7    | Vento X (+Z)         | -8.760      | 1.120   | -64.790  | -2.270  | -19.350  | -0.002 |
| 7    | Vento Y (+Z)         | -1.260      | -15.280 | -80.810  | 42.122  | -2.041   | -0.041 |
| 7    | Passaggio convogli   | -0.060      | -3.140  | 3.080    | 7.852   | 0.159    | -0.001 |
| 7    | Vento Y (-Z)         | 0.820       | -4.050  | 40.340   | 12.706  | 1.311    | -0.033 |
| 7    | $\Delta T$           | -7.990      | 0.450   | 1.140    | -1.959  | -21.466  | 0.002  |
| 7    | X SLV                | -51.190     | -1.540  | 17.050   | 3.212   | -144.301 | 0.003  |
| 7    | Y SLV                | 0.830       | -18.860 | -22.330  | 65.318  | 1.418    | -0.235 |

Muri scala B Stazione Aeroporto (pk 9+000): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1X LOTTO 00 D 78 CODIFICA CL DOCUMENTO FV.05.A.0.006 REV. B FOGLIO 20 di 71

|    |                    |         |         |         |        |          |        |
|----|--------------------|---------|---------|---------|--------|----------|--------|
| 9  | Pesi               | 0.020   | -0.010  | 26.340  | 0.025  | 0.025    | 0.000  |
| 9  | Port.              | 0.060   | 0.380   | 75.770  | -0.718 | 0.058    | 0.000  |
| 9  | Neve               | 0.010   | 0.130   | 23.760  | -0.237 | 0.010    | 0.000  |
| 9  | Vento X (+Z)       | -7.090  | -0.480  | -91.020 | 0.896  | -16.638  | 0.000  |
| 9  | Vento Y (+Z)       | -0.120  | -17.400 | -76.570 | 46.569 | -0.143   | 0.000  |
| 9  | Passaggio convogli | -0.030  | -2.850  | 8.620   | 7.309  | 0.240    | 0.000  |
| 9  | Vento Y (-Z)       | 0.030   | -3.070  | 66.250  | 10.717 | 0.010    | 0.000  |
| 9  | ΔT                 | 3.480   | -0.630  | -1.270  | 2.310  | 9.883    | 0.000  |
| 9  | X SLV              | -45.010 | -0.440  | 9.940   | 1.564  | -134.558 | 0.000  |
| 9  | Y SLV              | -0.730  | -14.930 | 20.760  | 50.403 | -1.276   | -0.003 |
| 11 | Pesi               | 0.240   | 0.160   | 21.760  | -0.316 | 0.373    | 0.000  |
| 11 | Port.              | 0.990   | 1.040   | 54.720  | -2.099 | 1.594    | -0.001 |
| 11 | Neve               | 0.320   | 0.330   | 17.350  | -0.670 | 0.522    | 0.000  |
| 11 | Vento X (+Z)       | -8.760  | -1.120  | -64.790 | 2.270  | -19.350  | 0.002  |
| 11 | Vento Y (+Z)       | -1.130  | -17.800 | -51.990 | 47.216 | -1.826   | -0.038 |
| 11 | Passaggio convogli | -0.020  | -2.750  | 7.610   | 7.030  | 0.213    | -0.002 |
| 11 | Vento Y (-Z)       | 0.790   | -2.370  | 48.680  | 9.291  | 1.282    | -0.035 |
| 11 | ΔT                 | -7.990  | -0.450  | 1.140   | 1.959  | -21.466  | -0.002 |
| 11 | X SLV              | -51.190 | 1.550   | 17.050  | -3.218 | -144.300 | -0.003 |
| 11 | Y SLV              | -1.370  | -18.860 | 22.140  | 65.305 | -2.181   | -0.235 |

Per meglio comprendere si riporta anche un'immagine del modello di calcolo della pensilina:



#### 4.3.2. Reazioni incastri della struttura delle scale

Per quanto riguarda, invece, le reazioni agli incastri della struttura delle scale, si tratta di elementi secondari, per cui, si è deciso di trascurarli.

#### 4.4. COMBINAZIONI DI CARICO

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata, In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte

| Numero di binari | Binari Carichi | Traffico normale      |                       | Traffico pesante <sup>(2)</sup> |
|------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
|                  |                | caso a <sup>(1)</sup> | caso b <sup>(1)</sup> |                                 |
| 1                | Primo          | 1,0 (LM 71"++SW/0)    | -                     | 1,0 SW/2                        |
| 2                | Primo          | 1,0 (LM 71"++SW/0)    | -                     | 1,0 SW/2                        |
|                  | secondo        | 1,0 (LM 71"++SW/0)    | -                     | 1,0 (LM 71"++SW/0)              |
| ≥3               | Primo          | 1,0 (LM 71"++SW/0)    | 0,75 (LM 71"++SW/0)   | 1,0 SW/2                        |
|                  | secondo        | 1,0 (LM 71"++SW/0)    | 0,75 (LM 71"++SW/0)   | 1,0 (LM 71"++SW/0)              |
|                  | Altri          | -                     | 0,75 (LM 71"++SW/0)   | -                               |

<sup>(1)</sup> LM71 "++" SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

<sup>(2)</sup> Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Tab. 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

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

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc.)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari caricati.

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come  $Q_k$ .

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

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si fa riferimento alla combinazione A1 STR.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| Coefficiente  |             |               | EQU <sup>(1)</sup>  | A1                  | A2   |
|---|-------------|---------------|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti                                       | favorevoli  | $\gamma_{G1}$ | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,10                | 1,35                | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>        | favorevoli  | $\gamma_{G2}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Ballast <sup>(3)</sup>                                  | favorevoli  | $\gamma_B$    | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>             | favorevoli  | $\gamma_Q$    | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,45                | 1,45                | 1,25 |
| Azioni variabili  | favorevoli  | $\gamma_{Qi}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Precompressione   | favorevole  | $\gamma_P$    | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevole |               | 1,00 <sup>(5)</sup> | 1,00 <sup>(6)</sup> | 1,00 |
| Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente | favorevole  | $\gamma_{Ce}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevole |               | 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 della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico  $g_r$  della Tab. 5.2.IV.

<sup>(5)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(6)</sup> 1,20 per effetti locali

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni

| Azioni           |   | $\psi_0$            | $\psi_1$            | $\psi_2$ |
|------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole   | Carico sul rilevato a tergo delle spalle                | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
| da traffico      | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
|                  | $g_{r1}$  | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
| Gruppi di        | $g_{r2}$  | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | -        |
| carico           | $g_{r3}$  | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
|                  | $g_{r4}$  | 1,00                | 1,00 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
| Azioni del vento | $F_{Wk}$  | 0,60                | 0,50                | 0,0      |
| Azioni da        | in fase di esecuzione                                   | 0,80                | 0,0                 | 0,0      |
| neve             | SLU e SLE   | 0,0                 | 0,0                 | 0,0      |
| Azioni termiche  | $T_k$   | 0,60                | 0,60                | 0,50     |

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

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

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

|  |              |
|--|--------------|
| Peso proprio                                   | DEAD         |
| Permanenti portati                             | PERM         |
| Spinta del terreno sulla parete sinistra       | SPTSX        |
| Spinta del terreno sulla parete destra         | SPTDX        |
| Spinta del carico acc. (SW/2) sulla parete Sx  | SPACCSXSW/02 |
| Spinta del carico acc. (SW/2) sulla parete Dx  | SPACCDXSW/02 |
| Spinta del carico acc. (Q) sulla parete Dx     | SPACCDXQ     |
| Spinta del carico acc. (Q) sulla parete Sx     | SPACCSXQ     |
| Azione sismica orizzontale                     | Sisma H      |
| Incremento sismico della spinta sul terreno    | SPSDX/SX     |
| Scarichi pensilina dovuti all'azione del vento | VENTO        |
| Scarichi pensilina dovuti al carico neve       | NEVE         |

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza.

Combinazione fondamentale:

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

Nelle tabelle seguenti sono riportate le combinazioni di carico SLU, SLV e SLE utilizzate.

| Combinazioni di carico SLU (non sismiche) |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|---|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|   | 1slu | 2slu | 3slu | 4slu | 5slu | 6slu | 7slu | 8slu  | 9slu  | 10slu |
| DEAD                                      | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1    | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 1.35  |
| PERM                                      | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1.3  | 1.5  | 1.5   | 1.5   | 1.5   |
| SPTSX                                     | 1    | 1    | 1.35 | 1    | 1.35 | 1    | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 1.35  |
| SPTDX                                     | 1    | 1    | 1    | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1    | 1     | 1     | 1     |
| SPACCSXSW/2                               | 1.45 | 0    | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.16  | 1.015 | 1.015 |
| SPACCDXSW/2                               | 1.45 | 0    | 0    | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 1.16  | 1.015 | 1.015 |
| SPACCSXQ                                  | 1.35 | 0    | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 0.945 | 0.945 | 0.945 |
| SPACCDXQ                                  | 1.35 | 0    | 0    | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 0.945 | 0.945 | 0.945 |
| VENTO                                     | 0.9  | 0    | 0    | 0    | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 1.5   | 0.9   | 1.5   |
| NEVE                                      | 0.75 | 0    | 0    | 0    | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75  | 1.5   | 1.5   |

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

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

| Combinazioni di Carico Sismiche |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | sism1 | sism2 | sism3 | sism4 | sism5 |
| DEAD                            | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| PERM                            | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| SPTSX                           | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| SPTDX                           | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| SPACCSXSW/2                     | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0     | 0.2   |
| SPACCDXSW/2                     | 0.2   | 0     | 0.2   | 0     | 0.2   |
| SPACCSXQ                        | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0     |
| SPACCDXQ                        | 0.6   | 0     | 0.6   | 0.6   | 0     |
| Sisma H                         | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| SPSDX                           | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     |
| SPSSX                           | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     |
| VENTO                           | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| NEVE                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Si riportano infine, le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative.

Combinazione rara

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

| Combinazioni di carico SLE |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|
|                            | 1sle | 2sle | 3sle | 4sle |
| DEAD                       | 1    | 1    | 1    | 1    |
| PERM                       | 1    | 1    | 1    | 1    |
| SPTSX                      | 1    | 1    | 1    | 1    |
| SPTDX                      | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| SPACCSXSW/2                | 0.8  | 0.8  | 0    | 0    |
| SPACCDXSW/2                | 0.8  | 0    | 0    | 0.8  |
| SPACCSXQ                   | 0.7  | 0.7  | 0    | 0    |
| SPACCDXQ                   | 0.7  | 0    | 0    | 0.7  |
| VENTO                      | 0.6  | 0.6  | 0    | 0.6  |
| NEVE                       | 0.5  | 0.5  | 0    | 0.5  |

#### 4.5. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

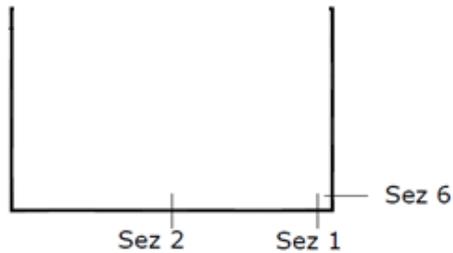
##### 4.5.1. Inviluppo SLU/SLV

| USCITA SAP - INVILUPPO SLU SLV |         |              |             |          |      |         |         |
|--------------------------------|---------|--------------|-------------|----------|------|---------|---------|
| Text                           | m       | Text         | Text        | Text     | KN   | KN      | KN-m    |
| Frame                          | Station | OutputCase   | CaseType    | StepType | P    | V2      | M3      |
| 1                              | 0.30    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 400.37  | 1094.57 |
| 1                              | 0.43    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 402.90  | 1052.25 |
| 1                              | 0.55    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 405.42  | 1036.57 |
| 1                              | 0.68    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 408.16  | 1025.68 |
| 1                              | 0.81    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 410.69  | 1016.58 |
| 1                              | 0.93    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 401.12  | 1008.08 |
| 1                              | 1.06    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 403.64  | 1002.24 |
| 1                              | 1.18    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 406.17  | 995.97  |
| 1                              | 1.31    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 384.52  | 993.00  |
| 1                              | 1.44    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 387.04  | 990.12  |
| 1                              | 1.56    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 353.43  | 989.00  |
| 1                              | 1.69    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 355.95  | 989.64  |
| 1                              | 1.82    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 310.49  | 990.40  |
| 1                              | 1.94    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 313.02  | 994.63  |
| 1                              | 2.07    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 315.54  | 998.44  |
| 1                              | 2.19    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 258.31  | 1005.21 |
| 1                              | 2.32    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 260.84  | 1012.69 |
| 1                              | 2.45    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 156.15  | 1022.89 |
| 1                              | 2.57    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 158.68  | 1037.27 |
| 1                              | 2.70    | ENVELOPE SLU | Combination | Max      | 0.00 | 161.21  | 1051.33 |
| 1                              | 0.30    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -52.60  | 281.44  |
| 1                              | 0.43    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -50.08  | 265.32  |
| 1                              | 0.55    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -47.55  | 248.77  |
| 1                              | 0.68    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -115.54 | 236.47  |
| 1                              | 0.81    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -113.01 | 226.54  |
| 1                              | 0.93    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -152.31 | 217.43  |
| 1                              | 1.06    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -149.78 | 211.64  |
| 1                              | 1.18    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -147.26 | 205.43  |
| 1                              | 1.31    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -181.28 | 203.16  |
| 1                              | 1.44    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -178.76 | 201.08  |
| 1                              | 1.56    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -207.42 | 201.08  |
| 1                              | 1.69    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -204.89 | 203.16  |
| 1                              | 1.82    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -228.09 | 205.43  |
| 1                              | 1.94    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -225.56 | 211.64  |
| 1                              | 2.07    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -223.03 | 217.43  |
| 1                              | 2.19    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -240.64 | 226.54  |
| 1                              | 2.32    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -238.11 | 236.47  |
| 1                              | 2.45    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -257.31 | 248.77  |
| 1                              | 2.57    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -254.78 | 265.32  |
| 1                              | 2.70    | ENVELOPE SLU | Combination | Min      | 0.00 | -252.26 | 271.56  |

Muri scala B Stazione Aeroporto (pk 9+000): Relazione di calcolo

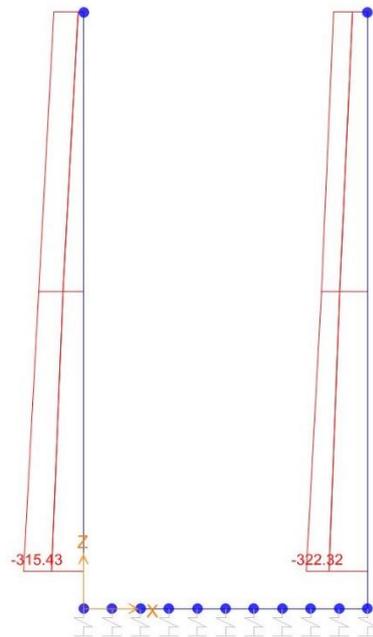
|                  |                  |                |                            |           |                    |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA<br>NN1X | LOTTO<br>00 D 78 | CODIFICA<br>CL | DOCUMENTO<br>FV.05.A.0.006 | REV.<br>B | FOGLIO<br>26 di 71 |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|

|   |      |              |              |     |         |         |         |
|---|------|--------------|--------------|-----|---------|---------|---------|
| 2 | 0.00 | ENVELOPE SLU | §Combination | Max | -78.75  | 28.37   | 75.40   |
| 2 | 2.98 | ENVELOPE SLU | §Combination | Max | -145.73 | 150.08  | -18.76  |
| 2 | 5.95 | ENVELOPE SLU | §Combination | Max | -205.21 | 374.31  | -210.17 |
| 2 | 0.00 | ENVELOPE SLU | §Combination | Min | -177.88 | 1.20    | 2.42    |
| 2 | 2.98 | ENVELOPE SLU | §Combination | Min | -242.01 | 24.74   | -180.20 |
| 2 | 5.95 | ENVELOPE SLU | §Combination | Min | -322.32 | 115.28  | -937.45 |
| 4 | 0.00 | ENVELOPE SLU | §Combination | Max | -27.83  | -1.20   | -2.42   |
| 4 | 2.98 | ENVELOPE SLU | §Combination | Max | -108.13 | -35.79  | 201.80  |
| 4 | 5.95 | ENVELOPE SLU | §Combination | Max | -170.67 | -137.84 | 1027.53 |
| 4 | 0.00 | ENVELOPE SLU | §Combination | Min | -156.32 | -30.16  | -79.83  |
| 4 | 2.98 | ENVELOPE SLU | §Combination | Min | -235.13 | -173.90 | 35.44   |
| 4 | 5.95 | ENVELOPE SLU | §Combination | Min | -315.43 | -392.56 | 276.85  |

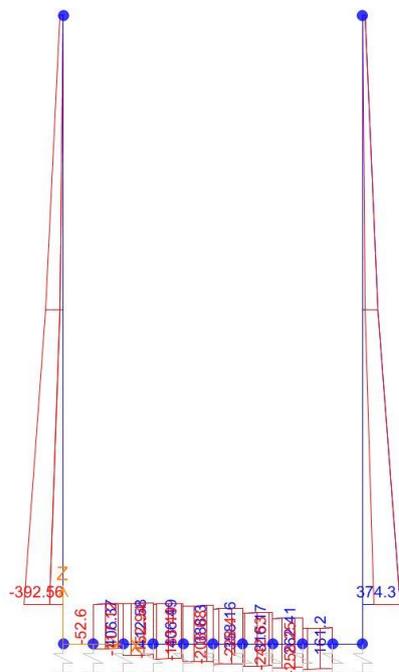


| SEZIONE | P      | V2    | M3     |
|---------|--------|-------|--------|
| 01      | 0.0    | 410.7 | 1094.6 |
| 02      | 0.0    | 0.0   | 201.1  |
| 06      | -170.7 | 392.6 | 1027.5 |

*Diagrammi di involucro delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU/SLV*



*Sforzo normale*



*Taglio*

Muri scala B Stazione Aeroporto (pk 9+000): Relazione di calcolo

COMMESSA  
NN1X

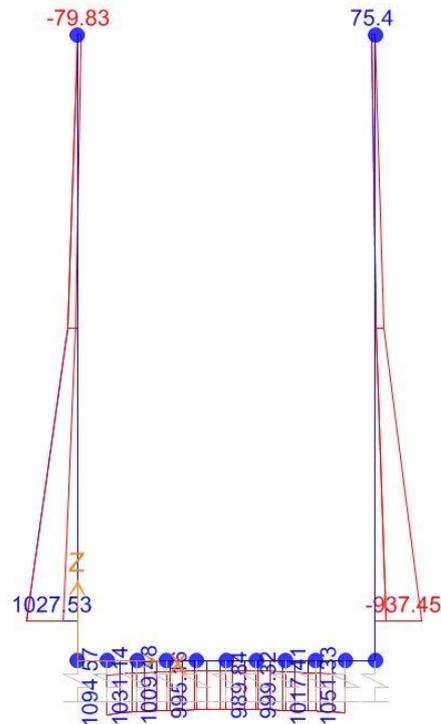
LOTTO  
00 D 78

CODIFICA  
CL

DOCUMENTO  
FV.05.A.0.006

REV.  
B

FOGLIO  
28 di 71



*Momento Flettente*

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

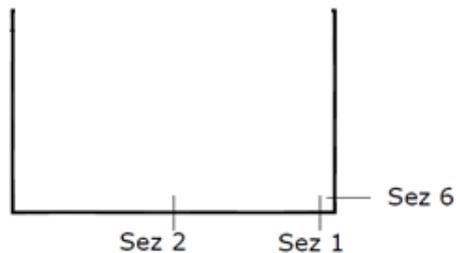
## 4.5.2. Inviluppo SLE (rara)

| USCITA SAP - INVILUPPO SLE |         |               |             |          |      |         |        |
|----------------------------|---------|---------------|-------------|----------|------|---------|--------|
| Text                       | m       | Text          | Text        | Text     | KN   | KN      | KN-m   |
| Frame                      | Station | OutputCase    | CaseType    | StepType | P    | V2      | M3     |
| 1                          | 0.30    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 190.52  | 663.09 |
| 1                          | 0.43    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 193.04  | 650.86 |
| 1                          | 0.55    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 195.57  | 638.31 |
| 1                          | 0.68    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 185.38  | 627.86 |
| 1                          | 0.81    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 187.90  | 618.55 |
| 1                          | 0.93    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 176.60  | 609.61 |
| 1                          | 1.06    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 179.12  | 602.44 |
| 1                          | 1.18    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 181.65  | 594.95 |
| 1                          | 1.31    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 165.08  | 589.73 |
| 1                          | 1.44    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 167.61  | 584.57 |
| 1                          | 1.56    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 145.87  | 580.66 |
| 1                          | 1.69    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 148.39  | 578.00 |
| 1                          | 1.82    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 121.55  | 575.43 |
| 1                          | 1.94    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 124.08  | 575.43 |
| 1                          | 2.07    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 126.60  | 575.11 |
| 1                          | 2.19    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 94.73   | 577.05 |
| 1                          | 2.32    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 97.25   | 579.54 |
| 1                          | 2.45    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 40.71   | 583.72 |
| 1                          | 2.57    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 43.23   | 590.94 |
| 1                          | 2.70    | ENVELOPE SLER | Combination | Max      | 0.00 | 45.76   | 597.84 |
| 1                          | 0.30    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -5.52   | 289.99 |
| 1                          | 0.43    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -2.99   | 275.98 |
| 1                          | 0.55    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -0.47   | 261.66 |
| 1                          | 0.68    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -46.30  | 250.08 |
| 1                          | 0.81    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -43.77  | 240.03 |
| 1                          | 0.93    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -70.96  | 230.51 |
| 1                          | 1.06    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -68.43  | 223.21 |
| 1                          | 1.18    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -65.91  | 215.59 |
| 1                          | 1.31    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -90.51  | 210.71 |
| 1                          | 1.44    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -87.98  | 205.95 |
| 1                          | 1.56    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -109.92 | 202.68 |
| 1                          | 1.69    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -107.40 | 200.89 |
| 1                          | 1.82    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -126.61 | 199.24 |
| 1                          | 1.94    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -124.08 | 200.51 |
| 1                          | 2.07    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -121.56 | 201.46 |
| 1                          | 2.19    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -137.95 | 204.95 |
| 1                          | 2.32    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -135.43 | 209.06 |
| 1                          | 2.45    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -156.95 | 215.05 |
| 1                          | 2.57    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -154.42 | 224.37 |
| 1                          | 2.70    | ENVELOPE SLER | Combination | Min      | 0.00 | -151.90 | 233.36 |

Muri scala B Stazione Aeroporto (pk 9+000): Relazione di calcolo

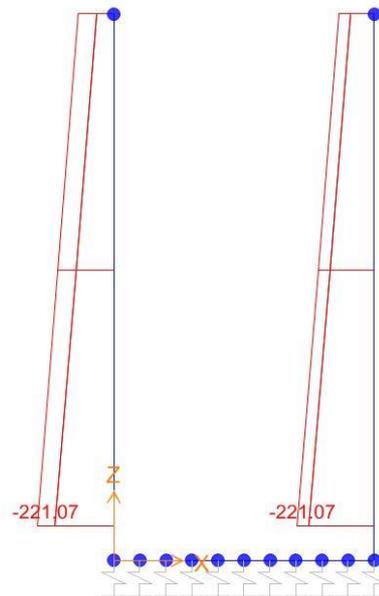
|                  |                  |                |                            |           |                    |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA<br>NN1X | LOTTO<br>00 D 78 | CODIFICA<br>CL | DOCUMENTO<br>FV.05.A.0.006 | REV.<br>B | FOGLIO<br>30 di 71 |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|

|   |      |                           |     |         |         |         |
|---|------|---------------------------|-----|---------|---------|---------|
| 2 | 0.00 | ENVELOPE SLER Combination | Max | -68.05  | 11.81   | 31.08   |
| 2 | 2.98 | ENVELOPE SLER Combination | Max | -127.53 | 86.21   | -28.14  |
| 2 | 5.95 | ENVELOPE SLER Combination | Max | -187.01 | 215.05  | -220.61 |
| 2 | 0.00 | ENVELOPE SLER Combination | Min | -102.11 | 1.20    | 2.42    |
| 2 | 2.98 | ENVELOPE SLER Combination | Min | -161.59 | 28.41   | -101.23 |
| 2 | 5.95 | ENVELOPE SLER Combination | Min | -221.08 | 110.05  | -535.86 |
| 4 | 0.00 | ENVELOPE SLER Combination | Max | -49.61  | -1.20   | -2.42   |
| 4 | 2.98 | ENVELOPE SLER Combination | Max | -109.09 | -35.22  | 108.91  |
| 4 | 5.95 | ENVELOPE SLER Combination | Max | -168.58 | -137.26 | 596.58  |
| 4 | 0.00 | ENVELOPE SLER Combination | Min | -102.11 | -13.76  | -35.96  |
| 4 | 2.98 | ENVELOPE SLER Combination | Min | -161.59 | -94.97  | 34.89   |
| 4 | 5.95 | ENVELOPE SLER Combination | Min | -221.08 | -244.21 | 274.58  |

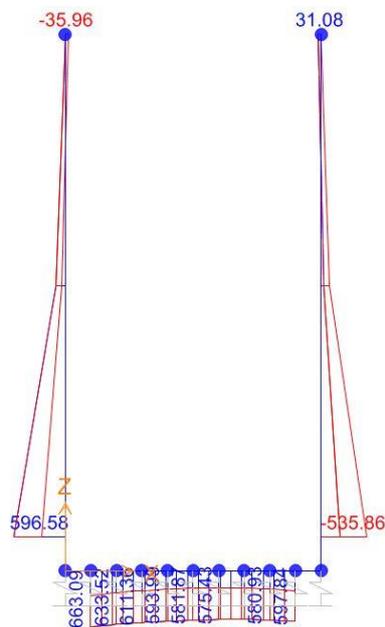


| SEZIONE | P      | V2    | M3    |
|---------|--------|-------|-------|
| 01      | 0.0    | 195.6 | 663.1 |
| 02      | 0.0    | 0.0   | 199.2 |
| 06      | -168.6 | 244.2 | 535.9 |

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)



*Sforzo normale*



*Momento Flettente*

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

#### 4.6. VERIFICHE SLU/SLV/SLE

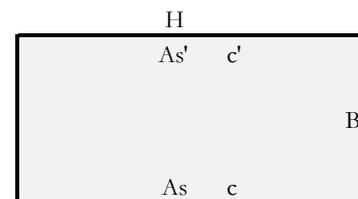
**Oggetto:**

Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione a U  
Sezione n°. 01

**Dati di Input:**

|           |  |                           |            |  |
|-----------|--|---------------------------|------------|--|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm                   |            |  |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 800 mm                    |            |  |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 120 mm                    |            |  |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 120 mm                    |            |  |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 680 mm                    |            |  |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa                    |            |  |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa                   |            |  |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | 0.0 kN                    |            |  |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 1094.6 kNm                |            |  |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 410.7 kN                  |            |  |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                     |            |  |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 26                        |            |  |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      | 26                        |            |  |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10 Armatura tesa filante  | 5309 mmq   |  |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     | 10 Armatura di raffittim. | 5309 mmq   |  |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 5309 mmq                  |            |  |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 10619 mmq                 |            |  |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | mm                        |            |  |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 150 mm                    |            |  |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                         |            |  |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.0 [range: 1,0-2,5]      |            |  |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                     |            |  |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m                   | 0.00 cmq/m |  |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                         |            |  |
| Msle      | Momento di esercizio [(+)]                     | 663.1 kNm                 |            |  |
| Nsle      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | 0.0 kN                    |            |  |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm                   |            |  |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck                  |            |  |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck                  |            |  |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk                  |            |  |

**Geometria della Sezione:**



**Dati di Output:**

**SLU - Momento e Taglio resistenti**

|       |   |          |               |     |
|-------|---|----------|---------------|-----|
| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S        |               |     |
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 2430 kNm | Coeff.Sfrutt. | 45% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 454 kN   | Coeff.Sfrutt. | 91% |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm    | Coeff.Sfrutt. |     |

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

|          |  |         |                  |     |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -52 Mpa | Coeff.Sfrutt.    | 15% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 109 Mpa | Coeff.Sfrutt.    | 30% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -6 Mpa  | Coeff.Sfrutt.    | 32% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa   |                  |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 411 kNm |                  |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.18 mm | Coeff.Sfrutt.    | 90% |
|          |  |         | Coeff.Sfrutt.Max | 91% |

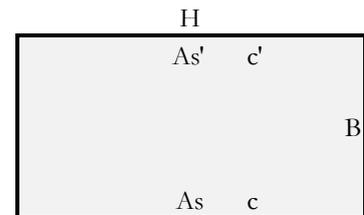
**Oggetto:**

Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione a U  
Sezione n°. 02

**Dati di Input:**

|           |  |                           |            |  |
|-----------|--|---------------------------|------------|--|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm                   |            |  |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 800.00 mm                 |            |  |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 120 mm                    |            |  |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 120 mm                    |            |  |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 680 mm                    |            |  |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa                    |            |  |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa                   |            |  |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | 0.0 kN                    |            |  |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 201.1 kNm                 |            |  |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 0.0 kN                    |            |  |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                     |            |  |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 26                        |            |  |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      | 26                        |            |  |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10 Armatura tesa filante  | 5309 mmq   |  |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     | 10 Armatura di raffittim. | 5309 mmq   |  |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 5309 mmq                  |            |  |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 10619 mmq                 |            |  |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | mm                        |            |  |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 150 mm                    |            |  |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                         |            |  |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5 [range: 1,0-2,5]      |            |  |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                     |            |  |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m                   | 0.00 cmq/m |  |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                         |            |  |
| Mslc      | Momento di esercizio [(+)]                     | 199.2 kNm                 |            |  |
| Nslc      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | 0.0 kN                    |            |  |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm                   |            |  |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck                  |            |  |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck                  |            |  |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk                  |            |  |

**Geometria della Sezione:**



**Dati di Output:**

**SLU - Momento e Taglio resistenti**

|  |   |          |                  |     |
|--|---|----------|------------------|-----|
| <S-N>                                    | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S        |                  |     |
| Mrd                                      | Momento ultimo resistente                   | 2430 kNm | Coeff.Sfrutt.    | 8%  |
| Vrd                                      | Taglio ultimo resistente                    | 454 kN   | Coeff.Sfrutt.    | 0%  |
| Trd                                      | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm    | Coeff.Sfrutt.    |     |
| <b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b> |   |          |                  |     |
| Sigs-sup                                 | Tensione barre superiori [(-)Compresso]     | -16 Mpa  | Coeff.Sfrutt.    | 4%  |
| Sigs-inf                                 | Tensione barre inferiori [(+)Teso]          | 33 Mpa   | Coeff.Sfrutt.    | 9%  |
| Sigc-sup                                 | Tensione cls superiore [(-)Compresso]       | -2 Mpa   | Coeff.Sfrutt.    | 10% |
| Sigc-inf                                 | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]  | 0 Mpa    |                  |     |
| Mcr                                      | Momento di prima fessurazione               | 411 kNm  |                  |     |
| wk                                       | Ampiezza di fessura                         | 0.04 mm  | Coeff.Sfrutt.    | 21% |
|  |   |          | Coeff.Sfrutt.Max | 21% |

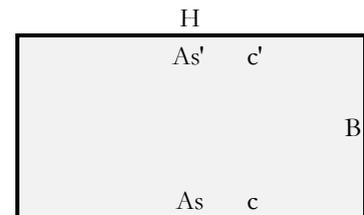
**Oggetto:**

Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione a U  
Sezione n°. 06

**Dati di Input:**

|           |  |                           |            |  |
|-----------|--|---------------------------|------------|--|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm                   |            |  |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 800.00 mm                 |            |  |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 120 mm                    |            |  |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 120 mm                    |            |  |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 680 mm                    |            |  |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa                    |            |  |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa                   |            |  |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | -170.7 kN                 |            |  |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 1027.5 kNm                |            |  |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 392.6 kN                  |            |  |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                     |            |  |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 22                        |            |  |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      | 22                        |            |  |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10 Armatura tesa filante  | 3801 mmq   |  |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     | 10 Armatura di raffittim. | 3801 mmq   |  |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 3801 mmq                  |            |  |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 7603 mmq                  |            |  |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | mm                        |            |  |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 200 mm                    |            |  |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                         |            |  |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5 [range: 1,0-2,5]      |            |  |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                     |            |  |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m                   | 0.00 cmq/m |  |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                         |            |  |
| Mslc      | Momento di esercizio [(+)]                     | 535.9 kNm                 |            |  |
| Nslc      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | -168.6 kN                 |            |  |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm                   |            |  |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck                  |            |  |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck                  |            |  |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk                  |            |  |

**Geometria della Sezione:**



**Dati di Output:**

**SLU - Momento e Taglio resistenti**

|       |   |          |               |     |
|-------|---|----------|---------------|-----|
| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S        |               |     |
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 1829 kNm | Coeff.Sfrutt. | 56% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 428 kN   | Coeff.Sfrutt. | 92% |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm    | Coeff.Sfrutt. |     |

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

|          |  |         |                  |     |
|----------|--|---------|------------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -50 Mpa | Coeff.Sfrutt.    | 14% |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 110 Mpa | Coeff.Sfrutt.    | 31% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -6 Mpa  | Coeff.Sfrutt.    | 31% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa   |                  |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 407 kNm |                  |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.18 mm | Coeff.Sfrutt.    | 88% |
|          |  |         | Coeff.Sfrutt.Max | 92% |

Si riportano i coefficienti di sfruttamento nelle sezioni notevoli per le verifiche SLU/SLV/SLE:

| <b>SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:</b> |                |       |       |       |
|--|----------------|-------|-------|-------|
| SL   | VERIF          | SEZ01 | SEZ02 | SEZ06 |
| SLU  | Med/Mrd        | 45%   | 8%    | 56%   |
| SLU  | Ved/Vrd        | 91%   | 0%    | 92%   |
| SLE  | (sigse/sigsr)s | 15%   | 4%    | 14%   |
| SLE  | (sigse/sigsr)i | 30%   | 9%    | 31%   |
| SLE  | (sigce/sigα)s  | 32%   | 10%   | 31%   |
| SLE  | wk/wklim       | 90%   | 21%   | 88%   |
|  | MAX            | 91%   | 21%   | 92%   |
|  | MAX            | 92%   |       |       |

I coefficienti di sfruttamento sono tutti inferiori all'unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

#### *.4.7. ARMATURE DI RIPARTIZIONE*

Le armature di ripartizione delle pareti e della soletta vengono dimensionate per sostenere gli effetti del ritiro igrometrico i quali generano una trazione pura per deformazioni impedita a causa della soletta inferiore gettata precedentemente e che può aver dissipato tali effetti.

La  $\epsilon$ ritiro induce nel calcestruzzo una tensione di trazione superiore alla sua resistenza a trazione, ne deriva la fessurazione e il trasferimento di tutta la trazione sull'acciaio teso. Per ottenere delle fessure uniformemente distribuite e non concentrate in alcuni punti con ampiezze macroscopiche, si applica un principio di non plasticizzazione delle armature. Per limitare l'ampiezza delle fessure, pur distribuite, che si ottengono applicando tale principio, si applica quanto previsto al § 7.3.2 dell'Eurocodice 2 - UNI EN 1992 1-1: "Aree minime di armatura", in particolare la formula (7.1):

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

dove:

$A_{s,min}$  è l'area minima di armatura nella zona tesa;

$A_{ct}$  è l'area di calcestruzzo nella zona tesa. La zona tesa è quella parte della sezione che risulta in trazione subito dopo la formazione della prima fessura; è pari a tutta l'area della sezione per trazione pura, alla metà per flessione;

$\sigma_s$  è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura. Tale tensione può essere assunta pari alla tensione di snervamento  $f_{yk}$  dell'armatura. Può essere però necessario fissare un valore minore per soddisfare i limiti di apertura delle fessure secondo il massimo diametro o la massima spaziatura tra le barre (vedere punto 7.3.3).

$f_{ct,eff}$  è il valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure;

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  se la formazione delle fessure è prevista prima di 28d;

$k$  è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi,  $k=1$

$k_c$  è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni all'interno della sezione subito prima della fessurazione e della variazione del braccio di leva;  $k_c=1$  per trazione,  $k_c=0,4$  per flessione,  $k_c = 0,4 \cdot (1 - \text{funz}(\sigma_c))$  nel caso flessione combinata con sforzo normale.

|   |                                |                        |
|---|--------------------------------|------------------------|
| base della sezione                            |                                | 1000 mm                |
| altezza della sezione                         |                                | 800 mm                 |
| area sezione calcestruzzo                     | $A_{ct}$                       | 800000 mm <sup>2</sup> |
| tensione di snervamento acciaio               | $f_{yk}$                       | 450 Mpa                |
| resist. Caratt. Cilindrica cls a compressione | $f_{ck}$                       | 30 Mpa                 |
| tensione resistente cls a trazione            | $f_{ct,eff}=0,3(f_{ck})^{2/3}$ | 2.90 Mpa               |
| coefficiente $k_c$                            | $k_c$                          | 1.00                   |
| coefficiente $k$                              | $k$                            | 1.00                   |
| area minima acciaio teso nella sezione        | $A_{s,min}$                    | 5149 mm <sup>2</sup>   |

P.to 7.3.3 EC2 1992:1-1): Dove è disposta l'armatura minima indicata al punto 7.3.2, le ampiezze delle fessure non dovrebbero essere eccessive se: per fessurazione causata principalmente da deformazioni impedito, il diametro delle barre non eccede quello dato nel prospetto 7.2N, dove la tensione nell'acciaio è quella che si ha subito dopo la fessurazione [cioè il termine  $\sigma_s$  nell'espressione (7.1)];

prospetto 7.2N

**Diametri massimi delle barre  $\phi^*_s$  per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>**

| Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup><br>[MPa] | Diametro massimo delle barre [mm] |                |                |
|--|-----------------------------------|----------------|----------------|
|  | $w_k = 0,4$ mm                    | $w_k = 0,3$ mm | $w_k = 0,2$ mm |
| 160  | 40                                | 32             | 25             |
| 200  | 32                                | 25             | 16             |
| 240  | 20                                | 16             | 12             |
| 280  | 16                                | 12             | 8              |
| 320  | 12                                | 10             | 6              |
| 360  | 10                                | 8              | 5              |
| 400  | 8                                 | 6              | 4              |
| 450  | 6                                 | 5              | -              |

1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:  
 $c = 25$  mm;  $f_{ct,eff} = 2,9$  MPa;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h - d) = 0,1 h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$  e  $k' = 1,0$ .

2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

Il diametro massimo delle barre si raccomanda sia modificato come segue:

Trazione (la sezione è tutta tesa):

$$\phi_s = \phi^*_s (f_{ct,eff} / 2,9) h_{cr} / (8(h-d)) \quad (7.7N)$$

dove:

$\phi_s$  è il diametro massimo "modificato" delle barre;

$\phi^*_s$  è il diametro massimo dato nel prospetto 7.2N;

$h$  è l'altezza totale della sezione;

$h_{cr}$  è l'altezza della zona tesa subito prima della fessurazione, considerando i valori caratteristici della forza di precompressione e delle forze assiali sotto la combinazione di azioni quasi-permanente;

$d$  è l'altezza utile valutata rispetto al baricentro dello strato più esterno di armatura ordinaria.

Se tutta la sezione è tesa  $h-d$  è la minima distanza tra il baricentro dello strato di armatura e il lembo esterno della sezione (considerare ciascun lembo se la barra non è disposta simmetricamente).

Verifica armatura trasversale:

|  |              |                      |            |                      |
|--|--------------|----------------------|------------|----------------------|
| diametro barre trasversali                               | $\Phi$ trasv | 20 mm                | < $F_s$    | Verifica soddisfatta |
| passo barre trasversali                                  | passo        | 100 mm               |            |                      |
| N.strati barre trasvers. (sup.+inf.+intermedi)           | n.strati     | 2                    |            |                      |
| Area barre trasversali                                   | $A_s$        | 6283 mm <sup>2</sup> |            |                      |
| stato tensionale barre dopo fessurazione                 | $\sigma_s$   | 369 mm <sup>2</sup>  | < $f_{yk}$ | Verifica soddisfatta |
| $\phi$ barre da tabella 7.2N x $\sigma_s$ e $w_k=0,2$ mm | $\phi^*_s$   | 8 mm                 |            |                      |
| altezza zona tesa prima della fessurazione               | $h_{cr}$     | 800 mm               |            |                      |
| altezza totale sezione                                   | $h$          | 800 mm               |            |                      |
| copriferro (asse barre)                                  | $c$          | 50 mm                |            |                      |
| altezza utile sezione                                    | $d$          | 750 mm               |            |                      |
| diametro massimo modificato utilizzabile                 | $\phi_s$     | 64 mm                | (= $F_s$ ) |                      |

#### 4.8. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE

##### A seguire il riepilogo delle armature del tombino:

|                                   |       |                 |   |                 |                       |
|-----------------------------------|-------|-----------------|---|-----------------|-----------------------|
| Pareti di spessore                | 80 cm |                 |   |                 |                       |
| con armatura principale esterna   |       | <b>F22 /100</b> | + | <b>F22 /100</b> | 7603 mm <sup>2</sup>  |
| con armatura principale interna   |       | <b>F22 /100</b> | + | <b>F22 /100</b> | 3801 mm <sup>2</sup>  |
| Soletta inferiore di spessore     | 80 cm |                 |   |                 |                       |
| con armatura principale superiore |       | <b>F26 /100</b> | + | <b>F26 /100</b> | 10619 mm <sup>2</sup> |
| con armatura principale inferiore |       | <b>F26 /100</b> | + | <b>F26 /100</b> | 10619 mm <sup>2</sup> |

Le pareti non hanno armatura a taglio.

La soletta inferiore non ha armatura a taglio.

Le armature di ripartizione sono:

|                   | Armature di ripartizione:       | Area:                  | % Arm. principale:           |
|-------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Pareti            | <b>F20 /100</b> <b>2 strati</b> | 6283.2 mm <sup>2</sup> | 55% di 11404 mm <sup>2</sup> |
| Soletta inferiore | <b>F20 /100</b> <b>2 strati</b> | 6283.2 mm <sup>2</sup> | 30% di 21237 mm <sup>2</sup> |

##### Incidenza armature:

|                    |      |        |                     |    |        |
|--------------------|------|--------|---------------------|----|--------|
| Larghezza utile    | Lint | 2.20 m | Spessore piedritti  | Sp | 0.80 m |
| Altezza libera     | Hint | 5.95 m | Spessore fondazione | Sf | 0.80 m |
| incidenza sovrapp. |      | 20%    | copriferro          | c  | 0.12 m |

| Elem.         | Ø1 sup/int [mm] | pass1 [mm] | Ø2 sup/int [mm]       | pass2 [mm]      | Ø3 inf/ext [mm]           | pass3 [mm]  | Ø4 inf/ext [mm] | pass4 [mm] | Øleg [mm] | Øleg pass1 [mm] | Øleg pass2 [mm] |
|---------------|-----------------|------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|-------------|-----------------|------------|-----------|-----------------|-----------------|
| piedritto     | 22              | 100        | 22                    | 100             | 22                        | 100         | 22              | 100        | 0         | 1000            | 1000            |
| fondaz.       | 26              | 100        | 26                    | 100             | 26                        | 100         | 26              | 100        | 0         | 1000            | 1000            |
| ripartiz.     | 20              | 100        | x                     | <b>2 strati</b> |                           |             |                 |            |           |                 |                 |
| Elem.         | LØ [m]          | Lleg [mm]  | Vol [m <sup>3</sup> ] | Peso [kg]       | incd [kg/m <sup>3</sup> ] | Inc%        |                 |            |           |                 |                 |
| piedritto     | 7.63            | 0.76       | 4.8                   | 1093            | <b>230</b>                | <b>51%</b>  |                 |            |           |                 |                 |
| fondaz.       | 4.68            | 0.76       | 3.0                   | 936             | <b>308</b>                | <b>22%</b>  |                 |            |           |                 |                 |
| ripartiz.     |                 |            | 12.6                  | 1154            | <b>92</b>                 | <b>27%</b>  |                 |            |           |                 |                 |
| <b>TOTALE</b> |                 |            | <b>12.6</b>           | <b>4276</b>     | <b>340</b>                | <b>100%</b> |                 |            |           |                 |                 |

## 5. SEZIONE 2 - SEZIONE SCATOLARE

### 5.1. GEOMETRIA

|                     |      |        |  |
|---------------------|------|--------|--|
| Larghezza utile     | Lint | 2.20 m | <i>luce interna scatolare</i>            |
| Altezza libera      | Hint | 5.30 m | <i>altezza interna scatolare</i>         |
| Spessore piedritti  | Sp   | 0.80 m | <i>(consigliato: Sp = Ss)</i>            |
| Spessore soletta    | Ss   | 0.40 m | <i>(consigliato: Ss = Lint/10+10cm.)</i> |
| Spessore fondazione | Sf   | 0.80 m | <i>(consigliato: Sf = Ss + 10cm.)</i>    |
| Larghezza totale    | Ltot | 3.80 m | <i>Lint+2xSPp</i>                        |
| Altezza totale      | Htot | 6.50 m | <i>Hint+SPs+SPf</i>                      |

### 5.2. MODELLAZIONE ADOTTATA

Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

| <i>asta</i> | <i>base</i> | <i>altezza</i> | <i>descrizione</i>  |
|-------------|-------------|----------------|---------------------|
| Asta 1      | 100 cm      | 80 cm          | (soletta inferiore) |
| Aste 2, 4   | 100 cm      | 80 cm          | (Piedritti)         |
| Aste 3      | 100 cm      | 40 cm          | (Soletta superiore) |

Le caratteristiche geometriche del modello e le coordinate dei nodi sono le seguenti:

|             |        |
|-------------|--------|
| Linterasse  | 3.00 m |
| Hinterasse  | 5.90 m |
| N.nodi      | 13     |
| N.nodi sup  | 2      |
| N.nodi inf  | 11     |
| N.spazi inf | 10     |

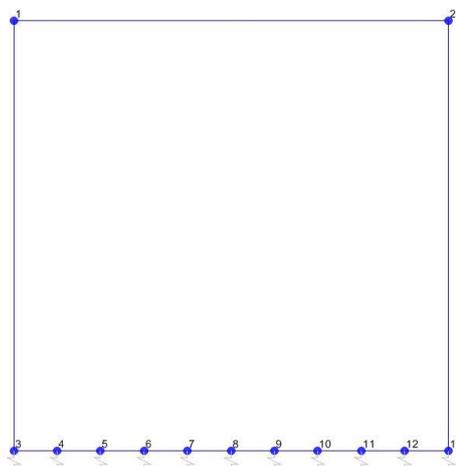


Figura 3. Numerazione nodi modello SAP

| Nodo | X     | Z     |
|------|-------|-------|
| 1    | 0.000 | 5.900 |
| 2    | 3.000 | 5.900 |
| 3    | 0.000 | 0.000 |
| 4    | 0.300 | 0.000 |
| 5    | 0.600 | 0.000 |
| 6    | 0.900 | 0.000 |
| 7    | 1.200 | 0.000 |
| 8    | 1.500 | 0.000 |
| 9    | 1.800 | 0.000 |
| 10   | 2.100 | 0.000 |
| 11   | 2.400 | 0.000 |
| 12   | 2.700 | 0.000 |
| 13   | 3.000 | 0.000 |

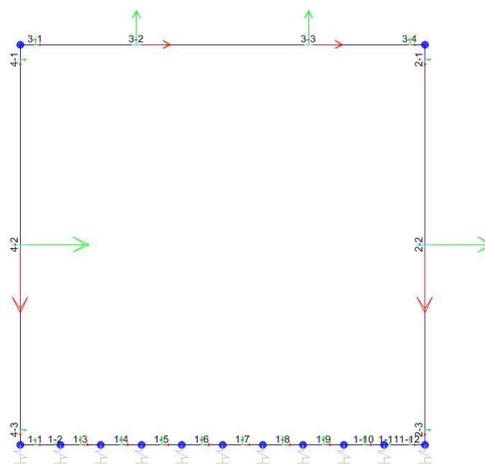


Figura 4: Individuazione elementi modello SAP

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Per la rigidezza delle molle, nel caso in esame, si assume il valore del Modulo di reazione verticale desunto dai parametri della relazione geotecnica:

#### Rigidezza molle nodali SAP

|                            |                      |                               |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------|
| ks                         |                      | <b>7466</b> kN/m <sup>3</sup> |
| nodi centrali (6,7,8,9,10) |                      |                               |
| Linfl                      |                      | 0.300 m                       |
| Kcentrale                  | ks x Linfl x 1       | <b>2240</b> kN/m              |
| nodi intermedi (4,5,11,12) |                      |                               |
| Linfl                      |                      | 0.300 m                       |
| Kintermedio                | 1,5 x ks x Linfl x 1 | <b>3360</b> kN/m              |
| nodi estremità (3,13)      |                      |                               |
| Linfl                      |                      | 0.550 m                       |
| Kestremità                 | 2,0 x ks x Linfl x 1 | <b>8212</b> kN/m              |

### 5.3. ANALISI DEI CARICHI

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

#### Peso proprio della struttura (condizione DEAD)

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

|                                    |                |                      |                           |
|------------------------------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| Peso specifico calcestruzzo armato | $\gamma_{cls}$ | 25 kN/m <sup>3</sup> |                           |
| peso soletta superiore             | $P_{ss}$       | 10.00 kN/m           | $\gamma_{cls} \times S_s$ |
| peso singolo piedritto             | $P_p$          | 20.00 kN/m           | $\gamma_{cls} \times S_p$ |
| peso fondazione                    | $P_{sf}$       | 20.00 kN/m           | $\gamma_{cls} \times S_f$ |

#### Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX)

|  |         |                         |  |
|--|---------|-------------------------|--|
| angolo di attrito rinterro               | $\phi'$ | 38.0 [°]                | 0.663 [rad]  |
| coefficiente spinta attiva $k_a$         | $k_a$   | 0.238                   | $(1 - \text{sen}\phi) / (1 + \text{sen}\phi)$            |
| coefficiente spinta riposo $k_o$         | $k_o$   | 0.384                   | $(1 - \text{sen}\phi)$                                   |
| coefficiente spinta passiva $k_p$        | $k_p$   | 4.204                   | $(1 + \text{sen}\phi) / (1 - \text{sen}\phi)$            |
| Pressione asse soletta superiore         | $P_2$   | 0.00 kN/m <sup>2</sup>  | $Z=0$  |
| Pressione asse soletta inferiore         | $P_3$   | 43.81 kN/m <sup>2</sup> | $k_o \times \gamma t \times (H_{int} + S_f / 2)$         |
| Pressione intradosso soletta inferiore   | $P_4$   | 46.89 kN/m <sup>2</sup> | $k_o \times (P_b + P_r + P_m + \gamma_r \times H_{tot})$ |
| Forza concentrata asse soletta inferiore | $F_2$   | 18.14 kN/m              | $(P_3 + P_4) / 2 \times S_f / 2$                         |

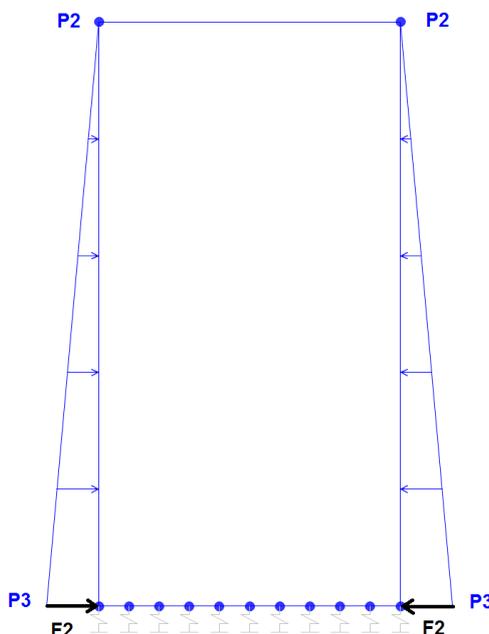


Figura 6. Condizione di carico SPTDX-SPTSX da SAP2000

Il carico concentrato nel nodo 3 (per la SPTSX) oppure 13 (per la SPTDX) rappresentano la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta inferiore.

### Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

Il carico del treno di riferimento è il più gravoso tra LM71 e SW/2

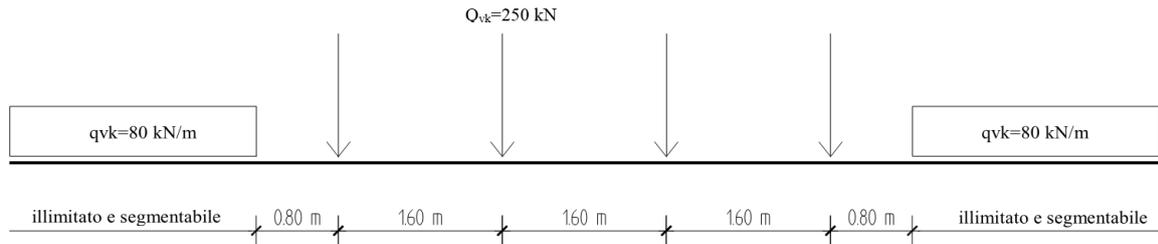


Figura 7. Treno LM71

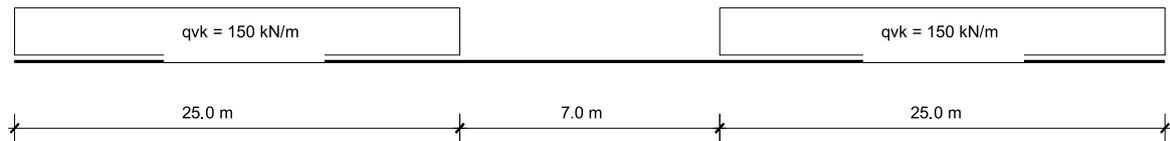


Figura 8. Treno SW/2

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno SW/2 rispetto al carico dovuto al treno LM71. Nei calcoli pertanto sarà utilizzato il valore del SW/2

#### CARICO TRENO (ACCM SW/02)

|   |    |                         |
|---|----|-------------------------|
| Carico treno SW/2                         | q  | 150.00 kN/m             |
| Larghezza di ripartizione del carico      | Ld | 3.00 m                  |
| Carico distribuito per treno SW/2 diffuso | qv | 50.00 kN/m <sup>2</sup> |

Inoltre si considera il carico accidentale dovuto alla presenza di persone sui marciapiedi così come prescritto nelle NTC2018 §5.2.2.2.2

#### CARICO FOLLA (ACCMQ)

|   |     |                         |
|---|-----|-------------------------|
| Carico distribuito su soletta superiore | PQ1 | 10.00 kN/m <sup>2</sup> |
|---|-----|-------------------------|

Il carico accidentale dovuto alla presenza delle persone è stato applicato sulla soletta superiore come carico verticale distribuito; il carico accidentale dovuto alla presenza dei treni, invece, è stato utilizzato solo per il calcolo della spinta sui muri laterali.



Figura 9. Condizione di carico ACCM da SAP2000

**Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXSW/02 e SPACCDXSW/02)**

|   |             |                                |                          |
|---|-------------|--------------------------------|--------------------------|
| Carico distrib treno SW/2 sui piedritti | $S_{qv}$    | <b>16.47</b> kN/m <sup>2</sup> | $qv \times K_0$          |
| Spinta semispessore soletta superiore   | $F_{q1sup}$ | <b>3.29</b> kN/m               | $S_{qv} \times SP_s / 2$ |
| spinta semispessore soletta inferiore   | $F_{q1inf}$ | <b>6.59</b> kN/m               | $S_{qv} \times SP_i / 2$ |

**Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSXQ e SPACCDXQ)**

|                                       |             |                               |                          |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|
| Carico distrib folla sui piedritti    | $S_{Q1}$    | <b>3.84</b> kN/m <sup>2</sup> | $P_{Q1} \times K_0$      |
| Spinta semispessore soletta superiore | $F_{q1sup}$ | <b>0.77</b> kN/m              | $S_{Q1} \times SP_s / 2$ |
| Spinta semispessore soletta inferiore | $F_{q1inf}$ | <b>1.54</b> kN/m              | $S_{Q1} \times SP_i / 2$ |

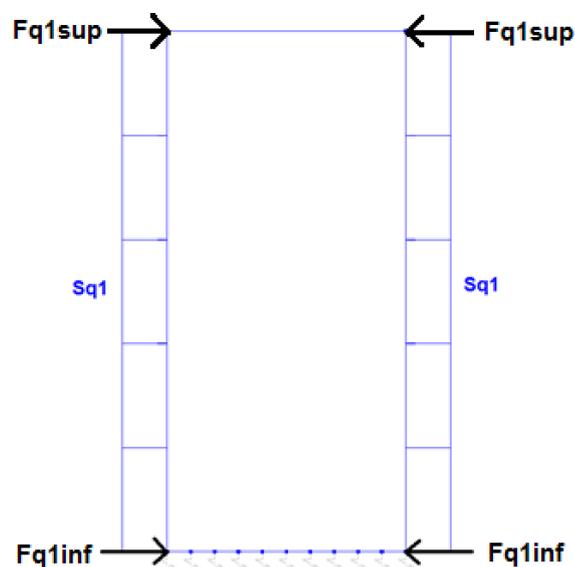


Figura 10. Condizione di carico SPACCSXQ/SW02 e SPACCDXQ/SW02 da SAP2000

### Azioni termiche (condizione TERM)

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

|                                  |                   |                       |                                |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Variazione termica uniforme      | $\Delta T_{unif}$ | <b>+ -15.00</b> [°]   | <i>Sulla soletta superiore</i> |
| Variazione termica differenziale | $\Delta T_{diff}$ | <b>+ -5.00</b> [°]    | <i>Sulla soletta superiore</i> |
|                                  | Gradiente         | <b>+ -12.50</b> [°/m] | $\Delta T_{diff} / S_s$        |

### Ritiro igrometrico (condizione RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 17-01-2018.

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

|   |                     |                  |                                |
|---|---------------------|------------------|--------------------------------|
| Variazione termica uniforme equivalente | $\Delta T_{ritiro}$ | <b>-[11.59°]</b> | <i>Sulla soletta superiore</i> |
|---|---------------------|------------------|--------------------------------|

## CONDIZIONI DI CARICO SISMICHE

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

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h \cdot W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v \cdot W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$

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

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

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N$  ed una classe d'uso  $C_u$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_u$ .

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari ad  $a_g$ , il cui valore è di seguito riportato, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

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

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

*Le forze di inerzia sullo **scatolare** (masse di peso proprio soletta superiore e piedritti, rinterro e ballast, 20% treno di carico,...) sono pari alle masse moltiplicate per  $k_h$  e  $k_v$  ove:  $k_h = \beta M \cdot S \cdot a_g / g$  e  $k_v = k_h / 2$ . Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno,  $\beta M = 1$ .*

|   |          |            |
|---|----------|------------|
| vita nominale   | $V_N$    | 75 anni    |
| classe d'uso  | CL       | III        |
| coefficiente d'uso                                    | $C_U$    | 1.50       |
| vita di riferimento = $C_U \cdot V_N$                 | $V_R$    | 112.5 anni |
| probabilità di superamento nel periodo di riferimento | $P_{VR}$ | 10%        |
| periodo di ritorno del sisma                          | $T_R$    | 1068 anni  |

## Spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

Coordinate del sito in oggetto:

|             |          |
|-------------|----------|
| Latitudine  | 40.62408 |
| Longitudine | 14.92369 |

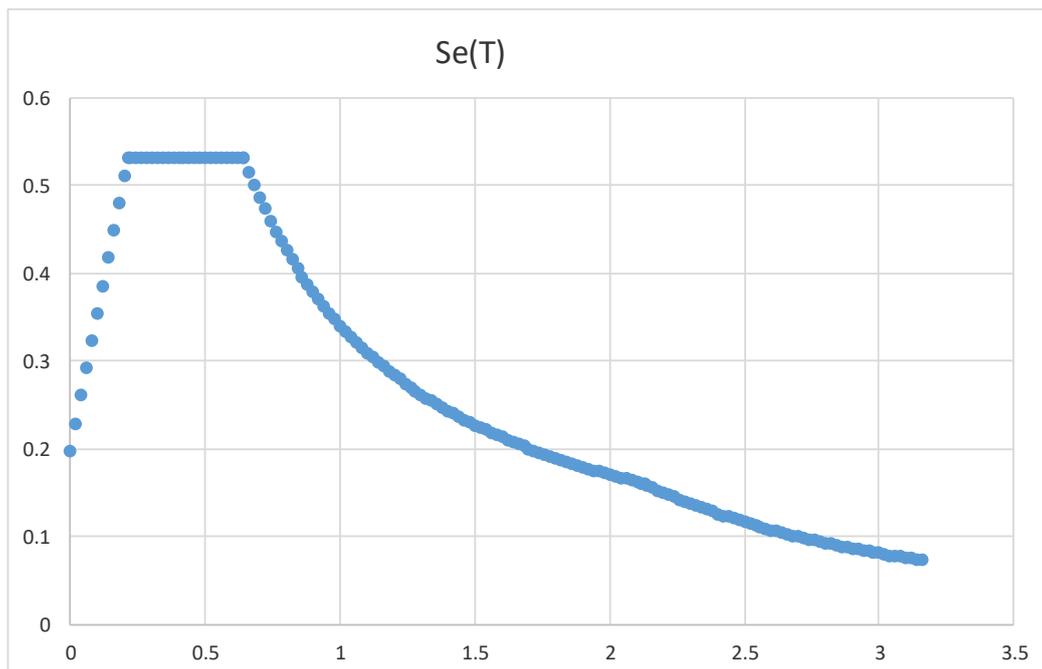
Parametri sismici di progetto

|   |                |           |
|---|----------------|-----------|
| accelerazione massima orizzontale al bedrock                  | ago            | 0.130 g   |
| fattore amplificazione massima spettro accelerazione          | Fo             | 2.701 sec |
| periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz. | T*c            | 0.487     |
| categoria sottosuolo  |                | C         |
| categoria topografica   |                | T1        |
| amplificazione topografica                                    | S <sub>T</sub> | 1.000     |
| smorzamento viscoso convenzionale                             | ξ              | 5%        |
| fattore di correzione per ξ <> 5%                             | η              | 1.000     |

| Tab.3.2.V | S <sub>S</sub> | C <sub>C</sub> | S <sub>S</sub> | C <sub>C</sub> |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A         | 1.00           | 1.00           | 1.49           | 1.33           |
| B         | 1.20           | 1.27           |                |                |
| C         | 1.49           | 1.33           |                |                |
| D         | 1.80           | 1.79           |                |                |
| E         | 1.60           | 1.53           |                |                |

|   |                |                |
|---|----------------|----------------|
| coefficiente amplificazione stratigrafica   | S <sub>S</sub> | 1.489          |
| coefficiente di amplificazione  | S              | <b>1.489</b>   |
| coefficiente categoria sottosuolo   | C <sub>C</sub> | 1.331          |
| periodo inizio tratto a accelerazione costante = T <sub>c</sub> / 3                 | T <sub>B</sub> | 0.216 sec      |
| periodo inizio tratto a velocità costante = C <sub>c</sub> * T*c                    | T <sub>C</sub> | 0.648 sec      |
| periodo inizio tratto a spostamento costante = 4 * ag/g + 1,6                       | T <sub>D</sub> | 2.120 sec      |
| accelerazione massima orizzontale al suolo = S <sub>s</sub> x S <sub>t</sub> x ag/g | ago,max        | <b>0.194 g</b> |

**SPETTRO ORIZZONTALE ELASTICO SLV**



### Accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo scatolare

|   |                               |             |                 |
|---|-------------------------------|-------------|-----------------|
| Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito |                               | $\beta$     | <b>1.000</b>    |
| $a_o = k_h = a_{g0,max} = S \times a_{g0}$            | valore $PGA \times$ scatolare | $a_o = k_h$ | <b>0.1936 g</b> |
| $a_v = k_v = k_h / 2$                                 | valore $PGA \times$ scatolare | $a_v = k_v$ | <b>0.0968 g</b> |

### Forze di inerzia (condizione SismaH)

|  |         |                               |                              |
|--|---------|-------------------------------|------------------------------|
| Forza di inerzia treno di carico - (%)       | %       | <b>20%</b>                    |                              |
| Forza orizzontale sulla soletta di copertura | $F''_h$ | <b>3.87</b> kN/m              | $(P_{ss}+P_{Q1}) \times k_b$ |
| Forza orizzontale su singolo piedritto       | $F''_h$ | <b>3.87</b> kN/m <sup>2</sup> | $P_p \times k_b$             |

### Forze di inerzia (condizione SismaV)

|  |         |                               |                              |
|--|---------|-------------------------------|------------------------------|
| Forza di inerzia treno di carico - (%)     | %       | 20%                           |                              |
| Forza verticale sulla soletta di copertura | $F''_v$ | <b>2.90</b> kN/m <sup>2</sup> | $(P_{ss}+P_{Q1}) \times k_v$ |

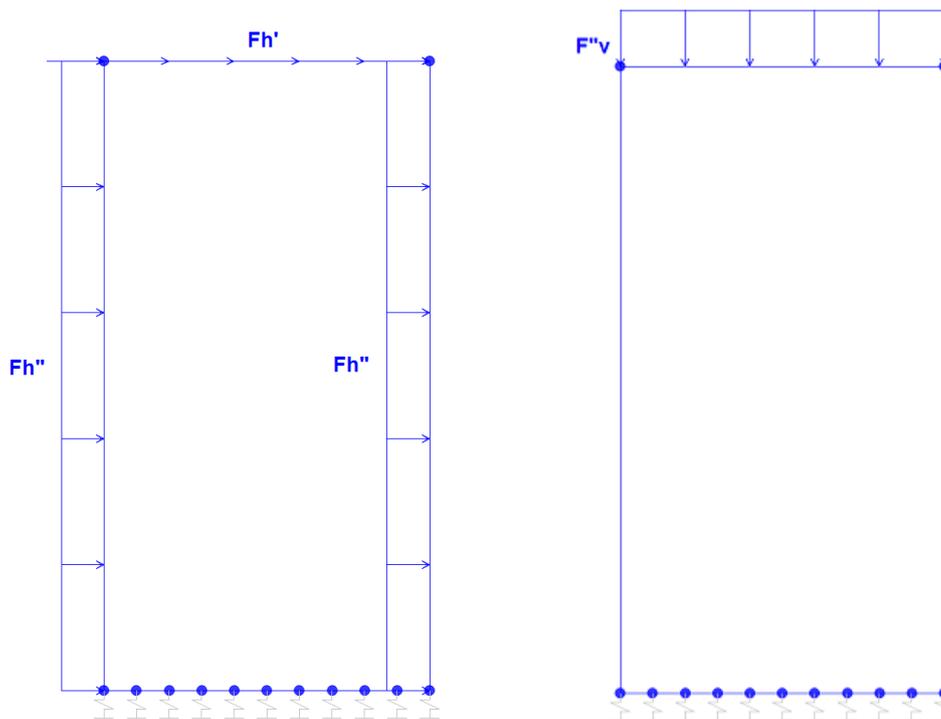
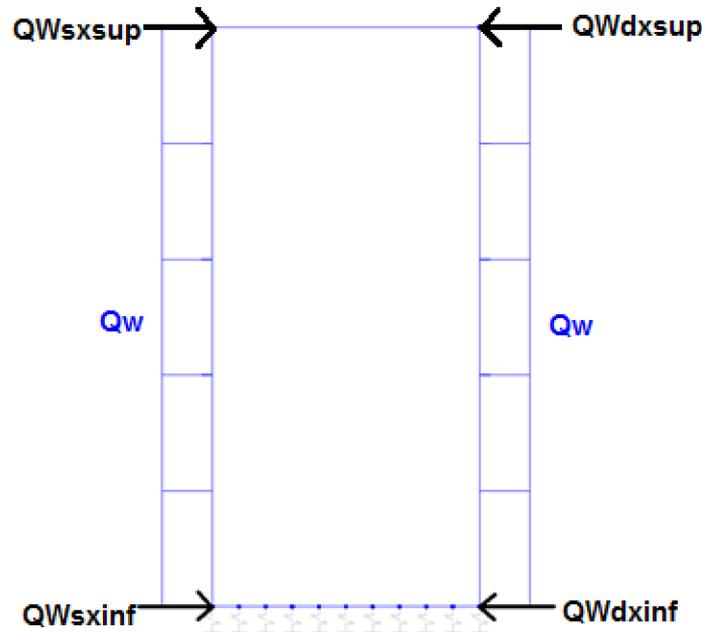


Figura 11. Condizione di carico SismaH e SismaV da SAP2000

### Spinta sismica terreno - Teoria di WOOD (condizioni SPSSX e SPSSX)

|  |            |                                |  |
|--|------------|--------------------------------|--|
| Forza distribuita sui piedritti            | $Q_w$      | <b>29.04</b> kN/m <sup>2</sup> | $(\%q_v+P_{Q1} + \gamma r \times H_{tot}) \times (a_{g0,max})$ |
| Forza concentrata nodo superiore piedritti | $Q_{Wsup}$ | <b>5.81</b> kN                 | $q_{Wsx} \times S_f / 2$                                       |
| Forza concentrata nodo inferiore piedritti | $Q_{Winf}$ | <b>11.62</b> kN                | $q_{Wsx} \times S_f / 2$                                       |



### 5.3.1. Reazioni scarichi della pensilina

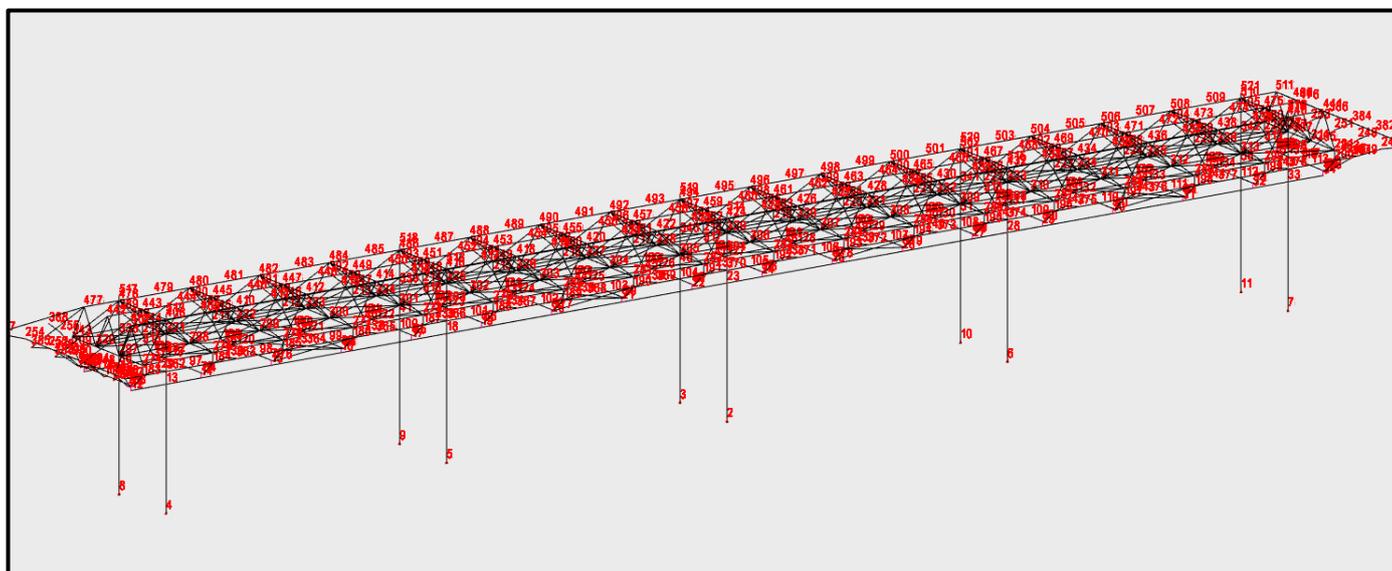
Al modello dei muri sono stati applicati, inoltre, anche gli scarichi delle pensiline che poggiano su di essi, tali valori sono stati dedotti dalle relative relazioni di calcolo e vengono nel seguito riportati per ognuna delle condizioni di carico considerate. I valori riportati in tabella riguardano solo i piedritti della pensilina che poggiano direttamente sui muri, nel modello a favore di sicurezza verranno applicati solo quelli con effetti sfavorevoli e quindi le traslazioni orizzontali verso l'interno del vano scala, le reazioni verticali positive (per trazione sul piedritto) e negative (per taglio e momento sulla soletta di fondazione) e i momenti con rotazione anch'essa verso l'interno del vano scala, tali carichi risultano in accordo con quelli dovuti alla spinta del terreno, alla spinta dovuta al passaggio dei convogli e alla presenza di persone sulle banchine, e alle azioni sismiche considerate.

I valori considerati sono quelli evidenziati in rosso nella tabella.

Si specifica che quelle riportate in tabella sono le reazioni alla base delle pensiline, i carichi applicati al modello avranno quindi segno opposto.

| NODO | CONDIZIONE DI CARICO | TRASLAZIONI |         |         | MOMENTI |          |        |
|------|----------------------|-------------|---------|---------|---------|----------|--------|
|      |                      | X           | Y       | Z       | X       | Y        | Z      |
| 8    | Pesi                 | -0.240      | 0.160   | 21.760  | -0.316  | -0.373   | 0.000  |
| 8    | Port.                | -0.990      | 1.040   | 54.720  | -2.099  | -1.593   | 0.001  |
| 8    | Neve                 | -0.320      | 0.330   | 17.350  | -0.670  | -0.522   | 0.000  |
| 8    | Vento X (+Z)         | -6.370      | -1.390  | -68.000 | 2.825   | -15.484  | -0.001 |
| 8    | Vento Y (+Z)         | 1.130       | -17.800 | -51.990 | 47.216  | 1.825    | 0.038  |
| 8    | Passaggio convogli   | -0.080      | -3.140  | -2.810  | 7.850   | 0.129    | 0.001  |
| 8    | Vento Y (-Z)         | -0.790      | -2.370  | 48.680  | 9.291   | -1.281   | 0.035  |
| 8    | $\Delta T$           | 7.990       | -0.450  | 1.140   | 1.959   | 21.466   | 0.002  |
| 8    | X SLV                | -51.160     | -1.550  | -17.080 | 3.244   | -144.254 | -0.003 |
| 8    | Y SLV                | 0.870       | -17.300 | 21.190  | 60.218  | 1.507    | 0.209  |
| 10   | Pesi                 | -0.020      | -0.010  | 26.340  | 0.024   | -0.025   | 0.000  |
| 10   | Port.                | -0.060      | 0.390   | 75.770  | -0.721  | -0.057   | 0.000  |
| 10   | Neve                 | -0.010      | 0.130   | 23.760  | -0.237  | -0.010   | 0.000  |
| 10   | Vento X (+Z)         | -6.940      | -0.460  | -92.850 | 0.850   | -16.499  | 0.000  |
| 10   | Vento Y (+Z)         | 0.120       | -17.410 | -76.560 | 46.571  | 0.141    | 0.000  |
| 10   | Passaggio convogli   | 0.000       | -3.120  | -5.140  | 7.856   | 0.289    | 0.000  |
| 10   | Vento Y (-Z)         | -0.030      | -3.070  | 66.260  | 10.716  | -0.010   | 0.000  |
| 10   | $\Delta T$           | -3.480      | -0.620  | -1.270  | 2.310   | -9.883   | 0.000  |
| 10   | X SLV                | -45.020     | 0.450   | -9.900  | -1.566  | -134.583 | 0.000  |
| 10   | Y SLV                | 1.200       | -14.830 | 20.930  | 50.255  | 1.886    | 0.003  |

Per meglio comprendere si riporta anche un'immagine del modello di calcolo della pensilina:



### 5.3.2. Reazioni incastri della struttura delle scale

Per quanto riguarda, invece, le reazioni agli incastri della struttura delle scale, si tratta di elementi secondari, per cui, si è deciso di trascurarli.

## 5.4. COMBINAZIONI DI CARICO

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata. In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

**Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte**

| Numero di binari | Binari Carichi | Traffico normale      |                       | Traffico pesante <sup>(2)</sup> |
|------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
|                  |                | caso a <sup>(1)</sup> | caso b <sup>(1)</sup> |                                 |
| 1                | Primo          | 1,0 (LM 71"+SW/0)     | -                     | 1,0 SW/2                        |
|                  | Primo          | 1,0 (LM 71"+SW/0)     | -                     | 1,0 SW/2                        |
| 2                | secondo        | 1,0 (LM 71"+SW/0)     | -                     | 1,0 (LM 71"+SW/0)               |
|                  | Primo          | 1,0 (LM 71"+SW/0)     | 0,75 (LM 71"+SW/0)    | 1,0 SW/2                        |
| ≥3               | secondo        | 1,0 (LM 71"+SW/0)     | 0,75 (LM 71"+SW/0)    | 1,0 (LM 71"+SW/0)               |
|                  | Altri          | -                     | 0,75 (LM 71"+SW/0)    | -                               |

<sup>(1)</sup> LM71 "+ SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

<sup>(2)</sup> Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

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

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

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc.)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari caricati.

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come  $Q_k$ .

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

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si fa riferimento alla combinazione A1 STR.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

| Coefficiente  |             |                | EQU <sup>(1)</sup>  | A1                  | A2   |
|---|-------------|----------------|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti                                       | favorevoli  | $\gamma_{G1}$  | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevoli |                | 1,10                | 1,35                | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>        | favorevoli  | $\gamma_{G2}$  | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |                | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Ballast <sup>(3)</sup>                                  | favorevoli  | $\gamma_B$     | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevoli |                | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>             | favorevoli  | $\gamma_Q$     | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |                | 1,45                | 1,45                | 1,25 |
| Azioni variabili  | favorevoli  | $\gamma_{Qi}$  | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevoli |                | 1,50                | 1,50                | 1,30 |
| Precompressione   | favorevole  | $\gamma_P$     | 0,90                | 1,00                | 1,00 |
|   | sfavorevole |                | 1,00 <sup>(5)</sup> | 1,00 <sup>(6)</sup> | 1,00 |
| Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente | favorevole  | $\gamma_{Ced}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00 |
|   | sfavorevole |                | 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 della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico  $g_r$  della Tab. 5.2.IV.

<sup>(5)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(6)</sup> 1,20 per effetti locali

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni

| Azioni           |   | $\psi_0$            | $\psi_1$            | $\psi_2$ |
|------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole   | Carico sul rilevato a tergo delle spalle                | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
| da traffico      | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
|                  | $g_{r1}$  | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
| Gruppi di        | $g_{r2}$  | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | -        |
| carico           | $g_{r3}$  | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
|                  | $g_{r4}$  | 1,00                | 1,00 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
| Azioni del vento | $F_{wk}$  | 0,60                | 0,50                | 0,0      |
| Azioni da        | in fase di esecuzione                                   | 0,80                | 0,0                 | 0,0      |
| neve             | SLU e SLE   | 0,0                 | 0,0                 | 0,0      |
| Azioni termiche  | $T_k$   | 0,60                | 0,60                | 0,50     |

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

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

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

|  |             |
|--|-------------|
| Peso proprio                                   | DEAD        |
| Permanenti portati                             | PERM        |
| Spinta del terreno sulla parete sinistra       | SPTSX       |
| Spinta del terreno sulla parete destra         | SPTDX       |
| Carico Accidentale Q                           | ACCMQ       |
| Spinta del carico acc. (SW/2) sulla parete Sx  | SPACCSXSW/2 |
| Spinta del carico acc. (SW/2) sulla parete Dx  | SPACCDXSW/2 |
| Spinta del carico acc. (Q) Sulla parete Sx     | SPACCSXQ    |
| Spinta del carico acc. (Q) Sulla parete Dx     | SPACCDXQ    |
| Variazione termica sulla soletta superiore     | ENV_TERM    |
| Ritiro   | RITIRO      |
| Azione sismica orizzontale                     | Sisma H     |
| Azione sismica Verticale                       | Sisma V     |
| Incremento sismico della spinta sul terreno    | SPSDX/SX    |
| Scarichi pensilina dovuti all'azione del vento | VENTO       |
| Scarichi pensilina dovuti al carico neve       | NEVE        |

La 4 condizioni di carico termiche:

$$\Delta T_{\text{uniforme}} = \pm 15^{\circ}$$

$$\Delta T_{\text{differenziale}} = \pm 5^{\circ}$$

e le loro 4 combinazioni sono state preventivamente involuppate nella condizione ENV\_TERM, la quale viene impiegata nelle successive combinazioni di carico per massimizzare gli effetti termici.

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza.

Combinazione fondamentale:

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

Nelle tabelle seguenti sono riportate le combinazioni di carico SLU, SLV e SLE utilizzate.



Le combinazioni sismiche vanno eseguite in entrambe le direzioni pertanto le combinazioni SH vanno ripetute per Sisma H = -1 e le combinazioni SV per Sisma V=-0.3.

Si riportano infine, le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative.

Combinazione rara

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

| Combinazioni di carico SLE |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|
|                            | 1sle | 2sle | 3sle | 4sle |
| DEAD                       | 1    | 1    | 1    | 1    |
| PERM                       | 1    | 1    | 1    | 1    |
| SPTSX                      | 1    | 1    | 1    | 1    |
| SPTDX                      | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| ACCMQ                      | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| SPACCSXSW/2                | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| SPACCDXSW/2                | 0.8  | 0.8  | 0    | 0    |
| SPACCSXQ                   | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| SPACCDXQ                   | 0.7  | 0.7  | 0    | 0    |
| EMV_TERM                   | -0.6 | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| RITIRO                     | 0    | 0    | 1    | 1    |
| VENTO                      | 0.6  | 0.6  | 0.6  | 0    |
| NEVE                       | 0.5  | 0.5  | 0    | 0.5  |

## 5.5. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

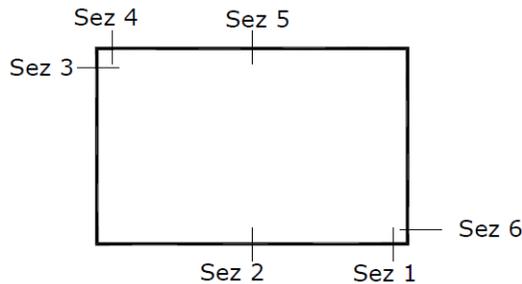
### 5.5.1. Inviluppo SLU/SLV

| USCITA SAP - INVILUPPO SLU SLV |              |                    |                  |                  |         |          |            |
|--------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|---------|----------|------------|
| Text<br>Frame                  | m<br>Station | Text<br>OutputCase | Text<br>CaseType | Text<br>StepType | KN<br>P | KN<br>V2 | KN-m<br>M3 |
| 1                              | 0.30         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 264.6    | 344.9      |
| 1                              | 0.43         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 268.0    | 313.4      |
| 1                              | 0.55         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 271.4    | 281.6      |
| 1                              | 0.68         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 252.0    | 250.7      |
| 1                              | 0.81         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 255.4    | 220.1      |
| 1                              | 0.93         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 235.3    | 189.8      |
| 1                              | 1.06         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 238.7    | 165.4      |
| 1                              | 1.18         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 242.1    | 140.8      |
| 1                              | 1.31         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 213.8    | 118.6      |
| 1                              | 1.44         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 217.3    | 96.3       |
| 1                              | 1.56         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 181.7    | 96.3       |
| 1                              | 1.69         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 185.1    | 110.6      |
| 1                              | 1.82         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 145.4    | 125.0      |
| 1                              | 1.94         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 148.8    | 141.8      |
| 1                              | 2.07         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 152.2    | 158.3      |
| 1                              | 2.19         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 104.5    | 179.4      |
| 1                              | 2.32         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 107.9    | 208.6      |
| 1                              | 2.45         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 22.9     | 239.0      |
| 1                              | 2.57         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 26.3     | 270.5      |
| 1                              | 2.70         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Max              | 0.0     | 29.7     | 301.6      |
| 1                              | 0.30         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -45.9    | -110.5     |
| 1                              | 0.43         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -43.3    | -104.9     |
| 1                              | 0.55         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -40.8    | -99.6      |
| 1                              | 0.68         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -112.4   | -89.0      |
| 1                              | 0.81         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -109.9   | -79.6      |
| 1                              | 0.93         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -149.9   | -70.1      |
| 1                              | 1.06         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -147.4   | -56.3      |
| 1                              | 1.18         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -144.8   | -56.4      |
| 1                              | 1.31         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -178.0   | -59.2      |
| 1                              | 1.44         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -175.5   | -61.8      |
| 1                              | 1.56         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -205.4   | -62.2      |
| 1                              | 1.69         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -202.0   | -60.4      |
| 1                              | 1.82         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -226.6   | -58.4      |
| 1                              | 1.94         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -223.2   | -69.2      |
| 1                              | 2.07         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -219.8   | -87.4      |
| 1                              | 2.19         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -237.3   | -100.8     |
| 1                              | 2.32         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -233.9   | -112.8     |
| 1                              | 2.45         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -251.3   | -120.7     |
| 1                              | 2.57         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -247.9   | -121.3     |
| 1                              | 2.70         | ENVELOPE SLUSLV    | Combination      | Min              | 0.0     | -244.5   | -122.4     |

Muri scala B Stazione Aeroporto (pk 9+000): Relazione di calcolo

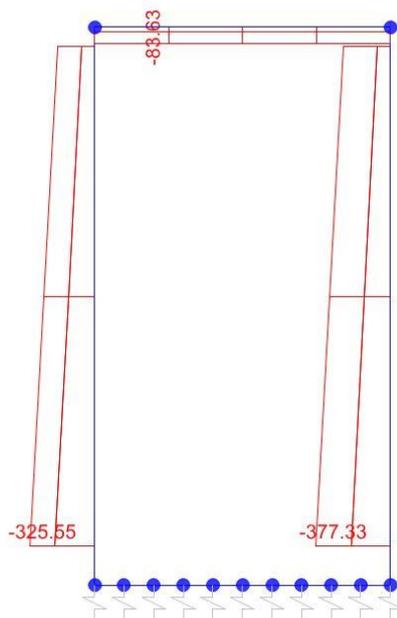
|                  |                  |                |                            |           |                    |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA<br>NN1X | LOTTO<br>00 D 78 | CODIFICA<br>CL | DOCUMENTO<br>FV.05.A.0.006 | REV.<br>B | FOGLIO<br>56 di 71 |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|

|   |      |                 |             |     |        |        |        |
|---|------|-----------------|-------------|-----|--------|--------|--------|
| 2 | 0.20 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -64.6  | -20.5  | 92.6   |
| 2 | 2.75 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -133.4 | 58.7   | 107.8  |
| 2 | 5.30 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -196.0 | 239.3  | 110.7  |
| 2 | 0.20 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -239.7 | -74.3  | -78.6  |
| 2 | 2.75 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -308.5 | -45.4  | 17.6   |
| 2 | 5.30 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -377.3 | 33.5   | -274.2 |
| 3 | 0.00 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -21.2  | -0.3   | 41.8   |
| 3 | 0.75 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -21.2  | 21.1   | 34.1   |
| 3 | 1.50 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -21.2  | 42.5   | 18.1   |
| 3 | 2.25 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -21.2  | 63.8   | 21.1   |
| 3 | 3.00 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -21.2  | 85.2   | 44.5   |
| 3 | 0.00 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -83.6  | -85.0  | -99.2  |
| 3 | 0.75 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -83.6  | -63.7  | -43.6  |
| 3 | 1.50 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -83.6  | -42.4  | -11.5  |
| 3 | 2.25 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -83.6  | -34.9  | -44.4  |
| 3 | 3.00 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -83.6  | -27.4  | -100.0 |
| 4 | 0.20 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -64.9  | 81.5   | 68.0   |
| 4 | 2.75 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -133.7 | 44.6   | -17.2  |
| 4 | 5.30 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Max | -202.6 | -34.3  | 312.4  |
| 4 | 0.20 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -187.9 | 21.0   | -115.0 |
| 4 | 2.75 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -256.7 | -69.6  | -112.2 |
| 4 | 5.30 | ENVELOPE SLUSLV | Combination | Min | -325.6 | -250.2 | -116.9 |

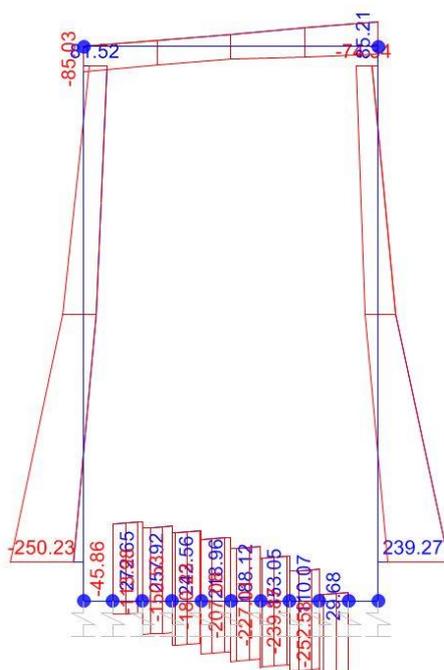


| SEZIONE | P      | V2    | M3    |
|---------|--------|-------|-------|
| 01      | 0.0    | 271.4 | 344.9 |
| 02      | 0.0    | 0.0   | 122.4 |
| 03      | -64.6  | 250.2 | 115.0 |
| 04      | 0.0    | 85.2  | 100.0 |
| 05      | 0.0    | 0.0   | 44.5  |
| 06      | -196.0 | 250.2 | 312.4 |

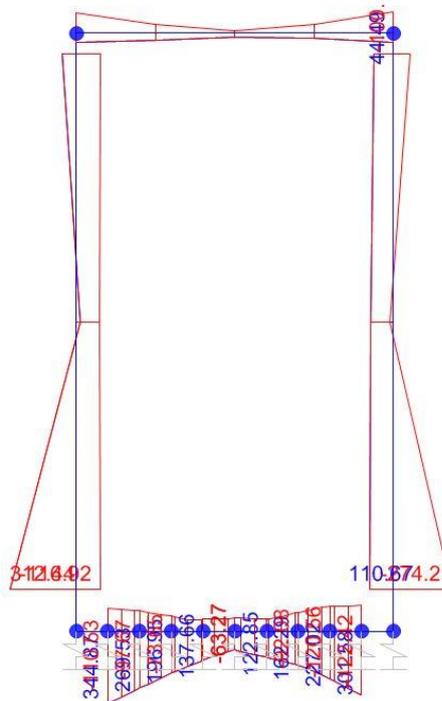
Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU/SLV



*Sforzo normale*



*Taglio*



*Momento Flettente*

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

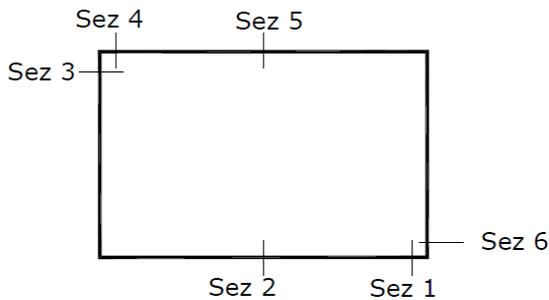
## 5.5.2. Inviluppo SLE (rara)

| USCITA SAP - INVILUPPO SLE RARA |              |                    |                  |                  |         |          |            |
|---------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|---------|----------|------------|
| Text<br>Frame                   | m<br>Station | Text<br>OutputCase | Text<br>CaseType | Text<br>StepType | KN<br>P | KN<br>V2 | KN-m<br>M3 |
| 1                               | 0.3          | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 152.1    | 210.8      |
| 1                               | 0.42632      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 154.6    | 192.0      |
| 1                               | 0.55263      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 157.2    | 172.9      |
| 1                               | 0.67895      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 141.9    | 154.7      |
| 1                               | 0.80526      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 144.5    | 137.0      |
| 1                               | 0.93158      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 130.7    | 119.4      |
| 1                               | 1.05789      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 133.2    | 103.0      |
| 1                               | 1.18421      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 135.8    | 86.2       |
| 1                               | 1.31053      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 117.6    | 71.3       |
| 1                               | 1.43684      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 120.1    | 56.4       |
| 1                               | 1.56316      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 97.9     | 50.0       |
| 1                               | 1.68947      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 100.5    | 48.7       |
| 1                               | 1.81579      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 74.7     | 47.5       |
| 1                               | 1.94211      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 77.3     | 48.9       |
| 1                               | 2.06842      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 79.8     | 49.9       |
| 1                               | 2.19474      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 49.7     | 53.2       |
| 1                               | 2.32105      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 52.2     | 56.9       |
| 1                               | 2.44737      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | -0.7     | 62.3       |
| 1                               | 2.57368      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 1.9      | 70.7       |
| 1                               | 2.7          | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Max              | 0.0     | 4.4      | 78.7       |
| 1                               | 0.3          | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 88.4     | 97.2       |
| 1                               | 0.42632      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 90.9     | 85.9       |
| 1                               | 0.55263      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 93.4     | 74.2       |
| 1                               | 0.67895      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 62.8     | 64.9       |
| 1                               | 0.80526      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 65.4     | 56.8       |
| 1                               | 0.93158      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 44.9     | 49.1       |
| 1                               | 1.05789      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 47.4     | 43.3       |
| 1                               | 1.18421      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 49.9     | 37.1       |
| 1                               | 1.31053      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 28.5     | 33.3       |
| 1                               | 1.43684      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 31.0     | 29.5       |
| 1                               | 1.56316      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 8.7      | 16.6       |
| 1                               | 1.68947      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | 11.3     | 4.1        |
| 1                               | 1.81579      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -12.0    | -8.2       |
| 1                               | 1.94211      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -9.4     | -17.6      |
| 1                               | 2.06842      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -6.9     | -27.4      |
| 1                               | 2.19474      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -31.0    | -34.2      |
| 1                               | 2.32105      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -28.5    | -40.3      |
| 1                               | 2.44737      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -67.3    | -44.0      |
| 1                               | 2.57368      | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -64.8    | -43.5      |
| 1                               | 2.7          | ENVELOPE SLERARA   | Combination      | Min              | 0.0     | -62.2    | -43.3      |

Muri scala B Stazione Aeroporto (pk 9+000): Relazione di calcolo

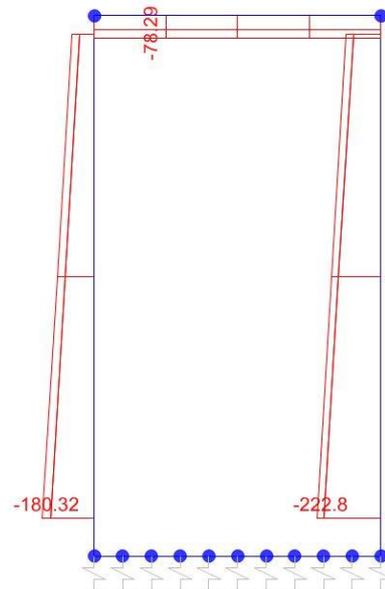
|                  |                  |                |                            |           |                    |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA<br>NN1X | LOTTO<br>00 D 78 | CODIFICA<br>CL | DOCUMENTO<br>FV.05.A.0.006 | REV.<br>B | FOGLIO<br>60 di 71 |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------|--------------------|

|   |      |                              |     |        |        |       |
|---|------|------------------------------|-----|--------|--------|-------|
| 2 | 0.2  | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -96.3  | -37.4  | 13.0  |
| 2 | 2.75 | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -147.3 | 7.8    | 90.5  |
| 2 | 5.3  | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -198.3 | 111.4  | 46.6  |
| 2 | 0.2  | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -120.8 | -60.9  | -19.9 |
| 2 | 2.75 | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -171.8 | -19.7  | 59.8  |
| 2 | 5.3  | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -222.8 | 43.4   | -60.7 |
| 3 | 0    | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -48.4  | -2.2   | 19.1  |
| 3 | 0.75 | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -48.4  | 10.6   | 16.0  |
| 3 | 1.5  | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -48.4  | 23.3   | 3.3   |
| 3 | 2.25 | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -48.4  | 36.1   | -10.8 |
| 3 | 3    | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -48.4  | 48.8   | -27.3 |
| 3 | 0    | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -78.3  | -22.6  | -25.0 |
| 3 | 0.75 | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -78.3  | -9.9   | -12.8 |
| 3 | 1.5  | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -78.3  | 2.9    | -10.1 |
| 3 | 2.25 | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -78.3  | 15.6   | -25.3 |
| 3 | 3    | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -78.3  | 28.4   | -57.2 |
| 4 | 0.2  | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -49.2  | 58.6   | -21.7 |
| 4 | 2.75 | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -100.2 | -10.8  | -55.1 |
| 4 | 5.3  | ENVELOPE SLERARA Combination | Max | -151.2 | -130.1 | 190.1 |
| 4 | 0.2  | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -78.4  | 28.7   | -59.8 |
| 4 | 2.75 | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -129.3 | -40.7  | -93.3 |
| 4 | 5.3  | ENVELOPE SLERARA Combination | Min | -180.3 | -160.0 | 75.7  |

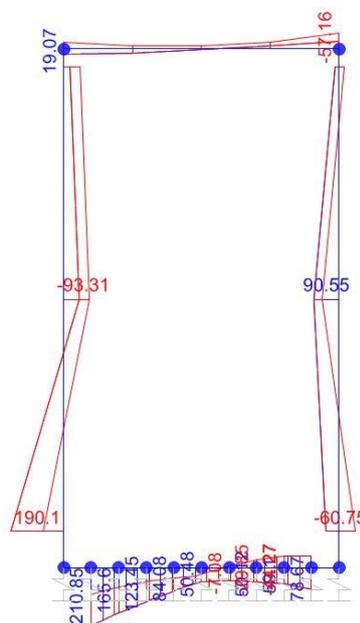


| SEZIONE | P      | V2    | M3    |
|---------|--------|-------|-------|
| 01      | 0.0    | 157.2 | 210.8 |
| 02      | 0.0    | 0.0   | 44.0  |
| 03      | -49.2  | 160.0 | 59.8  |
| 04      | 0.0    | 48.8  | 57.2  |
| 05      | 0.0    | 0.0   | 19.1  |
| 06      | -151.2 | 160.0 | 190.1 |

*Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)*



*Sforzo normale*



*Momento Flettente*

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

## 5.6. VERIFICHE SLU/SLV/SLE

### Oggetto:

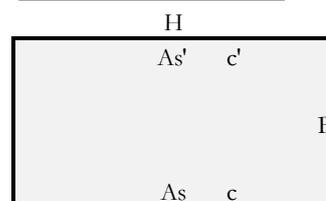
Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione SCATOLARE

Sezione n°. 01

### Dati di Input:

|           |  |                      |                        |          |
|-----------|--|----------------------|------------------------|----------|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm              |                        |          |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 800 mm               |                        |          |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 70 mm                |                        |          |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 70 mm                |                        |          |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 730 mm               |                        |          |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa               |                        |          |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa              |                        |          |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | 0.0 kN               |                        |          |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 327.8 kNm            |                        |          |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 214.6 kN             |                        |          |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                |                        |          |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 20                   |                        |          |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      |                      |                        |          |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10                   | Armatura tesa filante  | 3142 mmq |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     |                      | Armatura di raffittim. | 0 mmq    |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 3142 mmq             |                        |          |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 3142 mmq             |                        |          |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | mm                   |                        |          |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 200 mm               |                        |          |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                    |                        |          |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5 [range: 1,0-2,5] |                        |          |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                |                        |          |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m              | 0.00 cmq/m             |          |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                    |                        |          |
| Msle      | Momento di esercizio [(+)]                     | 200.2 kNm            |                        |          |
| Nsle      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | 0.0 kN               |                        |          |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm              |                        |          |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck             |                        |          |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck             |                        |          |
| sigcR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk             |                        |          |

### Geometria della Sezione:



### Dati di Output:

#### SLU - Momento e Taglio resistenti

| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S       | Coeff.Sfrutt.Max | 69% |
|-------|---|---------|------------------|-----|
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 852 kNm | Coeff.Sfrutt.    | 38% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente senza staffe       | 313 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 69% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 313 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 69% |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm   | Coeff.Sfrutt.    |     |

#### SLE - Tensioni e ampiezza fessure

|          |  |         |               |     |
|----------|--|---------|---------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -23 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 6%  |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 96 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 27% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -2 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 13% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa   |               |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 346 kNm |               |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.12 mm | Coeff.Sfrutt. | 59% |

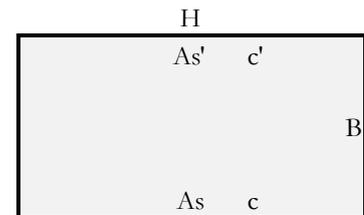
**Oggetto:**

Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione SCATOLARE  
Sezione n°. 02

**Dati di Input:**

|           |  |                          |            |
|-----------|--|--------------------------|------------|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm                  |            |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 800 mm                   |            |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 70 mm                    |            |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 70 mm                    |            |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 730 mm                   |            |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa                   |            |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa                  |            |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | 0.0 kN                   |            |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 113.9 kNm                |            |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 0.0 kN                   |            |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                    |            |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 20                       |            |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      |                          |            |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10 Armatura tesa filante | 3142 mmq   |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     | 0 Armatura di raffittim. | 0 mmq      |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 3142 mmq                 |            |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 3142 mmq                 |            |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | mm                       |            |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 150 mm                   |            |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                        |            |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5 [range: 1,0-2,5]     |            |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                    |            |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m                  | 0.00 cmq/m |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                        |            |
| Msls      | Momento di esercizio [(+)]                     | 46.3 kNm                 |            |
| Nsls      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | 0.0 kN                   |            |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm                  |            |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck                 |            |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck                 |            |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk                 |            |

**Geometria della Sezione:**



**Dati di Output:**

**SLU - Momento e Taglio resistenti**

| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S       | Coeff.Sfrutt.Max | 14% |
|-------|---|---------|------------------|-----|
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 852 kNm | Coeff.Sfrutt.    | 13% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente senza staffe       | 313 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 0%  |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 313 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 0%  |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm   | Coeff.Sfrutt.    |     |

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

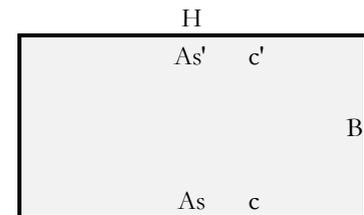
|          |  |         |               |     |
|----------|--|---------|---------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -5 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 1%  |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 22 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 6%  |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -1 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 3%  |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa   |               |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 346 kNm |               |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.03 mm | Coeff.Sfrutt. | 14% |

**Oggetto:**

 Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione SCATOLARE  
 Sezione n°. 03

**Dati di Input:**

|           |  |       |                        |            |
|-----------|--|-------|------------------------|------------|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000  | mm                     |            |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 800   | mm                     |            |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 70    | mm                     |            |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 70    | mm                     |            |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 730   | mm                     |            |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30    | MPa                    |            |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450   | MPa                    |            |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | 23.2  | kN                     |            |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 79.5  | kNm                    |            |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 235.9 | kN                     |            |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0     | kNm                    |            |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 16    |                        |            |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      |       |                        |            |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10    | Armatura tesa filante  | 2011 mmq   |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     | 0     | Armatura di raffittim. | 0 mmq      |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 2011  | mmq                    |            |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 2011  | mmq                    |            |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                |       | mm                     |            |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 200   | mm                     |            |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2     |                        |            |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5   | [range: 1,0-2,5]       |            |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0° |                        |            |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0     | mmq/m                  | 0.00 cmq/m |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R     |                        |            |
| Msle      | Momento di esercizio [(+)]                     | 43.9  | kNm                    |            |
| Nsle      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | -6.4  | kN                     |            |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20  | mm                     |            |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60  | fck                    |            |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45  | fck                    |            |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80  | fyk                    |            |

**Geometria della Sezione:**

**Dati di Output:**
**SLU - Momento e Taglio resistenti**

|       |   |     |     |                  |     |
|-------|---|-----|-----|------------------|-----|
| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S   |     | Coeff.Sfrutt.Max | 88% |
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 550 | kNm | Coeff.Sfrutt.    | 14% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente senza staffe       | 267 | kN  | Coeff.Sfrutt.    | 88% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 267 | kN  | Coeff.Sfrutt.    | 88% |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0   | kNm | Coeff.Sfrutt.    |     |

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

|          |  |      |     |               |     |
|----------|--|------|-----|---------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -6   | Mpa | Coeff.Sfrutt. | 2%  |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 31   | Mpa | Coeff.Sfrutt. | 9%  |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -1   | Mpa | Coeff.Sfrutt. | 4%  |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0    | Mpa |               |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 334  | kNm |               |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.04 | mm  | Coeff.Sfrutt. | 21% |

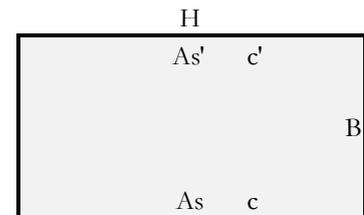
**Oggetto:**

Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione SCATOLARE

Sezione n°. 04

**Dati di Input:**

|           |  |                      |                        |          |
|-----------|--|----------------------|------------------------|----------|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm              |                        |          |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 400 mm               |                        |          |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 70 mm                |                        |          |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 70 mm                |                        |          |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 330 mm               |                        |          |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa               |                        |          |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa              |                        |          |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | 0.0 kN               |                        |          |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 95.0 kNm             |                        |          |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 84.9 kN              |                        |          |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                |                        |          |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 16                   |                        |          |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      |                      |                        |          |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10                   | Armatura tesa filante  | 2011 mmq |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     |                      | Armatura di raffittim. | 0 mmq    |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 2011 mmq             |                        |          |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 2011 mmq             |                        |          |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | mm                   |                        |          |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 150 mm               |                        |          |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                    |                        |          |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5 [range: 1,0-2,5] |                        |          |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                |                        |          |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m              | 0.00 cmq/m             |          |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                    |                        |          |
| Mslc      | Momento di esercizio [(+)]                     | 53.8 kNm             |                        |          |
| Nslc      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | 0.0 kN               |                        |          |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm              |                        |          |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck             |                        |          |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck             |                        |          |
| sigcR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk             |                        |          |

**Geometria della Sezione:**

**Dati di Output:**
**SLU - Momento e Taglio resistenti**

| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S       | Coeff.Sfrutt.Max | 50% |
|-------|---|---------|------------------|-----|
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 243 kNm | Coeff.Sfrutt.    | 39% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente senza staffe       | 186 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 46% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 186 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 46% |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm   | Coeff.Sfrutt.    |     |

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

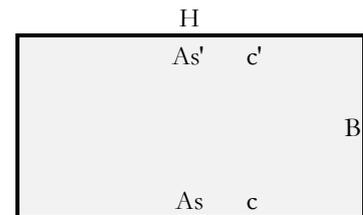
|          |  |         |               |     |
|----------|--|---------|---------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -15 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 4%  |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 93 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 26% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -3 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 16% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa   |               |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 87 kNm  |               |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.10 mm | Coeff.Sfrutt. | 50% |

**Oggetto:**

 Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione SCATOLARE  
 Sezione n° 05

**Dati di Input:**

|           |  |                      |                          |            |
|-----------|--|----------------------|--------------------------|------------|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm              |                          |            |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 400 mm               |                          |            |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 70 mm                |                          |            |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 70 mm                |                          |            |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 330 mm               |                          |            |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa               |                          |            |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa              |                          |            |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | 0.0 kN               |                          |            |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 43.1 kNm             |                          |            |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 0.0 kN               |                          |            |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                |                          |            |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 16                   |                          |            |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      |                      |                          |            |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10                   | Armatatura tesa filante  | 2011 mmq   |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     | 0                    | Armatatura di raffittim. | 0 mmq      |
| As'       | Armatatura superiore compressa                 | 2011 mmq             |                          |            |
| As        | Armatatura inferiore tesa                      | 2011 mmq             |                          |            |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | mm                   |                          |            |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 150 mm               |                          |            |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                    |                          |            |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5 [range: 1,0-2,5] |                          |            |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                |                          |            |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m              |                          | 0.00 cmq/m |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                    |                          |            |
| Mslc      | Momento di esercizio [(+)]                     | 21.9 kNm             |                          |            |
| Nslc      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | 0.0 kN               |                          |            |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm              |                          |            |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck             |                          |            |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck             |                          |            |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk             |                          |            |

**Geometria della Sezione:**

**Dati di Output:**
**SLU - Momento e Taglio resistenti**

|       |   |         |                  |     |
|-------|---|---------|------------------|-----|
| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S       | Coeff.Sfrutt.Max | 20% |
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 243 kNm | Coeff.Sfrutt.    | 18% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente senza staffe       | 186 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 0%  |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 186 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 0%  |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm   | Coeff.Sfrutt.    |     |

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

|          |  |         |               |     |
|----------|--|---------|---------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -6 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 2%  |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 38 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 10% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -1 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 7%  |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa   |               |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 87 kNm  |               |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.04 mm | Coeff.Sfrutt. | 20% |

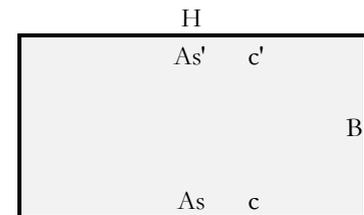
**Oggetto:**

Stazione Aeroporto - Scala B - Sezione SCATOLARE  
Sezione n°. 06

**Dati di Input:**

|           |  |                          |            |
|-----------|--|--------------------------|------------|
| B         | Base sezione rettangolare                      | 1000 mm                  |            |
| H         | Altezza sezione rettangolare                   | 800 mm                   |            |
| c'        | Copriferro armatura sup. compressa             | 70 mm                    |            |
| c         | Copriferro armatura inf. Tesa                  | 70 mm                    |            |
| d         | Altezza utile = H-c                            | 730 mm                   |            |
| fck       | Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo     | 30 MPa                   |            |
| fyk       | Resistenza caratt. Snervamento acciaio         | 450 MPa                  |            |
| Ned       | Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]        | -78.8 kN                 |            |
| Med       | Momento flettente di calcolo [(+)]             | 286.0 kNm                |            |
| Ved       | Taglio di calcolo [(+)]                        | 235.9 kN                 |            |
| Ted       | Torsione di calcolo [(+)]                      | 0 kNm                    |            |
| Fi1       | 1° diametro armatura tesa                      | 16                       |            |
| Fi2       | 2° diametro armatura tesa                      | 0                        |            |
| n1        | N°. Barre 1° armatura tesa                     | 10 Armatura tesa filante | 2011 mmq   |
| n2        | N°. Barre 2° armatura tesa                     | 0 Armatura di raffittim. | 0 mmq      |
| As'       | Armatura superiore compressa                   | 2011 mmq                 |            |
| As        | Armatura inferiore tesa                        | 2011 mmq                 |            |
| Fi Staffe | Diametro staffe                                | 0 mm                     |            |
| s. Staffe | Passo staffe                                   | 200 mm                   |            |
| bracci    | Numero Bracci staffe                           | 2                        |            |
| cotθ      | (proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls     | 2.5 [range: 1,0-2,5]     |            |
| alpha     | angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale | 90.0°                    |            |
| Asw       | Area a taglio per unità di lunghezza           | 0 mmq/m                  | 0.00 cmq/m |
| <R-F-P>   | Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)           | R                        |            |
| Msle      | Momento di esercizio [(+)]                     | 172.9 kNm                |            |
| Nsle      | Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]      | -108.3 kN                |            |
| wk-lim    | Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)      | 0.20 mm                  |            |
| sigcR-lim | Tensione limite cls comb. Rara                 | 0.60 fck                 |            |
| sigcP-lim | Tensione limite cls comb. Quasi Perm.          | 0.45 fck                 |            |
| sigsR-lim | Tensione limite acc. Comb. Rara                | 0.80 fyk                 |            |

**Geometria della Sezione:**



**Dati di Output:**

**SLU - Momento e Taglio resistenti**

|       |   |         |                  |     |
|-------|---|---------|------------------|-----|
| <S-N> | Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N> | S       | Coeff.Sfrutt.Max | 84% |
| Mrd   | Momento ultimo resistente                   | 584 kNm | Coeff.Sfrutt.    | 49% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente senza staffe       | 281 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 84% |
| Vrd   | Taglio ultimo resistente                    | 281 kN  | Coeff.Sfrutt.    | 84% |
| Trd   | Momento torcente ultimo resistente          | 0 kNm   | Coeff.Sfrutt.    |     |

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

|          |  |         |               |     |
|----------|--|---------|---------------|-----|
| Sigs-sup | Tensione barre superiori [(-)Compresso]    | -26 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 7%  |
| Sigs-inf | Tensione barre inferiori [(+)Teso]         | 103 Mpa | Coeff.Sfrutt. | 29% |
| Sigc-sup | Tensione cls superiore [(-)Compresso]      | -3 Mpa  | Coeff.Sfrutt. | 15% |
| Sigc-inf | Tensione cls inferiore [non reag.Trazione] | 0 Mpa   |               |     |
| Mcr      | Momento di prima fessurazione              | 348 kNm |               |     |
| wk       | Ampiezza di fessura                        | 0.14 mm | Coeff.Sfrutt. | 71% |

Si riportano i coefficienti di sfruttamento nelle sezioni notevoli per le verifiche SLU/SLV/SLE:

| SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI: |                |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SL                                  | VERIF          | SEZ01 | SEZ02 | SEZ03 | SEZ04 | SEZ05 | SEZ06 |
| SLU                                 | Med/Mrd        | 38%   | 13%   | 14%   | 39%   | 18%   | 49%   |
| SLU                                 | Ved/Vrd        | 69%   | 0%    | 88%   | 46%   | 0%    | 84%   |
| SLE                                 | (sigse/sigsr)s | 6%    | 1%    | 2%    | 4%    | 2%    | 7%    |
| SLE                                 | (sigse/sigsr)i | 27%   | 6%    | 9%    | 26%   | 10%   | 29%   |
| SLE                                 | (sigce/sigcr)s | 13%   | 3%    | 4%    | 16%   | 7%    | 15%   |
| SLE                                 | wk/wklim       | 59%   | 14%   | 21%   | 50%   | 20%   | 71%   |
|                                     | MAX            | 69%   | 14%   | 88%   | 50%   | 20%   | 84%   |
|                                     | MAX            | 88%   |       |       |       |       |       |

I coefficienti di sfruttamento sono tutti inferiori all'unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

## 5.7. ARMATURE DI RIPARTIZIONE

Le armature di ripartizione delle pareti e della soletta vengono dimensionate per sostenere gli effetti del ritiro igrometrico i quali generano una trazione pura per deformazioni impedita a causa della soletta inferiore gettata precedentemente e che può aver dissipato tali effetti.

La  $\epsilon$ ritiro induce nel calcestruzzo una tensione di trazione superiore alla sua resistenza a trazione, ne deriva la fessurazione e il trasferimento di tutta la trazione sull'acciaio teso. Per ottenere delle fessure uniformemente distribuite e non concentrate in alcuni punti con ampiezze macroscopiche, si applica un principio di non plasticizzazione delle armature. Per limitare l'ampiezza delle fessure, pur distribuite, che si ottengono applicando tale principio, si applica quanto previsto al § 7.3.2 dell'Eurocodice 2 - UNI EN 1992 1-1: "Aree minime di armatura", in particolare la formula (7.1):

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

dove:

$A_{s,min}$  è l'area minima di armatura nella zona tesa;

$A_{ct}$  è l'area di calcestruzzo nella zona tesa. La zona tesa è quella parte della sezione che risulta in trazione subito dopo la formazione della prima fessura; è pari a tutta l'area della sezione per trazione pura, alla metà per flessione;

$\sigma_s$  è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura. Tale tensione può essere assunta pari alla tensione di snervamento  $f_{yk}$  dell'armatura. Può essere però necessario fissare un valore minore per soddisfare i limiti di apertura delle fessure secondo il massimo diametro o la massima spaziatura tra le barre (vedere punto 7.3.3).

$f_{ct,eff}$  è il valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure;

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  se la formazione delle fessure è prevista prima di 28d;

$k$  è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi,  $k=1$

$k_c$  è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni all'interno della sezione subito prima della fessurazione e della variazione del braccio di leva;  $k_c=1$  per trazione,  $k_c=0,4$  per flessione,  $k_c = 0,4 \cdot (1 - \text{funz}(\sigma_c))$  nel caso flessione combinata con sforzo normale.

|   |                                |                        |
|---|--------------------------------|------------------------|
| base della sezione                            |                                | 1000 mm                |
| altezza della sezione                         |                                | 400 mm                 |
| area sezione calcestruzzo                     | $A_{ct}$                       | 400000 mm <sup>2</sup> |
| tensione di snervamento acciaio               | $f_{yk}$                       | 450 Mpa                |
| resist. Caratt. Cilindrica cls a compressione | $f_{ck}$                       | 30 Mpa                 |
| tensione resistente cls a trazione            | $f_{ct,eff}=0,3(f_{ck})^{2/3}$ | 2.90 Mpa               |
| coefficiente $k_c$                            | $k_c$                          | 1.00                   |
| coefficiente $k$                              | $k$                            | 1.00                   |
| area minima acciaio teso nella sezione        | $A_{s,min}$                    | 2575 mm <sup>2</sup>   |

P.to 7.3.3 EC2 1992:1-1): Dove è disposta l'armatura minima indicata al punto 7.3.2, le ampiezze delle fessure non dovrebbero essere eccessive se: per fessurazione causata principalmente da deformazioni impedito, il diametro delle barre non eccede quello dato nel prospetto 7.2N, dove la tensione nell'acciaio è quella che si ha subito dopo la fessurazione [cioè il termine  $\sigma_s$  nell'espressione (7.1)];

prospetto 7.2N **Diametri massimi delle barre  $\phi^*_s$  per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>**

| Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup><br>[MPa] | Diametro massimo delle barre [mm] |                |                |
|--|-----------------------------------|----------------|----------------|
|  | $w_k = 0,4$ mm                    | $w_k = 0,3$ mm | $w_k = 0,2$ mm |
| 160  | 40                                | 32             | 25             |
| 200  | 32                                | 25             | 16             |
| 240  | 20                                | 16             | 12             |
| 280  | 16                                | 12             | 8              |
| 320  | 12                                | 10             | 6              |
| 360  | 10                                | 8              | 5              |
| 400  | 8                                 | 6              | 4              |
| 450  | 6                                 | 5              | -              |

1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:  
 $c = 25$  mm;  $f_{ct,eff} = 2,9$  MPa;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h - d) = 0,1 h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$  e  $k' = 1,0$ .

2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

Il diametro massimo delle barre si raccomanda sia modificato come segue:

Trazione (la sezione è tutta tesa):

$$\phi_s = \phi^*_s (f_{ct,eff} / 2,9) h_{cr} / (8(h-d)) \quad (7.7N)$$

dove:

$\phi_s$  è il diametro massimo "modificato" delle barre;

$\phi^*_s$  è il diametro massimo dato nel prospetto 7.2N;

$h$  è l'altezza totale della sezione;

$h_{cr}$  è l'altezza della zona tesa subito prima della fessurazione, considerando i valori caratteristici della forza di precompressione e delle forze assiali sotto la combinazione di azioni quasi-permanente;

$d$  è l'altezza utile valutata rispetto al baricentro dello strato più esterno di armatura ordinaria.

Se tutta la sezione è tesa  $h-d$  è la minima distanza tra il baricentro dello strato di armatura e il lembo esterno della sezione (considerare ciascun lembo se la barra non è disposta simmetricamente).

Verifica armatura trasversale:

|  |               |                      |            |                      |
|--|---------------|----------------------|------------|----------------------|
| diametro barre trasversali                               | $\Phi_{trav}$ | 14 mm                | < $F_s$    | Verifica soddisfatta |
| passo barre trasversali                                  | passo         | 100 mm               |            |                      |
| N.strati barre trasvers. (sup.+inf.+intermedi)           | n.strati      | 2                    |            |                      |
| Area barre trasversali                                   | $A_s$         | 3079 mm <sup>2</sup> |            |                      |
| stato tensionale barre dopo fessurazione                 | $\sigma_s$    | 376 mm <sup>2</sup>  | < $f_{yk}$ | Verifica soddisfatta |
| $\phi$ barre da tabella 7.2N x $\sigma_s$ e $w_k=0,2$ mm | $\phi^*_s$    | 6 mm                 |            |                      |
| altezza zona tesa prima della fessurazione               | $h_{cr}$      | 400 mm               |            |                      |
| altezza totale sezione                                   | $h$           | 400 mm               |            |                      |
| copriferro (asse barre)                                  | $c$           | 53 mm                |            |                      |
| altezza utile sezione                                    | $d$           | 347 mm               |            |                      |
| diametro massimo modificato utilizzabile                 | $\phi_s$      | 23 mm                | (= $F_s$ ) |                      |

### 5.8. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE

#### *A seguire il riepilogo delle armature del tombino:*

|                                   |                 |  |                      |
|-----------------------------------|-----------------|--|----------------------|
| Pareti di spessore                | 80 cm           |  |                      |
| con armatura principale esterna   | <b>F16 /100</b> |  | 2011 mm <sup>2</sup> |
| con armatura principale interna   | <b>F16 /100</b> |  | 2011 mm <sup>2</sup> |
| Soletta superiore di spessore     | 40 cm           |  |                      |
| con armatura principale superiore | <b>F16 /100</b> |  | 2011 mm <sup>2</sup> |
| con armatura principale inferiore | <b>F16 /100</b> |  | 2011 mm <sup>2</sup> |
| Soletta inferiore di spessore     | 80 cm           |  |                      |
| con armatura principale superiore | <b>F20 /100</b> |  | 3142 mm <sup>2</sup> |
| con armatura principale inferiore | <b>F20 /100</b> |  | 3142 mm <sup>2</sup> |

Le pareti non necessitano di armatura a taglio.

La soletta superiore non necessita di armatura a taglio.

La soletta inferiore non necessita di armatura a taglio.

*(Le armature a taglio sono state disposte ove non risultano soddisfatte le verifiche con  $V_{rd}$  senza armatura a taglio)*

Le armature di ripartizione sono:

|                   | Armature di ripartizione: | Area:                  | % Arm. principale: |                      |
|-------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| Pareti            | <b>F14 /100 2 strati</b>  | 3078.8 mm <sup>2</sup> | 77% di             | 4021 mm <sup>2</sup> |
| Soletta superiore | <b>F14 /100 2 strati</b>  | 3078.8 mm <sup>2</sup> | 77% di             | 4021 mm <sup>2</sup> |
| Soletta inferiore | <b>F14 /100 2 strati</b>  | 3078.8 mm <sup>2</sup> | 49% di             | 6283 mm <sup>2</sup> |

#### **Incidenza armature:**

|                    |      |        |                     |    |        |
|--------------------|------|--------|---------------------|----|--------|
| Larghezza utile    | Lint | 2.20 m | Spessore piedritti  | Sp | 0.80 m |
| Altezza libera     | Hint | 5.30 m | Spessore soletta    | Ss | 0.40 m |
| incidenza sovrapp. |      | 20%    | Spessore fondazione | Sf | 0.80 m |
|                    |      |        | copriferro          | c  | 0.07 m |

| Elem.         | Ø1<br>sup/int<br>[mm] | pass1<br>[mm] | Ø2 sup/int<br>[mm]    | pass2<br>[mm] | Ø3<br>inf/ext<br>[mm]         | pass3<br>[mm] | Ø4<br>inf/ext<br>[mm] | pass4<br>[mm] | Øleg<br>[mm] | Øleg<br>pass1<br>[mm] | Øleg<br>pass2<br>[mm] |
|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| piedritto     | 16                    | 100           | 0                     | 1000          | 16                            | 100           | 0                     | 1000          | 0            | 1000                  | 1000                  |
| soletta       | 16                    | 100           | 0                     | 1000          | 16                            | 100           | 0                     | 1000          | 0            | 1000                  | 1000                  |
| fondaz.       | 20                    | 100           | 0                     | 1000          | 20                            | 100           | 0                     | 1000          | 0            | 1000                  | 1000                  |
| ripartiz.     | 14                    | 100           | x                     | 2 strati      |                               |               |                       |               |              |                       |                       |
| Elem.         | LØ [m]                | Lleg [mm]     | Vol [m <sup>3</sup> ] | Peso<br>[kg]  | incid<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Inc.%         |                       |               |              |                       |                       |
| piedritto     | 7.68                  | 0.86          | 4.2                   | 291           | 69                            | 37%           |                       |               |              |                       |                       |
| soletta       | 4.18                  | 0.46          | 1.5                   | 158           | 104                           | 10%           |                       |               |              |                       |                       |
| fondaz.       | 4.98                  | 0.86          | 3.0                   | 295           | 97                            | 19%           |                       |               |              |                       |                       |
| ripartiz.     |                       |               | 13.0                  | 528           | 40                            | 34%           |                       |               |              |                       |                       |
| <b>TOTALE</b> |                       |               | <b>13.0</b>           | <b>1563</b>   | <b>120</b>                    | <b>100%</b>   |                       |               |              |                       |                       |