

**ITINERARIO INTERNAZIONALE E78  
S.G.C. GROSSETO - FANO  
ADEGUAMENTO A 4 CORSIE  
NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")  
DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9**

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. FI15

PROGETTA TI SINTAGMA - GDG - ICARIA

|  |  |
|--|--|
| <p>IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:<br/>Dott. Ing. Nando Granieri<br/>Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351</p> | <p>IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:<br/>MANDATARIA:  <b>Sintagma</b></p> <p>MANDANTI:  <b>GEOTECHNICAL DESIGN GROUP</b>  <b>ICARIA</b> società di ingegneria</p> <p>Dott. Ing. N. Granieri<br/>Dott. Arch. N. Kamenicky<br/>Dott. Ing. V. Truffini<br/>Dott. Arch. A. Bracchini<br/>Dott. Ing. F. Durastanti<br/>Dott. Ing. E. Bartolucci<br/>Dott. Geol. G. Cerquiglioni<br/>Geom. S. Scopetta<br/>Dott. Ing. L. Sbrenna<br/>Dott. Ing. E. Sellari<br/>Dott. Ing. L. Dinelli<br/>Dott. Ing. L. Nani<br/>Dott. Ing. F. Pambianco<br/>Dott. Agr. F. Berti Nulli</p> <p>Dott. Ing. D. Carlacini<br/>Dott. Ing. S. Sacconi<br/>Dott. Ing. A. Rea<br/>Dott. Ing. V. De Gori<br/>Dott. Ing. C. Consorti<br/>Geom. F. Dominici</p> <p>Dott. Ing. V. Rotisciani<br/>Dott. Ing. F. Macchioni<br/>Geom. C. Vischini<br/>Dott. Ing. V. Purnno<br/>Dott. Ing. G. Pulli<br/>Geom. C. Sugaroni</p> |
| <p>IL PROGETTISTA:<br/>Dott. Ing. Federico Durastanti<br/>Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844</p>  |  |
| <p>IL GEOLOGO:<br/>Dott. Geol. Giorgio Cerquiglioni<br/>Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108</p>  |  |
| <p>IL RUP:<br/>Dott. Ing. Raffaele Franco Carso</p>  |  |
| <p>IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:<br/>Dott. Ing. Filippo Pambianco<br/>Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373</p>      |  |
| <p>PROTOCOLLO</p>  | <p>DATA</p>  |



**VIADOTTI  
VIADOTTO SUL FIUME MERSE DX  
Relazione di calcolo Spalla 1**

|  |  |                                |  |
|--|--|--------------------------------|--|
| <p>CODICE PROGETTO</p> <p>PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.</p> <p><b>L O F I 1 5    E    1 9 0 1</b></p> | <p>NOME FILE</p> <p><i>T00-VI04-STR-RE03</i></p>                         | <p>REVISIONE</p>               | <p>SCALA</p>                                 |
| <p>CODICE ELAB. <b>T 0 0 V I 0 4 S T R R E 0 3</b></p>   |  | <p align="center"><b>C</b></p> |  |
| <p>REV.</p>  | <p>DESCRIZIONE</p>   | <p>DATA</p>                    | <p>REDATTO    VERIFICATO    APPROVATO</p>    |
| <p>C</p>   | <p>Revisione a seguito rapporto intermedio DGSV 156/2 del 02/03/2021</p> | <p>Mar 2021</p>                | <p>M.Botta    E.Bartolucci    N.Granieri</p> |
| <p>B</p>   | <p>Emissione a seguito rapporto intermedio DGSV 156/1 del 27/05/2020</p> | <p>Gen 2021</p>                | <p>M.Botta    E.Bartolucci    N.Granieri</p> |
| <p>A</p>   | <p>Emissione</p>   | <p>Feb 2020</p>                | <p>M.Botta    E.Bartolucci    N.Granieri</p> |

**INDICE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. PREMESSA.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2. DESCRIZIONE DELL’OPERA .....</b>                                  | <b>6</b>  |
| <b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>                                | <b>8</b>  |
| <b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>                            | <b>9</b>  |
| <b>4.1 CALCESTRUZZO .....</b>   | <b>9</b>  |
| 4.1.1 Strutture in elevazione.....                                      | 9         |
| 4.1.2 Strutture di fondazione.....                                      | 9         |
| 4.1.3 Pali di fondazione .....  | 10        |
| <b>4.2 ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE.....</b>                          | <b>11</b> |
| <b>4.3 COPRIFERRI MINIMI .....</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>                             | <b>12</b> |
| <b>6. ANALISI DEI CARICHI .....</b>                                     | <b>13</b> |
| <b>6.1 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI.....</b>                         | <b>13</b> |
| 6.1.1 Sintesi scarichi impalcato.....                                   | 14        |
| 6.1.2 Pesi propri ( $g_1$ ) .....                                       | 15        |
| 6.1.3 Spinta della terra in condizioni statiche ( $g_3$ ).....          | 15        |
| 6.1.4 Spinta da sovraccarico permanente.....                            | 16        |
| 6.1.5 Spinta da sovraccarico accidentale .....                          | 16        |
| 6.1.6 Azioni sismiche ( $q_6$ ).....                                    | 17        |
| 6.1.7 Spinta sismica del terreno .....                                  | 35        |
| 6.1.8 Forze inerziali dovute al sisma .....                             | 39        |
| <b>6.2 COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>                                 | <b>40</b> |
| <b>7. MODELLAZIONE NUMERICA .....</b>                                   | <b>43</b> |
| <b>7.1 CALCOLO DEL MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO .....</b> | <b>44</b> |
| <b>8. CRITERI DI VERIFICA .....</b>                                     | <b>46</b> |
| <b>8.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....</b>               | <b>46</b> |
| 8.1.1 Verifica a fessurazione .....                                     | 46        |
| 8.1.2 Verifica delle tensioni in esercizio.....                         | 47        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>8.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI.....</b> | <b>47</b>  |
| 8.2.1 Sollecitazioni flettenti.....                | 47         |
| 8.2.2 Sollecitazioni taglianti.....                | 47         |
| <b>8.3 VERIFICHE GEOTECNICHE.....</b>              | <b>48</b>  |
| <b>9. SPALLA .....</b>                             | <b>50</b>  |
| <b>9.1 ANALISI DEI RISULTATI .....</b>             | <b>50</b>  |
| 9.1.1 Muro frontale .....                          | 50         |
| 9.1.2 Muro andatori .....                          | 53         |
| 9.1.3 Muro paraghiaia.....                         | 56         |
| 9.1.4 Plinto di fondazione.....                    | 59         |
| 9.1.5 Pali di fondazione .....                     | 62         |
| <b>9.2 VERIFICHE .....</b>                         | <b>63</b>  |
| <b>9.3 MURO FRONTALE.....</b>                      | <b>64</b>  |
| 9.3.1 Verifica dell’armatura verticale .....       | 64         |
| 9.3.2 Verifica dell’armatura orizzontale .....     | 70         |
| 9.3.3 Verifica a taglio .....                      | 75         |
| <b>9.4 MURO PARAGHIAIA .....</b>                   | <b>77</b>  |
| 9.4.1 Verifica dell’armatura verticale .....       | 77         |
| 9.4.2 Verifica dell’armatura orizzontale .....     | 81         |
| 9.4.3 Verifica a taglio .....                      | 86         |
| <b>9.5 MURI ANDATORI.....</b>                      | <b>88</b>  |
| 9.5.1 Verifica dell’armatura verticale .....       | 88         |
| 9.5.2 Verifica dell’armatura orizzontale .....     | 93         |
| 9.5.3 Verifica a taglio .....                      | 97         |
| <b>9.6 PLINTO DI FONDAZIONE.....</b>               | <b>99</b>  |
| 9.6.1 Verifica dell’armatura longitudinale.....    | 99         |
| 9.6.1 Verifica dell’armatura trasversale.....      | 104        |
| 9.6.2 Verifica a taglio e punzonamento .....       | 108        |
| <b>9.7 VERIFICHE STRUTTURALI PALI .....</b>        | <b>112</b> |

---

|   |            |
|---|------------|
| 9.7.1 Gabbia 1 .....                                  | 118        |
| 9.7.2 Gabbia 2 .....                                  | 125        |
| <b>9.8 VERIFICHE GEOTECNICHE PALI.....</b>            | <b>133</b> |
| 9.8.1 Verifica della capacità portante.....           | 133        |
| 9.8.2 Verifica del carico limite orizzontale.....     | 139        |
| 9.8.3 Valutazione dei cedimenti.....                  | 143        |
| <b>9.9 VERIFICHE DEI BAGGIOLI .....</b>               | <b>144</b> |
| 9.9.1 Verifica pressione nel calcestruzzo.....        | 144        |
| 9.9.2 Verifica armatura a tranciamento .....          | 144        |
| 9.9.3 Verifica armatura trasversale .....             | 144        |
| <b>9.10 VERIFICHE DEI RITEGNI .....</b>               | <b>147</b> |
| 9.10.1 Verifica puntone-tirante.....                  | 147        |
| <b>10. GIUDIZIO ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI .....</b> | <b>148</b> |

## 1. PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell’ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi alla progettazione esecutiva dell’ampliamento da 2 a 4 corsie dell’Itinerario internazionale E78 S.G.C. Grosseto – Fano, Lotto 9.

Oggetto della presente relazione sono le analisi e le verifiche statiche della “Spalla 1” dell’impalcato metallico sinistro del viadotto VI04, denominato “Viadotto sul fiume Merse”.

Le strutture sono progettate coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente, Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il viadotto VI04 ha uno sviluppo di 195m in asse appoggi ed è composto da 4 campate di 45-45-60-45m.

L'impalcato a sezione mista acciaio-calcestruzzo è costituito, per le prime 3 campate, da 2 travi in acciaio con sezione a doppio T a sezione variabile, con altezza massima sulle pile centrali pari a 2.8m e nella campata da 60m e altezza minima pari a 2.4m alle estremità e nelle campate da 45m. Le travi metalliche sono poste ad un interasse di 6.0m. L'ultima campata da 45m presenta un allargamento della carreggiata, dovuta dalla presenza di una corsia di immissione, che comporta l'inserimento di una terza trave dalle medesime caratteristiche geometriche delle precedenti e un allargamento dell'impalcato fino a 14.16m. La larghezza trasversale dell'impalcato è variabile lungo l'asse, data la presenza di allargamenti della carreggiata, ed è al minimo pari a circa 11.25 m, con una fascia centrale pavimentata e due cordoli laterali di larghezza pari a 0.75 m e spessore di 0.17 m. La soletta ha uno spessore costante pari a 30cm.

Le sottostrutture sono rappresentate da:

1. Spalla 1 (SP1);
2. Spalla 2 (SP2)
3. 3 pile su pozzo.

Nella presente relazione viene analizzata la spalla 1, caratterizzata da un'altezza massima pari a 6.30m dallo spiccato di fondazione. Il muro frontale è alto 3.00m, spesso 2.30m e presenta una larghezza di 11.74m. Il muro paraghiaia ha uno spessore di 0.50m ed un'altezza massima di circa 3.3m.

La fondazione di tipo indiretto è costituita da un plinto su pali. La platea ha uno spessore 2.00m e la palificata si compone di 11 pali Ø 1500 di lunghezza 38m. I due muri andatori hanno uno spessore variabile con valore massimo 1.10m allo spiccato della fondazione ed un'altezza pari 6.30m. Si prevede l'impegno di isolatori sismici.

Si riportano, di seguito, alcune viste dell'opera in progetto. Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

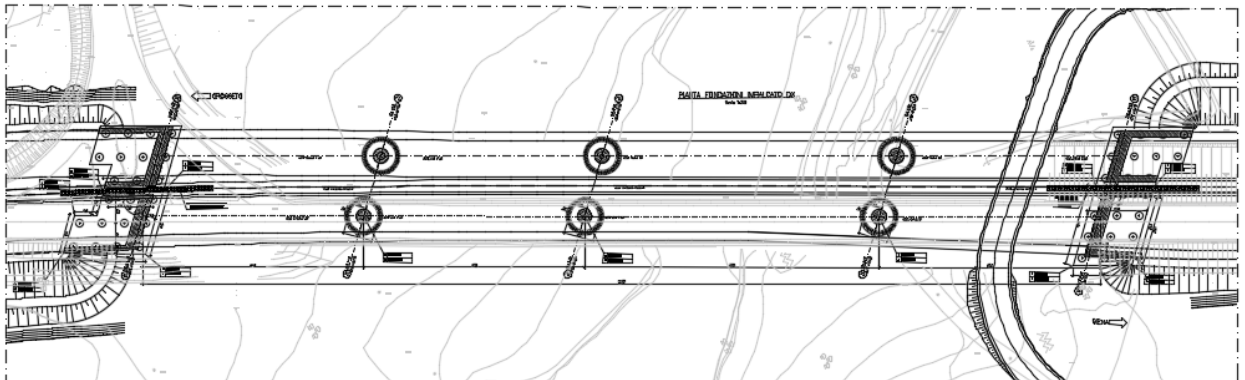


Figura 1: Pianta quota fondazioni

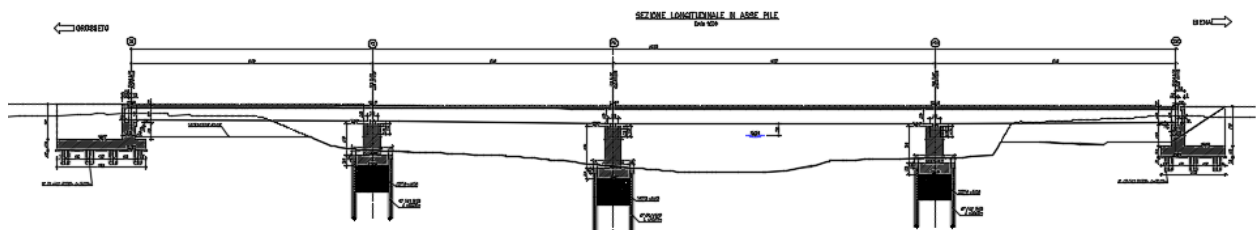


Figura 2: Sezione longitudinale

### 3. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il progetto è stato redatto sulla base delle seguenti normative e standard progettuali:

- L. 1086 05.11.1971 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge n. 64 del 2 febbraio 1974 – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- Decreto Ministeriale del 17/01/2018 - “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- UNI EN 206-1:2016, “Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI 11104-2016, “Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”;
- UNI EN 1992-1-1 – 2005: “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1993-1-1 – 2005: “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio”;
- UNI-EN 1997-1 - 2005: “Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali”;
- UNI-EN 1998-1 - 2005: “Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”.
- UNI-EN 1998-5 - 2005: “Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 1537: “Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio”.



## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 4.1 CALCESTRUZZO

#### 4.1.1 Strutture in elevazione

Per il getto della spalla si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC4

C32/40  $f_{ck} \geq 32$  MPa  $R_{ck} \geq 40$  MPa

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

|  |  |           |                   |
|--|--|-----------|-------------------|
| Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni     | $R_{ck}$                                       | <b>40</b> | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni | $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$                         | 33.20     | N/mm <sup>2</sup> |
| Valore medio della resistenza cilindrica         | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                          | 41.20     | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo breve durata               | $f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$ | 22.13     | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo lunga durata               | $f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$  | 18.81     | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione assiale              | $f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]     | 3.10      | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica a trazione             | $f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$                   | 2.17      | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione per flessione        | $f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$                        | 3.72      | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo a trazione                 | $f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$                 | 1.45      | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo di Young                                  | $E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$                  | 33643     | N/mm <sup>2</sup> |

#### 4.1.2 Strutture di fondazione

Per il getto in opera dei plinti di fondazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

C28/35  $f_{ck} \geq 28$  MPa  $R_{ck} \geq 35$  MPa

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

|  |          |           |                   |
|--|----------|-----------|-------------------|
| Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni | $R_{ck}$ | <b>35</b> | N/mm <sup>2</sup> |
|--|----------|-----------|-------------------|

RELAZIONE DI CALCOLO

|  |   |       |                   |
|--|---|-------|-------------------|
| Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni | $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$                                | 29.05 | N/mm <sup>2</sup> |
| Valore medio della resistenza cilindrica         | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                                 | 37.05 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo breve durata               | $f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$        | 19.37 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo lunga durata               | $f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$         | 16.46 | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione assiale              | $f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$ | 2.83  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica a trazione             | $f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$                          | 1.98  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione per flessione        | $f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$                               | 3.40  | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo a trazione                 | $f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$                        | 1.32  | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo di Young                                  | $E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$                         | 32588 | N/mm <sup>2</sup> |

#### 4.1.3 Pali di fondazione

Per il getto in opera dei pali di fondazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

C28/35  $f_{ck} \geq 28$  MPa  $R_{ck} \geq 35$  MPa

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

|  |   |           |                   |
|--|---|-----------|-------------------|
| Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni     | $R_{ck}$  | <b>35</b> | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni | $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$                                | 29.05     | N/mm <sup>2</sup> |
| Valore medio della resistenza cilindrica         | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                                 | 37.05     | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo breve durata               | $f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$        | 19.37     | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo lunga durata               | $f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$         | 16.46     | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione assiale              | $f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$ | 2.83      | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza caratteristica a trazione             | $f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$                          | 1.98      | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza media a trazione per flessione        | $f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$                               | 3.40      | N/mm <sup>2</sup> |
| Resistenza di calcolo a trazione                 | $f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$                        | 1.32      | N/mm <sup>2</sup> |
| Modulo di Young                                  | $E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$                         | 32588     | N/mm <sup>2</sup> |

## 4.2 Acciaio per armature ordinarie

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Classe acciaio per armature ordinarie  | B450C                 |
| Tensione di snervamento caratteristica | $f_{yk} \geq 450$ MPa |
| Tensione caratteristica di rottura     | $f_t \geq 540$ MPa    |
| Modulo di elasticità                   | $E_a = 210000$ MPa    |

## 4.3 Copriferrini minimi

Si riportano di seguito i copriferrini minimi per le strutture in calcestruzzo armato:

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Strutture di elevazione | 5.5 cm |
| Plinto di fondazione    | 4.0 cm |
| Pali di fondazione      | 7.5 cm |

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Si riportano i parametri di resistenza e deformabilità assunti nel calcolo in accordo con i risultati dei sondaggi riportati nella relazione geotecnica.

| Unità geotecniche |                 | Unità geologiche |   | $\gamma$             | $c'$  | $\varphi'$ | $z$         | $c_u$   | $E'$    | OCR   |
|-------------------|-----------------|------------------|---|----------------------|-------|------------|-------------|---------|---------|-------|
|                   |                 |                  |   | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kPa] | [°]        | [m da p.c.] | [kPa]   | [MPa]   | [-]   |
| A                 | Sabbia e ghiaia | at, at2, at3     | alluvioni fluviali terrazzate recenti e antiche | 19.5                 | 10÷20 | 25÷27      | 0÷2         | -       | 5÷20    | -     |
|                   |                 |                  |   |                      |       |            | >2          |         | 25÷50   |       |
| B                 | Argilliti       | Pb               | Argille a Palombini                             | 20                   | 10÷25 | 28÷30      | 0÷20        | 150÷250 | 50÷120  | 3÷5   |
|                   |                 |                  |   |                      |       |            | >20         | 100÷200 | 100÷220 | 1.5÷3 |
| C                 | Calcare/Ghiaia  | CV               | Calcare Cavernoso                               | 21                   | 10÷15 | 34÷35      | 0÷10        | -       | 40÷80   | -     |
|                   |                 |                  |   |                      |       |            | >10         |         | 60÷120  |       |
| D                 | Breccia/Ghiaia  | CM               | Brecce di Grotti                                | 19                   | 0     | 35÷37      | 0÷20        | -       | 50÷100  | -     |
|                   |                 |                  |   |                      |       |            | >20         |         | 100÷200 |       |
| E                 | Argille/Limi    | dl, Pa, Ps       | Depositi lacustri, argille e sabbie plioceniche | 19.5                 | 10÷30 | 23÷25      | 0÷20        | 100÷200 | 40÷80   | 3÷5   |
|                   |                 |                  |   |                      |       |            | >20         |         | 80÷120  | 1.5÷3 |

Tabella 1: Caratterizzazione geotecnica

Per il rilevato stradale sono state considerate le seguenti caratteristiche:

$\gamma = 19.00 \text{ kN/m}^3$       peso di volume naturale  
 $\varphi' = 35^\circ$                       angolo di resistenza al taglio  
 $c' = 0.00 \text{ kPa}$                   coesione drenata

La falda è posta a circa 9.5 metri dal piano campagna attuale.

## 6. ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi che interessano la spalla in esame è stata effettuata considerando le azioni provenienti dall'impalcato e quelle direttamente applicate sulla spalla.

I carichi trasmessi dall'impalcato sono relativi alle condizioni di carico elementari, opportunamente combinate secondo le vigenti normative, analizzate nel dettaglio nella relazione dell'impalcato, a cui si rimanda per maggiori approfondimenti.

### 6.1 Condizioni di carico elementari

Le azioni agenti per le condizioni di carico elementari sono di seguito indicate:

#### AZIONI PERMANENTI

- $g_1$  peso proprio degli elementi strutturali e non strutturali;
- $g_2$  carichi permanenti portati;

#### AZIONI VARIABILI

- $Q_{ik}, q_{ik}$  azioni variabili da traffico (compreso effetto dinamico);
- $q_3$  azione longitudinale di frenamento;
- $q_4$  azione centrifuga;

#### AZIONI CLIMATICHE

- $q_5$  azione del vento

#### AZIONI SISMICHE

- $q_6$  azione sismica

#### AZIONI DEI VINCOLI

- $q_7$  resistenze passive dei vincoli
- $\varepsilon_4$  cedimenti vincolari.

#### TEMPERATURA

- $\varepsilon_2$  ritiro del calcestruzzo
- $\varepsilon_3$  temperatura

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**6.1.1 Sintesi scarichi impalcato**

| CASI DI CARICO |                                    | SPALLA 1    |     |     |             |     |     | SPALLA 2    |     |     |             |     |     |             |     |     |
|----------------|------------------------------------|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
|                |                                    | ISOLATORI 1 |     |     | ISOLATORI 2 |     |     | ISOLATORI 3 |     |     | ISOLATORI 4 |     |     | ISOLATORE 5 |     |     |
| Sigla          | Tipologia                          | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  |
| -              | -                                  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  |
| G1             | Carichi permanenti strutturali     | 1170        | 0   | 0   | 1198        | 0   | 0   | 774         | 0   | 0   | 803         | 0   | 0   | 1069        | 0   | 0   |
| G2             | Carichi permanenti non strutturali | 261         | 0   | 0   | 377         | 0   | 0   | 163         | 0   | 0   | 164         | 0   | 0   | 265         | 0   | 0   |
| Q1             | Carichi mobili                     | 1303        | 0   | 0   | 1699        | 0   | 0   | 757         | 0   | 0   | 1209        | 0   | 0   | 1351        | 0   | 0   |
| Q3             | Frenamento                         | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  |
| Q4             | Azione centrifuga                  | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   |
| Q5             | Vento                              | 11          | 209 | 0   | -13         | 208 | 0   | 27          | 126 | 0   | -28         | 127 | 0   | 7           | 129 | 0   |
| EX             | Sisma X                            |             |     | 339 |             |     | 339 |             |     | 339 |             |     | 339 |             |     | 339 |
| EY             | Sisma Y                            |             | 330 |     |             | 330 |     |             | 185 |     |             | 185 |     |             | 185 |     |

| CASI DI CARICO |                                    | PILA 1      |     |     |             |     |     | PILA 2      |     |     |             |     |     |
|----------------|------------------------------------|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
|                |                                    | ISOLATORI 1 |     |     | ISOLATORI 2 |     |     | ISOLATORI 3 |     |     | ISOLATORI 4 |     |     |
| Sigla          | Tipologia                          | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  |
| -              | -                                  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  |
| G1             | Carichi permanenti strutturali     | 3081        | 0   | 0   | 3332        | 0   | 0   | 3396        | 0   | 0   | 3636        | 0   | 0   |
| G2             | Carichi permanenti non strutturali | 704         | 0   | 0   | 951         | 0   | 0   | 762         | 0   | 0   | 900         | 0   | 0   |
| Q1             | Carichi mobili                     | 2464        | 0   | 0   | 3084        | 0   | 0   | 2673        | 0   | 0   | 3287        | 0   | 0   |
| Q3             | Frenamento                         | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  |
| Q4             | Azione centrifuga                  | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   |
| Q5             | Vento                              | -178        | 236 | 0   | 174         | 235 | 0   | -235        | 237 | 0   | 236         | 238 | 0   |
| EX             | Sisma X                            |             |     | 335 |             |     | 335 |             |     | 330 |             |     | 330 |
| EY             | Sisma Y                            |             | 369 |     |             | 369 |     |             | 369 |     |             | 369 |     |

| CASI DI CARICO |                                    | PILA 3      |     |     |             |     |     |             |     |     |
|----------------|------------------------------------|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
|                |                                    | ISOLATORI 5 |     |     | ISOLATORI 6 |     |     | ISOLATORI 7 |     |     |
| Sigla          | Tipologia                          | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  | N           | Ht  | HI  |
| -              | -                                  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  | kN          | kN  | kN  |
| G1             | Carichi permanenti strutturali     | 2944        | 0   | 0   | 2130        | 0   | 0   | 3916        | 0   | 0   |
| G2             | Carichi permanenti non strutturali | 615         | 0   | 0   | 474         | 0   | 0   | 998         | 0   | 0   |
| Q1             | Carichi mobili                     | 2223        | 0   | 0   | 1464        | 0   | 0   | 2976        | 0   | 0   |
| Q3             | Frenamento                         | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  | 0           | 0   | 93  |
| Q4             | Azione centrifuga                  | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   | 0           | 0   | 0   |
| Q5             | Vento                              | -225        | 187 | 0   | -26         | 188 | 0   | 251         | 189 | 0   |
| EX             | Sisma X                            |             |     | 330 |             |     | 330 |             |     | 330 |
| EY             | Sisma Y                            |             | 275 |     |             | 275 |     |             | 275 |     |

### 6.1.2 Pesì propri ( $g_1$ )

I carichi permanenti strutturali sono valutati sulla base della geometria degli elementi costituenti la struttura e del peso specifico dei materiali. Si assume  $\gamma=25\text{kN/m}^3$  per il calcestruzzo.

### 6.1.3 Spinta della terra in condizioni statiche ( $g_3$ )

Le spinte del terreno a monte degli elementi verticali della spalla sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a  $S = \frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot H^2$ , applicata ad  $1/3$  dal basso.

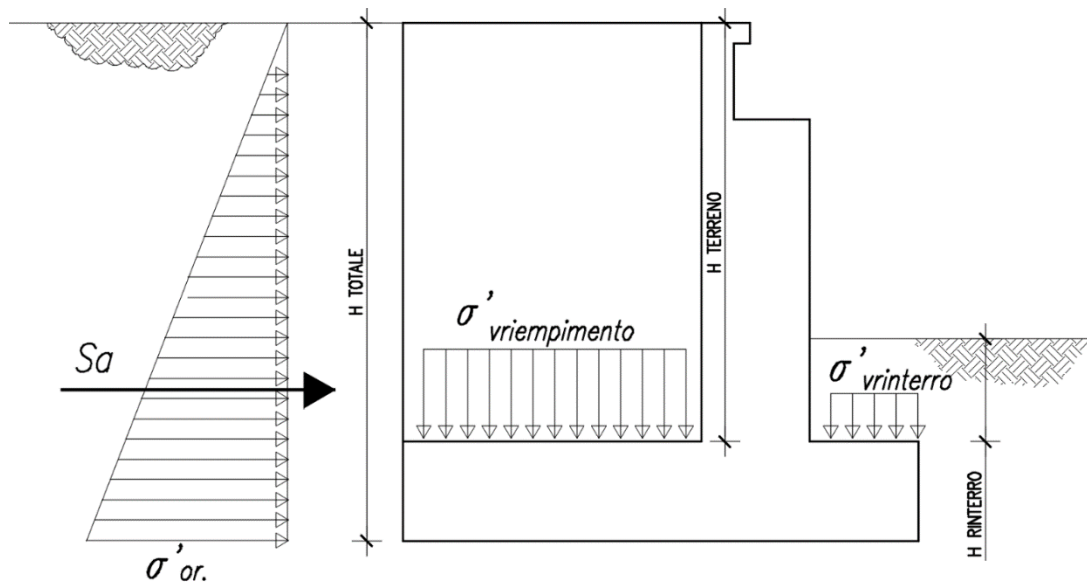


Figura 3: Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

Si deve notare che essendo presente una fondazione su pali si ipotizza che la spalla sia impedita di traslare rispetto al terreno. Si considera quindi il coefficiente di spinta a riposo.

|   |  |                         |
|---|--|-------------------------|
| Angolo di attrito terreno                               | $\Phi'$                                      | 35.00 °                 |
| Coesione del terreno                                    | $c'$   | 0.00 kPa                |
| Peso per unità di volume del terreno                    | $\gamma$                                     | 19.00 kN/m <sup>3</sup> |
| Coeff. di spinta in quiete $k_0=(1-\text{sen}\Phi')$    | $k_0$  | 0.426 -                 |
| Altezza terreno da estradosso plinto                    | $H_{\text{terreno}}$                         | 6.35 m                  |
| Spessore plinto di fondazione                           | $H_{\text{plinto}}$                          | 2.00 m                  |
| Altezza totale di spinta                                | $H_{\text{tot}}$                             | 8.35 m                  |
| Spessore ricoprimento zattera di valle                  | $H_{\text{rinterro}}$                        | 1.00 m                  |
| <b>Pressione orizzontale efficace estradosso plinto</b> | <b><math>\sigma'_{\text{or\_ter}}</math></b> | <b>51.45 kPa</b>        |

|  |                       |             |
|--|-----------------------|-------------|
| Pressione orizzontale efficace intradosso plinto | $\sigma'_{or\_ter}$   | 67.65 kPa   |
| Pressione verticale efficace zattera di monte    | $\sigma'_{v\_riemp.}$ | 120.65 kPa  |
| Pressione verticale efficace zattera di valle    | $\sigma'_{v\_riemp.}$ | 19.00 kPa   |
| Spinta del terreno in cond. Statiche             | $S_{or\_ter}$         | 282.45 kN/m |

### 6.1.4 Spinta da sovraccarico permanente

Per il sovraccarico permanente si considera un carico uniformemente distribuito in funzione del peso specifico e dello spessore della sovrastruttura stradale.

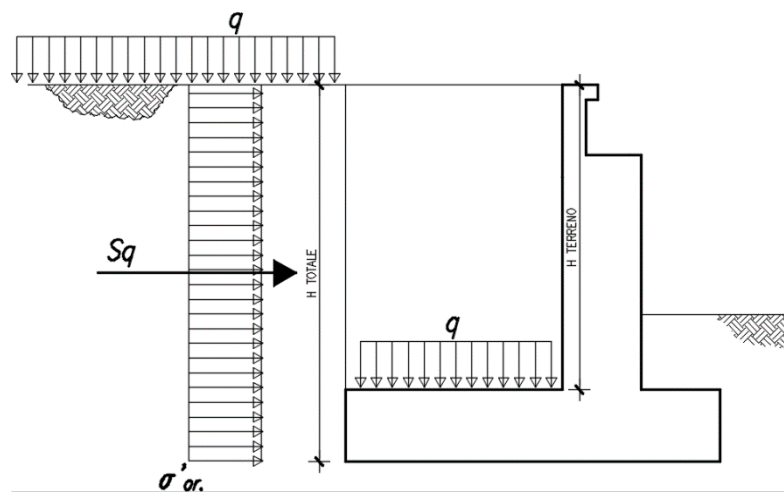


Figura 4: Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico permanente

Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari ad:

$$S = k_o \cdot q \cdot H$$

|  |                                   |                         |
|--|-----------------------------------|-------------------------|
| Spessore sovrastruttura stradale                                   | s                                 | 0.20 m                  |
| Peso specifico sovrastruttura stradale                             | $\gamma$                          | 20.00 kN/m <sup>3</sup> |
| Sovraccarico sovrastruttura stradale                               | q perm                            | 4.00 kPa                |
| Pressione orizzontale per effetto della sovrastruttura stradale    | $\sigma'_{q,perm}$                | 1.71 kPa                |
| <b>Spinta per effetto della sovrastruttura stradale (al metro)</b> | <b><math>S_{or,q,perm}</math></b> | <b>14.24 kN/m</b>       |

### 6.1.5 Spinta da sovraccarico accidentale

Si considera la presenza di un sovraccarico accidentale a tergo della spalla uniformemente distribuito e di intensità pari **q=20 kPa**.



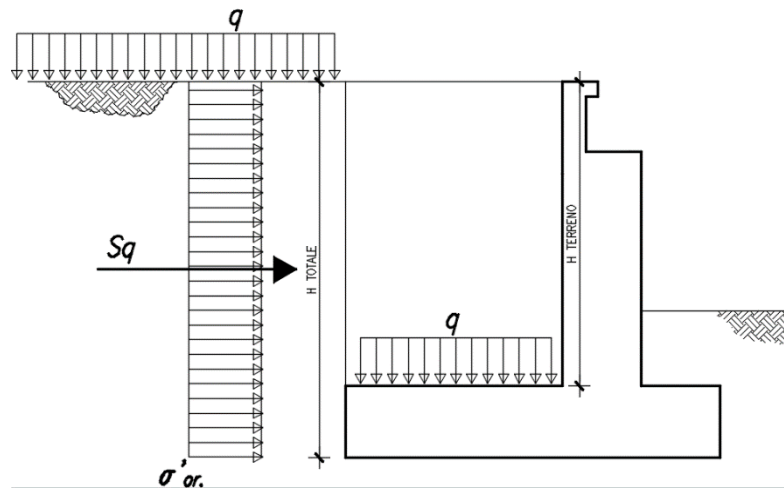


Figura 5: Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari ad:

$$S = k_o \cdot q \cdot H$$

|  |                   |              |             |
|--|-------------------|--------------|-------------|
| Sovraccarico accidentale uniformemente distribuito     | $q_{acc}$         | 20.00        | kPa         |
| Pressione orizzontale per effetto degli accidentali    | $\sigma'_{q,acc}$ | 8.53         | kPa         |
| <b>Spinta per effetto degli accidentali (al metro)</b> | $S_{or,q,acc}$    | <b>71.21</b> | <b>kN/m</b> |

### 6.1.6 Azioni sismiche ( $q_6$ )

Nel presente paragrafo si riportano la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del DM 17.1.2018.

L'azione sismica è descritta mediante spettri di risposta elastici e di progetto. In particolare nel DM 17.1.2018, vengono presentati gli spettri di risposta in termini di accelerazioni orizzontali e verticali.

L'espressione analitica dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione orizzontale è la seguente:

$$0 \leq T \leq T_B \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

In cui:

$$S = S_S \cdot S_T;$$

$S_S$ : coefficiente di amplificazione stratigrafico;

$S_T$ : coefficiente di amplificazione topografica;

$\eta$ : fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ , espresso in punti percentuali diverso da 5 ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ):

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$a_{g\cdot}$ : accelerazione massima al suolo;

T: periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$ : periodi che separano i diversi rami dello spettro, e che sono pari a:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

$$T_D = 4.0 + \frac{a_{g\cdot}}{g} + 1.6$$

In cui :

$C_C$ : coefficiente che tiene conto della categoria del terreno;

$T_C^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'espressione analitica dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione verticale è la seguente:

$$0 \leq T \leq T_B \longrightarrow S_e(T) = a_{g\cdot} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \longrightarrow S_e(T) = a_{g\cdot} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_{g\cdot} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_c \cdot T_D}{T} \right)$$

nelle quali:

$S = S_s \times S_T$ : con  $S_s$  pari sempre a 1 per lo spettro verticale;

$\eta$ : fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ , espresso in punti percentuali diverso da 5 ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ):

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

$T$ : periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$ : periodi che separano i diversi rami dello spettro, e che sono pari a:

$$T_C = 0.05 \quad T_B = 0.15 \quad T_D = 1.0$$

$F_v$ : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima mediante la relazione:

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0.5}$$

Di seguito si riporta il calcolo dei parametri per la valutazione degli spettri in accelerazione orizzontale e verticale, effettuata mediante l'utilizzo del software "Spettri NTC ver. 1.0.3" reperibile presso il sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

### Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale ( $V_N$ ), è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

|   | TIPI DI COSTRUZIONE  | Vita Nominale (VN) |
|---|--|--------------------|
| 1 | Opere provvisorie- Opere provvisionali- Strutture in fase costruttiva                                  | $\leq 10$          |
| 2 | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale | $\geq 50$          |
| 3 | Grandi opere, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica           | $\geq 100$         |

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale  $V_N = 100$  anni.

### Classi D’uso

Il Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 prevede quattro categorie di classi d’uso riportate nel seguito:

|   |
|---|
| <b>Classe I:</b> Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  |
| <b>Classe II:</b> Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe III o in Classe IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.   |
| <b>Classe III:</b> Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l’ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  |
| <b>Classe IV:</b> Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie particolarmente pericolose per l’ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade”, e di tipo quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti o reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. |

Per l’opera in oggetto si considera una **Classe d’uso IV**.

### Periodo di Riferimento dell’Azione Sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d’uso  $C_u$ :

$$V_R = V_n \cdot C_u$$

Il valore del coefficiente d’uso  $C_u$  è definito, al variare della classe d’uso, come mostrato nella tabella seguente:

| CLASSE D’USO       | I   | II | III | IV |
|--------------------|-----|----|-----|----|
| COEFFICIENTE $C_u$ | 0.7 | 1  | 1.5 | 2  |

Pertanto per l’ opera in oggetto il periodo di riferimento è pari a  $100 \times 2 = 200$  anni.

### Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella tabella successiva.

| <u>Stati Limite</u>       |     | $P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---------------------------|-----|--|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81%  |
|                           | SLD | 63%  |
| Stati limite ultimi       | SLV | 10%  |
|                           | SLC | 5%   |

### Accelerazione ( $a_g$ ), fattore ( $F_0$ ) e periodo ( $T_c^*$ )

Ai fini del NTC 2018 le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima sul sito;

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri prima elencati dipendono dalle coordinate geografiche, espresse in termini di latitudine e longitudine, del sito interessato dall'opera, dal periodo di riferimento ( $V_R$ ), e quindi dalla vita nominale ( $V_N$ ) e dalla classe d'uso ( $C_u$ ) e dallo stato limite considerato. Si riporta nel seguito la valutazione di detti parametri per i vari stati limite.

I parametri adottati per il sito in esame (Long: 11.17748; Lat: 43.139470) risultano:

| SLATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_0$<br>[-] | $T_c^*$<br>[s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO          | 120             | 0.085        | 2.481        | 0.260          |
| SLD          | 201             | 0.104        | 2.479        | 0.264          |
| SLV          | 1898            | 0.210        | 2.560        | 0.287          |
| SLC          | 2475            | 0.226        | 2.575        | 0.289          |

Tabella 2: Valutazione dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascuno stato limite

I parametri ai quali si è fatto riferimento nella definizione dell'azione sismica di progetto, indicati nella tabella precedente, corrispondono, cautelativamente, a quei parametri che danno luogo al sisma di massima entità, fra tutti quelli individuati lungo le progressive dell'opera in progetto.

Sono stati presi in esame, secondo quanto previsto dal DM 17.1.2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, cap. 7.1, i seguenti Stati Limite sismici:

- SLV: Stato Limite di Salvaguardia della Vita (Stato Limite Ultimo)
- SLD: Stato Limite di Danno (Stato Limite di Esercizio)
- SLC: Stato Limite di Collasso (Stato Limite Ultimo)
- SLO: Stato Limite di Operatività (Stato Limite di Esercizio)

Le azioni sismiche relative allo stato limite di operatività (SLO) e allo stato limite di danno (SLD) non sono state considerate perché poco significative in relazione alle combinazioni di natura statica. Per quanto riguarda lo stato limite di collasso (SLC), questo è stato considerato per le combinazioni sismiche di verifica dei ritegni sismici; si faccia pertanto riferimento alle considerazioni presentate nelle rispettive relazioni di calcolo di impalcato.

Si riportano al termine dell’analisi, i parametri ed i punti dello spettro di risposta elastici e di progetto per il restante stato limite (SLV).

### **Classificazione dei terreni**

Per la definizione dell’azione sismica di progetto, la valutazione dell’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, deve essere basata su studi specifici di risposta sismica locale esistenti nell’area di intervento. In mancanza di tali studi la normativa prevede la classificazione, riportata nella tabella seguente, basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_{s,30}$ , ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica (per terreni prevalentemente granulari), ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$  (per terreni prevalentemente coesivi).

| Categoria di suolo di fondazione | Descrizione  |
|----------------------------------|--|
| Cat. A                           | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.   |
| Cat. B                           | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina) |
| Cat. C                           | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$  |

|        |   |
|--------|---|
|        | compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)  |
| Cat. D | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina) |
| Cat. E | Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)  |

Come riportato nella relazione sismica, l'opera ricade in una **categoria B** di suolo di fondazione. Si riporta di seguito uno stralcio della tabella di sintesi delle categorie di suolo lungo il tracciato:

*Tabella 3 Categorie di suolo lungo il tracciato*

| da prg | a prg | Categoria suolo | Prove sismiche eseguite in ogni tratto |
|--------|-------|-----------------|--|
| 41580  | 41950 | B               | LS1-LS2                                |
|        |       |                 | SG01 – DH                              |
| 41950  | 42860 | C               | MASW1                                  |
|        |       |                 | MASW2                                  |
| 42860  | 43310 | B               | MASW3                                  |
| 43310  | 43460 | C               | LS5-LS6                                |
| 43460  | 46780 | B               | LS7-LS8                                |
|        |       |                 | MASW4                                  |
|        |       |                 | MASW5                                  |
|        |       |                 | MASW6                                  |
|        |       |                 | SG05-DH                                |
|        |       |                 | MASW09                                 |
| 46780  | 47250 | C               | SG08-DH                                |
| 47250  | 48420 | E               | MASW07                                 |
| 48420  | 50800 | B               | SG09-DH                                |
|        |       |                 | MASW8                                  |
|        |       |                 | LS9-LS10                               |
| 50800  | 50900 | B               | SG10-DH                                |
| 50900  | 53859 | C               | SG011-DH                               |

### **Amplificazione stratigrafica**

I due coefficienti prima definiti,  $S_s$  e  $C_c$ , dipendono dalla categoria del sottosuolo come mostrato nel prospetto seguente.

Per i terreni di categoria A, entrambi i coefficienti sono pari a 1, mentre per le altre categorie i due coefficienti sono pari a:



| Categoria sottosuolo | $S_s$   | $C_c$                        |
|----------------------|---|------------------------------|
| A                    | 1,00  | 1,00                         |
| B                    | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| C                    | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$ |
| D                    | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| E                    | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

Nel caso in esame (categoria di sottosuolo B) allo SLV risulta:

$$S_s = 1.185$$

$$C_c = 1.412$$

### Amplificazione topografica

Per poter tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente tabella.

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento   | $S_T$ |
|-----------------------|---|-------|
| T1                    | -   | 1     |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio  | 1.2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ | 1.2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $i > 30^\circ$                  | 1.4   |

Nel caso in esame  $S_T = 1$

Il dimensionamento e la verifica dei vari componenti strutturali va fatto in generale con gli spettri elastici allo SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita). Inoltre i dispositivi del sistema d'isolamento debbono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti  $d_2$ , valutati per un terremoto avente probabilità di superamento pari a quella prevista per lo Stato Limite di Collasso (SLC).

### Spettri di progetto

Di seguito si forniscono gli spettri di risposta elastici per lo SLV e lo SLC, con le tabelle dei rispettivi parametri. Trattandosi di una struttura isolata, si provvede a riportare un diagramma con

abbattimento dello spettro a partire da un periodo  $T=0,8T_i$ , ottenuto impostando uno smorzamento pari a quello fornito dal sistema di isolamento del 10%.

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE   | SLV   |     |
|----------------|-------|-----|
| $a_g$          | 0.210 | [g] |
| $F_0$          | 2.560 |     |
| $T_C^*$        | 0.287 | [s] |
| $S_S$          | 1.185 |     |
| $C_C$          | 1.412 |     |
| $S_T$          | 1.000 |     |
| $T_{\zeta=10}$ | 2.000 | [s] |
| $\zeta$        | 10    | [%] |
| $q$            | 1.000 |     |

**Parametri dipendenti**

|              |       |     |
|--------------|-------|-----|
| $S$          | 1.185 |     |
| $\eta_1$     | 0.816 |     |
| $\eta_2=1/q$ | 1.000 |     |
| $T_B$        | 0.135 | [s] |
| $T_C$        | 0.405 | [s] |
| $T_D$        | 2.440 | [s] |

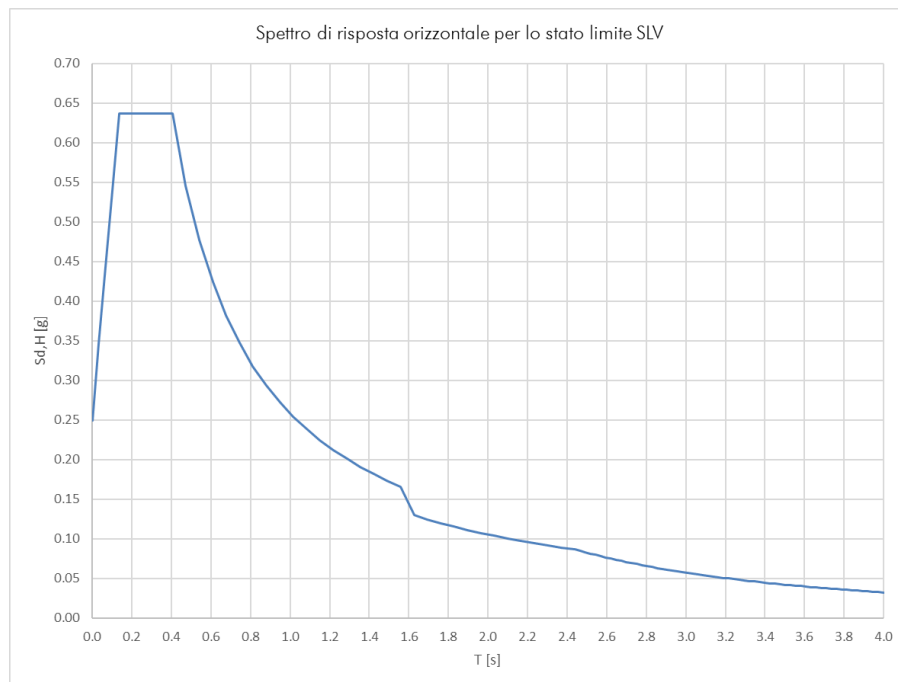


Figura 6: Spettri di risposta \_SLV (Componente orizzontale)

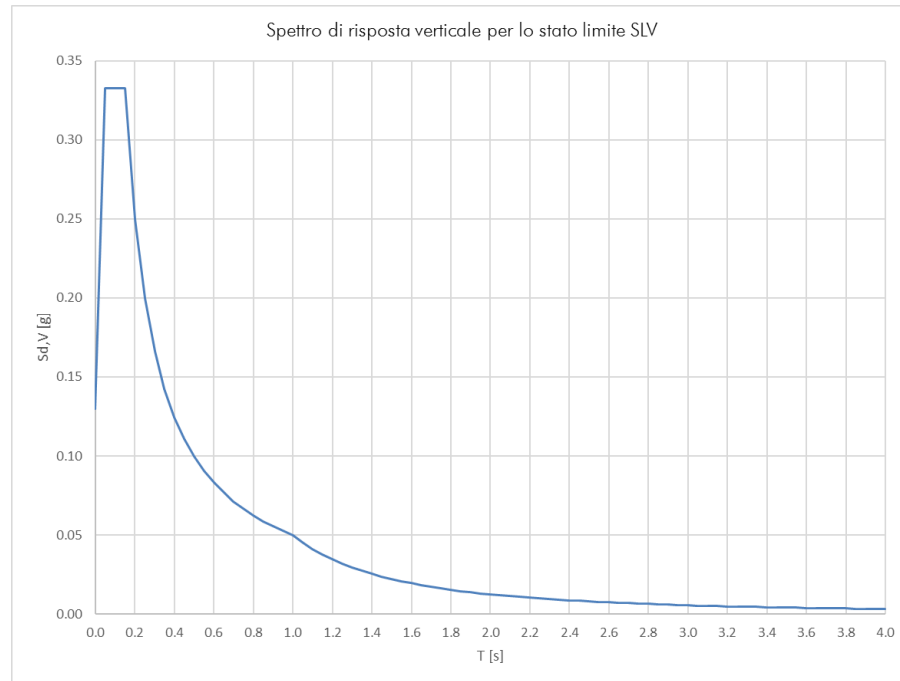


Figura 7: Spettri di risposta \_SLV (Componente verticale)

**Spettro XY**

| T [s] | Sd,H [g] |
|-------|----------|
| 0.000 | 0.249    |
| 0.034 | 0.346    |
| 0.068 | 0.443    |
| 0.101 | 0.540    |
| 0.135 | 0.637    |
| 0.189 | 0.637    |
| 0.243 | 0.637    |
| 0.297 | 0.637    |
| 0.351 | 0.637    |
| 0.405 | 0.637    |
| 0.473 | 0.546    |
| 0.541 | 0.477    |
| 0.609 | 0.424    |
| 0.677 | 0.382    |

**Spettro**

| T [s] | Sd,V [g] |
|-------|----------|
| 0.000 | 0.130    |
| 0.050 | 0.333    |
| 0.100 | 0.333    |
| 0.150 | 0.333    |
| 0.200 | 0.249    |
| 0.250 | 0.200    |
| 0.300 | 0.166    |
| 0.350 | 0.143    |
| 0.400 | 0.125    |
| 0.450 | 0.111    |
| 0.500 | 0.100    |
| 0.550 | 0.091    |
| 0.600 | 0.083    |
| 0.650 | 0.077    |

| Spettro XY |                      | Spettro Z |                      |
|------------|----------------------|-----------|----------------------|
| T [s]      | S <sub>d,H</sub> [g] | T [s]     | S <sub>d,V</sub> [g] |
| 0.744      | 0.347                | 0.700     | 0.071                |
| 0.812      | 0.318                | 0.750     | 0.067                |
| 0.880      | 0.293                | 0.800     | 0.062                |
| 0.948      | 0.272                | 0.850     | 0.059                |
| 1.016      | 0.254                | 0.900     | 0.055                |
| 1.083      | 0.238                | 0.950     | 0.053                |
| 1.151      | 0.224                | 1.000     | 0.050                |
| 1.219      | 0.212                | 1.050     | 0.045                |
| 1.287      | 0.201                | 1.100     | 0.041                |
| 1.355      | 0.191                | 1.150     | 0.038                |
| 1.423      | 0.181                | 1.200     | 0.035                |
| 1.490      | 0.173                | 1.250     | 0.032                |
| 1.558      | 0.166                | 1.300     | 0.030                |
| 1.626      | 0.130                | 1.350     | 0.027                |
| 1.694      | 0.124                | 1.400     | 0.025                |
| 1.762      | 0.120                | 1.450     | 0.024                |
| 1.830      | 0.115                | 1.500     | 0.022                |
| 1.897      | 0.111                | 1.550     | 0.021                |
| 1.965      | 0.107                | 1.600     | 0.019                |
| 2.033      | 0.104                | 1.650     | 0.018                |
| 2.101      | 0.100                | 1.700     | 0.017                |
| 2.169      | 0.097                | 1.750     | 0.016                |
| 2.237      | 0.094                | 1.800     | 0.015                |
| 2.304      | 0.091                | 1.850     | 0.015                |
| 2.372      | 0.089                | 1.900     | 0.014                |
| 2.440      | 0.086                | 1.950     | 0.013                |
| 2.466      | 0.085                | 2.000     | 0.012                |
| 2.492      | 0.083                | 2.050     | 0.012                |
| 2.518      | 0.081                | 2.100     | 0.011                |
| 2.544      | 0.079                | 2.150     | 0.011                |
| 2.570      | 0.078                | 2.200     | 0.010                |
| 2.596      | 0.076                | 2.250     | 0.010                |
| 2.622      | 0.075                | 2.300     | 0.009                |
| 2.648      | 0.073                | 2.350     | 0.009                |
| 2.674      | 0.072                | 2.400     | 0.009                |

Spettro XY

| T [s] | S <sub>d,H</sub> [g] |
|-------|----------------------|
| 2.700 | 0.071                |
| 2.726 | 0.069                |
| 2.752 | 0.068                |
| 2.778 | 0.067                |
| 2.804 | 0.065                |
| 2.830 | 0.064                |
| 2.856 | 0.063                |
| 2.882 | 0.062                |
| 2.908 | 0.061                |
| 2.934 | 0.060                |
| 2.960 | 0.059                |
| 2.986 | 0.058                |
| 3.012 | 0.057                |
| 3.038 | 0.056                |
| 3.064 | 0.055                |
| 3.090 | 0.054                |
| 3.116 | 0.053                |
| 3.142 | 0.052                |
| 3.168 | 0.051                |
| 3.194 | 0.050                |
| 3.220 | 0.050                |
| 3.246 | 0.049                |
| 3.272 | 0.048                |
| 3.298 | 0.047                |
| 3.324 | 0.047                |
| 3.350 | 0.046                |
| 3.376 | 0.045                |
| 3.402 | 0.044                |
| 3.428 | 0.044                |
| 3.454 | 0.043                |
| 3.480 | 0.042                |
| 3.506 | 0.042                |
| 3.532 | 0.041                |
| 3.558 | 0.041                |
| 3.584 | 0.040                |
| 3.610 | 0.039                |

Spettro

| T [s] | S <sub>d,V</sub> [g] |
|-------|----------------------|
| 2.450 | 0.008                |
| 2.500 | 0.008                |
| 2.550 | 0.008                |
| 2.600 | 0.007                |
| 2.650 | 0.007                |
| 2.700 | 0.007                |
| 2.750 | 0.007                |
| 2.800 | 0.006                |
| 2.850 | 0.006                |
| 2.900 | 0.006                |
| 2.950 | 0.006                |
| 3.000 | 0.006                |
| 3.050 | 0.005                |
| 3.100 | 0.005                |
| 3.150 | 0.005                |
| 3.200 | 0.005                |
| 3.250 | 0.005                |
| 3.300 | 0.005                |
| 3.350 | 0.004                |
| 3.400 | 0.004                |
| 3.450 | 0.004                |
| 3.500 | 0.004                |
| 3.550 | 0.004                |
| 3.600 | 0.004                |
| 3.650 | 0.004                |
| 3.700 | 0.004                |
| 3.750 | 0.004                |
| 3.800 | 0.003                |
| 3.850 | 0.003                |
| 3.900 | 0.003                |
| 3.950 | 0.003                |
| 4.000 | 0.003                |

Spettro XY

| T [s] | $S_{d,H}$ [g] |
|-------|---------------|
| 3.636 | 0.039         |
| 3.662 | 0.038         |
| 3.688 | 0.038         |
| 3.714 | 0.037         |
| 3.740 | 0.037         |
| 3.766 | 0.036         |
| 3.792 | 0.036         |
| 3.818 | 0.035         |
| 3.844 | 0.035         |
| 3.870 | 0.034         |
| 3.896 | 0.034         |
| 3.922 | 0.033         |
| 3.948 | 0.033         |
| 3.974 | 0.033         |
| 4.000 | 0.032         |

Spettro

| Z     |               |
|-------|---------------|
| T [s] | $S_{d,V}$ [g] |

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE   | SLC   |     |
|----------------|-------|-----|
| $a_g$          | 0.226 | [g] |
| $F_0$          | 2.575 |     |
| $T_C^*$        | 0.289 | [s] |
| $S_S$          | 1.170 |     |
| $C_C$          | 1.410 |     |
| $S_T$          | 1.000 |     |
| $T_{\zeta=10}$ | 2     | [s] |
| $\zeta$        | 10    | [%] |
| q              | 1.0   |     |

**Parametri dipendenti**

|   |       |
|---|-------|
| S | 1.167 |
|---|-------|

|              |       |     |
|--------------|-------|-----|
| $\eta_1$     | 0.816 |     |
| $\eta_2=1/q$ | 1.000 |     |
| $T_B$        | 0.136 | [s] |
| $T_C$        | 0.408 | [s] |
| $T_D$        | 2.503 | [s] |

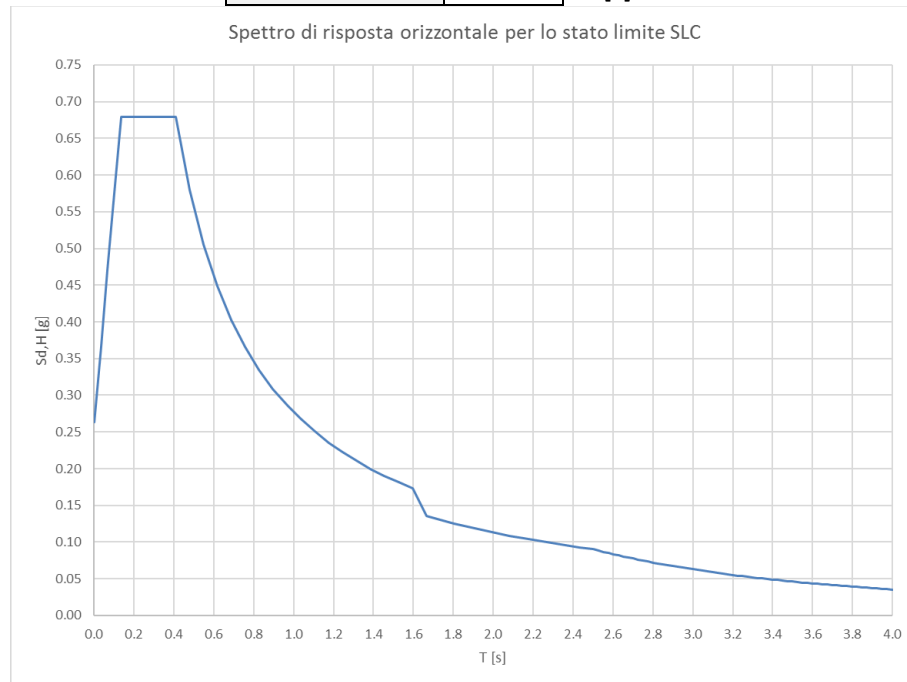


Figura 8: Spettri di risposta \_SLC (Componente orizzontale)

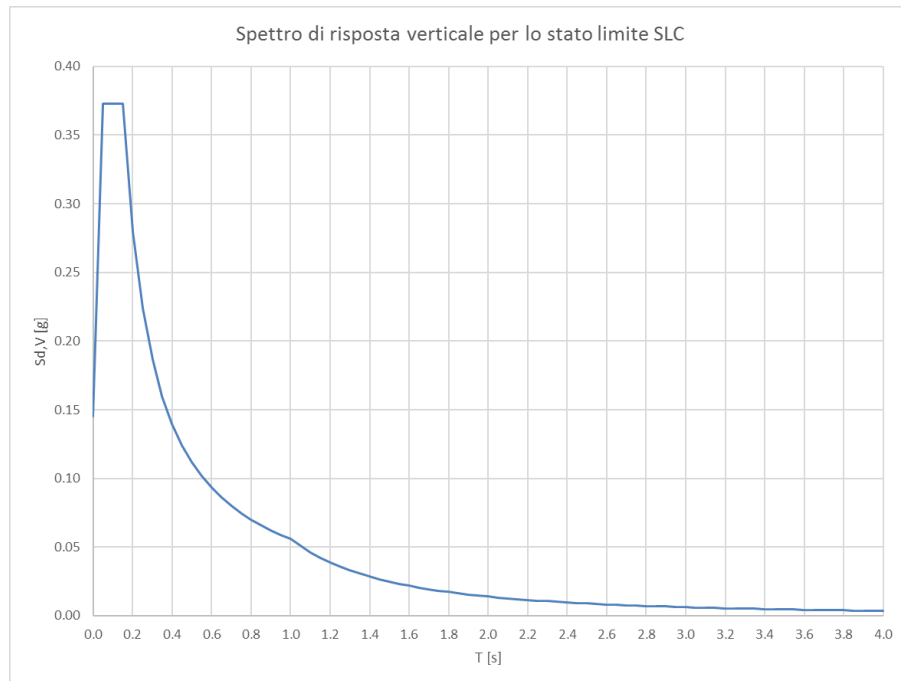


Figura 9: Spettri di risposta \_SLV (Componente verticale)

| Spettro XY   |                      | Spettro Z |                      |
|--------------|----------------------|-----------|----------------------|
| T [s]        | S <sub>d,H</sub> [g] | T [s]     | S <sub>d,V</sub> [g] |
| <b>0.000</b> | 0.264                | 0.000     | 0.145                |
| 0.034        | 0.367                | 0.050     | 0.373                |
| 0.068        | 0.471                | 0.100     | 0.373                |
| 0.102        | 0.575                | 0.150     | 0.373                |
| <b>0.136</b> | <b>0.679</b>         | 0.200     | 0.280                |
| 0.190        | <b>0.679</b>         | 0.250     | 0.224                |
| 0.245        | <b>0.679</b>         | 0.300     | 0.186                |
| 0.299        | <b>0.679</b>         | 0.350     | 0.160                |
| 0.354        | <b>0.679</b>         | 0.400     | 0.140                |
| <b>0.408</b> | <b>0.679</b>         | 0.450     | 0.124                |
| 0.478        | 0.580                | 0.500     | 0.112                |
| 0.548        | 0.506                | 0.550     | 0.102                |
| 0.617        | 0.448                | 0.600     | 0.093                |
| 0.687        | 0.403                | 0.650     | 0.086                |
| 0.757        | 0.366                | 0.700     | 0.080                |
| 0.827        | 0.335                | 0.750     | 0.075                |
| 0.897        | 0.309                | 0.800     | 0.070                |
| 0.967        | 0.286                | 0.850     | 0.066                |
| 1.036        | 0.267                | 0.900     | 0.062                |



| Spettro XY   |                      | Spettro Z |                      |
|--------------|----------------------|-----------|----------------------|
| T [s]        | S <sub>d,H</sub> [g] | T [s]     | S <sub>d,V</sub> [g] |
| 1.106        | 0.250                | 0.950     | 0.059                |
| 1.176        | 0.235                | 1.000     | 0.056                |
| 1.246        | 0.222                | 1.050     | 0.051                |
| 1.316        | 0.210                | 1.100     | 0.046                |
| 1.386        | 0.200                | 1.150     | 0.042                |
| 1.455        | 0.190                | 1.200     | 0.039                |
| 1.525        | 0.182                | 1.250     | 0.036                |
| 1.595        | 0.174                | 1.300     | 0.033                |
| 1.665        | 0.136                | 1.350     | 0.031                |
| 1.735        | 0.130                | 1.400     | 0.029                |
| 1.805        | 0.125                | 1.450     | 0.027                |
| 1.874        | 0.121                | 1.500     | 0.025                |
| 1.944        | 0.116                | 1.550     | 0.023                |
| 2.014        | 0.112                | 1.600     | 0.022                |
| 2.084        | 0.108                | 1.650     | 0.021                |
| 2.154        | 0.105                | 1.700     | 0.019                |
| 2.224        | 0.102                | 1.750     | 0.018                |
| 2.293        | 0.099                | 1.800     | 0.017                |
| 2.363        | 0.096                | 1.850     | 0.016                |
| 2.433        | 0.093                | 1.900     | 0.015                |
| <b>2.503</b> | 0.090                | 1.950     | 0.015                |
| 2.528        | 0.089                | 2.000     | 0.014                |
| 2.553        | 0.087                | 2.050     | 0.013                |
| 2.578        | 0.085                | 2.100     | 0.013                |
| 2.603        | 0.084                | 2.150     | 0.012                |
| 2.628        | 0.082                | 2.200     | 0.012                |
| 2.653        | 0.080                | 2.250     | 0.011                |
| 2.678        | 0.079                | 2.300     | 0.011                |
| 2.703        | 0.077                | 2.350     | 0.010                |
| 2.728        | 0.076                | 2.400     | 0.010                |
| 2.753        | 0.075                | 2.450     | 0.009                |
| 2.777        | 0.073                | 2.500     | 0.009                |
| 2.802        | 0.072                | 2.550     | 0.009                |
| 2.827        | 0.071                | 2.600     | 0.008                |
| 2.852        | 0.070                | 2.650     | 0.008                |
| 2.877        | 0.068                | 2.700     | 0.008                |
| 2.902        | 0.067                | 2.750     | 0.007                |
| 2.927        | 0.066                | 2.800     | 0.007                |
| 2.952        | 0.065                | 2.850     | 0.007                |
| 2.977        | 0.064                | 2.900     | 0.007                |

Spettro XY

| T [s] | S <sub>d,H</sub> [g] |
|-------|----------------------|
| 3.002 | 0.063                |
| 3.027 | 0.062                |
| 3.052 | 0.061                |
| 3.077 | 0.060                |
| 3.102 | 0.059                |
| 3.127 | 0.058                |
| 3.152 | 0.057                |
| 3.177 | 0.056                |
| 3.202 | 0.055                |
| 3.227 | 0.054                |
| 3.252 | 0.054                |
| 3.276 | 0.053                |
| 3.301 | 0.052                |
| 3.326 | 0.051                |
| 3.351 | 0.050                |
| 3.376 | 0.050                |
| 3.401 | 0.049                |
| 3.426 | 0.048                |
| 3.451 | 0.048                |
| 3.476 | 0.047                |
| 3.501 | 0.046                |
| 3.526 | 0.046                |
| 3.551 | 0.045                |
| 3.576 | 0.044                |
| 3.601 | 0.044                |
| 3.626 | 0.043                |
| 3.651 | 0.042                |
| 3.676 | 0.042                |
| 3.701 | 0.041                |
| 3.726 | 0.041                |
| 3.751 | 0.040                |
| 3.775 | 0.040                |
| 3.800 | 0.039                |
| 3.825 | 0.039                |
| 3.850 | 0.038                |
| 3.875 | 0.038                |
| 3.900 | 0.037                |
| 3.925 | 0.037                |
| 3.950 | 0.036                |
| 3.975 | 0.036                |

Spettro

| Z     |                      |
|-------|----------------------|
| T [s] | S <sub>d,V</sub> [g] |
| 2.950 | 0.006                |
| 3.000 | 0.006                |
| 3.050 | 0.006                |
| 3.100 | 0.006                |
| 3.150 | 0.006                |
| 3.200 | 0.005                |
| 3.250 | 0.005                |
| 3.300 | 0.005                |
| 3.350 | 0.005                |
| 3.400 | 0.005                |
| 3.450 | 0.005                |
| 3.500 | 0.005                |
| 3.550 | 0.004                |
| 3.600 | 0.004                |
| 3.650 | 0.004                |
| 3.700 | 0.004                |
| 3.750 | 0.004                |
| 3.800 | 0.004                |
| 3.850 | 0.004                |
| 3.900 | 0.004                |
| 3.950 | 0.004                |
| 4.000 | 0.003                |


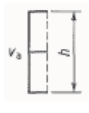

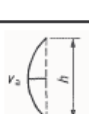
| Spettro XY |               | Spettro Z |               |
|------------|---------------|-----------|---------------|
| T [s]      | $S_{d,H}$ [g] | T [s]     | $S_{d,V}$ [g] |
| 4.000      | 0.035         |           |               |

L'azione sismica verticale è presente nella combinazione sismica, la quale esclude (in base ai fattori di combinazione previsti) i carichi da traffico. Pertanto non è stata presa in considerazione ai fini delle verifiche dell'impalcato.

### 6.1.7 Spinta sismica del terreno

Per il calcolo della spinta del terreno sulle opere di sostegno, occorre tenere presente che la mobilitazione della spinta attiva avviene per spostamenti di entità contenuta, come si evince dalla seguente tabella desunta dall'EC7 - Parte 1 - Annesso C (C.3 "Movements to mobilise limit earth pressures):

Table C.1 — Ratios  $v_a/h$

| Kind of wall movement  | $v_a/h$<br>loose soil<br>% | $v_a/h$<br>dense soil<br>% |
|--|----------------------------|----------------------------|
| a)  | 0,4 to 0,5                 | 0,1 to 0,2                 |
| b)  | 0,2                        | 0,05 to 0,1                |
| c)  | 0,8 to 1,0                 | 0,2 to 0,5                 |
| d)  | 0,4 to 0,5                 | 0,1 to 0,2                 |

where:  
 $v_a$  is the wall motion to mobilise active earth pressure  
 $h$  is the height of the wall

Figura 10: Valori di riferimento per la mobilitazione della spinta attiva

In condizioni sismiche, l'entità degli spostamenti dipende principalmente dall'intensità dell'azione sismica e dalla rigidità del sistema pali-terreno; pertanto, la possibilità di ammettere la mobilitazione della spinta attiva è subordinata alla valutazione degli spostamenti dell'opera e potrà essere valutata caso per caso. Cautelativamente, la valutazione degli spostamenti, da effettuarsi calcolando le spinte come somma della spinta attiva in condizioni statiche e dell'incremento di spinta attiva in condizioni sismiche, sarà riferita alla base dell'opera (i.e. alla

sommità della palificata) e il confronto con i valori di riferimento per la mobilitazione della spinta attiva sarà effettuato in accordo con lo schema b) della tabella estratta dall'EC7 per terreni addensati (rilevati stradali e ferroviari). L'altezza  $h$  rispetto alla quale effettuare la verifica corrisponde all'altezza totale dell'opera su cui agisce la spinta del terreno, comprensiva dello spessore della fondazione.

Qualora, a seguito della verifica dell'entità degli spostamenti, non ricorressero le condizioni di spinta attiva, si procederà al calcolo delle spinte considerando la somma della spinta statica a riposo e dell'incremento di spinta sismica valutata con la teoria di Wood, secondo le indicazioni contenute nell'EC8 – Parte 5 – Annesso E (E.9 “Force due to earth pressure for rigid structures”).

Qualora, a seguito della verifica dell'entità degli spostamenti, ricorressero le condizioni di spinta attiva, si confermerà la correttezza dell'ipotesi di calcolo delle spinte in condizioni sismiche secondo la formulazione di Mononobe-Okabe.

Di seguito la sintesi dei risultati ottenuti dal modello FEM, in termini di spostamenti dell'opera in funzione dell'altezza (altezza tot. dell'opera su cui agisce la spinta del terreno comprensiva dello spessore della fondazione).

|                                |            |        |   |
|--------------------------------|------------|--------|---|
| Altezza del muro               | htot       | 8.00   | m |
| Spostamento sommità palificata | smax       | 0.0075 | m |
| Valutazione rapporto           | smax/htot: | 0.0009 | - |
|                                | smax/htot: | 0.09   | % |

Il rapporto dedotto rientra nel range di riferimento degli spostamenti che mobilitano la spinta attiva.

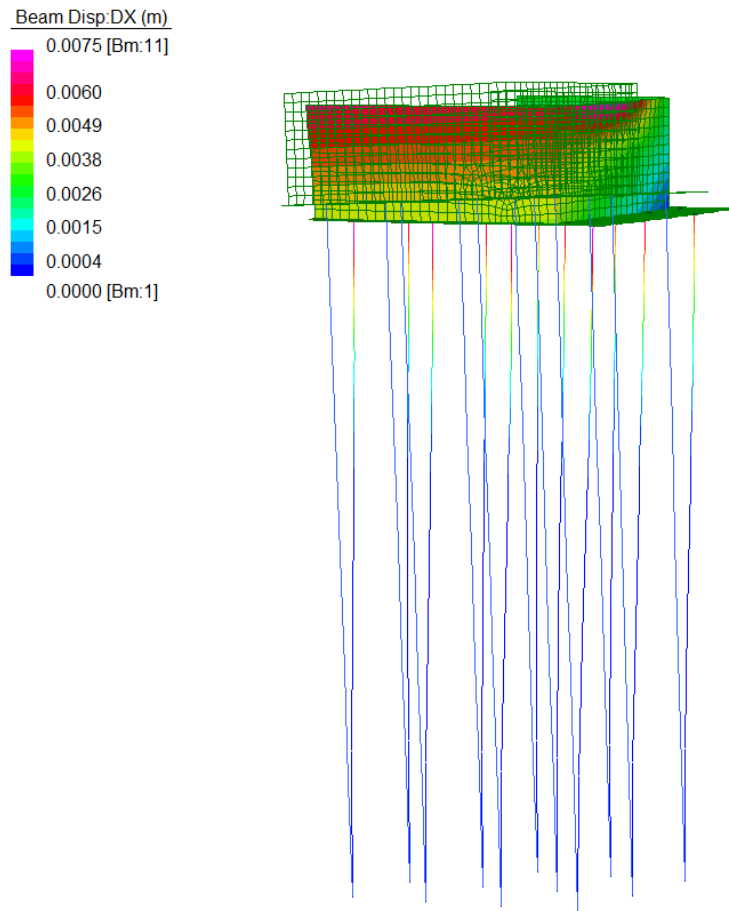


Figura 11: Valutazione spostamenti dell'opera

Quindi, in condizioni sismiche la spinta del terreno è stata calcolata sulla base della teoria di Mononobe-Okabe, secondo la formulazione riportata di seguito ed applicata con distribuzione triangolare delle tensioni sulla spalla:

$$S = \frac{1}{2} \cdot k_{a,E} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 \pm k_v)$$

dove:

$k_v$ : coefficiente sismico verticale assunto pari a  $0.5k_h$ , con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale, la cui valutazione è effettuata, in accordo con quanto prescritto nel DM 14.1.2008 – par.7.11.6.2.1.

$k_{a,E}$ : coefficiente di spinta sismica secondo Mononobe-Okabe, valutato secondo quanto riportato di seguito:

$$K_{a,E} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta - \theta) \left[ 1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\sin(\alpha - \delta - \theta) \cdot \sin(\alpha + \beta)} \right]^2} \quad \text{con } \beta \leq \varphi - \theta$$

$$K_{a,E} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta - \theta)}$$

con  $\beta > \varphi - \theta$

con:

$\alpha$ : inclinazione parete interna paramento (lato monte) rispetto all'orizzontale

$\Phi$ : angolo attrito terreno lato monte

$\delta$ : angolo attrito terreno-muro

$\beta$ : inclinazione terreno di monte rispetto all'orizzontale

$\theta$ : angolo valutato in funzione dei coefficienti sismici orizzontale e verticale ( $\pm$ ), come da formulazioni di seguito:

$$\theta_A = \text{atn}\left(\frac{k_h}{1+k_v}\right) \quad \theta_B = \text{atn}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$$

La sovraspinta sismica è applicata ad una quota pari ad H/2.

Di seguito si fornisce la sintesi del calcolo dei parametri sopra elencati, per la determinazione del valore di spinta secondo Mononobe-Okabe.

|  |  |               |             |
|--|--|---------------|-------------|
| Accelerazione sismica SLV  | $a_g$                                  | 0.21          | g           |
| Coeff. Per effetto amplificazione stratigrafica  | $S_s$                                  | 1.185         | -           |
| Coeff. Per effetto amplificazione topografica  | $S_T$                                  | 1             | -           |
| Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima                                     | $\beta_m$                              | 1             | -           |
| Coefficiente $k_h$ sismico spinta orizzontale: $\beta_m \cdot S_s \cdot S_T \cdot A_g/g$ | $k_h$                                  | 0.249         | -           |
| Coefficiente $k_v$ sismico spinta verticale  | $k_v$                                  | 0.124         | -           |
| <b>Coefficiente sismico <math>k_{as+}</math></b>   | <b><math>k_{as+}</math></b>            | <b>0.463</b>  | <b>-</b>    |
| <b>Coefficiente sismico <math>k_{as-}</math></b>   | <b><math>k_{as-}</math></b>            | <b>0.406</b>  | <b>-</b>    |
| <b>Pressione orizzontale Mononobe-Okabe</b>  | <b><math>\sigma_{sisma M-O}</math></b> | <b>73.46</b>  | <b>kPa</b>  |
| <b>Spinta orizzontale Mononobe-Okabe (forza al metro)</b>                                | <b><math>S_{sisma M-O}</math></b>      | <b>306.69</b> | <b>kN/m</b> |
| <b>Spinta Orizzontale Mononobe-Okabe (forza al metro)_SUL PARAMENTO</b>                  | <b><math>S_{sisma M-O\_PAR}</math></b> | <b>233.23</b> | <b>kN/m</b> |

Di seguito si fornisce la sintesi del calcolo dei parametri sopra elencati, per la determinazione del valore della sovraspinta sismica.

|   |  |              |             |
|---|--|--------------|-------------|
| <b>Pressione sismica orizzontale</b>                                  | $\Delta\sigma_{\text{sisma}} = \sigma_{\text{sisma M-O}} - \sigma'_{\text{or\_ter}}$ | <b>5.81</b>  | <b>kPa</b>  |
| <b>Sovraspinta sismica orizzontale (forza al metro)</b>               | $\Delta S_{\text{sisma}} = S_{\text{sisma M-O}} - S_{\text{or\_ter}}$                | <b>24.24</b> | <b>kN/m</b> |
| <b>Sovraspinta sismica orizzontale (forza al metro)_SUL PARAMENTO</b> | $\Delta S_{\text{sisma\_PAR}} = S_{\text{sisma M-O\_PAR}} - S_{\text{or\_ter\_PAR}}$ | <b>69.88</b> | <b>kN/m</b> |

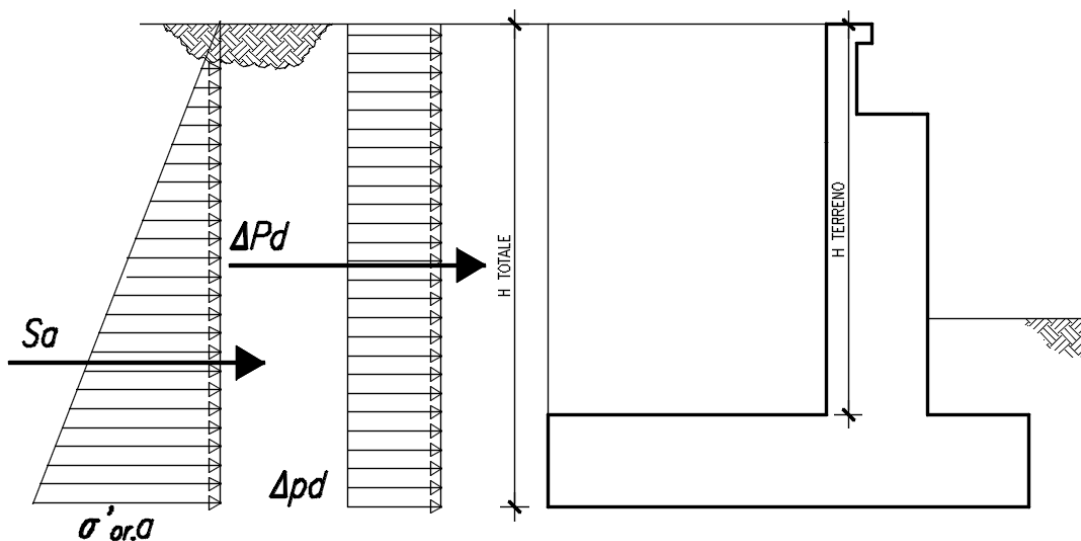


Figura 12: Schema per il calcolo degli effetti in condizioni sismiche

### 6.1.8 Forze inerziali dovute al sisma

In condizioni sismiche si devono considerare le azioni orizzontali agenti sulla spalla dovute all'inerzia degli elementi strutturali dell'opera e del terreno. Tale risultante è pari ad:

$$F_h = k_h \cdot W$$

dove:

$$k_h = \beta_m a_g \cdot S$$

$a_g$  è la massima accelerazione dello spettro orizzontale elastico del sito, calcolata per il 10% di probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$  assegnato;

$S$  è il coefficiente di sottosuolo pari al prodotto del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  e del coefficiente di amplificazione topografica  $ST$  (§ 3.2.3 delle NTC).

$\beta_m$  è pari ad 1 non essendo la spalla libera di traslare rispetto al terreno.

Le azioni inerziali sono state applicate nel modello di calcolo pressione uniformemente distribuita agente sul muro frontale e su uno dei muri andatori.

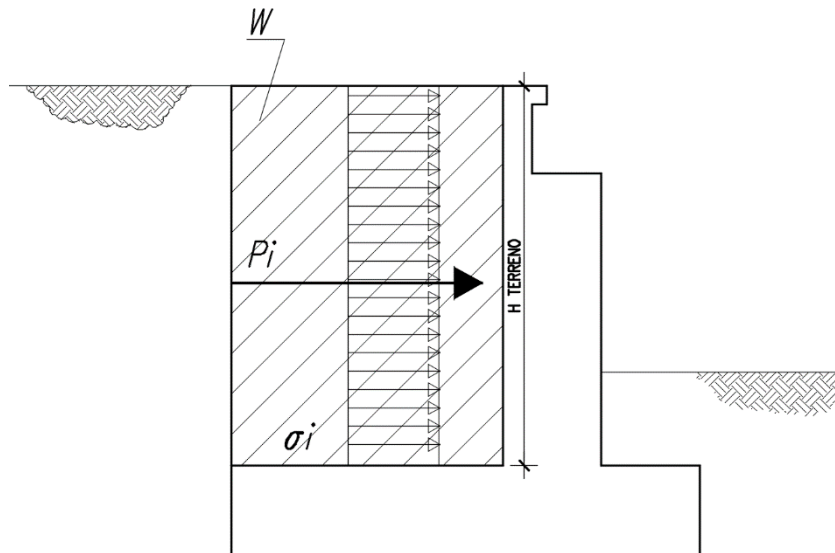


Figura 13: Schema per il calcolo degli effetti inerziali

Nel caso in esame si ottiene quindi:

|  |                      |               |                       |
|--|----------------------|---------------|-----------------------|
| Coefficiente $k_h$ sismico spinta orizzontale: $\beta_m \cdot S_s \cdot S_T \cdot A_g / g$ | $k_h$                | 0.25          | -                     |
| Altezza terreno da estradosso plinto   | $H_{\text{terreno}}$ | 6.35          | m                     |
| Lunghezza muri andatori  | $L_{\text{MURI}}$    | 9.93          | m                     |
| Volume di terreno intercluso al metro  | $V$                  | 63.06         | $\text{m}^2/\text{m}$ |
| <b>Pressione inerziale orizzontale del terreno</b>   | $\sigma_i$           | <b>46.95</b>  | <b>kPa</b>            |
| <b>Forza inerziale terreno</b>   | $F_i$                | <b>298.14</b> | <b>kN/m</b>           |

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

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

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

## 6.2 Combinazioni di carico

Le azioni considerate sono le seguenti:

g1: peso proprio degli elementi strutturali;



- g2 : carichi permanenti portati;
- g3 : spinta delle terre;
- $\varepsilon_2$  : ritiro e viscosità della soletta;
- $\varepsilon_3$  : variazioni termiche uniformi e differenziali;
- q1: carichi mobili;
- q3: azione longitudinale di frenamento;
- q4: azione centrifuga;
- q5: azione trasversale del vento;
- q6: azioni sismiche;
- q7: reazioni parassite dei vincoli.

Tali azioni sono combinate secondo il punto 5.1.3.12 delle NTC 2018.

**RELAZIONE DI CALCOLO**

Si riportano di seguito le combinazioni delle azioni maggiormente significative per la determinazione delle sollecitazioni più gravose.

|            |                     | g1+g3 | g2   | ε2  | ε3      | q1   | q3   | q4  | q5  | q6 | q7        |
|------------|---------------------|-------|------|-----|---------|--|------|-----|-----|----|-----------|
| <b>SLE</b> | <b>SLE (QP)</b>     | 1     | 1    | 1   | 0.5     | 0  | 0    | 0   | 0   | 0  | 0         |
|            | <b>SLE (FR) 1</b>   | 1     | 1    | 1   | 0.5     | 0.75 Q <sub>ik</sub><br>0.4 q <sub>ik</sub><br>0.75 q <sub>folla</sub>                 | 0    | 0   | 0   | 0  | 0         |
|            | <b>SLE (FR) 2</b>   | 1     | 1    | 1   | 0.5     | 0.75 Q <sub>ik</sub><br>0.4 q <sub>ik</sub><br>0.75 q <sub>folla</sub>                 | 0.75 | 0   | 0   | 0  | 0         |
|            | <b>SLE (RARA) 1</b> | 1     | 1    | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0    | 0   | 0.6 | 0  | 0         |
|            | <b>SLE (RARA) 2</b> | 1     | 1    | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0    | 0   | 0.8 | 0  | 0         |
|            | <b>SLE (RARA) 3</b> | 1     | 1    | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0.75 | 0   | 0.6 | 0  | 0         |
|            | <b>SLE (RARA) 4</b> | 1     | 1    | 1   | 0.6     | 1 Q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>ik</sub><br>1 q <sub>folla</sub>                         | 0.75 | 0   | 0.8 | 0  | 0         |
| <b>SLU</b> | <b>SLU1</b>         | 1.35  | 1.35 | 1.2 | 1.2-0.6 | 0  | 0    | 0   | 1.5 | 0  | 1.35-0.75 |
|            | <b>SLU2</b>         | 1.35  | 1.35 | 1.2 | 1.2-0.6 | 1.35   | 0    | 0   | 0.9 | 0  | 1.35-0.75 |
|            | <b>SLU3</b>         | 1.35  | 1.35 | 1.2 | 1.2-0.6 | 1.35-0.75 Q <sub>ik</sub><br>1.35-0.40 q <sub>ik</sub><br>1.35-0.75 q <sub>folla</sub> | 1.5  | 0   | 0.9 | 0  | 1.35-0.75 |
|            | <b>SLU4</b>         | 1.35  | 1.35 | 1.2 | 1.2-0.6 | 1.35-0.75 Q <sub>ik</sub><br>1.35-0.40 q <sub>ik</sub><br>1.35-0.75 q <sub>folla</sub> | 0    | 1.5 | 0.9 | 0  | 1.35-0.75 |
| <b>SLV</b> | <b>SLV</b>          | 1     | 1    | 1   | 0.5     | 0.2  | 0    | 0   | 0   | ±1 | 0         |

Tabella 4: Combinazioni di carico

La risposta della struttura alle azioni sismiche è stata valutata mediante analisi dinamica lineare, valutando gli effetti sulla struttura tramite la seguente espressione:

$$E_I + 0.3E_t + 0.3E_v; \quad 0.3E_I + E_t + 0.3E_v; \quad 0.3E_I + 0.3E_t + E_v.$$

## 7. MODELLAZIONE NUMERICA

Il calcolo della struttura è stato svolto utilizzando il programma di calcolo Straus7, schematizzando l'intera struttura con un modello tridimensionale.

Tutti gli elementi strutturali della spalla sono stati descritti come elementi bidimensionali a piastra (shell), mentre la palificata di sostegno è stata descritta con elementi monodimensionali a trave (frame).

Nella figura di seguito riportata si evidenzia il modello tridimensionale implementato in Straus7.

Gli assi di riferimento adottati sono:

- x = asse longitudinale rispetto all'asse del cavalcavia
- y = asse trasversale rispetto all'asse del cavalcavia
- z = asse verticale

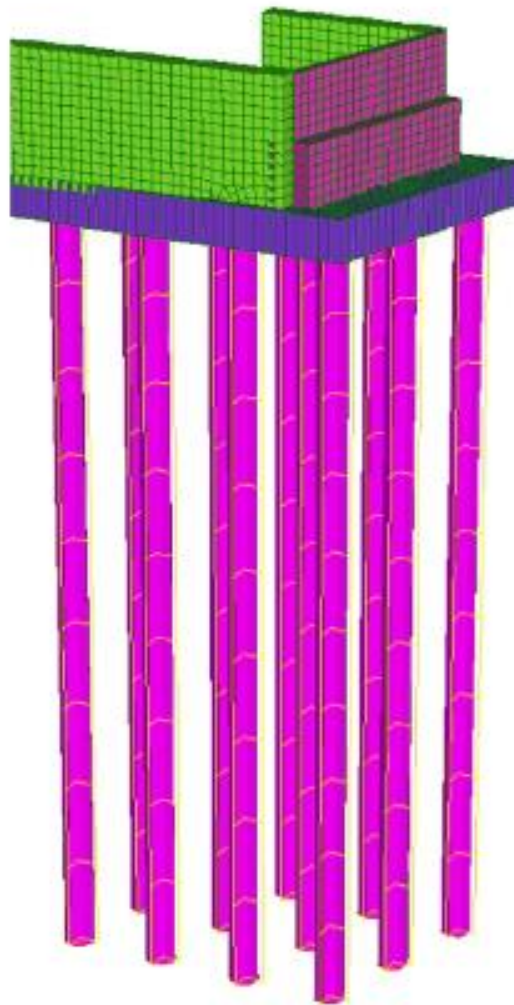


Figura 14: Modellazione tridimensionale agli Elementi Finiti

## 7.1 CALCOLO DEL MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO

Per terreni granulari i moduli di reazione orizzontale iniziali ( $E_{si}$ ) alla Matlock & Reese (1960), sono stati valutati in accordo alla seguente espressione:

$$E_{si} = k_{hi} \cdot z \quad [\text{kPa}]$$

essendo:

$k_h$  = gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale, riportato nella tabella seguente (cfr. Reese et al., 1974 e Elson, 1984)

$z$  = profondità dal piano campagna originario.

Nel caso in esame, è possibile determinare tale parametro tramite la teoria di Vesic, esprimendo il modulo di sottofondo  $k_h$  in funzione dei parametri elastici della massa  $E_t$  e  $\nu_t$  con la relazione seguente:

$$k_h = \left( \frac{E_t}{D_p} \right) \times 12 \sqrt[3]{\frac{E_t \times D^4}{E_p J_p}} \times \left( \frac{0.65}{1 - \nu_t^2} \right) \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$$

Nel caso in esame risulta:

$$k_h = 26754 \text{ kN/m}^3$$

Nel caso di pali di fondazione posizionati in cresta ad una scarpata naturale o artificiale, i moduli di reazione orizzontali saranno ridotti di una quantità pari al rapporto tra il coefficiente di spinta passiva del terreno calcolato per un piano di campagna con inclinazione pari alla pendenza della scarpata e lo stesso parametro calcolato per un piano di campagna orizzontale.

In particolare, noto il coefficiente di spinta passiva nel caso di piano campagna orizzontale dalla formula:

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}(\varphi)}{1 - \text{sen}(\varphi)}$$

e calcolando il coefficiente di spinta passiva nel caso di piano campagna con inclinazione  $\omega$  nel modo seguente:

$$K_{p-w} = \frac{\cos(\omega) + \sqrt{\cos(\omega)^2 - \cos(\varphi)^2}}{\cos(\omega) - \sqrt{\cos(\omega)^2 - \cos(\varphi)^2}}$$

si ricava il coefficiente di riduzione delle molle orizzontali per la presenza della scarpata dal rapporto dei due coefficienti di spinta passiva appena descritti:

$$\eta = \frac{K_{p-w}}{K_p}$$

Tale coefficiente di riduzione viene applicato fino ad una quota di 5 m dal piano di posa della fondazione. Per profondità superiori l'inclinazione della scarpata viene considerata ininfluyente ai fini del calcolo della rigidezza delle molle orizzontali del terreno.

Nel caso di comportamento granulare del terreno, il valore della rigidezza  $K_{orizz}$  della molla orizzontale alla generica profondità  $z$  risulterà pari a

$$K_{orizz}(z) = \eta \cdot E(z) \cdot d = \eta \cdot k_{hi} \cdot z \cdot d \quad \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

dove  $d$  è il diametro del palo di fondazione.

Nel caso di comportamento coesivo dei terreni, il modulo elastico del terreno viene calcolato con la seguente formula:

$$E_{coesivo} = 400 \cdot c_u \quad [KPa]$$

dove  $c_u$  rappresenta la coesione non drenata minima del terreno considerato. In questo caso il valore della rigidezza della molla è costante con la profondità ed è soggetto anch'esso alla riduzione dovuta all'eventuale inclinazione della scarpata.

In questo caso il valore della rigidezza della molla risulterà pari a

$$K_{orizz\_coesivo} = \eta \cdot E_{coesivo} \cdot d \quad \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

## 8. CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate sulla base dei criteri definiti nelle vigenti norme tecniche - “Norme tecniche per le costruzioni”- DM 2018.

In particolare vengono effettuate le verifiche agli stati limite di servizio ed allo stato limite ultimo. Le combinazioni di carico considerate ai fini delle verifiche sono quelle indicate nei precedenti paragrafi.

Si espongono di seguito i criteri di verifica adottati per le verifiche degli elementi strutturali.

### 8.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

| Condizioni ambientali | Classe di esposizione             |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Ordinarie             | X0, XC1, XC2, XC3, XF1            |
| Aggressive            | XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3 |
| Molto aggressive      | XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4      |

Tabella 5: Descrizione delle condizioni ambientali (Tab. 4.1.III delle NTC18)

#### 8.1.1 Verifica a fessurazione

Le verifiche a fessurazione sono eseguite adottando i criteri definiti nel paragrafo 4.1.2.2.4.4 del DM 17.1.2018.

Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati), alle corrispondenti condizioni ambientali ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (armature sensibili per gli acciai da precompresso; poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture:

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

Tabella 6: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione - Tabella 4.1.IV del DM 17.1.2018

Nella Tabella sopra riportata,  $w_1=0.2\text{mm}$ ,  $w_2=0.3\text{mm}$ ;  $w_3=0.4\text{mm}$ .

### 8.1.2 Verifica delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti, di seguito riportati.

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

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.}$$

Per l'acciaio ordinario, la tensione massima  $\sigma_s$  per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,80 f_{yk}$$

dove  $f_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

## 8.2 Verifiche agli stati limite ultimi

### 8.2.1 Sollecitazioni flettenti

La verifica di resistenza (SLU) è stata condotta attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabolo-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ( $\sigma_{max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$ );
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico-perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ( $\sigma_{max} = f_{yk} / 1.15$ )

### 8.2.2 Sollecitazioni taglianti

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

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

con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

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

e dove:

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \times d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" è stata calcolata con:

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

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" è stata calcolata con:

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

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

In cui:

- $d$  è l'altezza utile della sezione;
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione;
- $s_{cp}$  è la tensione media di compressione della sezione;
- $A_{sw}$  è l'area dell'armatura trasversale;
- $S$  è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;
- $\theta$  è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- $f'_{cd}$  è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0.5 f_{cd}$ );
- $a$  è un coefficiente maggiorativo, pari ad 1 per membrature non compresse.

### 8.3 Verifiche geotecniche

Conformemente con quanto prescritto nel par. 6.4.3.1 delle NTC18, le verifiche geotecniche devono essere effettuate con riferimento ai seguenti stati limite:

*SLU di tipo geotecnico (GEO):*



- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione.

Le verifiche a carico limite verticale dei pali vengono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente.

La verifica della capacità portante dei pali, per carichi verticali, è soddisfatta se:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo:

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

$F_{cd}$  = carico assiale di compressione di progetto;

$R_{cd}$  = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

$R_k$  = valore caratteristico della capacità portante limite del palo.

In particolare, in accordo con le NTC18 (cfr. §6.4.3.1.1), le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte con riferimento all'Approccio 2 con la Combinazione 1 (A1 + M1 + R3), mediante il confronto dei massimi valori di sforzo normale sui pali, di compressione e di trazione, con le curve di capacità portante relative alla progressiva in esame. Il soddisfacimento della verifica consente la determinazione della lunghezza dei pali.

## 9. SPALLA

### 9.1 Analisi dei risultati

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle analisi condotte per i diversi modelli implementati, con le indicazioni dei valori massimi delle sollecitazioni flettenti e taglianti. I valori riportati sono relativi all’analisi al metro lineare.

#### 9.1.1 Muro frontale

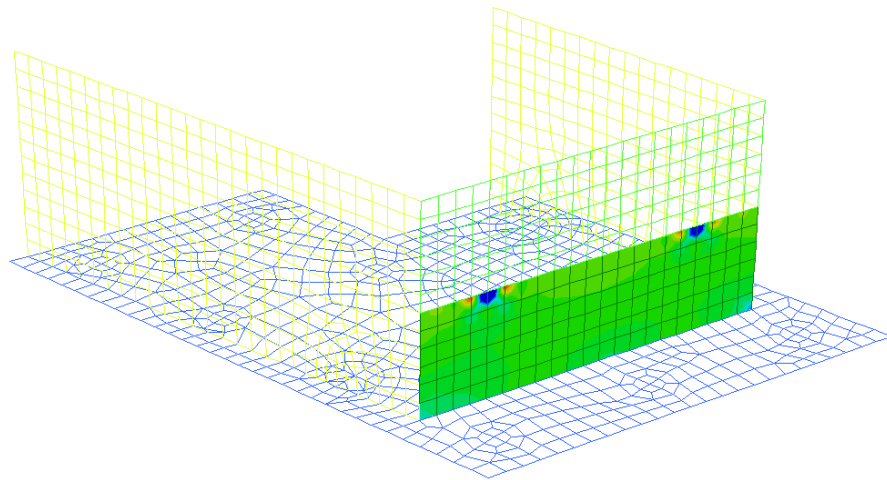
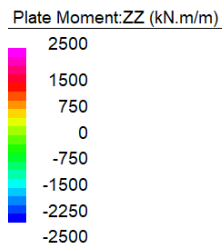


Figura 15: Momento Flettente verticale - Involuppo SLE

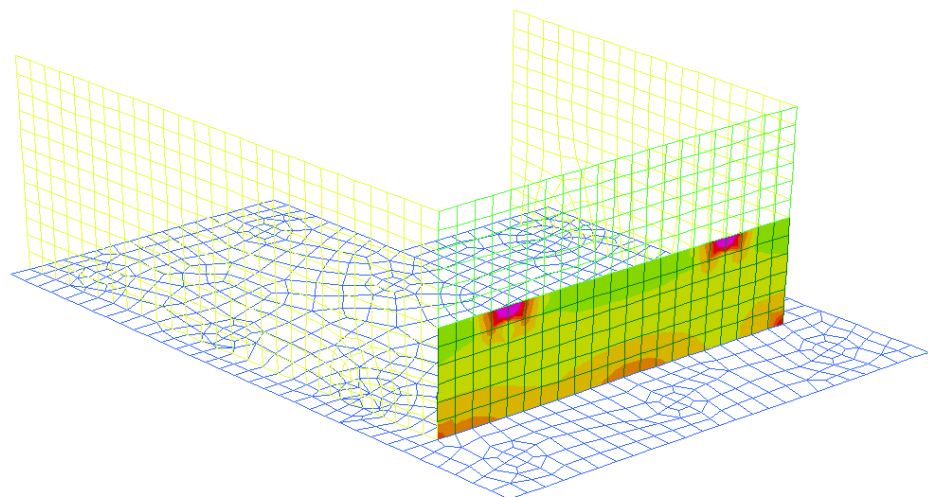
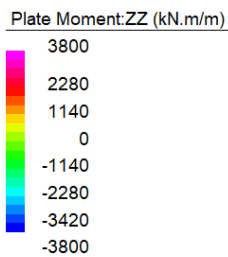


Figura 16: Momento Flettente verticale - Involuppo SLU/SLV

**RELAZIONE DI CALCOLO**

Plate Force:YZ (kN/m)

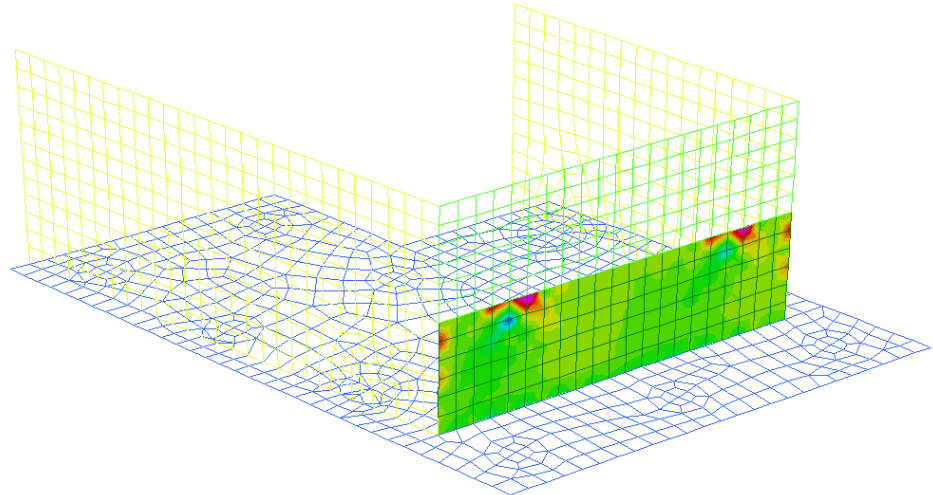
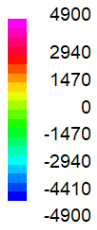


Figura 17: Sollecitazioni Taglienti Vyz - Involuppo SLU/SLV

Plate Force:ZX (kN/m)

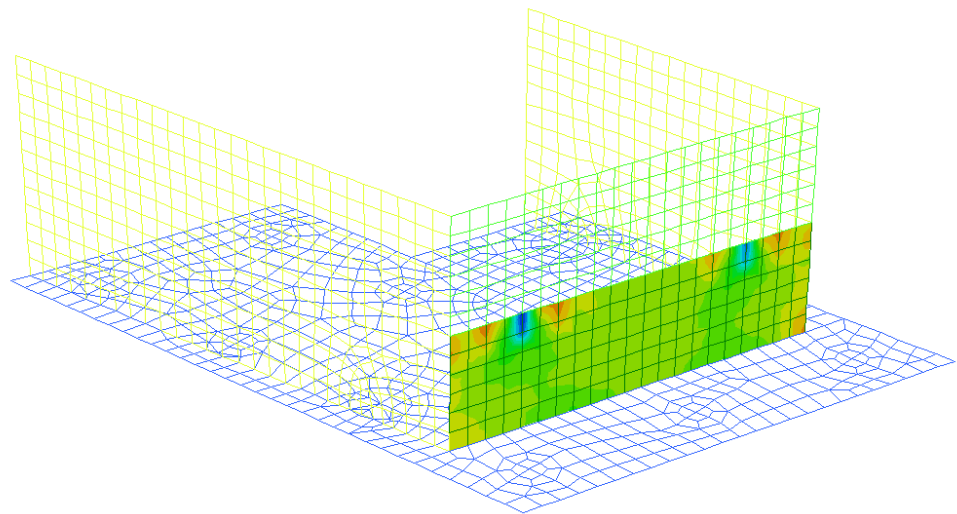
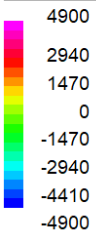


Figura 18: Sollecitazioni Taglienti Vxz - Involuppo SLU/SLV

Plate Moment:YY (kN.m/m)

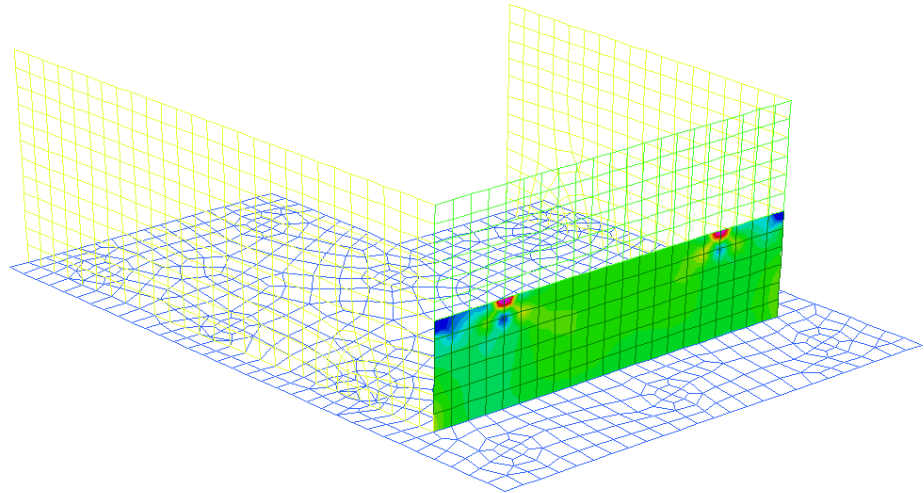
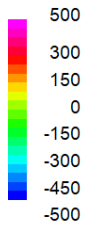


Figura 19: Momento Flettente orizzontale - Inviluppo SLE

Plate Moment:YY (kN.m/m)

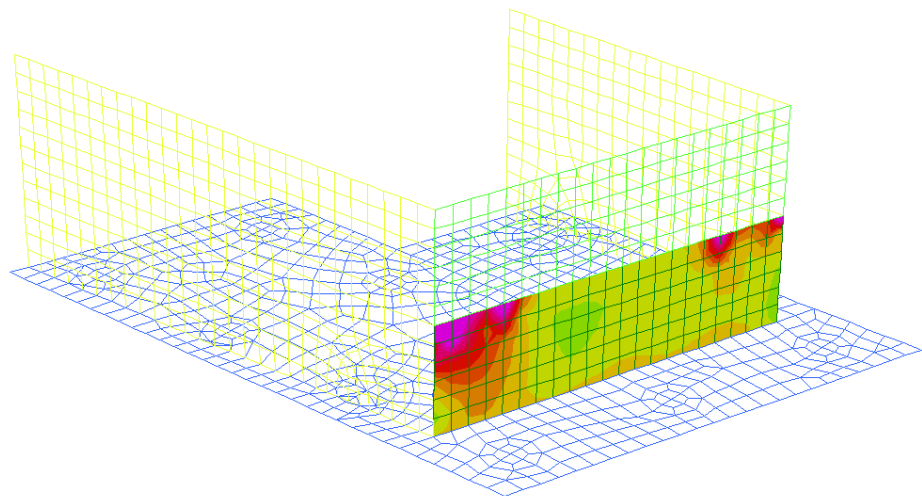
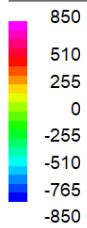


Figura 20: Momento Flettente orizzontale - Inviluppo SLU/SLV

### 9.1.2 Muro andatori

Plate Moment:ZZ (kN.m/m)

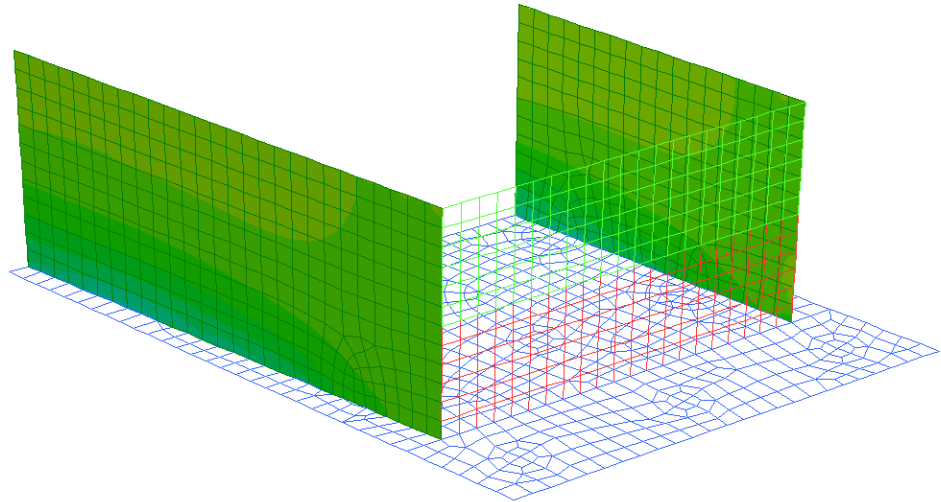
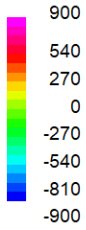


Figura 21: Momento Flettente verticale - Inviluppo SLE

Plate Moment:ZZ (kN.m/m)

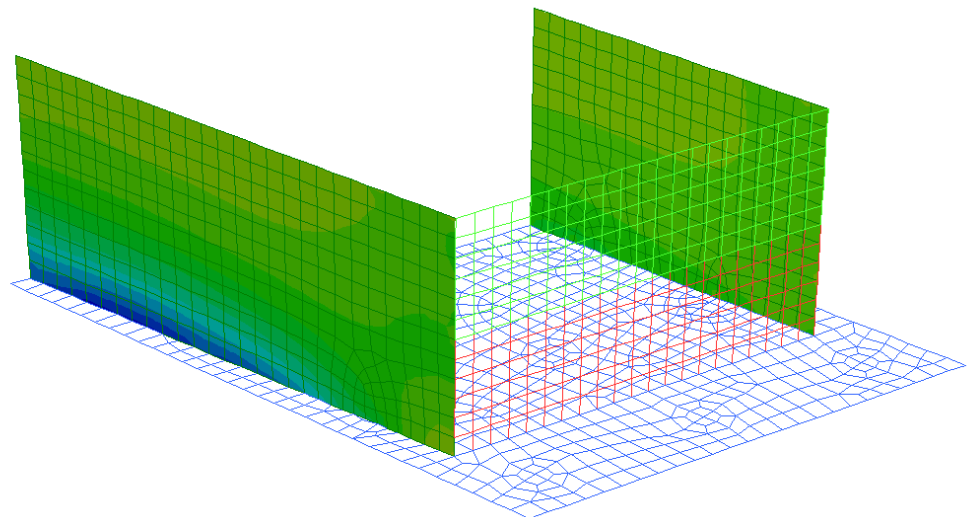
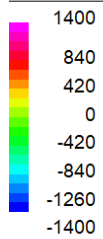


Figura 22: Momento Flettente verticale - Inviluppo SLU/SLV

Plate Force:YZ (kN/m)

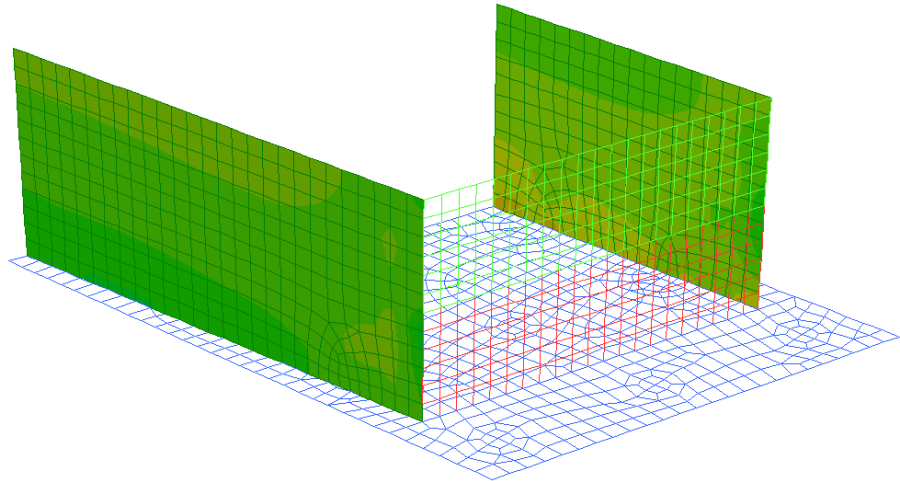
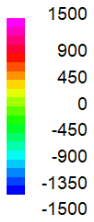


Figura 23: Sollecitazioni Taglianti  $V_{yz}$  - Inviluppo SLU/SLV

Plate Force:ZX (kN/m)

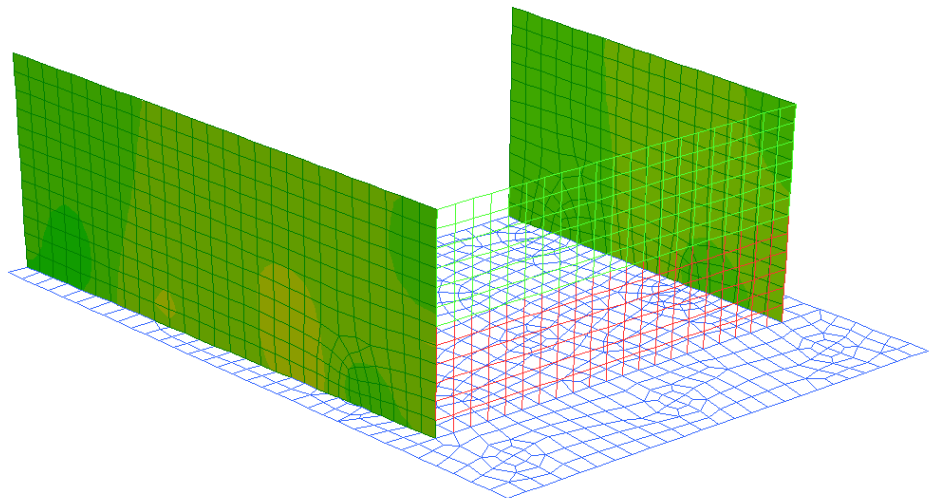
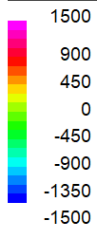


Figura 24: Sollecitazioni Taglianti  $V_{xz}$  - Inviluppo SLU/SLV

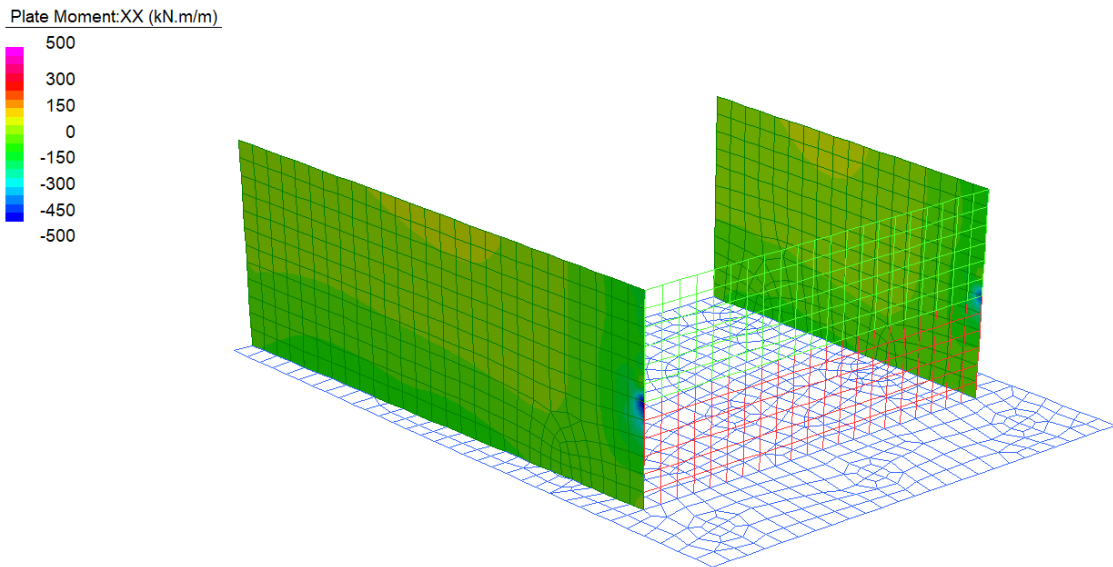


Figura 25: Momento Flettente orizzontale - Inviluppo SLE

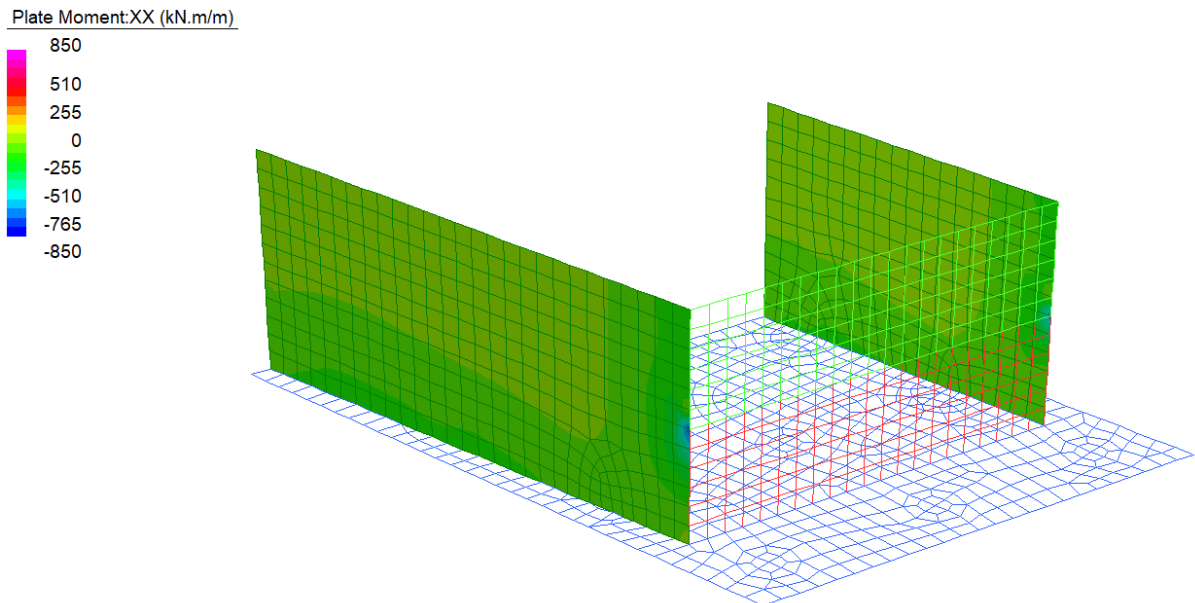


Figura 26: Momento Flettente orizzontale - Inviluppo SLU/SLV



### 9.1.3 Muro paraghiaia

Plate Moment:ZZ (kN.m/m)

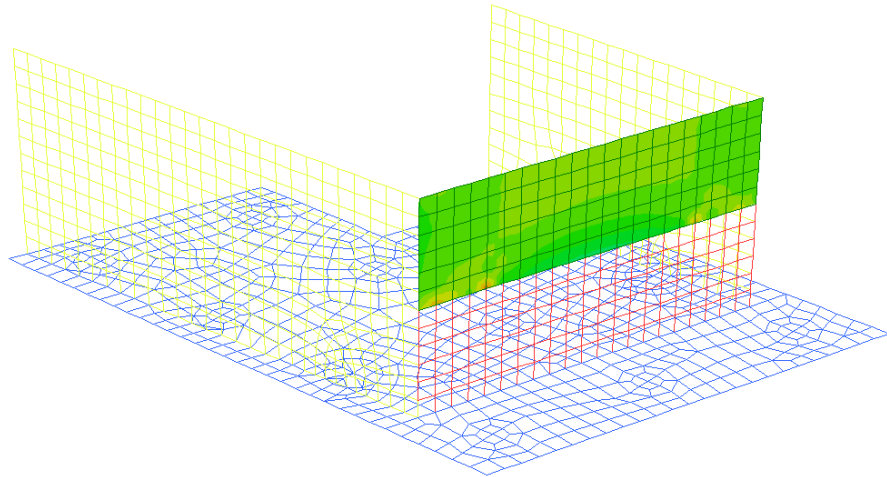
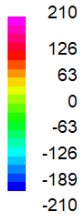


Figura 27: Momento Flettente verticale - Inviluppo SLE

Plate Moment:ZZ (kN.m/m)

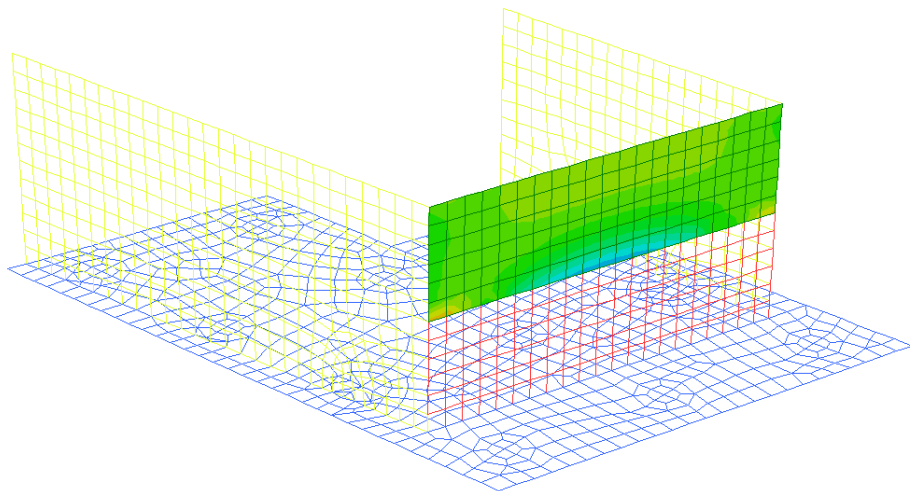
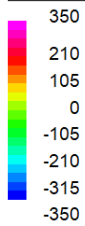


Figura 28: Momento Flettente verticale - Inviluppo SLU/SLV



Plate Force:YZ (kN/m)

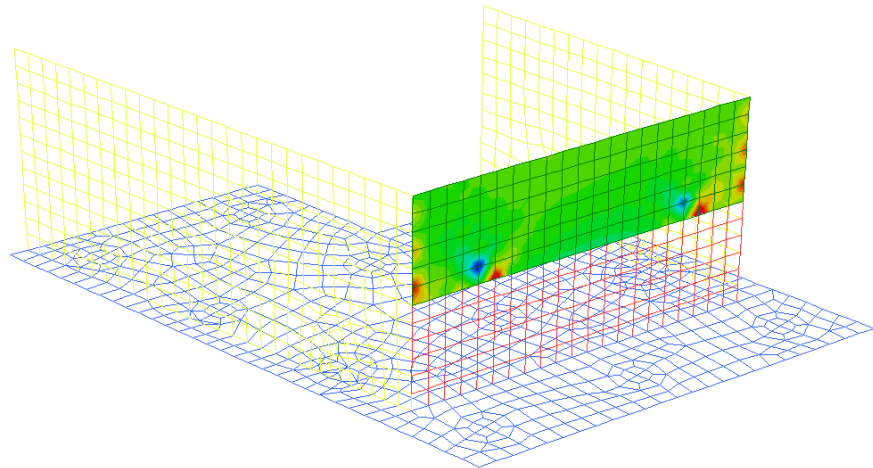
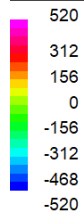


Figura 29: Sollecitazioni Taglianti  $V_{yz}$  - Involuppo SLU/SLV

Plate Force:ZX (kN/m)

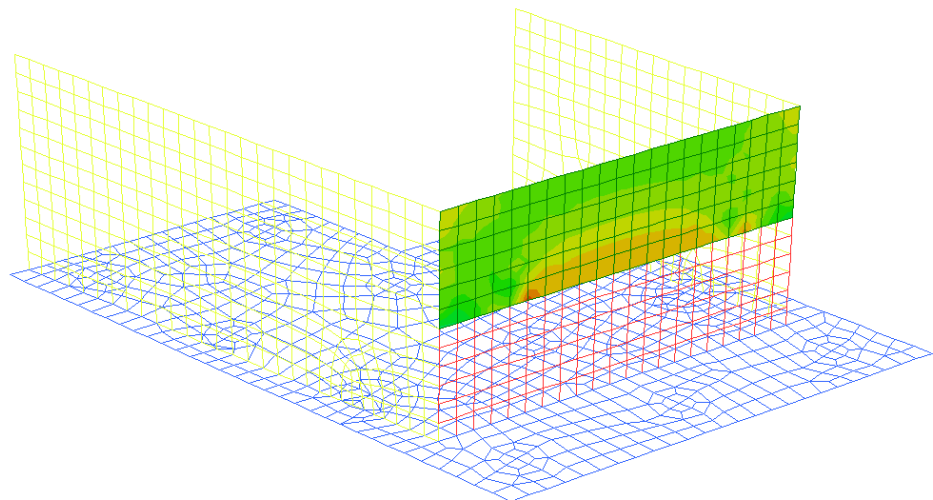
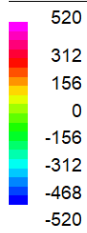


Figura 30: Sollecitazioni Taglianti  $V_{xz}$  - Involuppo SLU/SLV

Plate Moment:YY (kN.m/m)

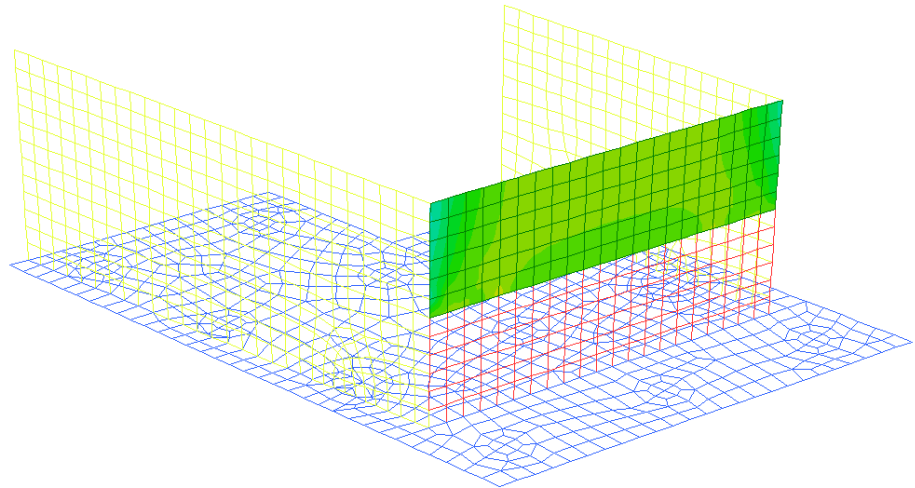
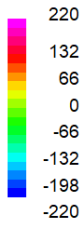


Figura 31: Momento Flettente orizzontale - Inviluppo SLE

Plate Moment:YY (kN.m/m)

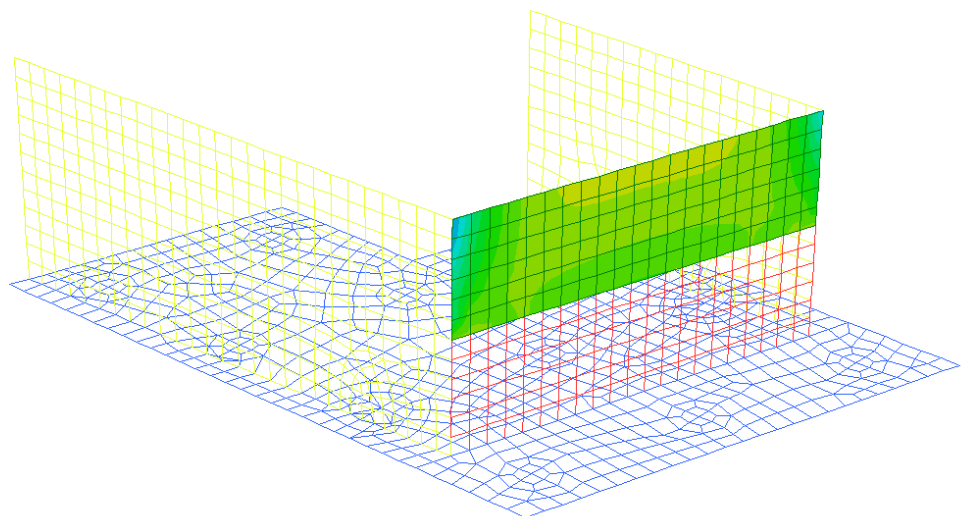
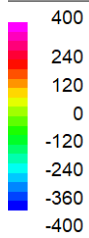


Figura 32: Momento Flettente orizzontale - Inviluppo SLU/SLV

### 9.1.4 Plinto di fondazione

Plate Moment:YY (kN.m/m)

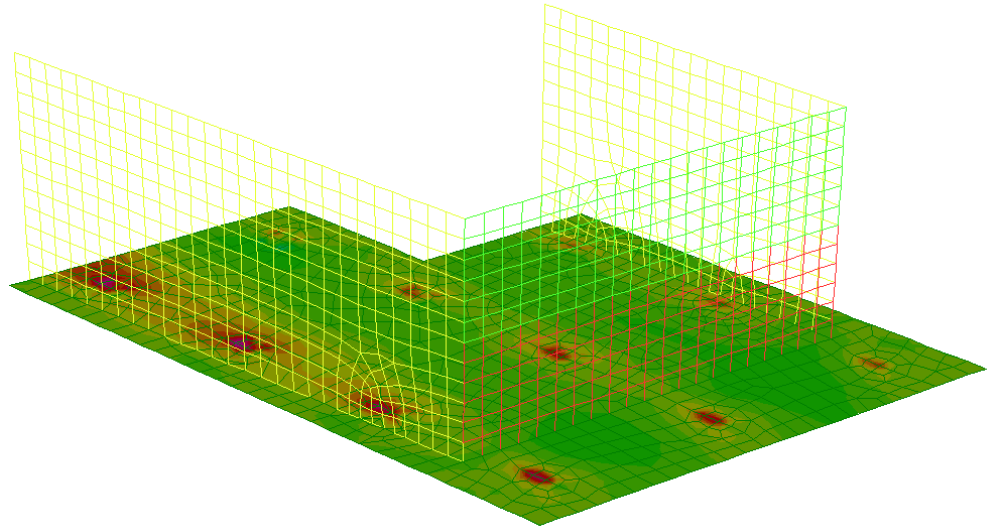
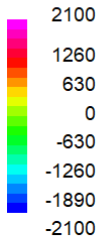


Figura 33: Momento Flettente trasversale - Inviluppo SLE

Plate Moment:YY (kN.m/m)

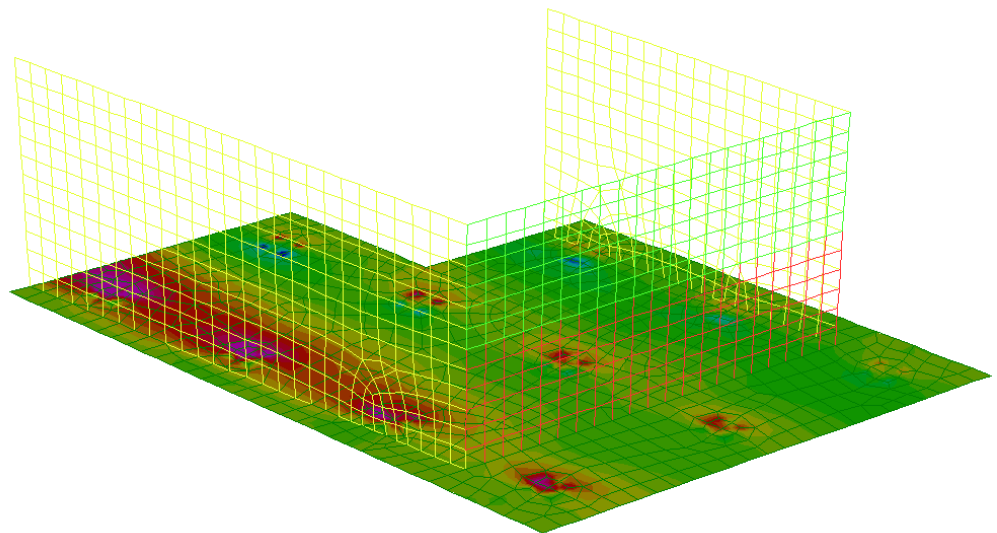
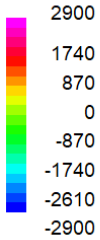


Figura 34: Momento Flettente trasversale - Inviluppo SLU/SLV

Plate Force:YZ (kN/m)

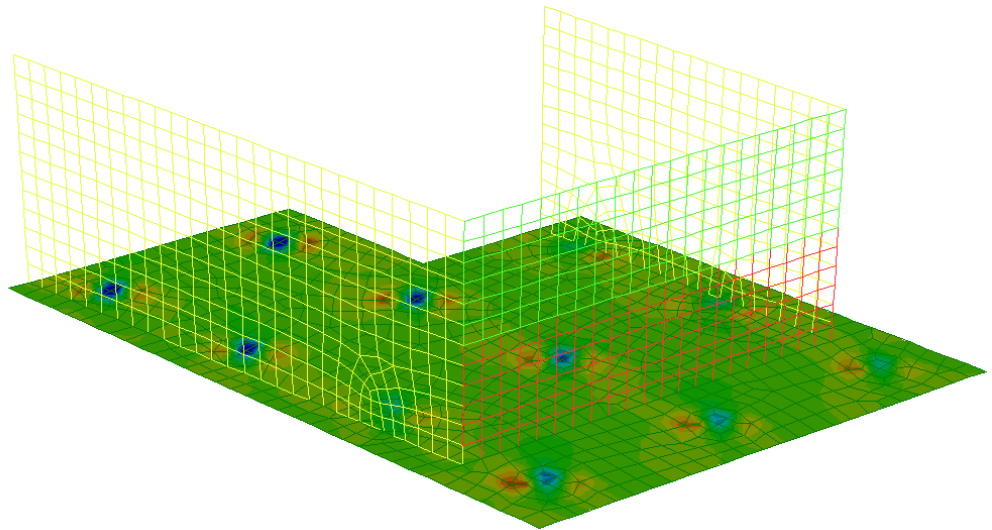
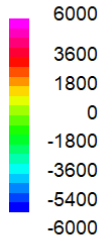


Figura 35: Sollecitazioni Taglianti  $V_{yz}$ - Involuppo SLU/SLV

Plate Force:ZX (kN/m)

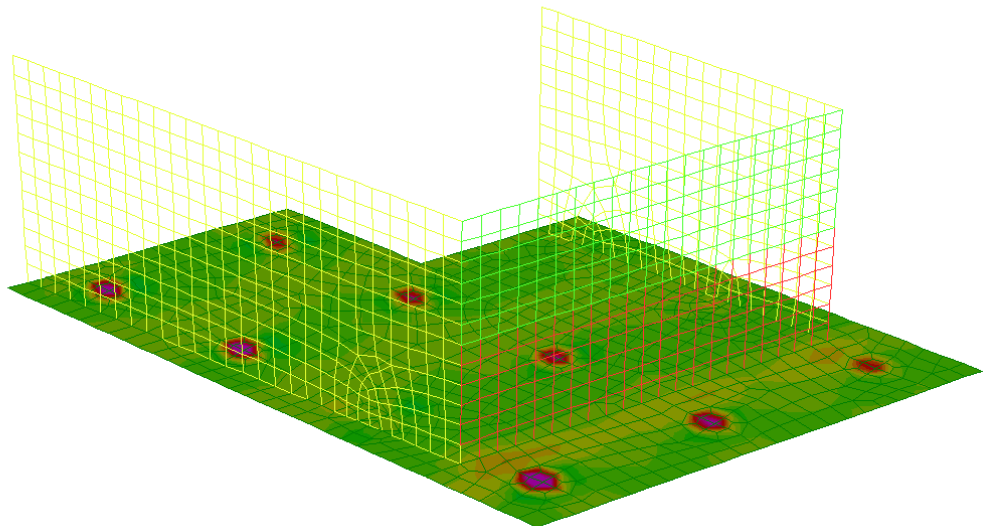
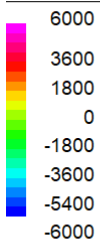


Figura 36: Sollecitazioni Taglianti  $V_{xz}$ - Involuppo SLU/SLV

Plate Moment:XX (kN.m/m)

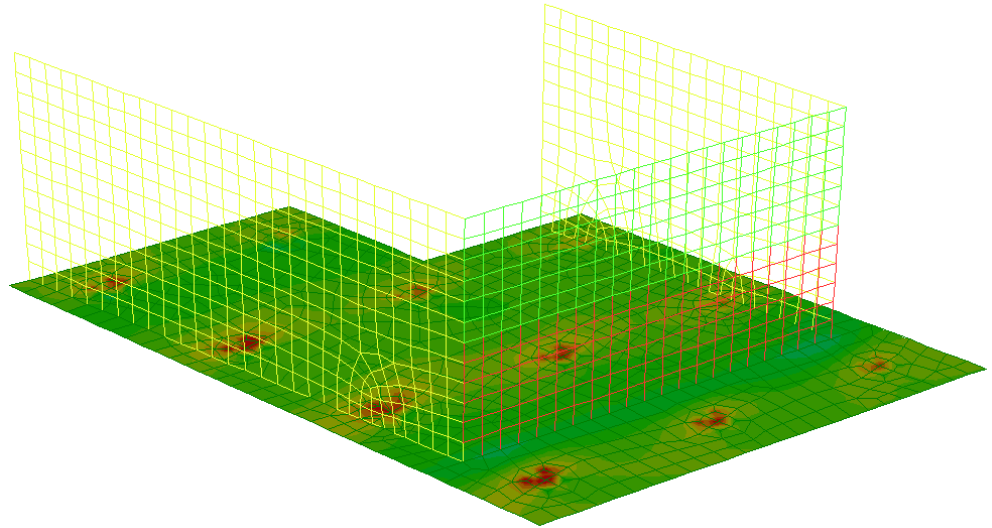
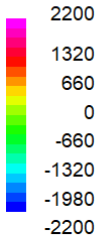


Figura 37: Momento Flettente longitudinale - Inviluppo SLE

Plate Moment:XX (kN.m/m)

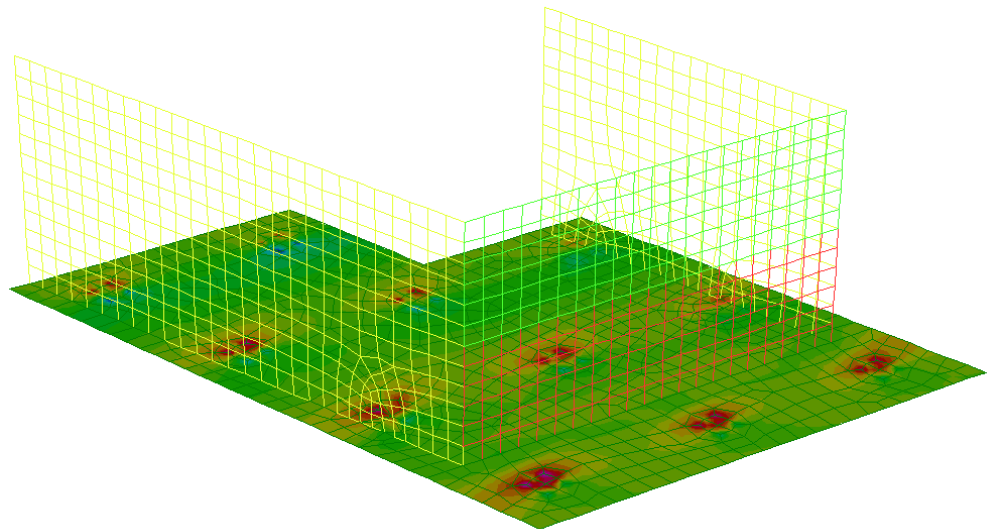
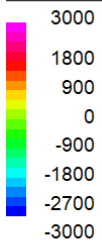


Figura 38: Momento Flettente longitudinale - Inviluppo SLU/SLV

### 9.1.5 Pali di fondazione

Nella tabella di seguito si riassumono le sollecitazioni relative alla testa dei pali di fondazione:

| Pali di fondazione<br>(Il peso proprio deve essere<br>aggiunto come carico<br>esterno) |       | $N_{min}$ | $N_{max}$ | M     | T    |
|--|-------|-----------|-----------|-------|------|
| D=1.5m   |       | [kN]      | [kN]      | [kNm] | [kN] |
| SLV  | SLU   | 1329      | 7024      | 1495  | 650  |
|  | SLV   | -1797     | 7011      | 3751  | 1631 |
| SLE  | RARA  | 994       | 5192      | 1125  | 489  |
|  | FREQ  | 1111      | 4938      | 1042  | 453  |
|  | QPERM | 1461      | 4190      | 913   | 397  |

## 9.2 Verifiche

Le verifiche strutturali allo stato limite ultimo e allo stato limite di esercizio sono state svolte, seguendo i criteri esposti in precedenza, con il codice di calcolo RC-SEC, per le condizioni di carico più gravose.

Una sintesi delle caratteristiche dell'armatura longitudinale e a taglio (staffe) previste è esibita nei prospetti di seguito. Il valore del copriferro  $c$  che figura è valutato in asse barra.

Nelle verifiche riportate di seguito sono stati rispettati i minimi di armatura previsti dalle NTC18 riportate al paragrafo 4.1.6.

Facendo riferimento al paragrafo 7.4.6.2.4 delle NTC18, si è rispettato il limite per le pareti di almeno 9 legature ogni metro quadrato.



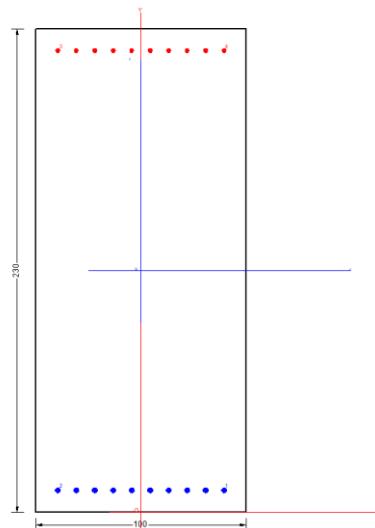
### 9.3 Muro frontale

Si riassume di seguito l'armatura adottata.

| ARMATURA           |                      |                 |
|--------------------|----------------------|-----------------|
| Armatura verticale | Armatura orizzontale | Armatura taglio |
| Arm. tesa          | Arm. tesa            | Ø16/20x40       |
| 10Ø26              | 10Ø20                |                 |
| Arm. Compressa     | Arm. Compressa       |                 |
| 10Ø20              | 10Ø20                |                 |

La sezione risulta verificata con l'armatura prevista.

#### 9.3.1 Verifica dell'armatura verticale



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |   |                            |
|----------------|---|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                                   | C32/40                     |
|                | Resis. compr. di progetto fcd:            | 18.810 MPa                 |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020                     |
|                | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo        |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:               | 33643.0 MPa                |
|                | Resis. media a trazione fctm:             | 3.100 MPa                  |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 199.20 daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm                   |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00 Mpa                   |
|                | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200 mm                   |
| ACCIAIO -      | Tipo:                                     | B450C                      |



|  |                  |                     |
|--|------------------|---------------------|
| Resist. caratt. snervam. fyk:                        | 450.00           | MPa                 |
| Resist. caratt. rottura ftk:                         | 450.00           | MPa                 |
| Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30           | MPa                 |
| Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30           | MPa                 |
| Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068            |                     |
| Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

|                      |            |        |
|----------------------|------------|--------|
| Forma del Dominio:   | Poligonale |        |
| Classe Conglomerato: | C32/40     |        |
| N°vertice:           | X [cm]     | Y [cm] |
| 1                    | 50.0       | 0.0    |
| 2                    | -50.0      | 0.0    |
| 3                    | -50.0      | 230.0  |
| 4                    | 50.0       | 230.0  |

#### DATI BARRE ISOLATE

|         |        |        |           |
|---------|--------|--------|-----------|
| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
| 1       | 39.6   | 10.4   | 26        |
| 2       | -39.6  | 10.4   | 26        |
| 3       | -39.6  | 219.6  | 20        |
| 4       | 39.6   | 219.6  | 20        |

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

|              |   |              |         |    |
|--------------|---|--------------|---------|----|
| N°Gen.       | Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre            |              |         |    |
| N°Barra Ini. | Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione           |              |         |    |
| N°Barra Fin. | Numero della barra finale cui si riferisce la generazione             |              |         |    |
| N°Barre      | Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione |              |         |    |
| Ø            | Diametro in mm delle barre della generazione                          |              |         |    |
| N°Gen.       | N°Barra Ini.  | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
| 1            | 1   | 2            | 8       | 26 |
| 2            | 3   | 4            | 8       | 20 |

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

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

|   |        |         |      |      |      |
|---|--------|---------|------|------|------|
| 1 | 0.00   | 3800.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 800.00 | 3800.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx      | My   |
|---------|--------|---------|------|
| 1       | 0.00   | 2500.00 | 0.00 |
| 2       | 500.00 | 2500.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx                | My          |
|---------|--------|-------------------|-------------|
| 1       | 0.00   | 1900.00 (3144.07) | 0.00 (0.00) |
| 2       | 500.00 | 1900.00 (3518.01) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx                | My          |
|---------|--------|-------------------|-------------|
| 1       | 0.00   | 1300.00 (3144.07) | 0.00 (0.00) |
| 2       | 500.00 | 1300.00 (3722.34) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 9.1 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 6.2 cm |

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

|          |  |
|----------|--|
| Ver      | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata                                 |
| N        | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione) |
| Mx       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia              |
| My       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia              |
| N Res    | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |
| Mx Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia                  |
| My Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia                  |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)               |

Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Area totale barre longitudinali [cm<sup>2</sup>]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

| N°Comb | Ver | N      | Mx      | My   | N Res  | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale  |
|--------|-----|--------|---------|------|--------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00   | 3800.00 | 0.00 | 0.00   | 4262.85 | 0.00   | 1.12     | 84.5(69.0) |
| 2      | S   | 800.00 | 3800.00 | 0.00 | 800.28 | 4999.19 | 0.00   | 1.31     | 84.5(69.0) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00049 | -50.0  | 230.0  | 0.00037 | -39.6  | 219.6  | -0.00196 | -39.6  | 10.4   |
| 2      | 0.00059 | -50.0  | 230.0  | 0.00047 | -39.6  | 219.6  | -0.00196 | -39.6  | 10.4   |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000011129 | -0.002072237 | --- | ---    |
| 2      | 0.000000000 | 0.000011618 | -0.002077326 | --- | ---    |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 4.37   | 50.0   | 230.0  | -230.6 | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |
| 2      | S   | 4.55   | 50.0   | 230.0  | -188.8 | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |

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

| Ver  | N  | Mx   |
|--|--|--|
| S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione) | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inertzia |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|           |  |
|-----------|--|
| My        | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia            |
| N Res     | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.) |
| Mx Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia                |
| My Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia                |
| Mis.Sic.  | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)             |
|           | Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000                                     |
| As Totale | Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]   |

| N°Comb | Ver | N      | Mx      | My   | N Res  | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale  |
|--------|-----|--------|---------|------|--------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00   | 3800.00 | 0.00 | 0.00   | 4445.07 | 0.00   | 1.17     | 84.5(69.0) |
| 2      | S   | 800.00 | 3800.00 | 0.00 | 800.28 | 5279.24 | 0.00   | 1.39     | 84.5(69.0) |

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

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| Xc max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| Yc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| es min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | -50.0  | 230.0  | 0.00043 | -39.6  | 219.6  | -0.06129 | -39.6  | 10.4   |
| 2      | 0.00350 | -50.0  | 230.0  | 0.00102 | -39.6  | 219.6  | -0.04883 | -39.6  | 10.4   |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

|         |  |
|---------|--|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.   |
| x/d     | Rapp. di duttilità (travi e solette) § 4.1.2.1.2.1 NTC: deve essere < 0.45 |
| C.Rid.  | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue              |

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d  | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000295033 | -0.064357523 |      |        |
| 2      | 0.000000000 | 0.000238317 | -0.051313015 | ---- | ----   |

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

|                |   |
|----------------|---|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata                                  |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]           |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)         |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                    |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)       |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 4.37   | 50.0   | 230.0  | -230.6 | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |
| 2      | S   | 4.55   | 50.0   | 230.0  | -188.8 | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |

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

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.32   | 50.0   | 230.0  | -175.3 | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |
| 2      | S   | 3.48   | 50.0   | 230.0  | -133.8 | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |

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

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00093 | 0  | 0.500 | 26.0 | 91 | 0.00053 (0.00053) | 526    | 0.276 (0.30) | 3144.07 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |
| 2     | S   | -0.00071 | 0  | 0.500 | 26.0 | 91 | 0.00040 (0.00040) | 526    | 0.211 (0.30) | 3518.01 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

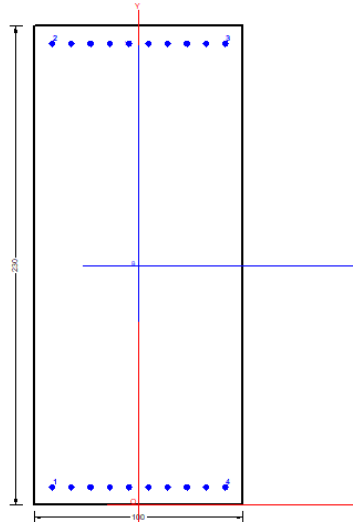
**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 2.27   | 50.0   | 230.0  | -119.9 | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |
| 2      | S   | 2.40   | 50.0   | 230.0  | -79.2  | -30.8  | 10.4   | 2600    | 53.1    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00064 | 0  | 0.500 | 26.0 | 91 | 0.00036 (0.00036) | 526    | 0.189 (0.20) | 3144.07 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |
| 2     | S   | -0.00042 | 0  | 0.500 | 26.0 | 91 | 0.00024 (0.00024) | 526    | 0.125 (0.20) | 3722.34 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

### 9.3.2 Verifica dell'armatura orizzontale



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|  |   |                     |                     |
|--|---|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO -                                 | Classe:                                   | C32/40              |                     |
|  | Resis. compr. di progetto $f_{cd}$ :      | 18.810              | MPa                 |
|  | Def.unit. max resistenza $ec2$ :          | 0.0020              |                     |
|  | Def.unit. ultima $ecu$ :                  | 0.0035              |                     |
|  | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
|  | Modulo Elastico Normale $E_c$ :           | 33643.0             | MPa                 |
|  | Resis. media a trazione $f_{ctm}$ :       | 3.100               | MPa                 |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | $Sc$ limite S.L.E. comb. Frequenti:       | 199.20              | daN/cm <sup>2</sup> |
|  | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300               | mm                  |
|  | $Sc$ limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:    | 0.00                | Mpa                 |
|  | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200               | mm                  |
|  | ACCIAIO -                                 | Tipo:               | B450C               |
| Resist. caratt. snervam. $f_{yk}$ :            |   | 450.00              | MPa                 |
| Resist. caratt. rottura $f_{tk}$ :             |   | 450.00              | MPa                 |
| Resist. snerv. di progetto $f_{yd}$ :          |   | 391.30              | MPa                 |
| Resist. ultima di progetto $f_{td}$ :          |   | 391.30              | MPa                 |
| Deform. ultima di progetto $E_{pu}$ :          |   | 0.068               |                     |
| Modulo Elastico $E_f$ :                        |   | 2000000             | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                  |   | Bilineare finito    |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$ : |   | 1.00                |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$ :  |   | 0.50                |                     |
| $S_f$ limite S.L.E. Comb. Rare:                | 360.00                                    | MPa                 |                     |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

|                      |            |        |
|----------------------|------------|--------|
| Forma del Dominio:   | Poligonale |        |
| Classe Conglomerato: | C32/40     |        |
| N° vertice:          | X [cm]     | Y [cm] |
| 1                    | 50.0       | 0.0    |
| 2                    | -50.0      | 0.0    |
| 3                    | -50.0      | 230.0  |

4 50.0 230.0

**DATI BARRE ISOLATE**

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | 41.9   | 8.1    | 20        |
| 2       | -41.9  | 8.1    | 20        |
| 3       | -41.9  | 221.9  | 20        |
| 4       | 41.9   | 221.9  | 20        |

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

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

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

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

| N°Comb. | N    | Mx      | My   | Vy   | Vx   |
|---------|------|---------|------|------|------|
| 1       | 0.00 | 2200.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N    | Mx      | My   |
|---------|------|---------|------|
| 1       | 0.00 | 1400.00 | 0.00 |

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

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

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| N°Comb. | N    | Mx                | My          |
|---------|------|-------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1300.00 (3023.50) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 900.00 (3023.50) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.1 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.3 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

| N°Comb | Ver | N    | Mx      | My   | N Res | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale  |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00 | 2200.00 | 0.00 | 0.00  | 2592.05 | 0.00   | 1.18     | 62.8(69.0) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00035 | -50.0  | 230.0  | 0.00027 | -41.9  | 221.9  | -0.00196 | -41.9  | 8.1    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**



**RELAZIONE DI CALCOLO**

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000010408 | -0.002040806 |     |        |

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

| N°Comb | Ver | N    | Mx      | My   | N Res | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale  |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00 | 2200.00 | 0.00 | 0.00  | 2684.70 | 0.00   | 1.22     | 62.8(69.0) |

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

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00264 | -50.0  | 230.0  | 0.00008 | -41.9  | 221.9  | -0.06750 | -41.9  | 8.1    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000316107 | -0.070060466 |     |        |

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

| Ver  | Sc max  | Xc max, Yc max  | Sf min   | Xs min, Ys min  |
|--|---|---|--|---|
| S = comb. verificata/ N = comb. non verificata | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa] | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa] | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|        |     | Ac eff. | Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre         |        |        |        |        |         |         | As eff. |
|--------|-----|---------|--|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
|        |     | As eff. | Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |        |        |        |        |         |         |         |
| N°Comb | Ver | Sc max  | Xc max   | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |         |
| 1      | S   | 2.93    | 50.0   | 230.0  | -212.3 | -32.6  | 8.1    | 2000    | 31.4    |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 2.72   | 50.0   | 230.0  | -197.1 | -32.6  | 8.1    | 2033    | 31.4    |

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

|       |     | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$ |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|-------|-----|---|----|-------|------|----|-------------------|--|--------|--------------|---------|---------|
|       |     | Esito della verifica  |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata                         |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata                          |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | = 0.5 per flessione; $= (e_1 + e_2) / (2 \cdot e_1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]                                   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]                                |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]                           |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | sr max Massima distanza tra le fessure [mm]   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
|       |     | My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]  |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |
| Comb. | Ver | e1  | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       |  | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
| 1     | S   | -0.00103  | 0  | 0.500 | 20.0 | 71 | 0.00059 (0.00059) |  | 461    | 0.273 (0.30) | 3023.50 |         |
| 0.00  |     |   |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 1.88   | 50.0   | 230.0  | -136.4 | -32.6  | 8.1    | 2015    | 31.4    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       |  | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00071 | 0  | 0.500 | 20.0 | 71 | 0.00041 (0.00041) |  | 459    | 0.188 (0.20) | 3023.50 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |  |        |              |         |         |

### 9.3.3 Verifica a taglio

| SEZIONE               |              |                                 |            |                        |     |
|-----------------------|--------------|---------------------------------|------------|------------------------|-----|
| $b_w$                 | =            | 100                             | cm         |                        |     |
| $h$                   | =            | 230                             | cm         |                        |     |
| $c$                   | =            | 8.4                             | cm         |                        |     |
| $d$                   | =            | $h-c$                           | =          | 221.6                  | cm  |
| MATERIALI             |              |                                 |            |                        |     |
| $f_{ywd}$             | =            | 391.30                          | MPa        |                        |     |
| $R_{ck}$              | =            | 40                              | MPa        |                        |     |
| $\gamma_c$            | =            | 1.5                             |            |                        |     |
| $f_{ck}$              | =            | $0.83 \times R_{ck}$            | =          | 33.2                   | MPa |
| $f_{cd}$              | =            | $0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$ | =          | 18.81                  | MPa |
| ARMATURE A TAGLIO     |              |                                 |            |                        |     |
| $\varnothing_{st}$    | =            | 16                              |            |                        |     |
| braccia               | =            | 5                               |            |                        |     |
| $\varnothing_{st2}$   | =            | 0                               |            |                        |     |
| braccia               | =            | 0                               |            |                        |     |
| passo                 | =            | 40                              | cm         |                        |     |
| $(A_{sw} / s)$        | =            | 25.133                          | $cm^2 / m$ |                        |     |
| $\alpha$              | =            | 90                              | °          | (90° staffe verticali) |     |
| <b>TAGLIO AGENTE</b>  | $V_{Ed} =$   | 4900                            | (KN)       |                        |     |
| <b>SFORZO NORMALE</b> | $N_{Ed} =$   | 0                               | (KN)       |                        |     |
|                       | $\alpha_c =$ | 1.0000                          |            |                        |     |

**ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO**

**Calcolo di cot θ**

cot(θ) = 2.93  
θ = 18.87 °

**IPOTESI 1**       $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$       Rottura bilanciata       $V_{Rsd} = V_{Rcd}$

$V_{Rsd} = 5740.22 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 5740.22 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$   
 $V_{Rd} = 5740 \text{ (KN)}$        $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

**IPOTESI 2**       $\cot \vartheta > 2,5$       Si assume       $\vartheta = 21,8^\circ$

**Armatura trasversale**

$V_{Rsd} = 4903.51 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 6469.19 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$   
 $V_{Rd} = 4904 \text{ (KN)}$        $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

**IPOTESI 3**       $\cot \vartheta = 1$        $\vartheta = 45^\circ$

**Armatura trasversale**

$V_{Rsd} = 1961.40 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 9380.33 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$   
 $V_{Rd} = 1961.40 \text{ (KN)}$        $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

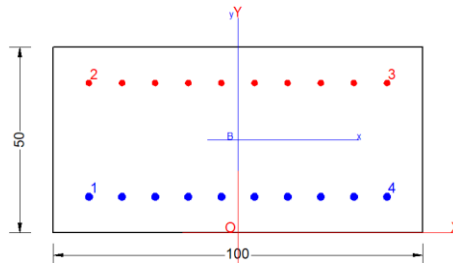
## 9.4 Muro paraghiaia

Si riassume di seguito l'armatura adottata.

| ARMATURA           |                      |                 |
|--------------------|----------------------|-----------------|
| Armatura verticale | Armatura orizzontale | Armatura taglio |
| Arm. tesa          | Arm. tesa            | Ø12/20x40       |
| 10Ø20              | 10Ø20                |                 |
| Arm. Compressa     | Arm. Compressa       |                 |
| 10Ø16              | 10Ø16                |                 |

La sezione risulta verificata con l'armatura prevista.

### 9.4.1 Verifica dell'armatura verticale



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                              |   |                             |
|------------------------------|---|-----------------------------|
| CALCESTRUZZO -               | Classe:                                   | C32/40                      |
|                              | Resis. compr. di progetto fcd:            | 18.810 MPa                  |
|                              | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020                      |
|                              | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035                      |
|                              | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo         |
|                              | Modulo Elastico Normale Ec:               | 33643.0 MPa                 |
|                              | Resis. media a trazione fctm:             | 3.100 MPa                   |
|                              | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                       |
|                              | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                       |
|                              | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 199.20 daN/cm <sup>2</sup>  |
|                              | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm                    |
|                              | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00 Mpa                    |
|                              | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200 mm                    |
| ACCIAIO -                    | Tipo:                                     | B450C                       |
|                              | Resist. caratt. snervam. fyk:             | 450.00 MPa                  |
|                              | Resist. caratt. rottura ftk:              | 450.00 MPa                  |
|                              | Resist. snerv. di progetto fyd:           | 391.30 MPa                  |
|                              | Resist. ultima di progetto ftd:           | 391.30 MPa                  |
|                              | Deform. ultima di progetto Epu:           | 0.068                       |
|                              | Modulo Elastico Ef                        | 2000000 daN/cm <sup>2</sup> |
|                              | Diagramma tensione-deformaz.:             | Bilineare finito            |
|                              | Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :        | 1.00                        |
|                              | Coeff. Aderenza differito β1*β2 :         | 0.50                        |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare: | 360.00 MPa                                |                             |

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

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

**DATI BARRE ISOLATE**

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -40.3  | 9.7    | 20        |
| 2       | -40.3  | 40.3   | 16        |
| 3       | 40.3   | 40.3   | 16        |
| 4       | 40.3   | 9.7    | 20        |

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 20 |
| 2      | 2            | 3            | 8       | 16 |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx     | My   | Vy   | Vx   |
|---------|--------|--------|------|------|------|
| 1       | 0.00   | 350.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2       | 200.00 | 350.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx     | My   |
|---------|--------|--------|------|
| 1       | 0.00   | 210.00 | 0.00 |
| 2       | 130.00 | 210.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx              | My          |
|---------|--------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00   | 180.00 (154.23) | 0.00 (0.00) |
| 2       | 130.00 | 180.00 (163.90) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N      | Mx              | My          |
|---------|--------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00   | 160.00 (154.23) | 0.00 (0.00) |
| 2       | 130.00 | 160.00 (165.19) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.7 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.0 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

| N°Comb | Ver | N      | Mx     | My   | N Res  | Mx Res | My Res | Mis.Sic. | As Tesa   |
|--------|-----|--------|--------|------|--------|--------|--------|----------|-----------|
| 1      | S   | 0.00   | 350.00 | 0.00 | 0.00   | 429.77 | 0.00   | 1.23     | 31.4(7.2) |
| 2      | S   | 200.00 | 350.00 | 0.00 | 199.97 | 464.00 | 0.00   | 1.32     | 31.4(9.0) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| x/d    | Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45           |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00102 | 0.344 | -50.0  | 50.0   | 0.00031 | -40.3  | 40.3   | -0.00196 | -40.3  | 9.7    |
| 2      | 0.00113 | 0.366 | 50.0   | 50.0   | 0.00039 | 40.3   | 40.3   | -0.00196 | -40.3  | 9.7    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

|         |   |
|---------|---|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.    |
| x/d     | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid.  | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue               |

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000073962 | -0.002673929 | 0.344 | 0.870  |
| 2      | 0.000000000 | 0.000076604 | -0.002699561 | 0.366 | 0.898  |

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

|                |  |
|----------------|--|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata   |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]                        |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)                      |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                                 |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)                    |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 7.26   | -50.0  | 50.0   | -191.8 | -31.3  | 9.7    | 1200    | 31.4    |
| 2      | S   | 7.36   | -50.0  | 50.0   | -171.0 | -31.3  | 9.7    | 1150    | 31.4    |

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

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



RELAZIONE DI CALCOLO

| Mx fess.<br>My fess. | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm] |          | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm] |       |      |    |                   |        |                |                |
|----------------------|---|----------|---|-------|------|----|-------------------|--------|----------------|----------------|
| Comb.                | Ver   | e1       | e2  | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk             | Mx fessMy fess |
| 1<br>0.00            | S   | -0.00132 | 0   | 0.500 | 20.0 | 87 | 0.00058 (0.00058) | 426    | 0.245 (990.00) | 154.23         |
| 2<br>0.00            | S   | -0.00119 | 0   | 0.500 | 20.0 | 87 | 0.00051 (0.00051) | 420    | 0.216 (990.00) | 162.44         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 6.22   | -50.0  | 50.0   | -164.4 | -40.3  | 9.7    | 1200    | 31.4    |
| 2      | S   | 6.32   | -50.0  | 50.0   | -143.6 | -40.3  | 9.7    | 1150    | 31.4    |

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

| Comb.     | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fessMy fess |
|-----------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|----------------|
| 1<br>0.00 | S   | -0.00113 | 0  | 0.500 | 20.0 | 87 | 0.00049 (0.00049) | 426    | 0.210 (0.30) | 154.23         |
| 2<br>0.00 | S   | -0.00100 | 0  | 0.500 | 20.0 | 87 | 0.00043 (0.00043) | 420    | 0.181 (0.30) | 163.90         |

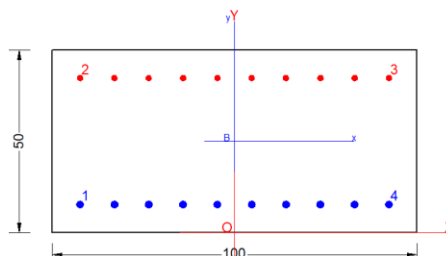
COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 5.53   | -50.0  | 50.0   | -146.1 | -40.3  | 9.7    | 1200    | 31.4    |
| 2      | S   | 5.62   | -50.0  | 50.0   | -125.4 | -22.4  | 9.7    | 1150    | 31.4    |

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

| Comb.     | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fessMy fess |
|-----------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|----------------|
| 1<br>0.00 | S   | -0.00101 | 0  | 0.500 | 20.0 | 87 | 0.00046 (0.00044) | 426    | 0.195 (0.20) | 154.23         |
| 2<br>0.00 | S   | -0.00088 | 0  | 0.500 | 20.0 | 87 | 0.00038 (0.00038) | 420    | 0.158 (0.20) | 165.19         |

9.4.2 Verifica dell'armatura orizzontale



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |                                |            |
|----------------|--------------------------------|------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                        | C32/40     |
|                | Resis. compr. di progetto fcd: | 18.810 MPa |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|   |                     |                     |
|---|---------------------|---------------------|
| Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
| Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
| Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
| Modulo Elastico Normale Ec:               | 33643.0             | MPa                 |
| Resis. media a trazione fctm:             | 3.100               | MPa                 |
| Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
| Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
| Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 199.20              | daN/cm <sup>2</sup> |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300               | mm                  |
| Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00                | Mpa                 |
| Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200               | mm                  |

|           |  |                  |                     |
|-----------|--|------------------|---------------------|
| ACCIAIO - | Tipo:  | B450C            |                     |
|           | Resist. caratt. snervam. fyk:                        | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. caratt. rottura ftk:                         | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30           | MPa                 |
|           | Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30           | MPa                 |
|           | Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068            |                     |
|           | Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
|           | Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
|           | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
|           | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
|           | Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

|                      |            |        |
|----------------------|------------|--------|
| Forma del Dominio:   | Poligonale |        |
| Classe Conglomerato: | C32/40     |        |
| N°vertice:           | X [cm]     | Y [cm] |
| 1                    | -50.0      | 0.0    |
| 2                    | -50.0      | 50.0   |
| 3                    | 50.0       | 50.0   |
| 4                    | 50.0       | 0.0    |

**DATI BARRE ISOLATE**

|         |        |        |           |
|---------|--------|--------|-----------|
| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
| 1       | -42.3  | 7.7    | 20        |
| 2       | -42.3  | 42.3   | 16        |
| 3       | 42.3   | 42.3   | 16        |
| 4       | 42.3   | 7.7    | 20        |

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

|              |   |              |         |    |
|--------------|---|--------------|---------|----|
| N°Gen.       | Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre            |              |         |    |
| N°Barra Ini. | Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione           |              |         |    |
| N°Barra Fin. | Numero della barra finale cui si riferisce la generazione             |              |         |    |
| N°Barre      | Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione |              |         |    |
| Ø            | Diametro in mm delle barre della generazione                          |              |         |    |
| N°Gen.       | N°Barra Ini.  | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
| 1            | 1   | 4            | 8       | 20 |
| 2            | 2   | 3            | 8       | 16 |

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

|         |  |        |      |      |      |
|---------|--|--------|------|------|------|
| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  |        |      |      |      |
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.   |        |      |      |      |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. |        |      |      |      |
| Vy      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  |        |      |      |      |
| Vx      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x  |        |      |      |      |
| N°Comb. | N  | Mx     | My   | Vy   | Vx   |
| 1       | 0.00   | 400.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

|         |   |        |      |
|---------|---|--------|------|
| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)   |        |      |
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |        |      |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |        |      |
| N°Comb. | N   | Mx     | My   |
| 1       | 0.00  | 220.00 | 0.00 |

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

|         |   |                 |             |
|---------|---|-----------------|-------------|
| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)   |                 |             |
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |                 |             |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |                 |             |
| N°Comb. | N   | Mx              | My          |
| 1       | 0.00  | 200.00 (160.94) | 0.00 (0.00) |

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

|         |   |                 |             |
|---------|---|-----------------|-------------|
| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)   |                 |             |
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |                 |             |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |                 |             |
| N°Comb. | N   | Mx              | My          |
| 1       | 0.00  | 190.00 (160.94) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 6.7 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 7.4 cm |

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

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |  |
|----------|--|
| Ver      | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |
| N        | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)   |
| Mx       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| N Res    | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |
| Mx Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa  | Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]                                |

| N°Comb | Ver | N    | Mx     | My   | N Res | Mx Res | My Res | Mis.Sic. | As Tesa   |
|--------|-----|------|--------|------|-------|--------|--------|----------|-----------|
| 1      | S   | 0.00 | 400.00 | 0.00 | 0.00  | 455.29 | 0.00   | 1.14     | 31.4(7.6) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| x/d    | Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45           |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00096 | 0.329 | -50.0  | 50.0   | 0.00043 | -42.3  | 42.3   | -0.00196 | -42.3  | 7.7    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

|         |   |
|---------|---|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.    |
| x/d     | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid.  | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue               |

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000068958 | -0.002487473 | 0.329 | 0.852  |

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

|                |  |
|----------------|--|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata   |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]                        |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)                      |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                                 |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)                    |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 6.76   | -50.0  | 50.0   | -189.6 | -32.9  | 7.7    | 1200    | 31.4    |

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

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

**RELAZIONE DI CALCOLO**

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk             | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|----------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00121 | 0  | 0.500 | 20.0 | 67 | 0.00057 (0.00057) | 358    | 0.203 (990.00) | 160.94  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |                |         |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 6.15   | -50.0  | 50.0   | -172.4 | -42.3  | 7.7    | 1200    | 31.4    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00110 | 0  | 0.500 | 20.0 | 67 | 0.00052 (0.00052) | 358    | 0.185 (0.30) | 160.94  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 5.84   | -50.0  | 50.0   | -163.8 | -32.9  | 7.7    | 1200    | 31.4    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00105 | 0  | 0.500 | 20.0 | 67 | 0.00055 (0.00049) | 358    | 0.195 (0.20) | 160.94  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

### 9.4.3 Verifica a taglio

| SEZIONE               |              |                                 |            |                        |     |
|-----------------------|--------------|---------------------------------|------------|------------------------|-----|
| $b_w$                 | =            | 100                             | cm         |                        |     |
| $h$                   | =            | 50                              | cm         |                        |     |
| $c$                   | =            | 7.7                             | cm         |                        |     |
| $d$                   | =            | $h-c$                           | =          | 42.3                   | cm  |
| MATERIALI             |              |                                 |            |                        |     |
| $f_{ywd}$             | =            | 391.30                          | MPa        |                        |     |
| $R_{ck}$              | =            | 40                              | MPa        |                        |     |
| $\gamma_c$            | =            | 1.5                             |            |                        |     |
| $f_{ck}$              | =            | $0.83 \times R_{ck}$            | =          | 33.2                   | MPa |
| $f_{cd}$              | =            | $0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$ | =          | 18.81                  | MPa |
| ARMATURE A TAGLIO     |              |                                 |            |                        |     |
| $\varnothing_{st}$    | =            | 12                              |            |                        |     |
| braccia               | =            | 5                               |            |                        |     |
| $\varnothing_{st2}$   | =            | 0                               |            |                        |     |
| braccia               | =            | 0                               |            |                        |     |
| passo                 | =            | 40                              | cm         |                        |     |
| $(A_{sw} / s)$        | =            | 14.137                          | $cm^2 / m$ |                        |     |
| $\alpha$              | =            | 90                              | °          | (90° staffe verticali) |     |
| <b>TAGLIO AGENTE</b>  | $V_{Ed} =$   | 520                             | (KN)       |                        |     |
| <b>SFORZO NORMALE</b> | $N_{Ed} =$   | 0                               | (KN)       |                        |     |
|                       | $\alpha_c =$ | 1.0000                          |            |                        |     |

**ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO**

**Calcolo di cot θ**

cot(θ) = 4.00  
θ = 14.03 °

**IPOTESI 1**  $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$  Rottura bilanciata  $V_{Rsd} = V_{Rcd}$

$V_{Rsd} = 842.52 \text{ (KN)}$   $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 842.52 \text{ (KN)}$   $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$   
 $V_{Rd} = 843 \text{ (KN)}$   $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

**IPOTESI 2**  $\cot \vartheta > 2,5$  Si assume  $\vartheta = 21,8^\circ$

Armatura trasversale

$V_{Rsd} = 526.50 \text{ (KN)}$   $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 1234.87 \text{ (KN)}$   $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$   
 $V_{Rd} = 527 \text{ (KN)}$   $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

**IPOTESI 3**  $\cot \vartheta = 1$   $\vartheta = 45^\circ$

Armatura trasversale

$V_{Rsd} = 210.60 \text{ (KN)}$   $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 1790.56 \text{ (KN)}$   $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$   
 $V_{Rd} = 210.60 \text{ (KN)}$   $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

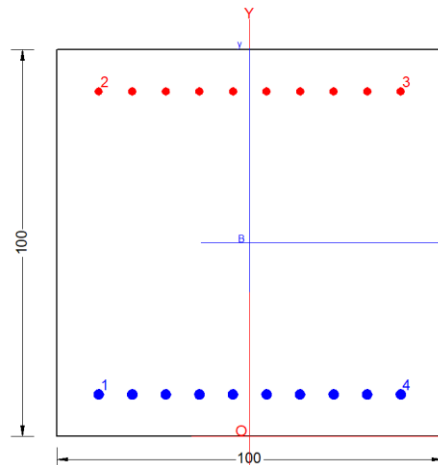
## 9.5 Muri andatori

Si riassume di seguito l'armatura adottata.

| ARMATURA           |                      |                 |
|--------------------|----------------------|-----------------|
| Armatura verticale | Armatura orizzontale | Armatura taglio |
| Arm. tesa          | Arm. tesa            | Ø14/20x40       |
| 10Ø26              | 10Ø20                |                 |
| Arm. Compressa     | Arm. Compressa       |                 |
| 10Ø20              | 10Ø20                |                 |

La sezione risulta verificata con l'armatura prevista.

### 9.5.1 Verifica dell'armatura verticale



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |   |                            |
|----------------|---|----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                                   | C32/40                     |
|                | Resis. compr. di progetto fcd:            | 18.810 MPa                 |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020                     |
|                | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo        |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:               | 33643.0 MPa                |
|                | Resis. media a trazione fctm:             | 3.100 MPa                  |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|                | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00                      |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 199.20 daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300 mm                   |
|                | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00 Mpa                   |
|                | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200 mm                   |
| ACCIAIO -      | Tipo:                                     | B450C                      |
|                | Resist. caratt. snervam. fyk:             | 450.00 MPa                 |
|                | Resist. caratt. rottura ftk:              | 450.00 MPa                 |



**RELAZIONE DI CALCOLO**

|  |                  |                     |
|--|------------------|---------------------|
| Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30           | MPa                 |
| Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30           | MPa                 |
| Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068            |                     |
| Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

|                      |            |        |
|----------------------|------------|--------|
| Forma del Dominio:   | Poligonale |        |
| Classe Conglomerato: | C32/40     |        |
| N°vertice:           | X [cm]     | Y [cm] |
| 1                    | -50.0      | 0.0    |
| 2                    | -50.0      | 100.0  |
| 3                    | 50.0       | 100.0  |
| 4                    | 50.0       | 0.0    |

**DATI BARRE ISOLATE**

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -39.8  | 10.2   | 26        |
| 2       | -39.8  | 89.8   | 20        |
| 3       | 39.8   | 89.8   | 20        |
| 4       | 39.8   | 10.2   | 26        |

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 2            | 3            | 8       | 20 |
| 2      | 1            | 4            | 8       | 26 |

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

| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)   |         |      |      |      |
|---------|---|---------|------|------|------|
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.   |         |      |      |      |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. |         |      |      |      |
| Vy      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y   |         |      |      |      |
| Vx      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x   |         |      |      |      |
| N°Comb. | N   | Mx      | My   | Vy   | Vx   |
| 1       | 0.00  | 1400.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2       | 300.00  | 1400.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

|         |   |        |      |
|---------|---|--------|------|
| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)   |        |      |
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |        |      |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |        |      |
| N°Comb. | N   | Mx     | My   |
| 1       | 0.00  | 900.00 | 0.00 |
| 2       | 100.00  | 900.00 | 0.00 |

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

|         |   |                 |             |
|---------|---|-----------------|-------------|
| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)   |                 |             |
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |                 |             |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |                 |             |
| N°Comb. | N   | Mx              | My          |
| 1       | 0.00  | 600.00 (655.29) | 0.00 (0.00) |
| 2       | 100.00  | 600.00 (675.11) | 0.00 (0.00) |

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

|         |   |                 |             |
|---------|---|-----------------|-------------|
| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)   |                 |             |
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |                 |             |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |                 |             |
| N°Comb. | N   | Mx              | My          |
| 1       | 0.00  | 500.00 (655.29) | 0.00 (0.00) |
| 2       | 100.00  | 500.00 (679.22) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 8.9 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 6.2 cm |

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

|           |  |
|-----------|--|
| Ver       | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |
| N         | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)   |
| Mx        | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My        | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| N Res     | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |
| Mx Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| Mis.Sic.  | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Totale | Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]                                |

RELAZIONE DI CALCOLO

| N°Comb | Ver | N      | Mx      | My   | N Res  | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale  |
|--------|-----|--------|---------|------|--------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00   | 1400.00 | 0.00 | 0.00   | 1671.72 | 0.00   | 1.19     | 84.5(30.0) |
| 2      | S   | 300.00 | 1400.00 | 0.00 | 300.17 | 1781.09 | 0.00   | 1.27     | 84.5(30.0) |

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00082 | -50.0  | 100.0  | 0.00050 | -39.8  | 89.8   | -0.00196 | -39.8  | 10.2   |
| 2      | 0.00090 | 50.0   | 100.0  | 0.00057 | 39.8   | 89.8   | -0.00196 | -39.8  | 10.2   |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

|         |  |
|---------|--|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.     |
| x/d     | Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid.  | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue                |

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000030904 | -0.002271718 |     |        |
| 2      | 0.000000000 | 0.000031755 | -0.002280399 | --- | ---    |

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

|                |  |
|----------------|--|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata   |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]                        |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)                      |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                                 |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)                    |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 6.52   | 50.0   | 100.0  | -211.4 | -22.1  | 10.2   | 2400    | 53.1    |
| 2      | S   | 6.60   | 50.0   | 100.0  | -202.7 | -39.8  | 10.2   | 2350    | 53.1    |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 4.34   | 50.0   | 100.0  | -140.9 | -39.8  | 10.2   | 2400    | 53.1    |
| 2      | S   | 4.43   | 50.0   | 100.0  | -132.2 | -13.3  | 10.2   | 2350    | 53.1    |

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

**RELAZIONE DI CALCOLO**

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Esito della verifica

Ver. e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata

e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata

k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]

kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]

k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]

k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_{c\ eff}$  [eq.(7.11)EC2]

Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]

sr max Massima distanza tra le fessure [mm]

wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr\ max*(e\_sm - e\_cm)$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi

Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00082 | 0  | 0.500 | 26.0 | 89 | 0.00042 (0.00042) | 502    | 0.212 (0.30) | 655.29  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |
| 2     | S   | -0.00077 | 0  | 0.500 | 26.0 | 89 | 0.00040 (0.00040) | 498    | 0.198 (0.30) | 675.11  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

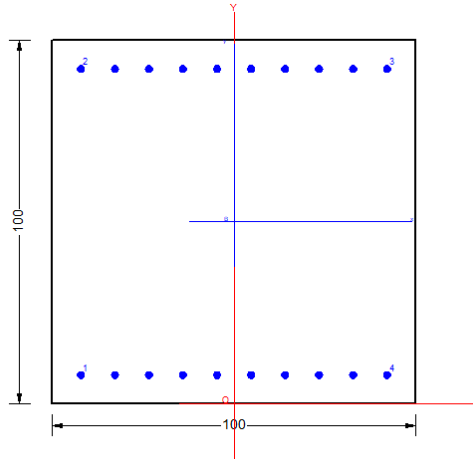
**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.62   | 50.0   | 100.0  | -117.4 | -13.3  | 10.2   | 2400    | 53.1    |
| 2      | S   | 3.70   | 50.0   | 100.0  | -108.8 | -39.8  | 10.2   | 2300    | 53.1    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00068 | 0  | 0.500 | 26.0 | 89 | 0.00035 (0.00035) | 502    | 0.177 (0.20) | 655.29  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |
| 2     | S   | -0.00064 | 0  | 0.500 | 26.0 | 89 | 0.00033 (0.00033) | 494    | 0.161 (0.20) | 679.22  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

### 9.5.2 Verifica dell'armatura orizzontale



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|  |   |                     |                     |
|--|---|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO -                                       | Classe:                                   | C32/40              |                     |
|  | Resis. compr. di progetto fcd:            | 18.810              | MPa                 |
|  | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
|  | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
|  | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
|  | Modulo Elastico Normale Ec:               | 33643.0             | MPa                 |
|  | Resis. media a trazione fctm:             | 3.100               | MPa                 |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 199.20              | daN/cm <sup>2</sup> |
|  | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.300               | mm                  |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00                | Mpa                 |
|  | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.200               | mm                  |
|  | ACCIAIO -                                 | Tipo:               | B450C               |
| Resist. caratt. snervam. fyk:                        |   | 450.00              | MPa                 |
| Resist. caratt. rottura ftk:                         |   | 450.00              | MPa                 |
| Resist. snerv. di progetto fyd:                      |   | 391.30              | MPa                 |
| Resist. ultima di progetto ftd:                      |   | 391.30              | MPa                 |
| Deform. ultima di progetto Epu:                      |   | 0.068               |                     |
| Modulo Elastico Ef                                   |   | 2000000             | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        |   | Bilineare finito    |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : |   | 1.00                |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  |   | 0.50                |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00                                    | MPa                 |                     |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

|                      |            |        |
|----------------------|------------|--------|
| Forma del Dominio:   | Poligonale |        |
| Classe Conglomerato: | C32/40     |        |
| N°vertice:           | X [cm]     | Y [cm] |
| 1                    | -50.0      | 0.0    |
| 2                    | -50.0      | 100.0  |
| 3                    | 50.0       | 100.0  |
| 4                    | 50.0       | 0.0    |

**DATI BARRE ISOLATE**

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -42.1  | 7.9    | 20        |
| 2       | -42.1  | 92.1   | 20        |
| 3       | 42.1   | 92.1   | 20        |
| 4       | 42.1   | 7.9    | 20        |

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

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

| N°Comb. | N    | Mx     | My   | Vy   | Vx   |
|---------|------|--------|------|------|------|
| 1       | 0.00 | 850.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

| N°Comb. | N    | Mx     | My   |
|---------|------|--------|------|
| 1       | 0.00 | 500.00 | 0.00 |

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

| N°Comb. | N    | Mx     | My   |
|---------|------|--------|------|
| 1       | 0.00 | 500.00 | 0.00 |

RELAZIONE DI CALCOLO

| N°Comb. | N    | Mx              | My          |
|---------|------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 400.00 (620.24) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N    | Mx              | My          |
|---------|------|-----------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 300.00 (620.24) | 0.00 (0.00) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 6.9 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 7.4 cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

|          |   |
|----------|---|
| Ver      | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  |
| N        | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)          |
| Mx       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia                       |
| My       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia                       |
| N Res    | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)            |
| Mx Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia                           |
| My Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia                           |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)                        |
|          | Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  |
| As Tesa  | Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC] |

| N°Comb | Ver | N    | Mx     | My   | N Res | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Tesa    |
|--------|-----|------|--------|------|-------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00 | 850.00 | 0.00 | 0.00  | 1043.05 | 0.00   | 1.23     | 31.4(16.5) |

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| x/d    | Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45           |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00057 | 0.226 | -50.0  | 100.0  | 0.00035 | -42.1  | 92.1   | -0.00196 | -42.1  | 7.9    |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

|         |  |
|---------|--|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen. |
|---------|--|

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000027430 | -0.002173197 | 0.226 | 0.722  |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 4.11   | 50.0   | 100.0  | -188.4 | -32.7  | 7.9    | 1950    | 31.4    |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.28   | 50.0   | 100.0  | -150.7 | -23.4  | 7.9    | 1950    | 31.4    |

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

| Comb.     | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-----------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1<br>0.00 | S   | -0.00084 | 0  | 0.500 | 20.0 | 69 | 0.00045 (0.00045) | 446    | 0.202 (0.30) | 620.24  |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 2.46   | 50.0   | 100.0  | -113.1 | 4.7    | 7.9    | 1950    | 31.4    |

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

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



1 S -0.00063 0 0.500 20.0 69 0.00034 (0.00034) 446 0.151 (0.20) 620.24  
0.00

### 9.5.3 Verifica a taglio

| SEZIONE               |   |                                 |            |                        |     |
|-----------------------|---|---------------------------------|------------|------------------------|-----|
| $b_w$                 | = | 100                             | cm         |                        |     |
| $h$                   | = | 100                             | cm         |                        |     |
| $c$                   | = | 8.2                             | cm         |                        |     |
| $d$                   | = | $h-c$                           | =          | 91.8                   | cm  |
| MATERIALI             |   |                                 |            |                        |     |
| $f_{ywd}$             | = | 391.30                          | MPa        |                        |     |
| $R_{ck}$              | = | 40                              | MPa        |                        |     |
| $\gamma_c$            | = | 1.5                             |            |                        |     |
| $f_{ck}$              | = | $0.83 \times R_{ck}$            | =          | 33.2                   | MPa |
| $f_{cd}$              | = | $0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$ | =          | 18.81                  | MPa |
| ARMATURE A TAGLIO     |   |                                 |            |                        |     |
| $\varnothing_{st}$    | = | 14                              |            |                        |     |
| braccia               | = | 5                               |            |                        |     |
| $\varnothing_{st2}$   | = | 0                               |            |                        |     |
| braccia               | = | 0                               |            |                        |     |
| passo                 | = | 40                              | cm         |                        |     |
| $(A_{sw} / s)$        | = | 19.242                          | $cm^2 / m$ |                        |     |
| $\alpha$              | = | 90                              | °          | (90° staffe verticali) |     |
| <b>TAGLIO AGENTE</b>  |   | $V_{Ed} =$                      | 1500       | (KN)                   |     |
| <b>SFORZO NORMALE</b> |   | $N_{Ed} =$                      | 0          | (KN)                   |     |
|                       |   | $\alpha_c =$                    | 1.0000     |                        |     |

**ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO**

**Calcolo di cot θ**

$$\cot(\theta) = 3.39$$

$$\theta = 16.43^\circ$$

**IPOTESI 1**  $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$  Rottura bilanciata  $V_{Rsd} = V_{Rcd}$

$$V_{Rsd} = 2108.98 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 2108.98 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) / (1 + \ctg^2\theta)$$

$$V_{Rd} = 2109 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

**IPOTESI 2**  $\cot \vartheta > 2,5$  Si assume  $\vartheta = 21,8^\circ$

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 1555.23 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 2679.93 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) / (1 + \ctg^2\theta)$$

$$V_{Rd} = 1555 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

**IPOTESI 3**  $\cot \vartheta = 1$   $\vartheta = 45^\circ$

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 622.09 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 3885.89 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\ctg\alpha + \ctg\theta) / (1 + \ctg^2\theta)$$

$$V_{Rd} = 622.09 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

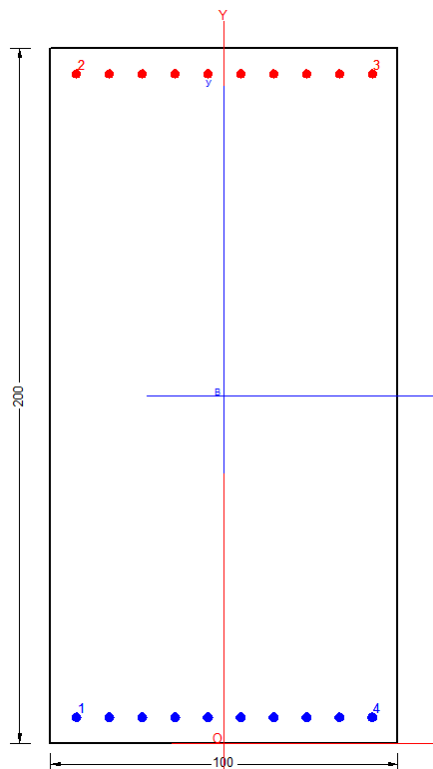
## 9.6 Plinto di fondazione

Si riassume di seguito l'armatura adottata.

| ARMATURA               |                      |                 |
|------------------------|----------------------|-----------------|
| Armatura longitudinale | Armatura trasversale | Armatura taglio |
| Arm. tesa              | Arm. tesa            | Ø16/20x20       |
| 10Ø26                  | 10Ø26                |                 |
| Arm. Compressa         | Arm. Compressa       |                 |
| 10Ø24                  | 10Ø24                |                 |

La sezione risulta verificata con l'armatura prevista.

### 9.6.1 Verifica dell'armatura longitudinale



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |                                |                     |
|----------------|--------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                        | C28/35              |
|                | Resis. compr. di progetto fcd: | 16.460 MPa          |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:  | 0.0020              |
|                | Def.unit. ultima ecu:          | 0.0035              |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:  | Parabola-Rettangolo |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:    | 32588.0 MPa         |

|           |  |                  |                     |
|-----------|--|------------------|---------------------|
|           | Resis. media a trazione fctm:                        | 2.830            | MPa                 |
|           | Coeff. Omogen. S.L.E.:                               | 15.00            |                     |
|           | Coeff. Omogen. S.L.E.:                               | 15.00            |                     |
|           | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:                    | 174.30           | daN/cm <sup>2</sup> |
|           | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:            | 0.400            | mm                  |
|           | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:                 | 0.00             | Mpa                 |
|           | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:                 | 0.300            | mm                  |
| ACCIAIO - | Tipo:  | B450C            |                     |
|           | Resist. caratt. snervam. fyk:                        | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. caratt. rottura ftk:                         | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30           | MPa                 |
|           | Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30           | MPa                 |
|           | Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068            |                     |
|           | Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
|           | Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
|           | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
|           | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
|           | Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C28/35

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 200.0  |
| 3          | 50.0   | 200.0  |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

#### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -43.1  | 6.9    | 26        |
| 2       | -43.1  | 193.1  | 24        |
| 3       | 43.1   | 193.1  | 24        |
| 4       | 43.1   | 6.9    | 26        |

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

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

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 26 |
| 2      | 2            | 3            | 8       | 24 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)

RELAZIONE DI CALCOLO

| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.   |         |      |      |      |
|---------|---|---------|------|------|------|
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. |         |      |      |      |
| Vy      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y   |         |      |      |      |
| Vx      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x   |         |      |      |      |
| N°Comb. | N   | Mx      | My   | Vy   | Vx   |
| 1       | 0.00  | 3000.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  |         |      |
|---------|--|---------|------|
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |         |      |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |         |      |
| N°Comb. | N  | Mx      | My   |
| 1       | 0.00   | 2200.00 | 0.00 |

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

| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  |                   |             |
|---------|--|-------------------|-------------|
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |                   |             |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |                   |             |
| N°Comb. | N  | Mx                | My          |
| 1       | 0.00   | 2000.00 (2259.85) | 0.00 (0.00) |

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

| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  |                   |             |
|---------|--|-------------------|-------------|
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione |                   |             |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione    |                   |             |
| N°Comb. | N  | Mx                | My          |
| 1       | 0.00   | 1900.00 (2259.85) | 0.00 (0.00) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.6 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 7.0 cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

|     |  |
|-----|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata                                 |
| N   | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione) |
| Mx  | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia              |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|          |   |
|----------|---|
| My       | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia                       |
| N Res    | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)            |
| Mx Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia                           |
| My Res   | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia                           |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)                        |
|          | Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  |
| As Tesa  | Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC] |

| N°Comb | Ver | N    | Mx      | My   | N Res | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Tesa    |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00 | 3000.00 | 0.00 | 0.00  | 3746.39 | 0.00   | 1.25     | 53.1(31.6) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| x/d    | Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45           |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | x/d   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00054 | 0.215 | -50.0  | 200.0  | 0.00045 | -43.1  | 193.1  | -0.00196 | -43.1  | 6.9    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

|         |   |
|---------|---|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.      |
| x/d     | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid.  | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue               |

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000012912 | -0.002045594 | 0.215 | 0.709  |

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

|                |  |
|----------------|--|
| Ver            | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata   |
| Sc max         | Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]                        |
| Xc max, Yc max | Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)                      |
| Sf min         | Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]                                 |
| Xs min, Ys min | Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)                    |
| Ac eff.        | Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre         |
| As eff.        | Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure |

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 4.45   | 50.0   | 200.0  | -230.0 | -43.1  | 6.9    | 1750    | 53.1    |

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

|      |  |
|------|--|
| Ver. | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm                                   |
| e1   | Esito della verifica   |
| e2   | Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  |
| k1   | Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2] |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|             |  |
|-------------|--|
| kt          | = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  |
| k2          | = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  |
| k3          | = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  |
| k4          | = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  |
| Ø           | Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]   |
| Cf          | Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  |
| e sm - e cm | Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]<br>Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC] |
| sr max      | Massima distanza tra le fessure [mm]   |
| wk          | Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  |
| Mx fess.    | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  |
| My fess.    | Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]  |

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk             | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|----------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00120 | 0  | 0.500 | 26.0 | 56 | 0.00082 (0.00069) | 336    | 0.275 (990.00) | 2259.85 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |                |         |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 4.05   | 50.0   | 200.0  | -209.0 | 23.9   | 6.9    | 1736    | 53.1    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00109 | 0  | 0.500 | 26.0 | 56 | 0.00072 (0.00063) | 335    | 0.240 (0.40) | 2259.85 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

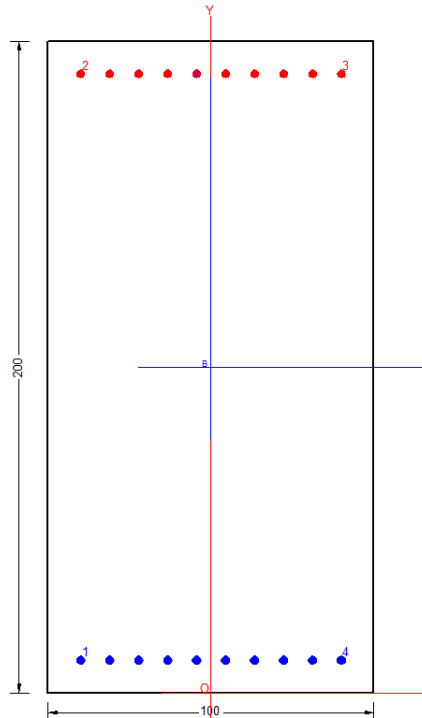
**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.84   | 50.0   | 200.0  | -198.6 | -33.5  | 6.9    | 1750    | 53.1    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00104 | 0  | 0.500 | 26.0 | 56 | 0.00077 (0.00060) | 336    | 0.259 (0.30) | 2259.85 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |         |         |

### 9.6.1 Verifica dell'armatura trasversale



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|  |   |                     |                     |
|--|---|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO -                                       | Classe:                                   | C28/35              |                     |
|  | Resis. compr. di progetto fcd:            | 16.460              | MPa                 |
|  | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
|  | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
|  | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
|  | Modulo Elastico Normale Ec:               | 32588.0             | MPa                 |
|  | Resis. media a trazione fctm:             | 2.830               | MPa                 |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 174.30              | daN/cm <sup>2</sup> |
|  | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400               | mm                  |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00                | Mpa                 |
|  | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.300               | mm                  |
|  | ACCIAIO -                                 | Tipo:               | B450C               |
| Resist. caratt. snervam. fyk:                        |   | 450.00              | MPa                 |
| Resist. caratt. rottura ftk:                         |   | 450.00              | MPa                 |
| Resist. snerv. di progetto fyd:                      |   | 391.30              | MPa                 |
| Resist. ultima di progetto ftd:                      |   | 391.30              | MPa                 |
| Deform. ultima di progetto Epu:                      |   | 0.068               |                     |
| Modulo Elastico Ef                                   |   | 2000000             | daN/cm <sup>2</sup> |
| Diagramma tensione-deformaz.:                        |   | Bilineare finito    |                     |
| Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : |   | 1.00                |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  |   | 0.50                |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         |   | 360.00              | MPa                 |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale



Classe Conglomerato: C28/35

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1          | -50.0  | 0.0    |
| 2          | -50.0  | 200.0  |
| 3          | 50.0   | 200.0  |
| 4          | 50.0   | 0.0    |

#### DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1       | -40.5  | 9.5    | 26        |
| 2       | -40.5  | 190.5  | 24        |
| 3       | 40.5   | 190.5  | 24        |
| 4       | 40.5   | 9.5    | 26        |

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

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

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø  |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1      | 1            | 4            | 8       | 26 |
| 2      | 2            | 3            | 8       | 24 |

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

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

| N°Comb. | N    | Mx      | My   | Vy   | Vx   |
|---------|------|---------|------|------|------|
| 1       | 0.00 | 2900.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N    | Mx      | My   |
|---------|------|---------|------|
| 1       | 0.00 | 2100.00 | 0.00 |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

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

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

| N°Comb. | N    | Mx                | My          |
|---------|------|-------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1800.00 (2239.51) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N    | Mx                | My          |
|---------|------|-------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 1600.00 (2239.51) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.4 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

| N°Comb | Ver | N    | Mx      | My   | N Res | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Tesa    |
|--------|-----|------|---------|------|-------|---------|--------|----------|------------|
| 1      | S   | 0.00 | 2900.00 | 0.00 | 0.00  | 3680.56 | 0.00   | 1.27     | 53.1(31.1) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| Ys max |         | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |        |        |         |        |        |          |        |        |
|--------|---------|--|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| N°Comb | ec max  | x/d  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
| 1      | 0.00055 | 0.218  | -50.0  | 200.0  | 0.00042 | -40.5  | 190.5  | -0.00196 | -40.5  | 9.5    |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

| N°Comb | a, b, c     |             |              |       |        | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|--------|
|        | a           | b           | c            | x/d   | C.Rid. |        |
| 1      | 0.000000000 | 0.000013135 | -0.002081285 | 0.218 | 0.713  |        |

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

| N°Comb | Ver | S = comb. verificata/ N = comb. non verificata |        |        |        |        |        |         |         |
|--------|-----|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|        |     | Sc max   | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
| 1      | S   | 4.39   | 50.0   | 200.0  | -223.5 | -13.5  | 9.5    | 2363    | 53.1    |

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

| Comb. | Ver | La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$ |    |       |      |    |                   |        |                |         |         |
|-------|-----|---|----|-------|------|----|-------------------|--------|----------------|---------|---------|
|       |     | e1  | e2 | k2    | ∅    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk             | Mx fess | My fess |
| 1     | S   | -0.00119  | 0  | 0.500 | 26.0 | 82 | 0.00069 (0.00067) | 476    | 0.327 (990.00) | 2239.51 |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.77   | 50.0   | 200.0  | -191.5 | -40.5  | 9.5    | 2400    | 53.1    |

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

| Comb.     | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm sr max | wk  | Mx fess      | My fess |
|-----------|-----|----------|----|-------|------|----|--------------------|-----|--------------|---------|
| 1<br>0.00 | S   | -0.00102 | 0  | 0.500 | 26.0 | 82 | 0.00057 (0.00057)  | 479 | 0.275 (0.40) | 2239.51 |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.35   | 50.0   | 200.0  | -170.2 | -22.5  | 9.5    | 2384    | 53.1    |

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

| Comb.     | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm sr max | wk  | Mx fess      | My fess |
|-----------|-----|----------|----|-------|------|----|--------------------|-----|--------------|---------|
| 1<br>0.00 | S   | -0.00091 | 0  | 0.500 | 26.0 | 82 | 0.00056 (0.00051)  | 477 | 0.268 (0.30) | 2239.51 |

**9.6.2 Verifica a taglio e punzonamento**

Si riportano di seguito le verifiche di resistenza a taglio e punzonamento per le situazioni più gravose per il plinto di fonazione.

In particolare si riporta la verifica a taglio della sezione del plinto a filo muro frontale. Le verifiche nei confronti del punzonamento è svolta in accordo alle procedure riportate nell' UNI EN 1992-1-1, §6.4. Per il palo di bordo si è considerato un perimetro ridotto alla sola semicirconferenza ricadente all'interno della platea.

| SEZIONE               |   |                                 |            |                        |     |
|-----------------------|---|---------------------------------|------------|------------------------|-----|
| $b_w$                 | = | 100                             | cm         |                        |     |
| $h$                   | = | 200                             | cm         |                        |     |
| $c$                   | = | 7.4                             | cm         |                        |     |
| $d$                   | = | $h-c$                           | =          | 192.6                  | cm  |
| MATERIALI             |   |                                 |            |                        |     |
| $f_{ywd}$             | = | 391.30                          | MPa        |                        |     |
| $R_{ck}$              | = | 35                              | MPa        |                        |     |
| $\gamma_c$            | = | 1.5                             |            |                        |     |
| $f_{ck}$              | = | $0.83 \times R_{ck}$            | =          | 29.05                  | MPa |
| $f_{cd}$              | = | $0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$ | =          | 16.46                  | MPa |
| ARMATURE A TAGLIO     |   |                                 |            |                        |     |
| $\varnothing_{st}$    | = | 16                              |            |                        |     |
| braccia               | = | 5                               |            |                        |     |
| $\varnothing_{st2}$   | = | 0                               |            |                        |     |
| braccia               | = | 0                               |            |                        |     |
| passo                 | = | 20                              | cm         |                        |     |
| $(A_{sw} / s)$        | = | 50.265                          | $cm^2 / m$ |                        |     |
| $\alpha$              | = | 90                              | °          | (90° staffe verticali) |     |
| <b>TAGLIO AGENTE</b>  |   | $V_{Ed} =$                      | 6000       | (KN)                   |     |
| <b>SFORZO NORMALE</b> |   | $N_{Ed} =$                      | 0          | (KN)                   |     |
|                       |   | $\alpha_c =$                    | 1.0000     |                        |     |

**ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO**

**Calcolo di cot θ**

cot(θ) = 1.78  
θ = 29.26 °

**IPOTESI 1**      1 ≤ cot θ ≤ 2.5      Rottura bilanciata       $V_{Rsd} = V_{Rcd}$

$V_{Rsd} = 6084.35 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 6084.35 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$   
 $V_{Rd} = 6084 \text{ (KN)}$        $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

**IPOTESI 2**      cot θ > 2,5      Si assume      θ = 21,8°

**Armatura trasversale**

$V_{Rsd} = 8523.61 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 4919.77 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$   
 $V_{Rd} = 4920 \text{ (KN)}$        $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

**IPOTESI 3**      Cot θ = 1      θ = 45°

**Armatura trasversale**

$V_{Rsd} = 3409.44 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha$   
 $V_{Rcd} = 7133.66 \text{ (KN)}$        $0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$   
 $V_{Rd} = 3409.44 \text{ (KN)}$        $\min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**VERIFICA A PUNZONAMENTO PIASTRE EC2 -UNI EN 1992-1-1 - Caso palo d'angolo**

**DATI PALO**

|                                |   |                                   |    |         |    |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|----|---------|----|
| D                              | = | 1500                              | mm |         |    |
| Hp (piastra)                   | = | 2000                              | mm |         |    |
| cx (copriferro asse)           | = | 74                                | mm |         |    |
| cy (copriferro asse)           | = | 100                               | mm |         |    |
| dx                             | = | Hp-cx                             | =  | 1926    | mm |
| dy                             | = | Hp-cy                             | =  | 1900    | mm |
| deff (altezza utile media)     | = | (dx+dy)/2                         | =  | 1913    | mm |
| d1x (dist. asse colonna-bordo) | = | 1500                              | mm |         |    |
| d1y (dist. asse colonna-bordo) | = | 1500                              | mm |         |    |
| u1 (perimetro di verifica)     | = | $((2\pi((D/2)+2deff))/4)+d1x+d1y$ | =  | 10184.3 | mm |

**TIPOLOGIA COLONNA**

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| UBICAZIONE |   | A   |
| $\beta$    | = | 1.5 |

**MATERIALI**

|            |   |                                 |     |         |     |
|------------|---|---------------------------------|-----|---------|-----|
| $f_{ywd}$  | = | 391.30                          | MPa | acciaio |     |
| $R_{ck}$   | = | 35                              | MPa | cls     |     |
| $\gamma_c$ | = | 1.5                             |     |         |     |
| $f_{ck}$   | = | $0.83 \times R_{ck}$            | =   | 29.05   | MPa |
| $f_{cd}$   | = | $0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$ | =   | 16.46   | MPa |
| $f_{ctm}$  | = | $0.3 \times (f_{ck})^{2/3}$     | =   | 2.83    | MPa |
| $f_{ctk}$  | = | $0.7 \times f_{ctm}$            | =   | 1.98    | MPa |
| $f_{ctd}$  | = | $f_{ctk} / \gamma_c$            | =   | 1.32    | MPa |

**ARMATURE LONGITUDINALI PER FLESSIONE PRESENTI NELLA PIASTRA**

|              |   |          |                    |                                 |
|--------------|---|----------|--------------------|---------------------------------|
| $\phi_{lx}$  | = | 26       | mm                 | diametro barre X                |
| Numero arm x | = | 10       | 1/m                | numero barre X a ml             |
| $A_{slx}$    | = | 5309.29  | mm <sup>2</sup> /m | area barre X a ml               |
| leffy        | = | 12.98    | m                  | larghezza efficace dir Y        |
| $A_{slx}$    | = | 68903.99 | mm <sup>2</sup>    | acciaio X nella largh. efficace |
| $\phi_{ly}$  | = | 26       | mm                 | diametro barre Y                |
| Numero arm y | = | 10       | 1/m                | numero barre Y a ml             |
| $A_{sly}$    | = | 5309.29  | mm <sup>2</sup> /m | area barre Ya ml                |
| leffx        | = | 12.98    | m                  | larghezza efficace dir X        |
| $A_{sly}$    | = | 68903.99 | mm <sup>2</sup>    | acciaio Y nella largh. efficace |

**SOLLECITAZIONE DI CALCOLO**

|                                     |             |      |       |
|-------------------------------------|-------------|------|-------|
| <b>SFORZO NORMALE PALO</b>          | $V_{Ed} =$  | 5403 | (KN)  |
| <b>MOMENTO FLETTENTE RISULTANTE</b> | $M_{yEd} =$ | 0    | (KNm) |
| <b>SFORZO NORMALE PIASTRA</b>       | $N_{Ed} =$  | 0    | (KN)  |

**TENSIONE TANGENZIALE DI CALCOLO**

|                      |  |      |     |
|----------------------|--|------|-----|
| tensione tangenziale | $v_{Ed} = \beta \times V_{Ed} / (u1 \times d)$ | 0.42 | MPa |
|----------------------|--|------|-----|

**ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO**

|                  |   |        |                                    |
|------------------|---|--------|------------------------------------|
| Crdc             | = | 0.12   | 0,18/γ <sub>c</sub>                |
| k                | = | 1.32   | $1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$         |
| v <sub>min</sub> | = | 0.287  |                                    |
| $\rho_{lx}$      | = | 0.0028 | percentuale armatura tesa X        |
| $\rho_{ly}$      | = | 0.0028 | percentuale armatura tesa Y        |
| $\rho_t$         | = | 0.0028 | percentuale media geometrica       |
| $\sigma_{cp}$    | = | 0.0000 | (MPa) tensione di compressione cls |

**TENSIONE TANGENZIALE LIMITE SENZA ARMATURA**

|                             |      |  |             |                                    |      |       |
|-----------------------------|------|--|-------------|------------------------------------|------|-------|
| $V_{Rd,c}$                  | =    | 0.32   | (MPa)       | $V_{min+0.15 \cdot \alpha_{cp}}$   | 0.29 | (MPa) |
| $V_{Rd,c}$                  | =    | <b>0.32</b>  | (MPa)       | resistenza a taglio cls non armato |      |       |
| <b>Esito verifica</b>       | =    | <b>Verifica a punzonamento non soddisfatta. Armatura necessaria a taglio</b> |             |                                    |      |       |
| <b>Fattore di sicurezza</b> | FS = | $V_{Rd,c}/V_{Ed}$  | <b>0.77</b> |                                    |      |       |

**ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO**

|                                    |   |        |                 |                                  |
|------------------------------------|---|--------|-----------------|----------------------------------|
| $\phi_{st}$                        | = | 16     | mm              | diametro spille                  |
| passo x spilli (il minore dei due) | = | 40     | cm              |                                  |
| passo y spilli                     | = | 20     | cm              |                                  |
| nbr                                | = | 46     |                 | numero di spille su un perimetro |
| d                                  | = | 1913   | mm              | altezza utile media              |
| $\alpha$                           | = | 90     | °               | (spille verticali)               |
| $f_{yw,eff}$                       | = | 391.3  | Mpa             | tensione limite acciaio          |
| $A_{sw}$                           | = | 9162.4 | mm <sup>2</sup> | area di acciaio su un perimetro  |
| sr                                 | = | 400    | mm              | passo radiale                    |

|                             |      |                                 |             |                                      |
|-----------------------------|------|---------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| $V_{Rd,cs}$                 | =    | 1.56                            | (MPa)       | resistenza a taglio cls con armatura |
| <b>Esito verifica</b>       | =    | <b>Ok. Verifica soddisfatta</b> |             |                                      |
| <b>Fattore di sicurezza</b> | FS = | $V_{Rd,cs}/V_{Ed}$              | <b>3.75</b> |                                      |

### 9.7 Verifiche strutturali pali

Per le verifiche strutturali occorre determinare il momento flettente massimo lungo il fusto del palo. La valutazione dello stato di sollecitazione può essere effettuata assimilando il terreno ad un mezzo alla Winkler, costituito da un letto di molle orizzontali indipendenti. Nell'ipotesi di  $k_h$  (coefficiente di reazione orizzontale del terreno) crescente con la profondità, l'equazione differenziale che governa lo spostamento di un palo caricato lateralmente è:

$$E_{palo} \cdot J_{palo} \cdot \frac{d^4 y}{dz^4} + k_h \cdot D \cdot y = 0 \quad \text{con} \quad y = \text{spostamento orizzontale del palo}$$

dove

- $E$  modulo elastico del palo;
- $J$  momento di inerzia del palo;
- $k_h$  coefficiente di sottofondo;
- $D$  larghezza efficace del palo in genere assunta pari a 1.5 volte il diametro del palo.

Tale equazione si può scrivere anche nella forma

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{4}{\lambda^4} \cdot y = 0 \quad \text{con} \quad \lambda = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E_{palo} \cdot J_{palo}}{k_h \cdot D}} = \text{lunghezza caratteristica del palo.}$$

Considerando il palo impedito di ruotare in testa per l'incastro determinato dal plinto, il massimo valore del momento flettente per effetto del carico orizzontale si ha in testa al palo ed è pari a:

$$M_{max} = V\alpha$$

Con  $V$  = forza orizzontale applicata in testa



Il momento agente a quota testa pali è dunque direttamente proporzionale al taglio mediante un coefficiente  $\alpha$  (espresso in metri), dipendente dalle caratteristiche di rigidità relative palo-terreno e dall'eventuale liquefacibilità del suolo.

Nel caso in esame, il momento massimo risulta pari a:

Dove  $\alpha = \lambda / 2$ .

Per la spalla in esame  $\alpha$  è pari a 2.28.

Al di sotto della lunghezza elastica le formazioni e quindi le sollecitazioni si smorzano rapidamente, risultando praticamente indipendenti dalla reale lunghezza del palo.

Per la valutazione del coefficiente  $k_h$  si ipotizza un andamento crescente con la profondità del tipo :

$$k_h = \frac{n_h \cdot z}{D_{palo}}$$

e si assume il valore in corrispondenza della profondità media dello strato reagente. I valori orientativi di  $n_h$  adottati si riferiscono al minimo valore riscontrabile in letteratura per tale tipologia di sottosuolo.

Tabella 7 Valori tipici di  $k_h$  per materiali coesivi (Viaggiani 1999)

| Consistenza                             | Compatta                 | Molto compatta            | Dura               |
|---|--------------------------|---------------------------|--------------------|
| Range [N/cm <sup>3</sup> ]              | ( $c_u=50 \div 100$ kPa) | ( $c_u=100 \div 200$ kPa) | ( $c_u > 200$ kPa) |
| Valore consigliato [N/cm <sup>3</sup> ] | 25                       | 50                        | 100                |

Tabella 8 Valori tipici di  $k_h$  per materiali incoerenti (Viaggiani 1999)

| Tipo di sabbia |   | Sciolto | Medio    | Denso     |
|----------------|---|---------|----------|-----------|
| Non satura     | Range [N/cm <sup>3</sup> ]              | 7 ÷ 20  | 20 ÷ 100 | 100 ÷ 350 |
|                | Valore consigliato [N/cm <sup>3</sup> ] | 15      | 50       | 175       |
| Satura         | [N/cm <sup>3</sup> ]                    | 10      | 30       | 110       |

Tabella 9 Valori orientativi di  $n_h$  per materiali incoerenti (Viaggiani 1999)

| Tipo di sabbia     |                            | Sciolto | Medio | Denso |
|--------------------|----------------------------|---------|-------|-------|
| Sabbie non immerse | $n_h$ [N/cm <sup>3</sup> ] | 2.5     | 7.5   | 20    |
| Sabbie immerse     | $n_h$ [N/cm <sup>3</sup> ] | 1.5     | 5     | 12    |

Tabella 10 Valori orientativi di  $n_h$  per materiali coesivi (Viaggiani 1999)

| Tipo di terreno              | $n_h$ [N/cm <sup>3</sup> ] | Fonte                    |
|------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Argille n.c o debolmente o.c | 0.2 ÷ 3.5                  | Reese e Matlock, 1956    |
|                              | 0.3 ÷ 0.5                  | Davisson e Prakash, 1963 |
| Argilla organica n.c         | 0.1 ÷ 1.0                  | Peck e Davisson, 1970    |
|                              | 0.1 ÷ 0.8                  | Davisson, 1970           |

RELAZIONE DI CALCOLO

|       |               |                      |
|-------|---------------|----------------------|
| Torba | 0.05          | Davisson, 1970       |
|       | 0.03 ÷ 0.80.1 | Wilson e Hilts, 1967 |
| Loess | 8 ÷ 10        | Bowles, 1968         |

Si riportano di seguito i calcoli svolti per l'individuazione delle sollecitazioni massime agenti lungo i pali di fondazione:

| GEOMETRIA DEL PALO |   |   |     |   |
|--------------------|---|---|-----|---|
| Diametro del palo  | D | = | 1.5 | m |

| CARATTERISTICHE DEI MATERIALI        |  |   |       |     |
|--------------------------------------|--|---|-------|-----|
| $R_{ck}$                             |  | = | 35    | MPa |
| $\gamma_c$                           |  | = | 1.5   |     |
| $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck}$        |  | = | 29.05 | MPa |
| $f_{cm} = f_{ck} + 8$                |  | = | 37.05 | MPa |
| $E = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$ |  | = | 32588 | MPa |

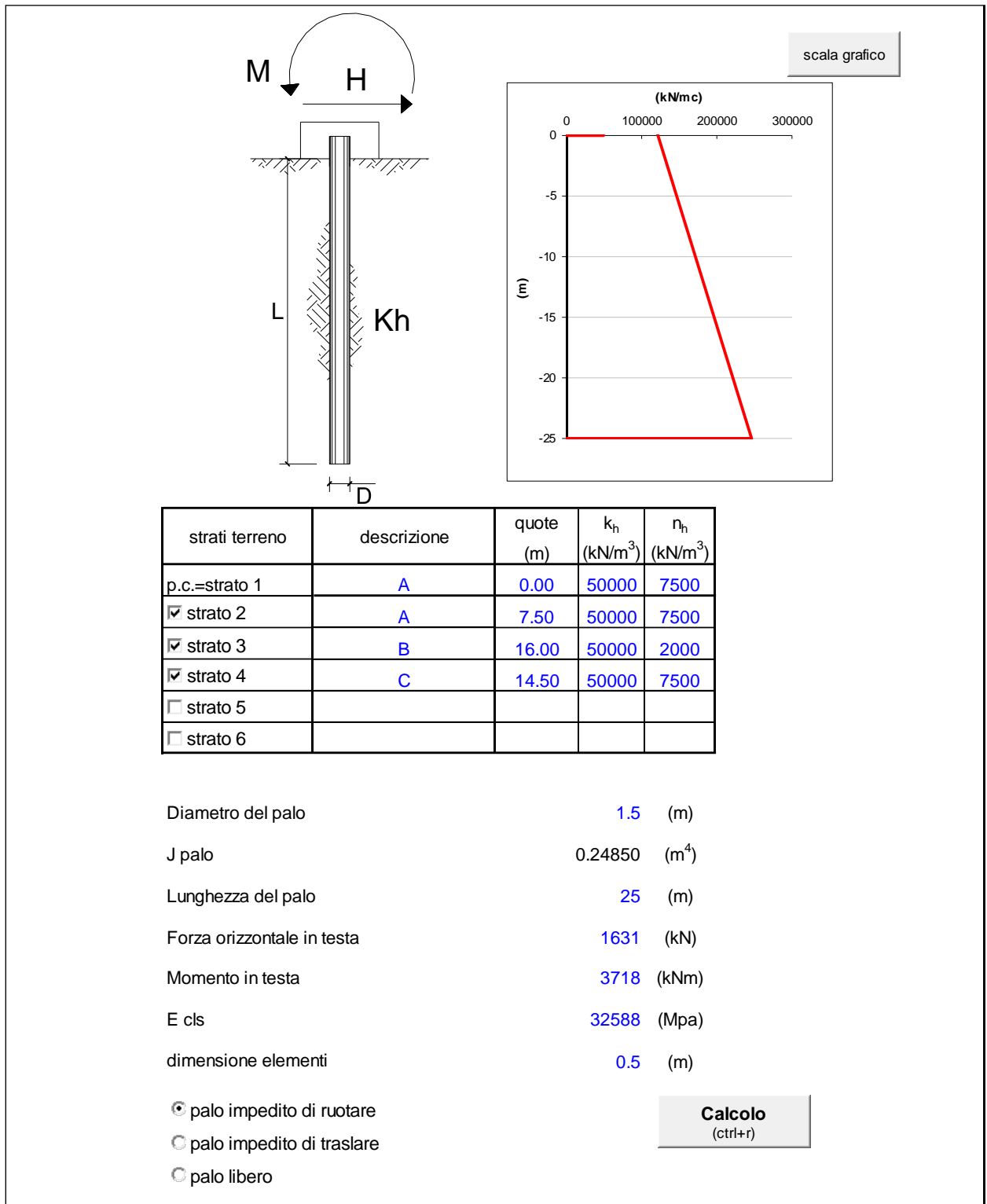
| CARATTERISTICHE DEL TERRENO |   |   |      |                   |
|-----------------------------|---|---|------|-------------------|
| Costante di sottofondo      | K | = | 50.0 | N/cm <sup>3</sup> |
| Costante di sottofondo      | K | = | 0.05 | N/mm <sup>3</sup> |

| SOLLECITAZIONI DI PROGETTO      |   |   |      |    |
|---------------------------------|---|---|------|----|
| Taglio massimo in testa al palo | T | = | 1631 | kN |

| LUNGHEZZA ELASTICA DEL PALO |   |   |          |                   |
|-----------------------------|---|---|----------|-------------------|
| Diametro del palo           | D | = | 1500     | mm                |
| Modulo elastico del palo    | E | = | 32588    | N/mm <sup>2</sup> |
| Inerzia del palo            | J | = | 2.49E+11 | mm <sup>4</sup>   |

|  |           |   |      |   |
|--|-----------|---|------|---|
| Lunghezza elastica ( $L_0 = 1/\lambda$ ) | $\lambda$ | = | 4.56 | m |
|--|-----------|---|------|---|

| MOMENTO MASSIMO IN TESTA AL PALO     |   |   |      |      |
|--------------------------------------|---|---|------|------|
| Momento di progetto $M = T/2\lambda$ | M | = | 3718 | kN*m |



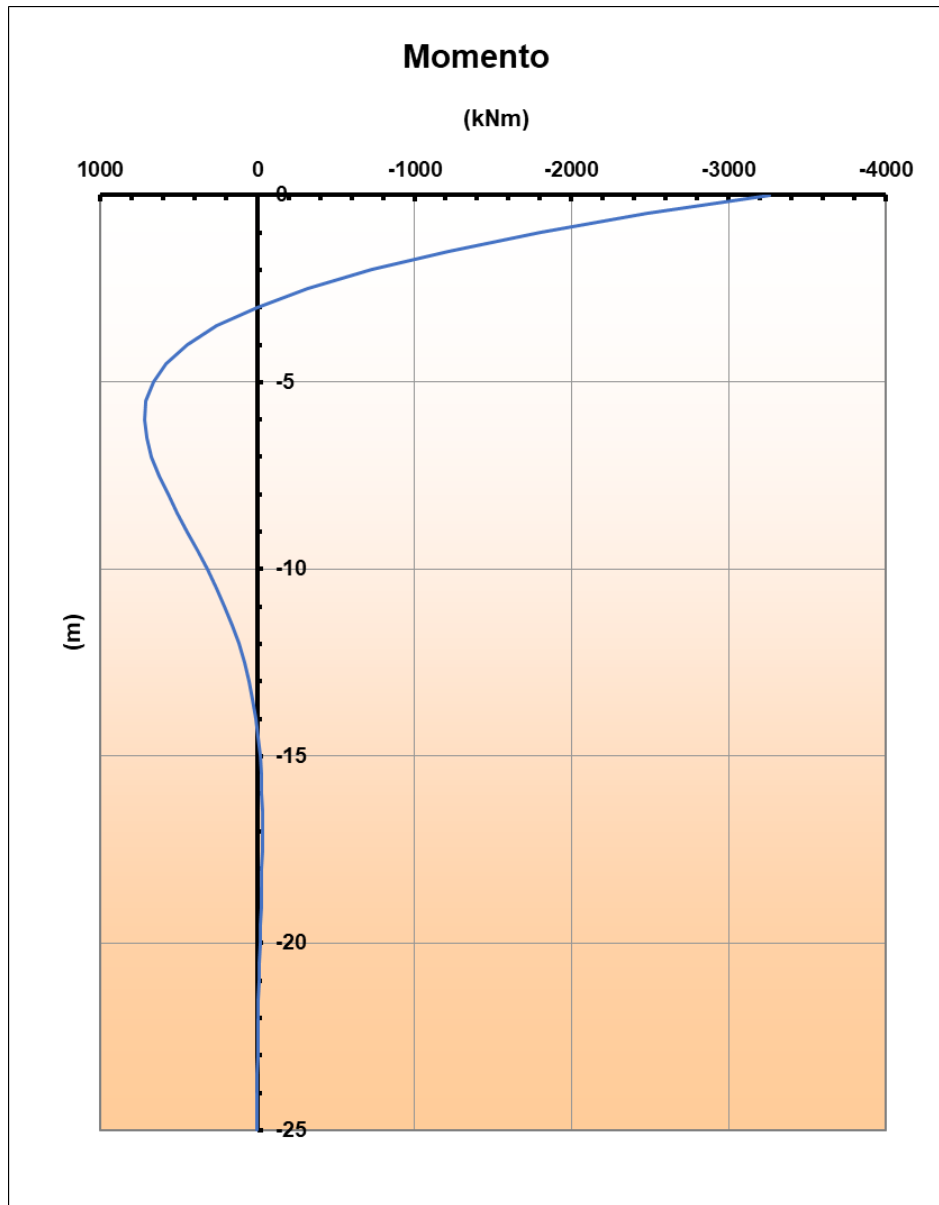


Figura 39 Diagramma del Momento

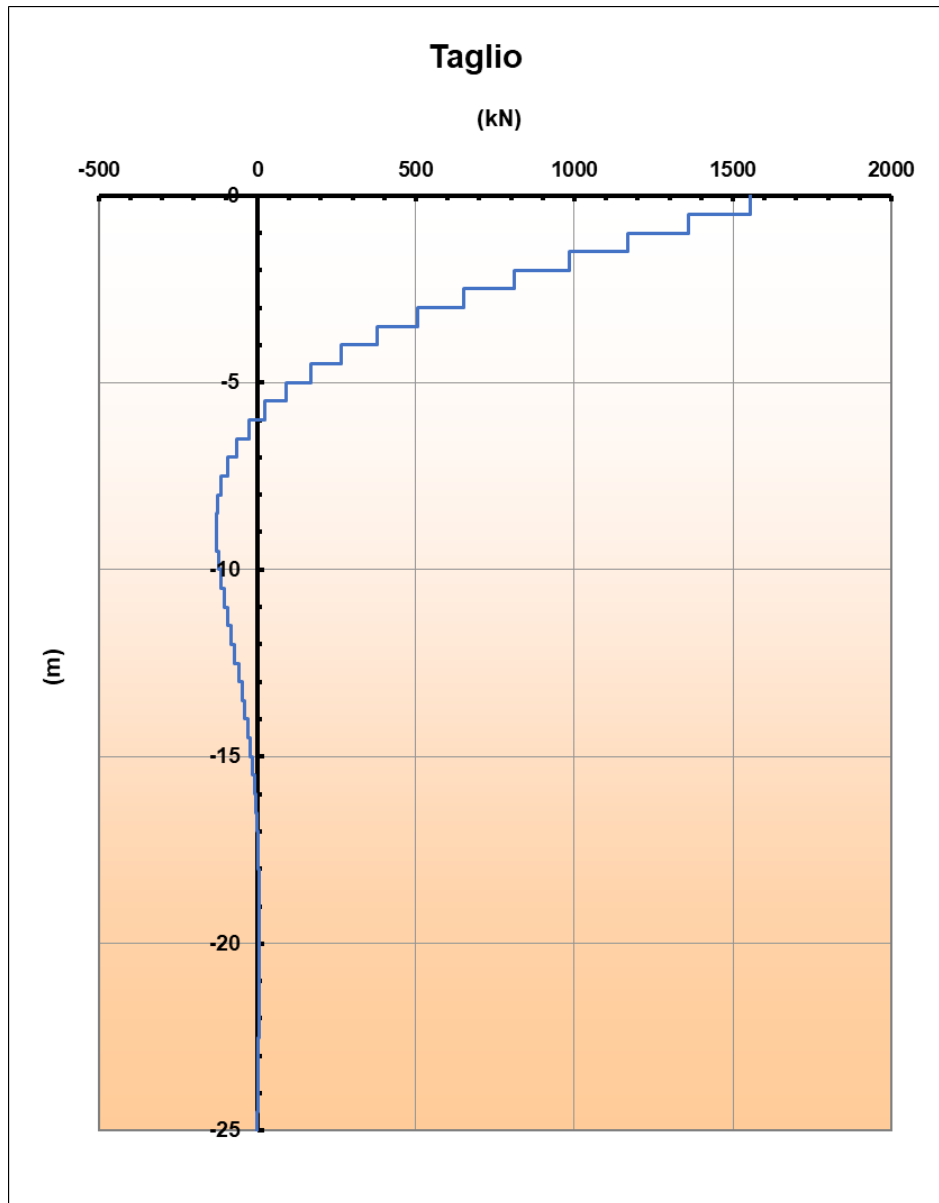
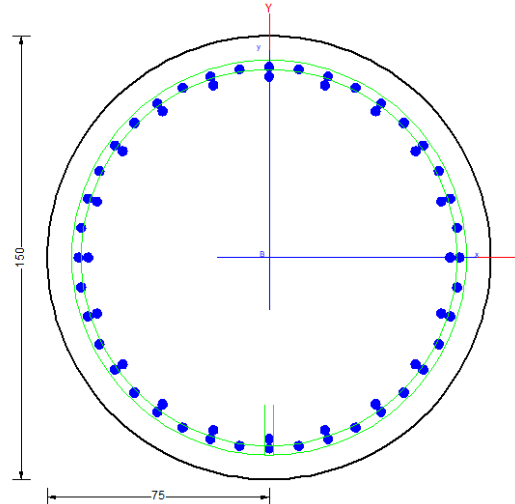


Figura 40 Diagramma del Taglio

I pali saranno armati con uno strato di 40+20Ø32 e con una spirale Ø14/15, necessari per soddisfare la verifica del carico limite orizzontale. Tale armatura costituisce la prima gabbia e si estende per 8 metri. La successiva gabbia sarà realizzata con un'armatura costituita da 40Ø30, fino a circa 16m dalla testa del palo, superiore al limite normativo del 1% dell'area di calcestruzzo per uno sviluppo di almeno 10 diametri. Infine le successive gabbie saranno costituite da 40Ø20, corrispondenti ad un'area complessiva dello 0.7% dell'area di calcestruzzo, superiore al valore minimo previsto dalla normativa, pari a 0.3%.

### 9.7.1 Gabbia 1



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                                      |  |                     |                     |
|--------------------------------------|--|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO -                       | Classe:  | C28/35              |                     |
|                                      | Resis. compr. di progetto fcd:                       | 15.860              | MPa                 |
|                                      | Resis. compr. ridotta fcd':                          | 7.930               | MPa                 |
|                                      | Def.unit. max resistenza ec2:                        | 0.0020              |                     |
|                                      | Def.unit. ultima ecu:                                | 0.0035              |                     |
|                                      | Diagramma tensione-deformaz.:                        | Parabola-Rettangolo |                     |
|                                      | Modulo Elastico Normale Ec:                          | 32308.0             | MPa                 |
|                                      | Resis. media a trazione fctm:                        | 2.760               | MPa                 |
|                                      | Coeff. Omogen. S.L.E.:                               | 15.00               |                     |
|                                      | Coeff. Omogen. S.L.E.:                               | 15.00               |                     |
|                                      | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:                    | 168.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:            | 0.400               | mm                  |
|                                      | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:                 | 0.00                | Mpa                 |
| Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.300  | mm                  |                     |
| ACCIAIO -                            | Tipo:  | B450C               |                     |
|                                      | Resist. caratt. snervam. fyk:                        | 450.00              | MPa                 |
|                                      | Resist. caratt. rottura ftk:                         | 450.00              | MPa                 |
|                                      | Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30              | MPa                 |
|                                      | Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30              | MPa                 |
|                                      | Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068               |                     |
|                                      | Modulo Elastico Ef                                   | 2000000             | daN/cm <sup>2</sup> |
|                                      | Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito    |                     |
|                                      | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00                |                     |
|                                      | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50                |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:         | 360.00   | MPa                 |                     |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Forma del Dominio:   | Circolare |
| Classe Conglomerato: | C28/35    |
| Raggio circ.:        | 75.0 cm   |
| X centro circ.:      | 0.0 cm    |
| Y centro circ.:      | 0.0 cm    |

**DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre  
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate  
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza  
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø  |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1      | 0.0     | 0.0     | 64.5   | 40      | 32 |
| 2      | 0.0     | 0.0     | 61.3   | 20      | 32 |

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 14 mm  
Passo staffe: 15.0 cm  
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

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

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

| N°Comb. | N       | Mx      | My   | Vy     | Vx     |
|---------|---------|---------|------|--------|--------|
| 1       | 1329.00 | 1495.00 | 0.00 | 650.00 | 650.00 |
| 2       | 7024.00 | 1495.00 | 0.00 | 650.00 | 650.00 |

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

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

| N°Comb. | N       | Mx      | My   |
|---------|---------|---------|------|
| 1       | 994.00  | 1125.00 | 0.00 |
| 2       | 5192.00 | 1125.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|---|----|----|
|---------|---|----|----|

|   |         |                       |             |
|---|---------|-----------------------|-------------|
| 1 | 1111.00 | 1042.00 (1871.83)     | 0.00 (0.00) |
| 2 | 4938.00 | 1042.00 (40562046.48) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N       | Mx                | My          |
|---------|---------|-------------------|-------------|
| 1       | 1461.00 | 913.00 (2190.27)  | 0.00 (0.00) |
| 2       | 4190.00 | 913.00 (45874.54) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 8.9 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 6.9 cm |
| Copriferro netto minimo staffe:              | 7.5 cm |

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

|           |  |
|-----------|--|
| Ver       | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |
| N         | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)   |
| Mx        | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My        | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| N Res     | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |
| Mx Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |
| My Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |
| Mis.Sic.  | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Totale | Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]   |

| N°Comb | Ver | N       | Mx      | My   | N Res   | Mx Res   | My Res | Mis.Sic. | As Totale   |
|--------|-----|---------|---------|------|---------|----------|--------|----------|-------------|
| 1      | S   | 1329.00 | 1495.00 | 0.00 | 1329.09 | 9825.55  | 0.00   | 6.57     | 482.5(53.0) |
| 2      | S   | 7024.00 | 1495.00 | 0.00 | 7024.11 | 10895.20 | 0.00   | 7.29     | 482.5(53.0) |

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

|        |  |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | 0.0    | 75.0   | 0.00278 | 0.0    | 64.5   | -0.00612 | 0.0    | -64.5  |
| 2      | 0.00350 | 0.0    | 75.0   | 0.00294 | 0.0    | 64.5   | -0.00394 | 0.0    | -64.5  |



**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d  | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000068978 | -0.001673320 | ---- | ----   |
| 2      | 0.000000000 | 0.000053351 | -0.000501299 | ---- | ----   |

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 14 mm  
Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

| N°Comb | Ver | Ved    | Vcd     | Vwd     | d   z         | bw    | Ctg   | Acw   | Ast | A.Eff     |
|--------|-----|--------|---------|---------|---------------|-------|-------|-------|-----|-----------|
| 1      | S   | 650.00 | 3996.59 | 2109.30 | 119.1   105.1 | 132.8 | 2.500 | 1.047 | 6.3 | 20.5(0.0) |
| 2      | S   | 650.00 | 4524.71 | 1938.57 | 117.0   96.5  | 137.1 | 2.500 | 1.250 | 6.9 | 20.5(0.0) |

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 3.10   | 0.0    | 0.0    | -43.8  | 0.0    | -64.5  | 2049    | 112.6   |
| 2      | S   | 4.22   | 0.0    | 0.0    | 3.7    | 0.0    | -64.5  | 0       | 0.0     |

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

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
Esito della verifica

**RELAZIONE DI CALCOLO**

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk             | Mx fess  | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|----------------|----------|---------|
| 1     | S   | -0.00025 | 0  | 0.500 | 32.0 | 89 | 0.00013 (0.00013) | 402    | 0.053 (990.00) | 1783.15  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |                |          |         |
| 2     | S   | 0.00000  | 0  | 0.500 | 32.0 | 89 | 0.00013 (0.00013) | 0      | 0.003 (990.00) | 55434.35 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |                |          |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 2.90   | 0.0    | 0.0    | -36.9  | 0.0    | -64.5  | 1936    | 96.5    |
| 2      | S   | 3.96   | 0.0    | 0.0    | 4.2    | 0.0    | -64.5  | 0       | 0.0     |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess     | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|-------------|---------|
| 1     | S   | -0.00021 | 0  | 0.500 | 32.0 | 89 | 0.00011 (0.00011) | 412    | 0.046 (0.40) | 1871.83     |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |             |         |
| 2     | S   | 0.00000  | 0  | 0.500 | 32.0 | 89 | 0.00011 (0.00011) | 0      | 0.003 (0.40) | 40562046.48 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |             |         |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 2.62   | 0.0    | 0.0    | -23.7  | 0.0    | -64.5  | 1504    | 80.4    |
| 2      | S   | 3.42   | 0.0    | 0.0    | 2.8    | 0.0    | -64.5  | 0       | 0.0     |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess  | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|----------|---------|
| 1     | S   | -0.00014 | 0  | 0.500 | 32.0 | 89 | 0.00007 (0.00007) | 404    | 0.029 (0.30) | 2190.27  |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |          |         |
| 2     | S   | 0.00000  | 0  | 0.500 | 32.0 | 89 | 0.00007 (0.00007) | 0      | 0.003 (0.30) | 45874.54 |         |
| 0.00  |     |          |    |       |      |    |                   |        |              |          |         |

**DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.**

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

|                |                                 |                     |                     |
|----------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                         | C28/35              |                     |
|                | Resis. compr. di progetto fcd:  | 15.860              | MPa                 |
|                | Resis. compr. ridotta fcd':     | 7.930               | MPa                 |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:   | 0.0020              |                     |
|                | Def.unit. ultima ecu:           | 0.0035              |                     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:   | Parabola-Rettangolo |                     |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:     | 32308.0             | MPa                 |
|                | Resis. media a trazione fctm:   | 2.760               | MPa                 |
| ACCIAIO -      | Tipo:                           | B450C               |                     |
|                | Resist. caratt. snervam. fyk:   | 450.00              | MPa                 |
|                | Resist. caratt. rottura ftk:    | 450.00              | MPa                 |
|                | Resist. snerv. di progetto fyd: | 391.30              | MPa                 |
|                | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.30              | MPa                 |
|                | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068               |                     |
|                | Modulo Elastico Ef              | 2000000             | daN/cm <sup>2</sup> |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:   | Bilineare finito    |                     |

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Forma del Dominio:   | Circolare |
| Classe Conglomerato: | C28/35    |
| Raggio circ.:        | 75.0 cm   |
| X centro circ.:      | 0.0 cm    |
| Y centro circ.:      | 0.0 cm    |

**DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE**

|         |   |  |  |  |  |
|---------|---|--|--|--|--|
| N°Gen.  | Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre                        |  |  |  |  |
| Xcentro | Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  |  |  |  |  |
| Ycentro | Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate |  |  |  |  |
| Raggio  | Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate           |  |  |  |  |
| N°Barre | Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza                  |  |  |  |  |
| Ø       | Diametro [mm] della singola barra generata  |  |  |  |  |

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø  |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1      | 0.0     | 0.0     | 64.5   | 40      | 32 |
| 2      | 0.0     | 0.0     | 58.1   | 20      | 32 |

**ARMATURE A TAGLIO**

|                  |                                    |    |
|------------------|------------------------------------|----|
| Diametro staffe: | 14                                 | mm |
| Passo staffe:    | 15.0                               | cm |
| Staffe:          | Una sola staffa chiusa perimetrale |    |

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

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

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| N°Comb. | N        | Mx      | My   | Vy      | Vx   |
|---------|----------|---------|------|---------|------|
| 1       | -1797.00 | 3751.00 | 0.00 | 1631.00 | 0.00 |
| 2       | 7011.00  | 3751.00 | 0.00 | 1631.00 | 0.00 |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 8.9 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 3.2 cm |
| Copriferro netto minimo staffe:              | 7.5 cm |

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

| N°Comb | Ver | N        | Mx      | My   | N Res    | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale   |
|--------|-----|----------|---------|------|----------|---------|--------|----------|-------------|
| 1      | S   | -1797.00 | 3751.00 | 0.00 | -1796.82 | 5907.27 | 0.00   | 1.57     | 482.5(53.0) |
| 2      | S   | 7011.00  | 3751.00 | 0.00 | 7011.11  | 8626.37 | 0.00   | 2.30     | 482.5(53.0) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00113 | 0.0    | 75.0   | 0.00090 | 0.0    | 64.5   | -0.00196 | 0.0    | -64.5  |
| 2      | 0.00200 | 0.0    | 75.0   | 0.00171 | 0.0    | 64.5   | -0.00189 | 0.0    | -64.5  |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|---|---|---|-----|--------|
| 1      |   |   |   |     |        |
| 2      |   |   |   |     |        |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|   |             |             |              |     |     |
|---|-------------|-------------|--------------|-----|-----|
| 1 | 0.000000000 | 0.000022138 | -0.000528605 | --- | --- |
| 2 | 0.000000000 | 0.000027894 | -0.000092064 | --- | --- |

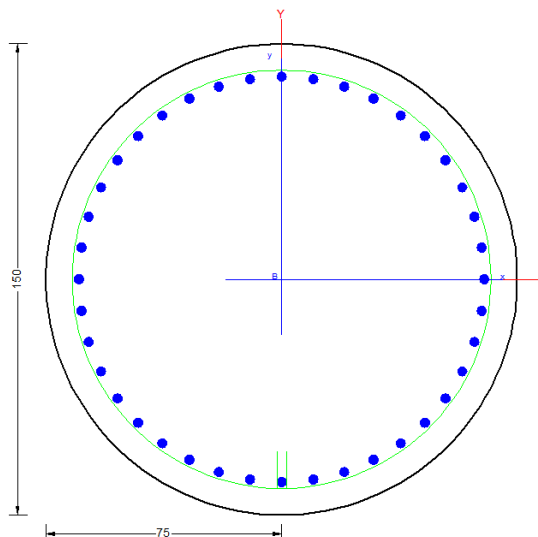
**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 14 mm  
Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direzione del taglio.

| N°Comb | Ver | Ved     | Vcd     | Vwd          | d   z | bw    | Ctg   | Acw   | Ast  | A.Eff     |
|--------|-----|---------|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|
| 1      | S   | 1631.00 | 3801.08 | 2124.01119.6 | 105.8 | 131.4 | 2.500 | 1.000 | 15.8 | 20.5(0.0) |
| 2      | S   | 1631.00 | 4380.34 | 1883.34116.8 | 93.8  | 136.6 | 2.500 | 1.250 | 17.8 | 20.5(0.0) |

**9.7.2Gabbia 2**



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO - Classe: C28/35  
Resis. compr. di progetto fcd: 15.860 MPa

**RELAZIONE DI CALCOLO**

|   |                     |                     |
|---|---------------------|---------------------|
| Resis. compr. ridotta fcd':               | 7.930               | MPa                 |
| Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
| Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
| Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
| Modulo Elastico Normale Ec:               | 32308.0             | MPa                 |
| Resis. media a trazione fctm:             | 2.760               | MPa                 |
| Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
| Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
| Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 168.00              | daN/cm <sup>2</sup> |
| Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400               | mm                  |
| Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:      | 0.00                | Mpa                 |
| Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:      | 0.300               | mm                  |

|           |  |                  |                     |
|-----------|--|------------------|---------------------|
| ACCIAIO - | Tipo:  | B450C            |                     |
|           | Resist. caratt. snervam. fyk:                        | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. caratt. rottura ftk:                         | 450.00           | MPa                 |
|           | Resist. snerv. di progetto fyd:                      | 391.30           | MPa                 |
|           | Resist. ultima di progetto ftd:                      | 391.30           | MPa                 |
|           | Deform. ultima di progetto Epu:                      | 0.068            |                     |
|           | Modulo Elastico Ef                                   | 2000000          | daN/cm <sup>2</sup> |
|           | Diagramma tensione-deformaz.:                        | Bilineare finito |                     |
|           | Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ : | 1.00             |                     |
|           | Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :  | 0.50             |                     |
|           | Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                         | 360.00           | MPa                 |

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Forma del Dominio:   | Circolare |
| Classe Conglomerato: | C28/35    |

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Raggio circ.:   | 75.0 cm |
| X centro circ.: | 0.0 cm  |
| Y centro circ.: | 0.0 cm  |

**DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE**

|         |   |  |  |  |  |
|---------|---|--|--|--|--|
| N°Gen.  | Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre                      |  |  |  |  |
| Xcentro | Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate  |  |  |  |  |
| Ycentro | Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate |  |  |  |  |
| Raggio  | Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate         |  |  |  |  |
| N°Barre | Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza                |  |  |  |  |
| Ø       | Diametro [mm] della singola barra generata  |  |  |  |  |

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø  |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1      | 0.0     | 0.0     | 64.5   | 40      | 30 |

**ARMATURE A TAGLIO**

|                  |                                    |    |
|------------------|------------------------------------|----|
| Diametro staffe: | 12                                 | mm |
| Passo staffe:    | 15.0                               | cm |
| Staffe:          | Una sola staffa chiusa perimetrale |    |

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

|    |   |
|----|---|
| N  | Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)   |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. |

| N°Comb. | N    | Mx     | My   | Vy     | Vx   |
|---------|------|--------|------|--------|------|
| 1       | 0.00 | 570.00 | 0.00 | 125.00 | 0.00 |

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

| N°Comb. | N    | Mx     | My   |
|---------|------|--------|------|
| 1       | 0.00 | 282.00 | 0.00 |

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

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 282.00 (1239.15) | 0.00 (0.00) |

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

| N°Comb. | N    | Mx               | My          |
|---------|------|------------------|-------------|
| 1       | 0.00 | 282.00 (1239.15) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 9.0 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 7.1 cm |
| Copriferro netto minimo staffe:              | 7.8 cm |

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

|     |   |
|-----|---|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata                                  |
| N   | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione) |
| Mx  | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia               |
| My  | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia               |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

| N°Comb | Ver | N    | Mx     | My   | N Res | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale   |
|--------|-----|------|--------|------|-------|---------|--------|----------|-------------|
| 1      | S   | 0.00 | 570.00 | 0.00 | 0.00  | 6006.47 | 0.00   | 10.54    | 282.7(53.0) |

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Xc max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Yc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Xs min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Xs max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Ys max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max  | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1      | 0.00350 | 0.0    | 75.0   | 0.00256 | 0.0    | 64.5   | -0.00904 | 0.0    | -64.5  |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-----|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000089876 | -0.003240691 |     |        |

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 12 mm  
Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lungh.legat.proiettata sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

| N°Comb | Ver | Ved | Vcd | Vwd | d   z | bw | Ctg | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|-----|-----|-----|-------|----|-----|-----|-----|-------|
|--------|-----|-----|-----|-----|-------|----|-----|-----|-----|-------|



**RELAZIONE DI CALCOLO**

1 S 125.00 3818.06 1603.45120.6| 108.7 128.5 2.500 1.000 1.2 15.1(0.0)

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

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 0.97   | 0.0    | 0.0    | -26.0  | 0.0    | -64.5  | 2908    | 77.8    |

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

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk             | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|----------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00015 | 0  | 0.500 | 30.0 | 90 | 0.00008 (0.00008) | 497    | 0.039 (990.00) | 1239.15 | 0.00    |

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

| N°Comb | Ver | Sc max | Xc max | Yc max | Sf min | Xs min | Ys min | Ac eff. | As eff. |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1      | S   | 0.97   | 0.0    | 0.0    | -26.0  | 0.0    | -64.5  | 2908    | 77.8    |

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00015 | 0  | 0.500 | 30.0 | 90 | 0.00008 (0.00008) | 497    | 0.039 (0.40) | 1239.15 | 0.00    |

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

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

RELAZIONE DI CALCOLO

1 S 0.97 0.0 0.0 -26.0 0.0 -64.5 2908 77.8

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

| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | Ø    | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|----------|----|-------|------|----|-------------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | -0.00015 | 0  | 0.500 | 30.0 | 90 | 0.00008 (0.00008) | 497    | 0.039 (0.30) | 1239.15 | 0.00    |

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.  
CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|                |                                 |                     |
|----------------|---------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe:                         | C28/35              |
|                | Resis. compr. di progetto fcd:  | 15.860 MPa          |
|                | Resis. compr. ridotta fcd':     | 7.930 MPa           |
|                | Def.unit. max resistenza ec2:   | 0.0020              |
|                | Def.unit. ultima ecu:           | 0.0035              |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:   | Parabola-Rettangolo |
|                | Modulo Elastico Normale Ec:     | 32308.0 MPa         |
|                | Resis. media a trazione fctm:   | 2.760 MPa           |
| ACCIAIO -      | Tipo:                           | B450C               |
|                | Resist. caratt. snervam. fyk:   | 450.00 MPa          |
|                | Resist. caratt. rottura ftk:    | 450.00 MPa          |
|                | Resist. snerv. di progetto fyd: | 391.30 MPa          |
|                | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.30 MPa          |
|                | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068               |
|                | Modulo Elastico Ef              | 2000000 daN/cm²     |
|                | Diagramma tensione-deformaz.:   | Bilineare finito    |

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare  
Classe Conglomerato: C28/35

Raggio circ.: 75.0 cm  
X centro circ.: 0.0 cm  
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre  
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate  
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza  
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø  |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1      | 0.0     | 0.0     | 64.5   | 40      | 30 |

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe: 15.0 cm  
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| N       | Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  |        |      |        |      |
|---------|--|--------|------|--------|------|
| Mx      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.   |        |      |        |      |
| My      | Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia<br>con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. |        |      |        |      |
| Vy      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  |        |      |        |      |
| Vx      | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x  |        |      |        |      |
| N°Comb. | N  | Mx     | My   | Vy     | Vx   |
| 1       | 0.00   | 570.00 | 0.00 | 125.00 | 0.00 |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 9.0 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 7.1 cm |
| Copriferro netto minimo staffe:              | 7.8 cm |

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

| Ver       | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata   |      |        |      |       |         |        |          |             |
|-----------|--|------|--------|------|-------|---------|--------|----------|-------------|
| N         | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)   |      |        |      |       |         |        |          |             |
| Mx        | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |      |        |      |       |         |        |          |             |
| My        | Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |      |        |      |       |         |        |          |             |
| N Res     | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)   |      |        |      |       |         |        |          |             |
| Mx Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  |      |        |      |       |         |        |          |             |
| My Res    | Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  |      |        |      |       |         |        |          |             |
| Mis.Sic.  | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)<br>Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |      |        |      |       |         |        |          |             |
| As Totale | Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]   |      |        |      |       |         |        |          |             |
| N°Comb    | Ver  | N    | Mx     | My   | N Res | Mx Res  | My Res | Mis.Sic. | As Totale   |
| 1         | S  | 0.00 | 570.00 | 0.00 | 0.00  | 4219.74 | 0.00   | 7.40     | 282.7(53.0) |

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |        |        |         |        |        |          |        |        |
|--------|--|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| Xc max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione                  |        |        |         |        |        |          |        |        |
| Yc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |        |        |         |        |        |          |        |        |
| es min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |        |        |         |        |        |          |        |        |
| Xs min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)            |        |        |         |        |        |          |        |        |
| Ys min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  |        |        |         |        |        |          |        |        |
| es max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |        |        |         |        |        |          |        |        |
| Xs max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)          |        |        |         |        |        |          |        |        |
| Ys max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  |        |        |         |        |        |          |        |        |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |        |        |         |        |        |          |        |        |
| N°Comb | ec max   | Xc max | Yc max | es min  | Xs min | Ys min | es max   | Xs max | Ys max |
| 1      | 0.00109  | 0.0    | 75.0   | 0.00086 | 0.0    | 64.5   | -0.00196 | 0.0    | -64.5  |

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

|         |   |
|---------|---|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.    |
| x/d     | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

| N°Comb | C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue |             |              |     | C.Rid. |
|--------|--|-------------|--------------|-----|--------|
|        | a  | b           | c            | x/d |        |
| 1      | 0.000000000  | 0.000021838 | -0.000547977 |     |        |

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 12 mm  
Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

| N°Comb | Ver | Ved    | Vcd     | Vwd     | d   z | bw    | Ctg   | Acw   | Ast   | A.Eff |           |
|--------|-----|--------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 1      | S   | 125.00 | 3791.23 | 1512.07 | 118.2 | 102.5 | 135.3 | 2.500 | 1.000 | 1.2   | 15.1(0.0) |

## 9.8 Verifiche geotecniche pali

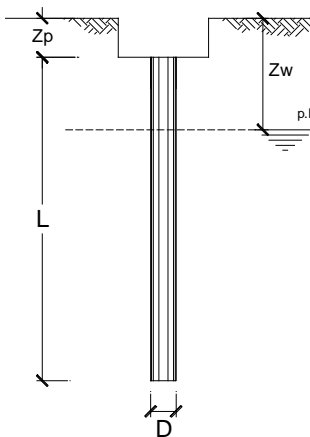
### 9.8.1 Verifica della capacità portante

#### 9.8.1.1 Condizioni drenate

**DATI DI INPUT:**

|  |         |      |   |       |                   |
|--|---------|------|---|-------|-------------------|
| Diametro del Palo (D):                       | 1.50    | (m)  | Area del Palo (A <sub>p</sub> ):        | 1.767 | (m <sup>2</sup> ) |
| Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ): | 3.00    | (m)  | Quota falda dal p.c. (z <sub>w</sub> ): | 4.50  | (m)               |
| Carico Assiale Permanente (G):               | 8333.46 | (kN) | Carico Assiale variabile (Q):           | 0     | (kN)              |
| Numero di strati                             | 3       |      | L <sub>palo</sub> =                     | 38.00 | (m)               |

| coefficienti parziali    |          | azioni         |                | resistenza laterale e di base |                |                                      |      |
|--------------------------|----------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------------|------|
| Metodo di calcolo        |          | permanenti     | variabili      | γ <sub>b</sub>                | γ <sub>s</sub> | γ <sub>s<traz< sub=""></traz<></sub> |      |
|                          |          | γ <sub>G</sub> | γ <sub>Q</sub> |                               |                |                                      |      |
| SLU                      | A1+M1+R1 | ○              | 1.30           | 1.50                          | 1.00           | 1.00                                 | 1.00 |
|                          | A2+M1+R2 | ○              | 1.00           | 1.30                          | 1.70           | 1.45                                 | 1.60 |
|                          | A1+M1+R3 | ○              | 1.30           | 1.50                          | 1.35           | 1.15                                 | 1.25 |
|                          | SISMA    | ○              | 1.00           | 1.00                          | 1.35           | 1.15                                 | 1.25 |
| DM88                     |          | ○              | 1.00           | 1.00                          | 1.00           | 1.00                                 | 1.00 |
| definiti dal progettista |          | ●              | 1.00           | 1.00                          | 1.35           | 1.15                                 | 1.25 |



| n              | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ξ <sub>s</sub> | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| ξ <sub>t</sub> | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

**PARAMETRI MEDI**

| Strato | Spess (m) | Tipo di terreno | Parametri del terreno  |              |           |                          |
|--------|-----------|-----------------|------------------------|--------------|-----------|--------------------------|
|        |           |                 | γ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' med (kPa) | φ med (°) | c <sub>u</sub> med (kPa) |
| 1      | 7.50      | A               | 19.50                  | 15.0         | 26.0      |                          |
| 2      | 16.00     | B               | 20.00                  | 15.0         | 29.0      |                          |
| 3      | 14.50     | C               | 21.00                  | 12.5         | 34.0      |                          |

| Coefficienti di Calcolo |      |     |     |
|-------------------------|------|-----|-----|
| k                       | μ    | a   | α   |
| (-)                     | (-)  | (-) | (-) |
| 0.56                    | 0.49 |     |     |
| 0.52                    | 0.55 |     |     |
| 0.44                    | 0.67 |     |     |

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del pinto)

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

| Strato | Spess (m) | Tipo di terreno | Parametri del terreno  |              |           |                          |
|--------|-----------|-----------------|------------------------|--------------|-----------|--------------------------|
|        |           |                 | γ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' min (kPa) | φ min (°) | c <sub>u</sub> min (kPa) |
| 1      | 7.50      | A               | 19.50                  | 15.0         | 26.0      |                          |
| 2      | 16.00     | B               | 20.00                  | 15.0         | 29.0      |                          |
| 3      | 14.50     | C               | 21.00                  | 12.5         | 34.0      |                          |

| Coefficienti di Calcolo |      |     |     |
|-------------------------|------|-----|-----|
| k                       | μ    | a   | α   |
| (-)                     | (-)  | (-) | (-) |
| 0.56                    | 0.49 |     |     |
| 0.52                    | 0.55 |     |     |
| 0.44                    | 0.67 |     |     |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**RISULTATI**

| Strato | Spess | Tipo di terreno | media       |           |           |             |             | minima (solo SLU) |           |           |             |             |
|--------|-------|-----------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
|        |       |                 | Qsi<br>(kN) | Nq<br>(-) | Nc<br>(-) | qb<br>(kPa) | Qbm<br>(kN) | Qsi<br>(kN)       | Nq<br>(-) | Nc<br>(-) | qb<br>(kPa) | Qbm<br>(kN) |
| 1      | 7.50  | A               | 1041.9      |           |           |             |             | 1041.9            |           |           |             |             |
| 2      | 16.00 | B               | 4839.3      |           |           |             |             | 4839.3            |           |           |             |             |
| 3      | 14.50 | C               | 7811.6      | 13.97     | 19.23     | 6725.5      | 11884.9     | 7811.6            | 13.97     | 19.23     | 6725.5      | 11884.9     |
|        |       |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |
|        |       |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |
|        |       |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |
|        |       |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$Nd = Ng \cdot \gamma_g + Nq \cdot \gamma_q$$

$$Nd = 8333.5 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b;cal \text{ med}} = 11884.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s;cal \text{ med}} = 13692.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c;cal \text{ med}} = 25577.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b;cal \text{ min}} = 11884.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s;cal \text{ min}} = 13692.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c;cal \text{ min}} = 25577.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 6991.1 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 8054.6 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 15045.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 12182.6 \text{ (kN)}$$

$$Fs = R_{c,d} / Nd$$

$$Fs = 1.46$$

### 9.8.1.2 Condizioni non drenate

#### CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

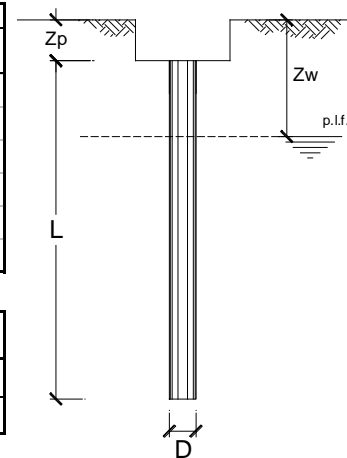
**CANTIERE:** Spalla 1

**OPERA:**

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.50 (m) Area del Palo (A<sub>p</sub>): 1.767 (m<sup>2</sup>)  
Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 3.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 4.50 (m)  
Carico Assiale Permanente (G): 8333.46 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
Numero di strati 3 L<sub>palo</sub> = 38.00 (m)

| coefficienti parziali    |          | azioni         |                | resistenza laterale e di base |                |                     |
|--------------------------|----------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|---------------------|
| Metodo di calcolo        |          | permanenti     | variabili      | γ <sub>b</sub>                | γ <sub>s</sub> | γ <sub>s</sub> traz |
|                          |          | γ <sub>G</sub> | γ <sub>Q</sub> |                               |                |                     |
| SLU                      | A1+M1+R1 | 1.30           | 1.50           | 1.00                          | 1.00           | 1.00                |
|                          | A2+M1+R2 | 1.00           | 1.30           | 1.70                          | 1.45           | 1.60                |
|                          | A1+M1+R3 | 1.30           | 1.50           | 1.35                          | 1.15           | 1.25                |
|                          | SISMA    | 1.00           | 1.00           | 1.35                          | 1.15           | 1.25                |
| DM88                     |          | 1.00           | 1.00           | 1.00                          | 1.00           | 1.00                |
| definiti dal progettista |          | 1.00           | 1.00           | 1.35                          | 1.15           | 1.25                |



| n              | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ξ <sub>s</sub> | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| ξ <sub>t</sub> | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

#### PARAMETRI MEDI

| Strato | Spess (m) | Tipo di terreno | Parametri del terreno  |              |            |                          |
|--------|-----------|-----------------|------------------------|--------------|------------|--------------------------|
|        |           |                 | γ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' med (kPa) | φ' med (°) | c <sub>u</sub> med (kPa) |
| 1      | 7.50      | A               | 19.50                  | 10.0         | 25.0       |                          |
| 2      | 16.00     | B               | 20.00                  |              |            | 200.0                    |
| 3      | 14.50     | C               | 21.00                  | 10.0         | 34.0       |                          |

| Coefficienti di Calcolo |      |   |      |
|-------------------------|------|---|------|
| k                       | μ    | a | α    |
| 0.58                    | 0.47 |   |      |
| 0.00                    | 0.00 |   | 0.40 |
| 0.44                    | 0.67 |   |      |

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

#### PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

| Strato | Spess (m) | Tipo di terreno | Parametri del terreno  |              |            |                          |
|--------|-----------|-----------------|------------------------|--------------|------------|--------------------------|
|        |           |                 | γ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' min (kPa) | φ' min (°) | c <sub>u</sub> min (kPa) |
| 1      | 7.50      | A               | 19.50                  | 10.0         | 25.0       |                          |
| 2      | 16.00     | B               | 20.00                  |              |            | 200.0                    |
| 3      | 14.50     | C               | 21.00                  | 10.0         | 34.0       |                          |

| Coefficienti di Calcolo |      |   |      |
|-------------------------|------|---|------|
| k                       | μ    | a | α    |
| 0.58                    | 0.47 |   |      |
| 0.00                    | 0.00 |   | 0.40 |
| 0.44                    | 0.67 |   |      |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**RISULTATI**

| Strato | Spess<br>(-)<br>(m) | Tipo di terreno | media       |           |           |             |             | minima (solo SLU) |           |           |             |             |
|--------|---------------------|-----------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
|        |                     |                 | Qsi<br>(kN) | Nq<br>(-) | Nc<br>(-) | qb<br>(kPa) | Qbm<br>(kN) | Qsi<br>(kN)       | Nq<br>(-) | Nc<br>(-) | qb<br>(kPa) | Qbm<br>(kN) |
| 1      | 7.50                | A               | 1024.1      |           |           |             |             | 1024.1            |           |           |             |             |
| 2      | 16.00               | B               | 6031.9      |           |           |             |             | 6031.9            |           |           |             |             |
| 3      | 14.50               | C               | 7811.6      | 13.97     | 19.23     | 6677.4      | 11800.0     | 7811.6            | 13.97     | 19.23     | 6677.4      | 11800.0     |
|        |                     |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |
|        |                     |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |
|        |                     |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |
|        |                     |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |
|        |                     |                 |             |           |           |             |             |                   |           |           |             |             |

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 8333.5 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

$$\text{base } R_{b;\text{cal med}} = 11800.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s;\text{cal med}} = 14867.6 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c;\text{cal med}} = 26667.6 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

$$\text{base } R_{b;\text{cal min}} = 11800.0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s;\text{cal min}} = 14867.6 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c;\text{cal min}} = 26667.6 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b;\text{cal med}}/\xi_3 ; R_{b;\text{cal min}}/\xi_4) = 6941.2 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s;\text{cal med}}/\xi_3 ; R_{s;\text{cal min}}/\xi_4) = 8745.7 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 15686.8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 12746.5 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.53$$



**9.8.1.3 Palo in trazione**

Si riporta la verifica del palo soggetto a trazione. Al valore della sollecitazione di calcolo è stato sottratto il peso proprio del palo.

**CANTIERE:** Spalla 1

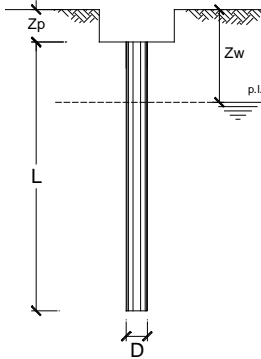
**OPERA:**

VI

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.50 (m) Area del Palo (Ap): 1.767 (m<sup>2</sup>)  
Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 3.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>a</sub>): 4.50 (m)  
Carico Assiale Permanente (G): -789.73 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
Numero di strati 3 Lpalo = 38.00 (m)

| coefficienti parziali    |          | azioni         |                | resistenza laterale e di base |                |                       |
|--------------------------|----------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|
| Metodo di calcolo        |          | permanenti     | variabili      | γ <sub>b</sub>                | γ <sub>s</sub> | γ <sub>s, traz.</sub> |
|                          |          | γ <sub>G</sub> | γ <sub>Q</sub> |                               |                |                       |
| SLU                      | A1+M1+R1 | 1.30           | 1.50           | 1.00                          | 1.00           | 1.00                  |
|                          | A2+M1+R2 | 1.00           | 1.30           | 1.70                          | 1.45           | 1.60                  |
|                          | A1+M1+R3 | 1.30           | 1.50           | 1.35                          | 1.15           | 1.25                  |
|                          | SISMA    | 1.00           | 1.00           | 1.35                          | 1.15           | 1.25                  |
| DM88                     |          | 1.00           | 1.00           | 1.00                          | 1.00           | 1.00                  |
| definiti dal progettista |          | 1.00           | 1.00           | 1.35                          | 1.15           | 1.25                  |



| n               | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ξ <sub>si</sub> | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| ξ <sub>si</sub> | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

**PARAMETRI MEDI**

| Strato | Spess (m) | Tipo di terreno | Parametri del terreno  |                        |                      |                          |
|--------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
|        |           |                 | γ (kN/m <sup>3</sup> ) | c <sub>med</sub> (kPa) | φ <sub>med</sub> (°) | c <sub>u med</sub> (kPa) |
| 1      | 7.50      | A               | 19.50                  | 10.0                   | 25.0                 |                          |
| 2      | 16.00     | B               | 20.00                  |                        |                      | 200.0                    |
| 3      | 14.50     | C               | 21.00                  | 10.0                   | 34.0                 |                          |

| Coefficienti di Calcolo |      |     |      |
|-------------------------|------|-----|------|
| k                       | μ    | a   | α    |
| (-)                     | (-)  | (-) | (-)  |
| 0.58                    | 0.47 |     |      |
| 0.00                    | 0.00 |     | 0.40 |
| 0.44                    | 0.67 |     |      |

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradesso del plinto)

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

| Strato | Spess (m) | Tipo di terreno | Parametri del terreno  |                        |                      |                          |
|--------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
|        |           |                 | γ (kN/m <sup>3</sup> ) | c <sub>min</sub> (kPa) | φ <sub>min</sub> (°) | c <sub>u min</sub> (kPa) |
| 1      | 7.50      | A               | 19.50                  | 10.0                   | 25.0                 |                          |
| 2      | 16.00     | B               | 20.00                  |                        |                      | 200.0                    |
| 3      | 14.50     | C               | 21.00                  | 10.0                   | 34.0                 |                          |

| Coefficienti di Calcolo |      |     |      |
|-------------------------|------|-----|------|
| k                       | μ    | a   | α    |
| (-)                     | (-)  | (-) | (-)  |
| 0.58                    | 0.47 |     |      |
| 0.00                    | 0.00 |     | 0.40 |
| 0.44                    | 0.67 |     |      |

**RISULTATI**

| Strato | Spess (m) | Tipo di terreno | media                |                    |                    |                      |                      | minima (solo SLU)    |                    |                    |                      |                      |
|--------|-----------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
|        |           |                 | Q <sub>si</sub> (kN) | N <sub>q</sub> (-) | N <sub>c</sub> (-) | q <sub>b</sub> (kPa) | Q <sub>bm</sub> (kN) | Q <sub>si</sub> (kN) | N <sub>q</sub> (-) | N <sub>c</sub> (-) | q <sub>b</sub> (kPa) | Q <sub>bm</sub> (kN) |
| 1      | 7.50      | A               | 1024.1               |                    |                    |                      |                      | 1024.1               |                    |                    |                      |                      |
| 2      | 16.00     | B               | 6031.9               |                    |                    |                      |                      | 6031.9               |                    |                    |                      |                      |
| 3      | 14.50     | C               | 7811.6               | 13.97              | 19.23              | 6677.4               | 11800.0              | 7811.6               | 13.97              | 19.23              | 6677.4               | 11800.0              |

**RELAZIONE DI CALCOLO**

CARICO ASSIALE AGENTE

$$Nd = Ng \cdot \gamma_g + Nq \cdot \gamma_q$$

$$Nd = -789.7 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{b,cal \text{ med}} = .0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ med}} = 14867.6 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ med}} = 14867.6 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

$$\text{base } R_{b,cal \text{ min}} = .0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal \text{ min}} = 14867.6 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal \text{ min}} = 14867.6 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = .0 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 8745.7 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 8745.7 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 6996.5 \text{ (kN)}$$

$$Fs = R_{c,d} / Nd$$

$$Fs = 8.86$$

## 9.8.2 Verifica del carico limite orizzontale

### 9.8.2.1 Condizioni drenate

Si riportano le verifiche per le situazioni più gravose, sia in condizioni drenate sia in condizioni non drenate.

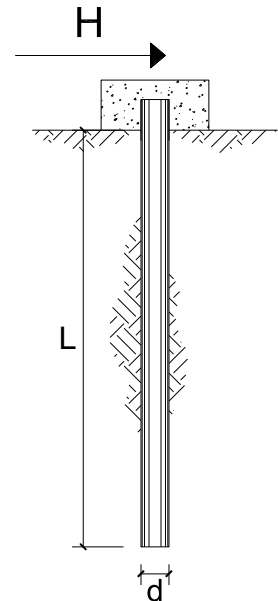
#### **CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA**

**OPERA:**

**TEORIA DI BASE:**

(Broms, 1964)

| coefficienti parziali    |          |   | A          |            | M             | R             |
|--------------------------|----------|---|------------|------------|---------------|---------------|
| Metodo di calcolo        |          |   | permanenti | variabili  | $\gamma_\phi$ | $\gamma_\tau$ |
|                          |          |   | $\gamma_G$ | $\gamma_Q$ |               |               |
| SLU                      | A1+M1+R1 | ○ | 1.30       | 1.50       | 1.00          | 1.00          |
|                          | A2+M1+R2 | ○ | 1.00       | 1.30       | 1.00          | 1.60          |
|                          | A1+M1+R3 | ○ | 1.30       | 1.50       | 1.00          | 1.30          |
|                          | SISMA    | ○ | 1.00       | 1.00       | 1.00          | 1.30          |
| DM88                     |          |   | ○          | 1.00       | 1.00          | 1.00          |
| definiti dal progettista |          |   | ●          | 1.00       | 1.00          | 1.30          |



| n       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.40  |
| $\xi_4$ | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.40  |

Palo corto: 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**DATI DI INPUT:**

|  |                      |         |                      |                      |           |
|--|----------------------|---------|----------------------|----------------------|-----------|
| Lunghezza del palo   | L =                  | 38.00   | (m)                  |                      |           |
| Diametro del palo  | d =                  | 1.50    | (m)                  |                      |           |
| Momento di plasticizzazione della sezione                                    | My =                 | 8985.73 | (kN m)               |                      |           |
| Angolo di attrito del terreno  | $\varphi'_{med} =$   | 25.00   | (°)                  | $\varphi'_{min} =$   | 25.00 (°) |
| Angolo di attrito di calcolo del terreno                                     | $\varphi'_{med,d} =$ | 25.00   | (°)                  | $\varphi'_{min,d} =$ | 25.00 (°) |
| Coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1 + \sin\varphi') / (1 - \sin\varphi')$ ) | $k_{p_{med}} =$      | 2.46    | (-)                  | $k_{p_{min}} =$      | 2.46 (-)  |
| Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$ )                      | $\gamma =$           | 9.50    | (kN/m <sup>3</sup> ) |                      |           |
| Carico Assiale Permanente (G):   | G =                  | 650     | (kN)                 |                      |           |
| Carico Assiale variabile (Q):  | Q =                  |         | (kN)                 |                      |           |

Palo corto:

$$H1_{med} = 76049.90 \quad (kN) \qquad H1_{min} = 76049.90 \quad (kN)$$

Palo intermedio:

$$H2_{med} = 25586.43 \quad (kN) \qquad H2_{min} = 25586.43 \quad (kN)$$

Palo lungo:

$$H3_{med} = 3371.06 \quad (kN) \qquad H3_{min} = 3371.06 \quad (kN)$$

$$H_{med} = 3371.06 \quad (kN) \quad \text{palo lungo} \qquad H_{min} = 3371.06 \quad (kN) \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 1982.97 \quad (kN)$$

$$H_d = H_k / \gamma_T = 1525.36 \quad (kN)$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 650.00 \quad (kN)$$

$$FS = H_d / F_d = 2.35$$

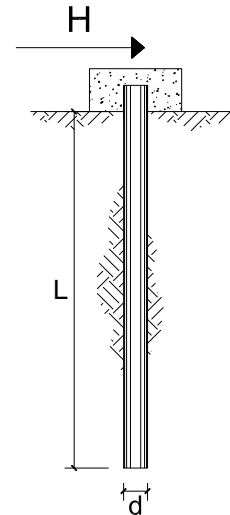
### 9.8.2.2 Condizioni non drenate

**CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI COESIVI  
PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA**

**OPERA:**

**TEORIA DI BASE:**

(Broms, 1964)



| coefficienti parziali    |          |   | A          |            | M             | R          |
|--------------------------|----------|---|------------|------------|---------------|------------|
| Metodo di calcolo        |          |   | permanenti | variabili  | $\gamma_{cu}$ | $\gamma_T$ |
|                          |          |   | $\gamma_G$ | $\gamma_Q$ |               |            |
| SLU                      | A1+M1+R1 | ○ | 1.30       | 1.50       | 1.00          | 1.00       |
|                          | A2+M1+R2 | ○ | 1.00       | 1.30       | 1.00          | 1.60       |
|                          | A1+M1+R3 | ○ | 1.30       | 1.50       | 1.00          | 1.30       |
|                          | SISMA    | ○ | 1.00       | 1.00       | 1.00          | 1.30       |
| DM88                     |          |   | ○          | 1.00       | 1.00          | 1.00       |
| definiti dal progettista |          |   | ●          | 1.00       | 1.00          | 1.30       |

| n       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\xi_s$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| $\xi_d$ | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

*Palo corto:* 
$$H = 9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

*Palo intermedio:* 
$$H = -9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4 M_y}{9 c_u d^3}} + 4.5$$

*Palo lungo:* 
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

**DATI DI INPUT:**

|   |                        |         |        |                        |              |
|---|------------------------|---------|--------|------------------------|--------------|
| Lunghezza del palo                        | L =                    | 38.00   | (m)    |                        |              |
| Diametro del palo                         | d =                    | 1.50    | (m)    |                        |              |
| Momento di plasticizzazione della sezione | My =                   | 8985.73 | (kN m) |                        |              |
| Coesione non drenata                      | C <sub>u med</sub> =   | 200.00  | (kPa)  | C <sub>u min</sub> =   | 200.00 (kPa) |
| Coesione non drenata di progetto          | C <sub>u med,d</sub> = | 200.00  | (kPa)  | C <sub>u min,d</sub> = | 200.00 (kPa) |
| Carico Assiale Permanente (G):            | G =                    | 1631    | (kN)   |                        |              |
| Carico Assiale variabile (Q):             | Q =                    |         | (kN)   |                        |              |

Palo corto:

$$H1_{med} = 96525.00 \text{ (kN)} \quad H1_{min} = 96525.00 \text{ (kN)}$$

Palo intermedio:

$$H2_{med} = 37010.89 \text{ (kN)} \quad H2_{min} = 37010.89 \text{ (kN)}$$

Palo lungo:

$$H3_{med} = 5498.74 \text{ (kN)} \quad H3_{min} = 5498.74 \text{ (kN)}$$

$$H_{med} = 5498.74 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo} \quad H_{min} = 5498.74 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 3234.55 \text{ (kN)}$$

$$H_d = H_k/\gamma_T = 2488.12 \text{ (kN)}$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 1631.00 \text{ (kN)}$$

$$FS = H_d / F_d = 1.53$$

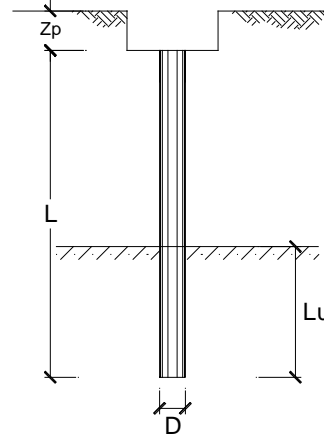
### 9.8.3 Valutazione dei cedimenti

#### CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA

**OPERA:** VI

**DATI DI IMPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.50 (m)  
Carico sul palo (P): 6199.3 (kN)  
Lunghezza del Palo (L): 38.00 (m)  
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 14.00 (m)  
Modulo di Deformazione (E): 60.00 (MPa)  
Numero di pali della Palificata (n): 11 (-)  
Spaziatura dei pali (s): 4.5 (m)



**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): 1.47 (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}} = 10.85 \text{ (mm)}$$

**CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:**

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n \cdot s / L)^{0,5} \quad R = 1.141$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta = 11 \cdot 0.54 \cdot 10.85 = 64.19 \text{ (mm)}$$

## 9.9 VERIFICHE DEI BAGGIOLI

Il dimensionamento e la verifica dell'armatura a tranciamento e di quella trasversale a fenditura dei baggioli, è stato eseguito in funzione delle massime azioni registrate sugli apparecchi di appoggio allo Stato Limite Ultimo (condizioni statiche) e allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) da spettro elastico (condizioni sismiche).

### 9.9.1 Verifica pressione nel calcestruzzo

Si riporta di seguito la verifica.

| VERIFICA A PRESSIONE NEL CALCESTRUZZO |                  |                   |                                |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|
| Reazione verticale dell'appoggio      | P                | 4408              | kN                             |
| Dimensione appoggio                   | a                | 0.95              | m                              |
| Dimensione baggiolo                   | d                | 1.00              | m                              |
| Area caricata                         | A <sub>car</sub> | 0.90              | m <sup>2</sup>                 |
| Tensione nel calcestruzzo             | $\sigma_{cis}$   | 4.88              | MPa                            |
|                                       | <                | f <sub>cd</sub> = | 18.8 MPa <b>Ok. Verificato</b> |

### 9.9.2 Verifica armatura a tranciamento

L'armatura longitudinale si dimensiona a tranciamento.

Si riporta di seguito la verifica.

| DIMENSIONAMENTO ARMATURA A TRANCIAMENTO (LONGITUDINALE) |                |         |                 |
|---|----------------|---------|-----------------|
| Massimo taglio agente                                   | T              | 330     | kN              |
| Tensione snervamento acciaio                            | f <sub>d</sub> | 391.30  | MPa             |
| Area minima   | A              | 14.61   | cm <sup>2</sup> |
| Numero di bracci  | n              | 24      | -               |
| Diametro  | $\phi$         | 16      | mm              |
| Area resistente   | A <sub>R</sub> | 48.2304 | cm <sup>2</sup> |
| Fattore di sicurezza                                    | F <sub>s</sub> | 3.30    | -               |

### 9.9.3 Verifica armatura trasversale

L'armatura trasversale si dimensiona in base alla forza di fenditura.

Il baggiolo di dimensione d su cui è poggiato l'apparecchio di appoggio di dimensione a soggetto ad una forza P avrà un andamento delle isostatiche di compressione di questo tipo:



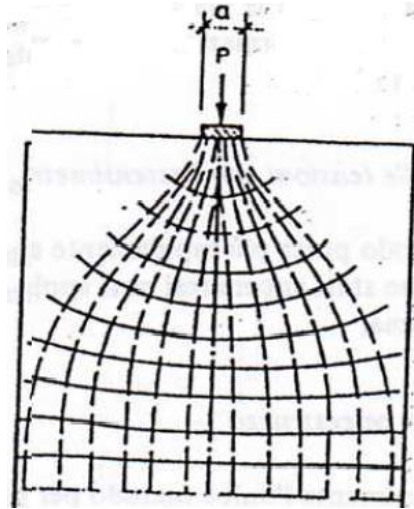


Figura 41: Andamento delle isostatiche di compressione

La curva delle tensioni di trazione trasversale  $\sigma_y$  risulta essere quella riportata nella Figura di seguito.

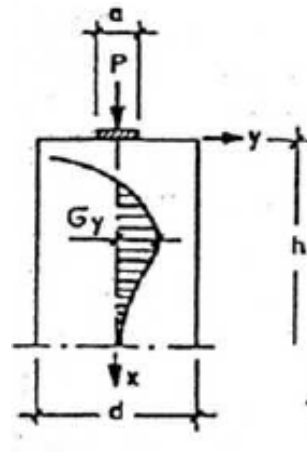


Figura 42: Curva delle tensioni di trazione trasversale  $\sigma_y$

Con l'area delle tensioni di trazione si ottiene la forza di fenditura  $T = \int \sigma_y dx$  con la quale si deve dimensionare l'armatura. Tale forza è pari a:

$$T = 0,25 \cdot P \cdot \left(1 - \frac{a}{d}\right)$$

Di seguito si esibisce la verifica dell'armatura resistente alla massima forza di fenditura.

| <b>DIMENSIONAMENTO ARMATURA TRASVERSALE</b> |            |              |                 |
|---|------------|--------------|-----------------|
| Massima forza di fenditura                  | $F_{fend}$ | <b>55</b>    | kN              |
| Tensione snervamento acciaio                | $f_d$      | 391.30       | MPa             |
| Area minima                                 | A          | 1.41         | cm <sup>2</sup> |
| Diametro                                    | $\phi$     | <b>12</b>    | mm              |
| Altezza utile di disposizione dell'armatura | h          | <b>19.50</b> | cm              |
| Passo                                       | s          | <b>10</b>    | cm              |
| Area resistente                             | $A_R$      | 22.61        | cm <sup>2</sup> |
| <b>Fattore di sicurezza</b>                 | <b>Fs</b>  | <b>16.06</b> | -               |

## 9.10 Verifiche dei ritegni

### 9.10.1 Verifica puntone-tirante

#### VERIFICA STRUT&TIE (PUNTONE TIRANTE)

|  |       |      |    |
|--|-------|------|----|
| Larghezza mensola                      | b     | 2000 | mm |
| Altezza mensola                        | h     | 750  | mm |
| Copriferro tirante principale all'asse | c     | 55   | mm |
| Altezza utile                          | d=h-c | 695  | mm |
| Distanza di applicazione carico        | a     | 730  | mm |

#### Materiali

|   |  |       |     |
|---|--|-------|-----|
| Resistenza di calcolo snervamento acciaio | $f_{ywd}$                              | 391.3 | MPa |
| Resistenza caratteristica Cubica Cls      | $R_{ck}$                               | 40.00 | MPa |
| Fattore parziale materiale Cls            | $\gamma_c$                             | 1.5   |     |
| Resistenza caratteristica Cilindrica Cls  | $f_{ck}=0.83 \times R_{ck}$            | 33.2  | MPa |
| Resistenza di calcolo Cilindrica Cls      | $f_{cd}=0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$ | 18.81 | MPa |

#### Sollecitazioni agenti

|  |          |     |    |
|--|----------|-----|----|
| Sollecitazione verticale agente di calcolo   | $P_{Ed}$ | 680 | kN |
| Sollecitazione orizzontale agente di calcolo | $H_{Ed}$ | 0   | kN |
| Sollecitazione assiale                       | $N_{Ed}$ | 0   | kN |

#### Armatura tirante principale

|   |                 |      |                 |
|---|-----------------|------|-----------------|
| Diametro armatura corrente principale     | $\varnothing_l$ | 16   | mm              |
| Numero di barre di armatura               | n               | 26   |                 |
| Area totale di acciaio tirante principale | $A_{sl}$        | 5228 | mm <sup>2</sup> |

#### Verifiche di resistenza

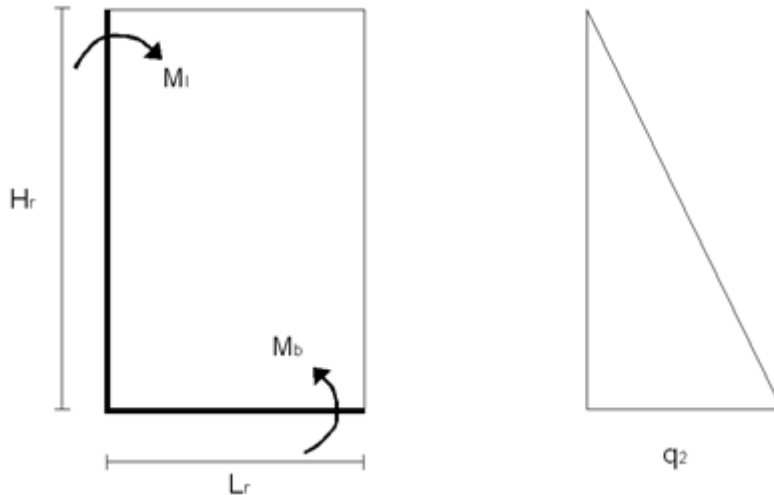
|   |   |       |    |
|---|---|-------|----|
| Lunghezza teorica tirante principale  | l   | 869   | mm |
| Parametro inclinazione  | $\lambda=l/(0.9d) \approx ct \text{ ggr}$ | 1.389 |    |
| Parametro che tiene conto della staffatura dell'elemento di attacco della mensola | c   | 1.5   |    |
| Resistenza del tirante costituito dall'armatura tesa                              | $P_{ts}$                                  | 1472  | kN |
| Resistenza del puntone di cls compresso   | $P_{tc}$                                  | 5355  | kN |

#### Verifica gerarchia di resistenza ( $P_{RS} < P_{RC}$ )

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Esito                                  | <b>Verifica positiva</b> |
| Fattore di sicurezza tirante teso      | $FS_{acc}$ 2.2           |
| Fattore di sicurezza puntone compresso | $FS_{CLS}$ 7.87          |

## 10.GIUDIZIO ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Di seguito si riporta il calcolo delle sollecitazioni al piede del muro laterale della spalla sviluppato con calcoli speditivi. Lo schema di calcolo è quello di piastra incastrata su due lati (quello inferiore e quello laterale a contatto con il muro frontale). Si analizza la condizione di spinta a riposo.



$$\sigma_{terr} = \gamma_{terr} * k_0 * H_r = 56.71 \text{ kPa}$$

Per il calcolo dei momenti flettenti, si adotta la tabella 1.97 contenuta nel Bares, per il carico triangolare

$$\gamma = L_r / H_r = 1.564$$

**Tabella 1.97 (carico triangolare)**

|                |         |         |         |                   |                                     |
|----------------|---------|---------|---------|-------------------|-------------------------------------|
| $\gamma = a/b$ | 0.50    | 0.75    | 1.00    |                   |                                     |
| $M_{y31}$      | -0.0546 | -0.0896 | -0.1157 | Momento verticale | fattore moltiplicazione $q_2 * H^2$ |

|            |                    |    |       |    |         |
|------------|--------------------|----|-------|----|---------|
| $M_{vert}$ | Carico triangolare | x  | 1.743 | y  | 0.1933  |
|            |                    | x1 | 0.75  | y1 | -0.0896 |
|            |                    | x2 | 1.00  | y2 | -0.1157 |

| Azioni trasmesse dal terreno | $T_{Long}$ | $M_{vert}$ |
|------------------------------|------------|------------|
|                              | kN/m       | kNm/m      |
| SPINTA STATICA               | 163.35     | 362.12     |

Dall'immagine estrapolata dal modello di calcolo è possibile verificare che il valore del momento alla base del muro laterale è paragonabile a quello ottenuto dal calcolo speditivo.

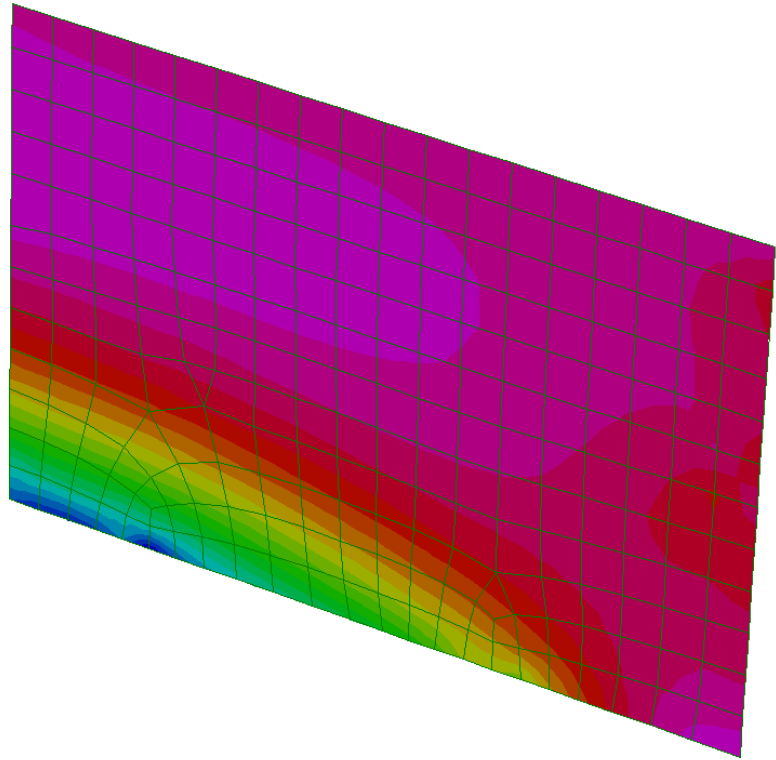
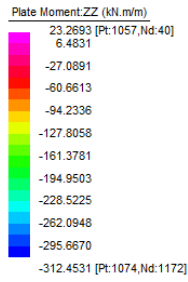


Figura 43 Momento dovuto alla spinta statica