

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA**

**VI12 (ex VI04) - Singolo Binario**

Relazione di calcolo Pile 4/6

SCALA:

-

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

R S 3 E 5 0 D 0 9 C L V I 1 2 0 5 0 0 4 A

| Rev. | Descrizione         | Redatto   | Data          | Verificato | Data          | Approvato     | Data          | Autorizzato          | Data          |
|------|---------------------|-----------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|
| A    | Emissione Esecutiva | Abbasiano | Novembre 2019 | A. Ferri   | Novembre 2019 | F. Sciaracino | Novembre 2019 | Ing. Angelo Vittozzi | Novembre 2019 |
|      |                     |           |               |            |               |               |               |                      |               |
|      |                     |           |               |            |               |               |               |                      |               |
|      |                     |           |               |            |               |               |               |                      |               |

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n° A20783

File: RS3E50D09CLV11205004A.docx

n. Elab. 1535

## INDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | PREMESSA .....  | 4  |
| 1.1   | DESCRIZIONE DELL'OPERA .....                            | 4  |
| 1.1.1 | <i>Aspetti legati alle opere di fondazione</i> .....    | 5  |
| 2     | RIFERIMENTI NORMATIVI .....                             | 9  |
| 2.1   | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....                          | 9  |
| 3     | MATERIALI .....   | 10 |
| 3.1   | VERIFICA S.L.E. ....                                    | 11 |
| 3.1.1 | <i>Verifiche alle tensioni</i> .....                    | 11 |
| 3.1.2 | <i>Verifiche a fessurazione</i> .....                   | 12 |
| 4     | ANALISI E VERIFICHE PILA .....                          | 13 |
| 4.1   | GENERALITÀ .....  | 13 |
| 4.2   | MODELLI A MENSOLA PER LA VERIFICA DELLE PILE .....      | 13 |
| 4.3   | CONDIZIONI ELEMENTARI E COMBINAZIONI DI CARICO .....    | 13 |
| 4.4   | SISTEMI DI RIFERIMENTO ED UNITÀ DI MISURA .....         | 17 |
| 4.5   | GEOMETRIA DELLA PILA .....                              | 18 |
| 4.6   | ANALISI DEI CARICHI .....                               | 19 |
| 4.6.1 | <i>Peso proprio elementi strutturali</i> .....          | 19 |
| 4.6.2 | <i>Carichi trasmessi dall'impalcato</i> .....           | 19 |
| 4.6.3 | <i>Azione del Vento</i> .....                           | 22 |
| 4.6.4 | <i>Carichi da traffico verticali</i> .....              | 24 |
| 4.6.5 | <i>Effetti dinamici</i> .....                           | 25 |
| 4.6.6 | <i>Carichi da traffico orizzontali</i> .....            | 25 |
| 4.6.7 | <i>Azione sismica</i> .....                             | 26 |
| 4.6.8 | <i>Calcolo delle sollecitazioni in testa pali</i> ..... | 31 |
| 4.6.9 | <i>Riepilogo risultati</i> .....                        | 31 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.7   | SOLLECITAZIONI.....                       | 33 |
| 4.7.1 | <i>Plinto di fondazione</i> .....         | 34 |
| 4.8   | PALI DI FONDAZIONE .....                  | 35 |
| 4.9   | VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI..... | 36 |
| 4.9.1 | <i>Pila</i> .....                         | 39 |
| 4.9.2 | <i>Zattera di fondazione</i> .....        | 45 |
| 4.9.3 | <i>Palo di fondazione L=32.0m</i> .....   | 48 |

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto il dimensionamento e le verifiche di resistenza secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite (S.L.) di una delle Pile del viadotto ferroviario **VI12** della tratta ferroviaria Palomba-Catenanuova, viadotto ferroviario previsto nell'ambito del progetto definitivo lungo la direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo del nuovo collegamento Palermo-Catania. In particolare si tratterà la **Pila 35** che presenta **l'altezza maggiore per tipologia di pila ed impalcati afferenti**.

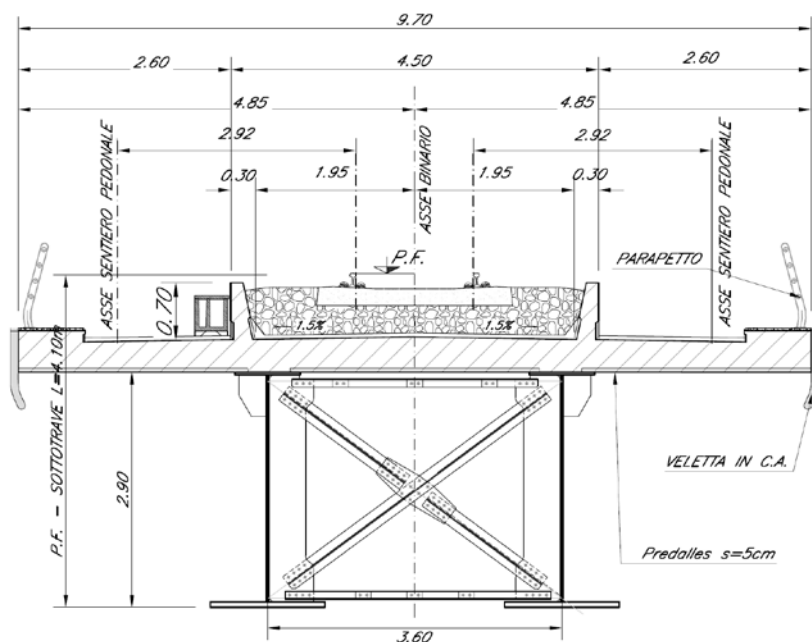
Verranno ipotizzati appoggi fissi sulla campata di luce maggiore, indipendentemente dal reale posizionamento degli stessi.

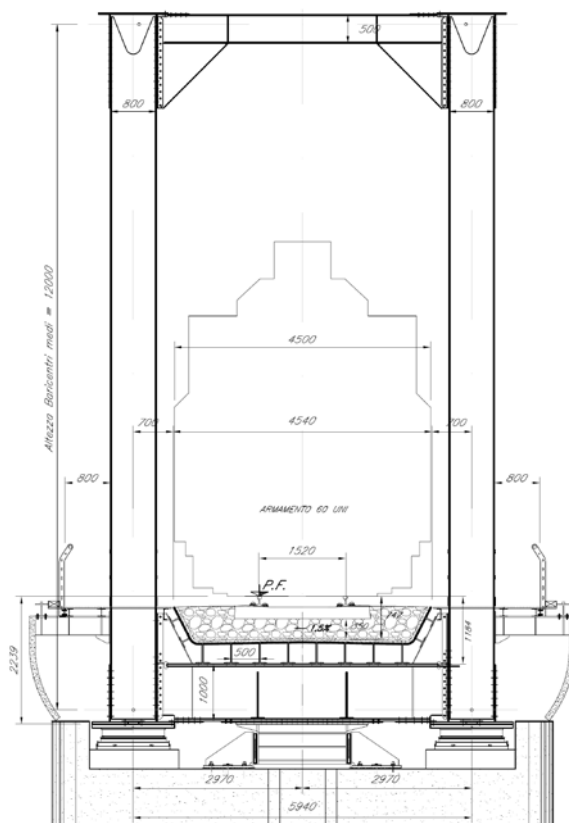
Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 14 gennaio 2008.

### 1.1 Descrizione dell'opera

Il viadotto ferroviario VI12 ha una lunghezza totale di 1980.05m, è costituito da 47 impalcati in acciaio da 40,50 e 70m. Il viadotto è previsto a singolo binario.

Le pile sono realizzate in c.a. gettato in opera.





**Figura 1 - Sezioni trasversali**

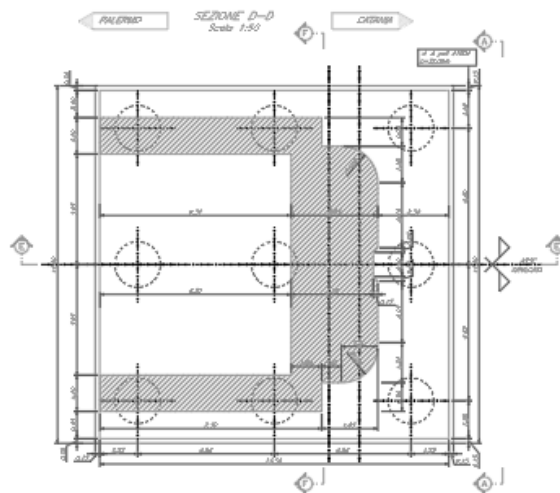
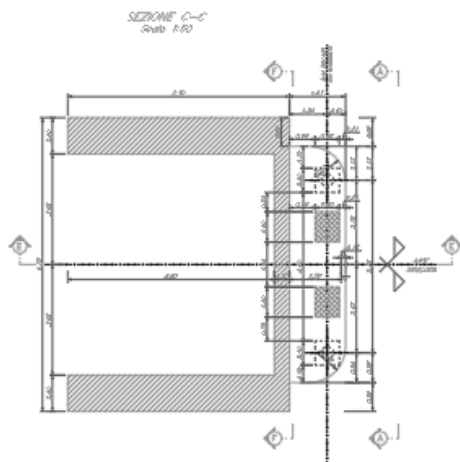
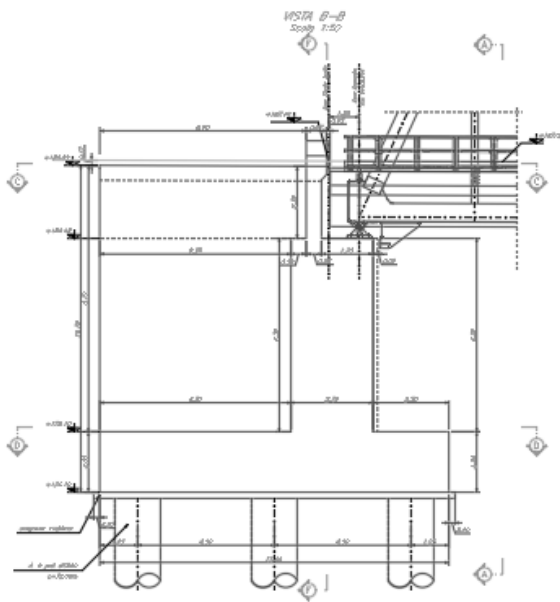
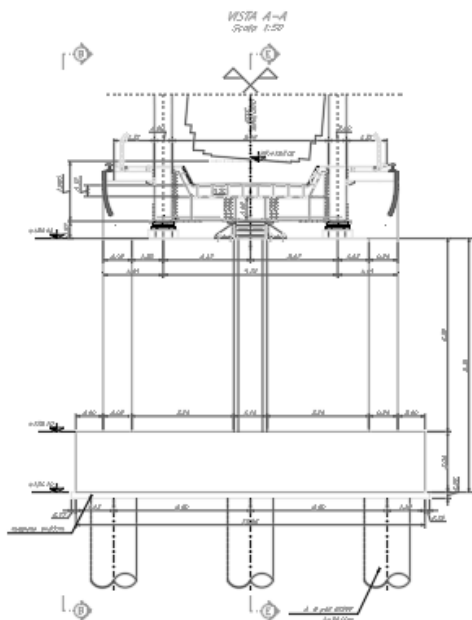
### *1.1.1 Aspetti legati alle opere di fondazione*

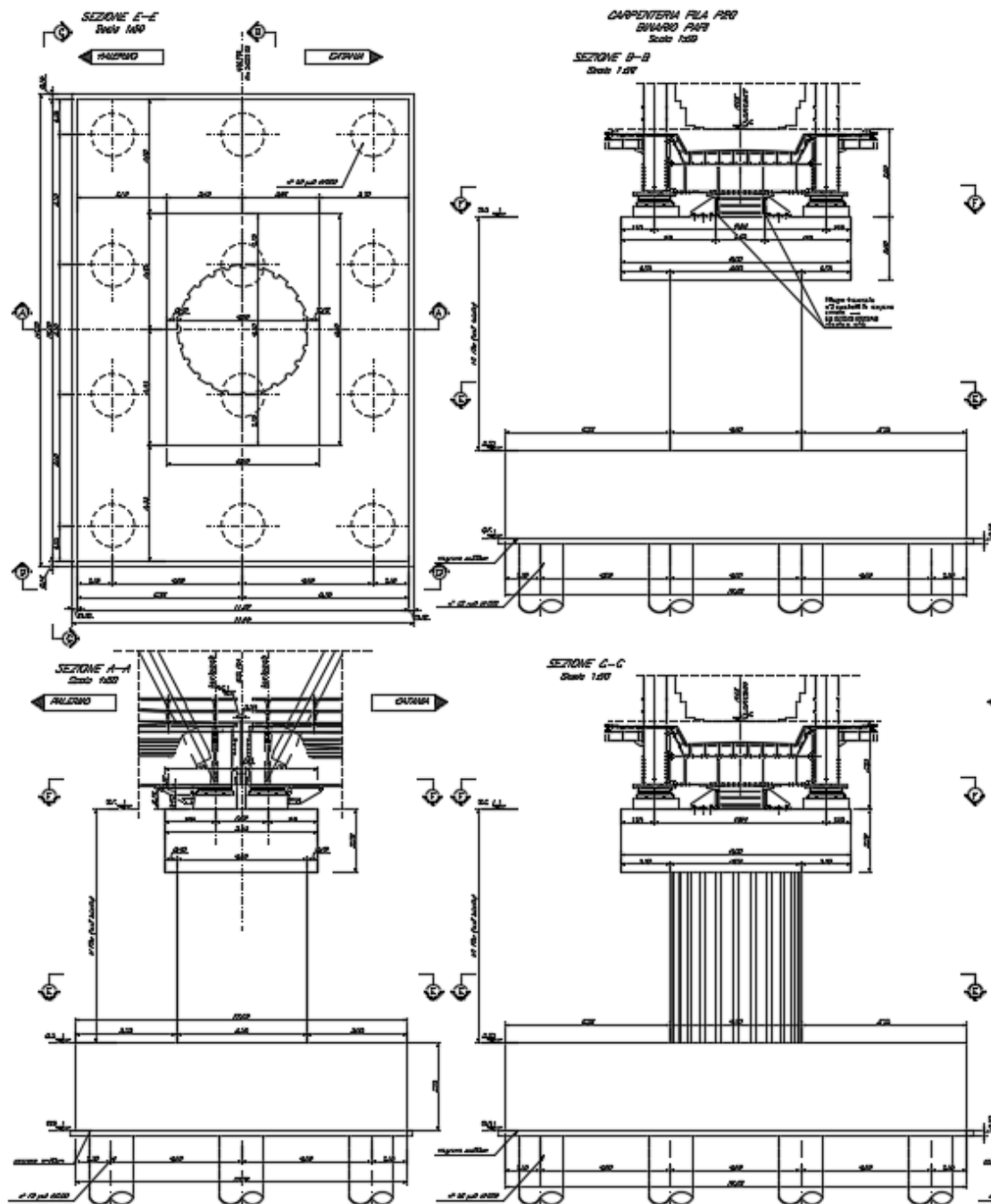
Le fondazioni sono realizzate sia per le pile che per le spalle con plinti su pali di grande diametro.

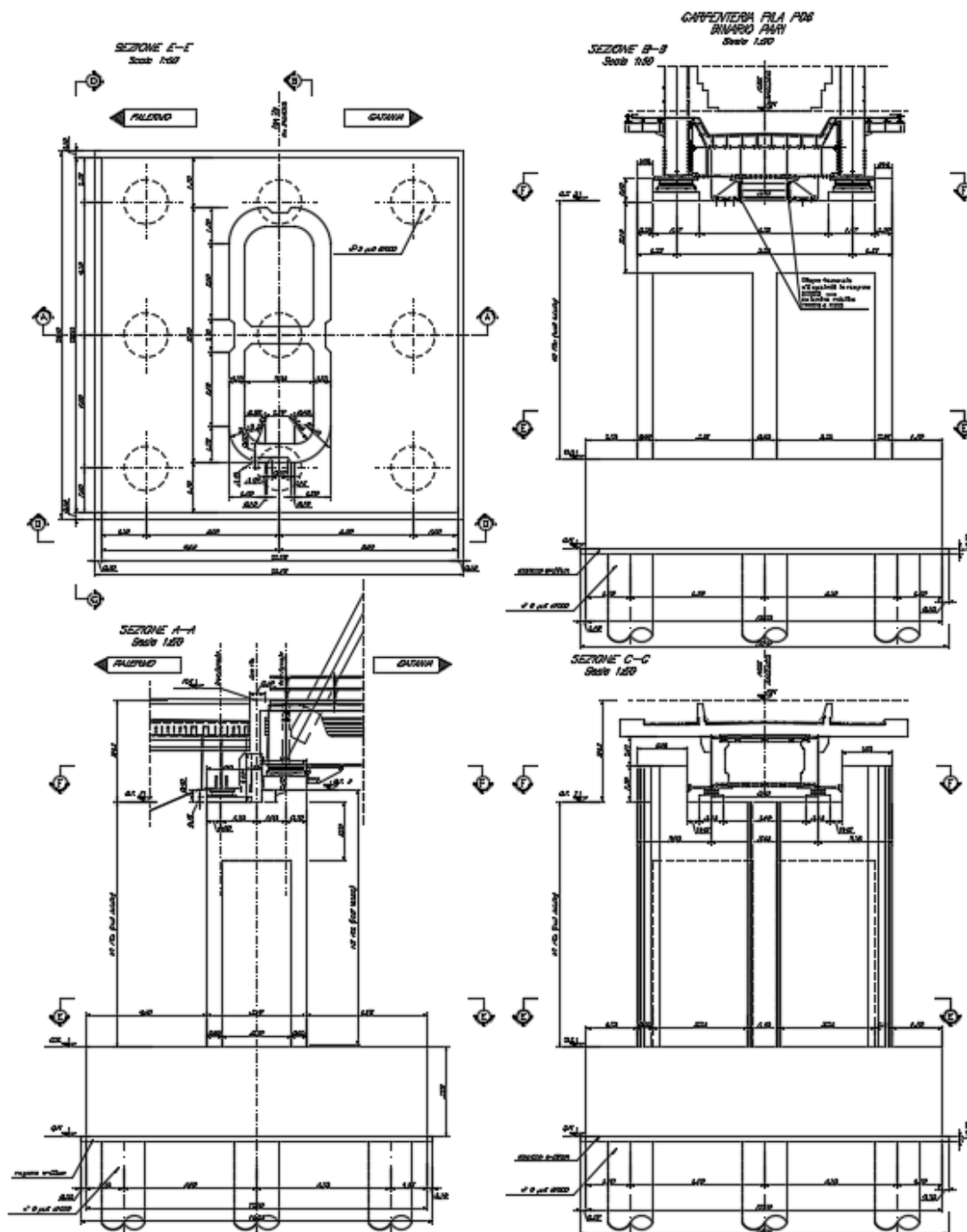
RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO  |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 6 di 52 |


3.07.2011 11:25/7









|   |   |                         |             |                     |                           |           |
|---|---|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>VI12 (ex VI04) - Singolo Binario</b> |                         |             |                     |                           |           |
|   | RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6   | COMMESSA<br><b>RS3E</b> | LOTTO<br>50 | CODIFICA<br>D 09 CL | DOCUMENTO<br>VI 12 05 004 | REV.<br>A |

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- *Ministero delle Infrastrutture, DM 14 gennaio 2008, «Norme tecniche per le costruzioni».*
- *Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;*
- *Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture*
- *Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale*
- *Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea*

### 2.1 Documenti di riferimento

- *Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni 1/2 - RS3E50D09RBVI1203001A*
- *Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni 2/2 - RS3E50D09RBVI1203002A*

### 3 MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali previsti le sottostrutture sono le seguenti:

➤ Calcestruzzo magro e getto di livellamento

- CLASSE DI RESISTENZA MINIMA C12/15
- TIPO CEMENTO CEM I+V
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : X0

➤ Calcestruzzo pali di fondazione, cordoli, opere provvisionali, calcestruzzo fondazioni

- CLASSE DI RESISTENZA MINIMA C25/30
- TIPO CEMENTO CEM III+V
- RAPPORTO A/C :  $\leq 0.60$
- CLASSE MINIMA DI CONSISTENZA : S4
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- COPRIFERRO MINIMO = 60 mm
- DIAMETRO MASSIMO INERTI : 32 mm

➤ Calcestruzzo fondazioni armate

- CLASSE DI RESISTENZA MINIMA C25/30
- TIPO CEMENTO CEM III+V
- RAPPORTO A/C :  $\leq 0.60$
- CLASSE MINIMA DI CONSISTENZA : S4
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- COPRIFERRO MINIMO = 40mm
- DIAMETRO INERTI : 25 mm

➤ Calcestruzzo elevazione pile (compresi pulvini, baggioli e ritegni), spalle


- CLASSE DI RESISTENZA MINIMA C32/40
- TIPO CEMENTO CEM III+V
- RAPPORTO A/C :  $\leq 0.50$
- CLASSE MINIMA DI CONSISTENZA : S4
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC4
- COPRIFERRO = 40 mm (\*)
- DIAMETRO MASSIMO INERTI : 25 mm

- COPRIFERRO MINIMO = 50mm
- DIAMETRO INERTI : 25 mm

➤ Acciaio ordinario per calcestruzzo armato

- IN BARRE E RETI ELETTRICALDATE  
B450C saldabile che presenta le seguenti caratteristiche :
- Tensione di snervamento caratteristica  $f_{yk} > 450 \text{ N/mm}^2$
  - Tensione caratteristica a rottura  $f_{tk} > 540 \text{ N/mm}^2$
- $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

(\*) : I VALORI DI COPRIFERRO RIPORTATI SI RIFERISCONO AD OPERE CON VITA NOMINALE DI 75 ANNI. PER COSTRUZIONI CON VITA NOMINALE DI 100 ANNI TALI VALORI DOVRANNO ESSERE AUMENTATI DI 5 mm.

|  |   |                         |             |                     |                           |           |
|--|---|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>VI12 (ex VI04) - Singolo Binario</b> |                         |             |                     |                           |           |
|  | RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6   | COMMESSA<br><b>RS3E</b> | LOTTO<br>50 | CODIFICA<br>D 09 CL | DOCUMENTO<br>VI 12 05 004 | REV.<br>A |

### 3.1 Verifica S.L.E.

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

#### 3.1.1 Verifiche alle tensioni

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

##### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

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

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

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

Per il caso in esame risulta in particolare per l'elevazione:


##### CALCESTRUZZO

$$\sigma_{\max QP} = (0,40 f_{ck}) = \mathbf{12.28} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\max R} = (0,55 f_{ck}) = \mathbf{16.89} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

##### ACCIAIO

$$\sigma_{s \max} = (0,75 f_{yk}) = \mathbf{338} \text{ MPa} \quad \text{Combinazione di Carico Caratteristica(Rara)}$$

|  |   |                         |             |                     |                           |           |
|--|---|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>VI12 (ex VI04) - Singolo Binario</b> |                         |             |                     |                           |           |
|  | RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6   | COMMESSA<br><b>RS3E</b> | LOTTO<br>50 | CODIFICA<br>D 09 CL | DOCUMENTO<br>VI 12 05 004 | REV.<br>A |

### 3.1.2 Verifiche a fessurazione

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

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

**Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali**

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

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

| CONDIZIONI AMBIENTALI | CLASSE DI ESPOSIZIONE             |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Ordinarie             | X0, XC1, XC2, XC3, XF1            |
| Aggressive            | XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3 |
| Molto aggressive      | XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4      |

Risultando:

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

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


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

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 14.1.2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

– Combinazione Caratteristica (Rara)  $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura del D.M. 9 gennaio 1996, in accordo a quanto previsto al punto “C4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione” della Circolare n.617/09.

|   |   |                         |             |                     |                           |           |
|---|---|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>VI12 (ex VI04) - Singolo Binario</b> |                         |             |                     |                           |           |
|   | RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6   | COMMESSA<br><b>RS3E</b> | LOTTO<br>50 | CODIFICA<br>D 09 CL | DOCUMENTO<br>VI 12 05 004 | REV.<br>A |

## 4 ANALISI E VERIFICHE PILA

### 4.1 Generalità

La pila presenta una sezione circolare di diametro 4.50m, una altezza complessiva di 8.70m.

Il pulvino è costituito da una sezione piena di dimensione 5.3x8.00m ed altezza 2.20m.

Le fondazioni sono realizzate su pali di diametro 1.50m collegate in testa da una platea di spessore 3.00m.

Per le verifiche dei singoli elementi della pila (pali, platea di fondazione ed elevazioni) è stata effettuata un'analisi dei carichi agenti sul piano appoggi e allo spiccato della fondazione; l'analisi viene riportata nelle pagine seguenti.

### 4.2 Modelli a mensola per la verifica delle pile

Le sollecitazioni di verifica della pila sono state determinate a partire dai valori delle risultanti delle azioni trasmesse dagli impalcati alla quota degli apparecchi di appoggio alle quali vanno combinate le azioni determinate dalle azioni date dalle forze di inerzia e dal peso proprio delle sottostrutture.

Il modello della struttura è stato implementato in un foglio di calcolo appositamente realizzato per la valutazione delle azioni agenti sulle singole parti della struttura, quali fusto pila e plinto.

Per l'analisi e la verifica del plinto di fondazione, si è utilizzato un modello, a seconda della geometria, di tirante-puntone o trave inflessa.

Per quanto riguarda invece le sollecitazioni sui pali di fondazione a partire dalle azioni risultanti nel baricentro del plinto alla quota di intradosso, sono stati calcolati, per ciascuna combinazione di carico, gli sforzi assiali e di taglio in testa ai pali di fondazione utilizzando il classico modello a piastra rigida.

### 4.3 Condizioni elementari e combinazioni di carico

Le verifiche di sicurezza strutturali e geotecniche sono state condotte utilizzando combinazioni di carico definite in ottemperanza alle NTC08, secondo quanto riportato nei paragrafi 2.5.3, 5.1.3.12. Di seguito sono mostrati i coefficienti parziali di sicurezza utilizzati allo SLU ed i coefficienti di combinazione adoperati per i carichi variabili nella progettazione delle strutture da ponte.

### 2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

|   |             | Coefficiente  | EQU <sup>(1)</sup>  | A1 STR              | A2 GEO | Combinazione eccezionale | Combinazione Sismica |
|---|-------------|---------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------------|----------------------|
| Carichi permanenti                                | favorevoli  | $\gamma_{G1}$ | 0,90                | 1,00                | 1,00   | 1,00                     | 1,00                 |
|   | sfavorevoli |               | 1,10                | 1,35                | 1,00   | 1,00                     | 1,00                 |
| Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> | favorevoli  | $\gamma_{G2}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00   | 1,00                     | 1,00                 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30   | 1,00                     | 1,00                 |
| Ballast <sup>(3)</sup>                            | favorevoli  | $\gamma_B$    | 0,90                | 1,00                | 1,00   | 1,00                     | 1,00                 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30   | 1,00                     | 1,00                 |
| Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>      | favorevoli  | $\gamma_Q$    | 0,00                | 0,00                | 0,00   | 0,00                     | 0,00                 |
|   | sfavorevoli |               | 1,45                | 1,45                | 1,25   | 0,20 <sup>(5)</sup>      | 0,20 <sup>(5)</sup>  |
| Carichi variabili                                 | favorevoli  | $\gamma_{Qi}$ | 0,00                | 0,00                | 0,00   | 0,00                     | 0,00                 |
|   | sfavorevoli |               | 1,50                | 1,50                | 1,30   | 1,00                     | 0,00                 |
| Precompressione                                   | favorevole  | $\gamma_P$    | 0,90                | 1,00                | 1,00   | 1,00                     | 1,00                 |
|   | sfavorevole |               | 1,00 <sup>(6)</sup> | 1,00 <sup>(7)</sup> | 1,00   | 1,00                     | 1,00                 |

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.  
<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.  
<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

| Azioni                     |   | $\psi_0$            | $\psi_1$            | $\psi_2$ |
|----------------------------|---|---------------------|---------------------|----------|
| Azioni singole da traffico | Carico sul rilevato a tergo delle spalle                | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
|                            | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80                | 0,50                | 0,0      |
| Gruppi di carico           | gr1   | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
|                            | gr2   | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | -        |
|                            | gr3   | 0,80 <sup>(2)</sup> | 0,80 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
|                            | gr4   | 1,00                | 1,00 <sup>(1)</sup> | 0,0      |
| Azioni del vento           | $F_{Wk}$  | 0,60                | 0,50                | 0,0      |
| Azioni da neve             | in fase di esecuzione                                   | 0,80                | 0,0                 | 0,0      |
|                            | SLU e SLE   | 0,0                 | 0,0                 | 0,0      |
| Azioni termiche            | $T_k$   | 0,60                | 0,60                | 0,50     |

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

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

|                                     | Azioni                      | $\Psi_0$                      | $\Psi_1$       | $\Psi_2$       |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| Azioni<br>singole<br>da<br>traffico | Treno di carico LM 71       | 0,80 <sup>(3)</sup>           | <sup>(1)</sup> | 0,0            |
|                                     | Treno di carico SW /0       | 0,80 <sup>(3)</sup>           | 0,80           | 0,0            |
|                                     | Treno di carico SW/2        | 0,0 <sup>(3)</sup>            | 0,80           | 0,0            |
|                                     | Treno scarico               | 1,00 <sup>(3)</sup>           | -              | -              |
|                                     | Centrifuga                  | <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> | <sup>(2)</sup> | <sup>(2)</sup> |
|                                     | Azione laterale (serpeggio) | 1,00 <sup>(3)</sup>           | 0,80           | 0,0            |

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

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

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\Psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Nel seguito si riportano le azioni considerate ai fini della valutazione delle sollecitazioni agenti sulle sottostrutture e, quindi, alle verifiche strutturali.

|                          | A2 - SIU - N max gr.1 | A2 - SIU - MT max gr.1 | A2 - SIU - ML max gr.1 | A2 - SIU - N max gr.3 | A2 - SIU - MT max gr.3 | A2 - SIU - ML max gr.3 | A2 - SIU - Vento ponte scarico | A2 - SIU Gmin - N max gr.1 | A2 - SIU Gmin - MT max gr.1 | A2 - SIU Gmin - ML max gr.1 | A2 - SIU Gmin - N max gr.3 | A2 - SIU Gmin - MT max gr.3 | A2 - SIU Gmin - ML max gr.3 | A2 - SIU Gmin - Vento ponte scarico | A1 - SIU - N max gr.1 | A1 - SIU - MT max gr.1 | A1 - SIU - ML max gr.1 | A1 - SIU - N max gr.3 | A1 - SIU - MT max gr.3 | A1 - SIU - ML max gr.3 | A1 - SIU - Vento ponte scarico | A1 - SIU Gmin - N max gr.1 | A1 - SIU Gmin - MT max gr.1 | A1 - SIU Gmin - ML max gr.1 |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Peso proprio g1          | 1,00                  | 1,00                   | 1,00                   | 1,00                  | 1,00                   | 1,00                   | 1,00                           | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        | 1,00                                | 1,35                  | 1,35                   | 1,35                   | 1,35                  | 1,35                   | 1,35                   | 1,35                           | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        |
| Permanenti G2            | 1,30                  | 1,30                   | 1,30                   | 1,30                  | 1,30                   | 1,30                   | 1,30                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,50                  | 1,50                   | 1,50                   | 1,50                  | 1,50                   | 1,50                   | 1,50                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Ballast                  | 1,30                  | 1,30                   | 1,30                   | 1,30                  | 1,30                   | 1,30                   | 1,30                           | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        | 1,00                                | 1,50                  | 1,50                   | 1,50                   | 1,50                  | 1,50                   | 1,50                   | 1,50                           | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        |
| Comb. Nmax Qv            | 1,25                  | 0,00                   | 0,00                   | 1,25                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,45                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. Nmax Q frenatura   | 0,63                  | 0,00                   | 0,00                   | 1,25                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,63                       | 0,00                        | 0,00                        | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,73                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. Nmax Q centrifuga  | 1,25                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,63                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,63                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,45                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. Nmax Q serpeggio   | 1,25                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,63                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,63                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,45                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. Mmax Qv            | 0,00                  | 1,25                   | 0,00                   | 0,00                  | 1,25                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 1,25                        | 0,00                        | 0,00                       | 1,25                        | 0,00                        | 0,00                                | 0,00                  | 1,45                   | 0,00                   | 0,00                  | 1,45                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 1,45                        | 0,00                        |
| Comb. Mmax Q frenatura   | 0,00                  | 0,63                   | 0,00                   | 0,00                  | 1,25                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,63                       | 0,00                        | 0,00                        | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,73                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. Mmax Q centrifuga  | 0,00                  | 1,25                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,63                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,63                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,45                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. Mmax Q serpeggio   | 0,00                  | 1,25                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,63                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,25                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,63                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,45                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. MLmax Qv           | 0,00                  | 0,00                   | 1,25                   | 0,00                  | 0,00                   | 1,25                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 1,25                        | 0,00                       | 0,00                        | 1,25                        | 0,00                                | 0,00                  | 1,45                   | 0,00                   | 0,00                  | 1,45                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 1,45                        | 0,00                        |
| Comb. MLmax Q frenatura  | 0,00                  | 0,00                   | 0,63                   | 0,00                  | 0,00                   | 1,25                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,63                        | 0,00                       | 0,00                        | 1,25                        | 0,00                                | 0,00                  | 0,73                   | 0,00                   | 0,00                  | 1,45                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,73                        | 0,00                        |
| Comb. MLmax Q centrifuga | 0,00                  | 0,00                   | 1,25                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,63                   | 0,00                           | 0,00                       | 1,25                        | 0,00                        | 0,00                       | 0,63                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,45                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Comb. MLmax Q serpeggio  | 0,00                  | 0,00                   | 1,25                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,63                   | 0,00                           | 0,00                       | 1,25                        | 0,00                        | 0,00                       | 0,63                        | 0,00                        | 0,00                                | 1,45                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,73                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,45                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Vento Ponte Scarico      | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 1,30                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                        | 1,30                        | 0,00                                | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 1,50                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Vento Ponte Carico       | 0,78                  | 0,78                   | 0,00                   | 0,78                  | 0,78                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,78                       | 0,78                        | 0,00                        | 0,78                       | 0,78                        | 0,00                        | 0,00                                | 0,90                  | 0,90                   | 0,00                   | 0,90                  | 0,90                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,90                       | 0,90                        | 0,00                        |
| Attrito permanente       | 1,00                  | 1,00                   | 1,00                   | 1,00                  | 1,00                   | 1,00                   | 1,00                           | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        | 1,00                       | 1,00                        | 1,00                        | 1,00                                | 1,35                  | 1,35                   | 1,35                   | 1,35                  | 1,35                   | 1,35                   | 1,35                           | 1,35                       | 1,35                        | 1,35                        |
| Attrito carichi mobili   | 1,25                  | 1,25                   | 1,25                   | 1,25                  | 1,25                   | 1,25                   | 0,00                           | 1,25                       | 1,25                        | 1,25                        | 1,25                       | 1,25                        | 1,25                        | 1,25                                | 1,45                  | 1,45                   | 1,45                   | 1,45                  | 1,45                   | 1,45                   | 1,45                           | 1,45                       | 1,45                        | 1,45                        |
| Sisma longitudinale      | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Sisma trasversale        | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Sisma verticale          | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        | 0,00                                | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,00                        |
| Vento x                  | 0,00                  | 0,00                   | 0,78                   | 0,00                  | 0,00                   | 0,78                   | 0,00                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,78                        | 0,00                       | 0,00                        | 0,78                        | 0,00                                | 0,00                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,90                  | 0,00                   | 0,00                   | 0,90                           | 0,00                       | 0,00                        | 0,90                        |
| Vento y                  | 0,78                  | 0,78                   | 0,00                   | 0,78                  | 0,78                   | 0,00                   | 1,30                           | 0,78                       | 0,78                        | 0,00                        | 0,78                       | 0,78                        | 0,00                        | 1,30                                | 0,90                  | 0,90                   | 0,00                   | 0,90                  | 0,90                   | 0,00                   | 0,00                           | 1,50                       | 0,90                        | 0,90                        |



| A1 - S1U Gmin - N max gr.3 | A1 - S1U Gmin - MT max gr.3 | A1 - S1U Gmin - ML max gr.3 | A1 - S1U Gmin - Vento ponte scarico | S1E min - N max gr.1 | S1E min - MT max gr.1 | S1E min - ML max gr.1 | S1E min - N max gr.3 | S1E min - MT max gr.3 | S1E min - ML max gr.3 | S1E min - Vento ponte scarico | S1E freq - N max gr.1 | S1E freq - MT max gr.1 | S1E freq - ML max gr.1 | S1E freq - N max gr.3 | S1E freq - MT max gr.3 | S1E freq - ML max gr.3 | S1E freq - Vento ponte scarico | S1E quasi permanente | S1V - N max | S1V - MT max | S1V - ML max | S1V - MT max | S1V - ML max | S1V - N min |                          |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------------------|
| 1.00                       | 1.00                        | 1.00                        | 1.00                                | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                          | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                           | 1.00                 | 1.00        | 1.00         | 1.00         | 1.00         | 1.00         | 1.00        | Peso proprio g1          |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                          | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                           | 1.00                 | 1.00        | 1.00         | 1.00         | 1.00         | 1.00         | 1.00        | Permanenti G2            |
| 1.00                       | 1.00                        | 1.00                        | 1.00                                | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                          | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                           | 1.00                 | 1.00        | 1.00         | 1.00         | 1.00         | 1.00         | 1.00        | Ballast                  |
| 1.45                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 1.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 1.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.80                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.80                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.20        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.20        | Comb. Nmax Qr            |
| 1.45                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.50                 | 0.00                  | 0.00                  | 1.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.40                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.80                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.20        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.20        | Comb. Nmax Q frenatura   |
| 0.73                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 1.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.50                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.80                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.40                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.20        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.20        | Comb. Nmax Q centrifuga  |
| 0.73                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 1.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.50                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.80                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.40                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.20        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.20        | Comb. Nmax Q serpeggio   |
| 0.00                       | 1.45                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.00                 | 1.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 1.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.80                   | 0.00                   | 0.80                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.00        | Comb. MTmax Qr           |
| 0.00                       | 1.45                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.50                  | 0.00                  | 0.00                 | 1.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.40                   | 0.00                   | 0.80                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.00        | Comb. MTmax Q frenatura  |
| 0.00                       | 0.73                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.00                 | 1.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.50                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.80                   | 0.00                   | 0.40                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.00        | Comb. MTmax Q centrifuga |
| 0.00                       | 0.73                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.00                 | 1.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.50                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.80                   | 0.00                   | 0.40                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.00        | Comb. MTmax Q serpeggio  |
| 0.00                       | 0.00                        | 1.45                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 1.00                  | 0.00                 | 0.00                  | 1.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.80                   | 0.00                  | 0.80                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00        | Comb. MLmax Qr           |
| 0.00                       | 0.00                        | 1.45                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 0.50                  | 0.00                 | 0.00                  | 1.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.40                   | 0.00                  | 0.80                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00        | Comb. MLmax Q frenatura  |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.73                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 1.00                  | 0.00                 | 0.00                  | 0.50                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.80                   | 0.00                  | 0.40                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00        | Comb. MLmax Q centrifuga |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.73                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 1.00                  | 0.00                 | 0.00                  | 0.50                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.80                   | 0.00                  | 0.40                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.20         | 0.00         | 0.20         | 0.00        | Comb. MLmax Q serpeggio  |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.00                        | 1.50                                | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 1.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                  | 0.50                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00        | Vento Ponte Scarico      |
| 0.90                       | 0.90                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.60                 | 0.60                  | 0.00                  | 0.60                 | 0.60                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00        | Vento Ponte Carico       |
| 1.35                       | 1.35                        | 1.35                        | 1.00                                | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                          | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                  | 1.00                   | 1.00                   | 1.00                           | 1.00                 | 1.00        | 0.50         | 0.50         | 0.50         | 0.50         | 0.50        | Attrito permanente       |
| 1.45                       | 1.45                        | 1.45                        | 0.00                                | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                 | 1.00                  | 1.00                  | 0.00                          | 0.80                  | 0.80                   | 0.80                   | 0.80                  | 0.80                   | 0.80                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.20        | 0.20         | 0.20         | 0.20         | 0.20         | 0.20        | Attrito carichi mobili   |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.30        | 0.30         | 1.00         | 0.30         | 1.00         | 0.30        | Sisma longitudinale      |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.30        | 1.00         | 0.30         | 1.00         | 0.30         | 0.30        | Sisma trasversale        |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.00                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 1.00        | 0.30         | 0.30         | -0.30        | -0.30        | -1.00       | Sisma verticale          |
| 0.00                       | 0.00                        | 0.90                        | 0.00                                | 0.00                 | 0.00                  | 0.60                  | 0.00                 | 0.60                  | 0.00                  | 0.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00        | Vento x                  |
| 0.90                       | 0.90                        | 0.00                        | 1.50                                | 0.60                 | 0.60                  | 0.00                  | 0.60                 | 0.60                  | 0.00                  | 1.00                          | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                  | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                 | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00        | Vento y                  |

Gli scarichi agli appoggi, riportati nei paragrafi seguenti, fanno riferimento alla seguente terna di assi:

- asse X coincidente con l'asse longitudinale del ponte;
- asse Y coincidente con l'asse trasversale del ponte;
- asse Z coincidente con l'asse verticale del ponte;

Per quanto riguarda la risposta alle diverse componenti dell'azione sismica, poiché si è adottata un'analisi in campo lineare, essa può essere calcolata separatamente per ciascuna delle componenti. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc) sono combinate successivamente applicando l'espressione

$$1.00 \cdot Ex + 0.30 \cdot Ey + 0.30 \cdot Ez$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi.

Occorre precisare che con il segno negativo verranno indicate le azioni aventi direzione positiva delle Z (ovvero dirette verso l'alto).

#### 4.4 Sistemi di riferimento ed unità di misura

- Asse X parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato
- Asse Y ortogonale all'asse longitudinale dell'impalcato
- Asse Z verticale
- Lunghezze = m
- Forze = kN

#### 4.5 Geometria della Pila

| Generali  |                |            |                   |
|---|----------------|------------|-------------------|
| Peso cls  | $\gamma_{cls}$ | 25         | kN/m <sup>3</sup> |
| Peso terreno                                      | $\gamma_t$     | 20         | kN/m <sup>3</sup> |
| Sovraccarico accidentale sul rilevato             | $q_{acc}$      | 53.0       | kN/m <sup>2</sup> |
| Altezza appoggio + baggiolo                       | $h_{sp}$       | 0.45       | m                 |
| Distanza piano appoggi-intradosso plinto          | $H_1$          | 12.15      | m                 |
| Pulvino   |                |            |                   |
| Altezza   | $H_p$          | 2.20       | m                 |
| Lunghezza lungo asse X                            | $b_p$          | 5.3        | m                 |
| Lunghezza lungo asse Y                            | $L_p$          | 8.00       | m                 |
| Area Sezione                                      |                | 42.40      | m <sup>2</sup>    |
| % Vuoti sezione                                   |                | 0%         |                   |
| Coordinata X del baricentro rispetto fondazione   | $x_p$          | 0.00       | m                 |
| Pila  |                |            |                   |
| Altezza   | $H_m$          | 8.70       | m                 |
| Lunghezza lungo asse X                            | $b_m$          | 4.5        | m                 |
| Lunghezza lungo asse Y                            | $L_m$          | 4.50       | m                 |
| Area Sezione                                      |                | 15.90      | m <sup>2</sup>    |
| % Vuoti sezione                                   |                | 0%         |                   |
| Coordinata X del baricentro rispetto fondazione   | $x_m$          | 0.00       | m                 |
| Distanza asse baggioli- asse pila (sx)            | $x_{m1}$       | -1.20      | m                 |
| Distanza asse baggioli- asse pila (dx)            | $x_{m2}$       | 1.20       | m                 |
| Plinto  |                |            |                   |
| Altezza   | $H_f$          | 3.00       | m                 |
| Lunghezza lungo asse X                            | $b_f$          | 11.50      | m                 |
| Lunghezza lungo asse Y                            | $L_f$          | 16.50      | m                 |
| Spessore ricoprimento medio                       | $h_t$          | 2.00       | m                 |
| Distanza asse baggioli - baricentro plinto (sx)   |                | -1.20      | m                 |
| Distanza asse baggioli - baricentro plinto (dx)   |                | 1.20       | m                 |
| Terreno   |                |            |                   |
| Angolo d'attrito interno ( $\varphi$ )            |                | 35         | °                 |
| Coefficiente per il calcolo della spinta a riposo | ▼              | Ko = 0.426 | ▼                 |
| Sisma   |                |            |                   |
| $S_s$   |                | 1.395      |                   |
| $a_g$   |                | 0.197      |                   |
| Coefficiente sismico orizzontale                  | $k_h$          | 0.275      |                   |

Tabella 2 – Dati di input

## 4.6 Analisi dei carichi

### 4.6.1 Peso proprio elementi strutturali

#### ➤ Peso proprio strutture

I pesi degli elementi strutturali sono calcolati utilizzando un peso di volume del calcestruzzo pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

| Impalcato (sx)  |                |            |      |
|---|----------------|------------|------|
| N° Binari   |                | <b>1</b>   |      |
| Lunghezza   | L              | <b>40</b>  | m    |
| Peso Proprio  | G <sub>1</sub> | <b>131</b> | kN/m |
| Permanenti portati                                      | G <sub>2</sub> | <b>120</b> | kN/m |
| Ballast   |                | <b>0</b>   | kN/m |
| n° totale appoggi sulla pila                            | n              | <b>2</b>   |      |
| Reazione appoggio i = (G <sub>1</sub> *L/2)/n           | R <sub>i</sub> | 1310.0     | kN   |
| Reazione appoggio i = (G <sub>2</sub> *L/2)/n           | R <sub>i</sub> | 1200.0     | kN   |
| Reazione appoggio i = (G <sub>2</sub> *L/2)/n (ballast) | R <sub>i</sub> | 0          | kN   |

| Impalcato (dx)  |                |            |      |
|---|----------------|------------|------|
| N° Binari   |                | <b>1</b>   |      |
| Lunghezza   | L              | <b>70</b>  | m    |
| Peso Proprio  | G <sub>1</sub> | <b>120</b> | kN/m |
| Permanenti portati                                      | G <sub>2</sub> | <b>120</b> | kN/m |
| Ballast   | G <sub>2</sub> | <b>0</b>   | kN/m |
| n° totale appoggi sulla pila                            | n              | <b>2</b>   |      |
| Reazione appoggio i = (G <sub>1</sub> *L/2)/n           | R <sub>i</sub> | 2100.0     | kN   |
| Reazione appoggio i = (G <sub>2</sub> *L/2)/n           | R <sub>i</sub> | 2100.0     | kN   |
| Reazione appoggio i = (G <sub>2</sub> *L/2)/n (ballast) | R <sub>i</sub> | 0          | kN   |

### 4.6.2 Carichi trasmessi dall'impalcato

Si riportano di seguito gli scarichi agli appoggi dedotti dall'analisi dell'impalcato, per la campata sinistra e destra (la condizione di Momento Longitudinale massimo "MLmax" è riferita alla situazione in cui solo uno dei due impalcato venga caricato):

RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RS3E 50 D 09 CL VI 12 05 004 A 20 di 52

| sx                                  |          |       |            |           |               |              |          |            |           |  |
|-------------------------------------|----------|-------|------------|-----------|---------------|--------------|----------|------------|-----------|--|
| SEZIONE MISTA 40 ML SINGOLO BINARIO |          |       |            |           |               |              |          |            |           |  |
| APPOGGIO                            | REAZIONE | y     | REAZ. LM71 | REAZ. SW2 | $\alpha$ LM71 | $\alpha$ SW2 | $\phi 3$ | REAZ. LM71 | REAZ. SW2 |  |
| 1                                   | 0.530    | 1.8   | 1840       | 2612      | 1.1           | 1            | 1.09     | 2211       | 2853      |  |
| 2                                   | 0.470    | -1.8  | 1840       | 2612      | 1.1           | 1            | 1.09     | 2211       | 2853      |  |
| dx                                  |          |       |            |           |               |              |          |            |           |  |
| RETICOLARE 70 M SINGOLO BINARIO     |          |       |            |           |               |              |          |            |           |  |
| APPOGGIO                            | REAZIONE | y     | REAZ. LM71 | REAZ. SW2 | $\alpha$ LM71 | $\alpha$ SW2 | $\phi 3$ | REAZ. LM71 | REAZ. SW2 |  |
| 1                                   | 0.530    | 2.97  | 3042       | 2727      | 1.1           | 1            | 1.00     | 3346       | 2727      |  |
| 2                                   | 0.470    | -2.97 | 3042       | 2727      | 1.1           | 1            | 1.00     | 3346       | 2727      |  |
| dx ML max                           |          |       |            |           |               |              |          |            |           |  |
| RETICOLARE 70 M SINGOLO BINARIO     |          |       |            |           |               |              |          |            |           |  |
| APPOGGIO                            | REAZIONE | y     | REAZ. LM71 | REAZ. SW2 | $\alpha$ LM71 | $\alpha$ SW2 | $\phi 3$ | REAZ. LM71 | REAZ. SW2 |  |
| 1                                   | 0.530    | 2.97  | 3343       | 4465      | 1.1           | 1            | 1.00     | 3677       | 4465      |  |
| 2                                   | 0.470    | -2.97 | 3343       | 4465      | 1.1           | 1            | 1.00     | 3677       | 4465      |  |

Che ripartiti con il metodo Courbon sul singolo appoggio forniscono i risultati in tabella seguente.

**REAZIONI VINCOLARI [kN,m]**

sx

| Appoggio                 | A    |      |      | B    |      |      | biz  |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                          | FZ   | FX   | FY   | FZ   | FX   | FY   |      |
| Descrizione carico       | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [m]  |
| Peso proprio g1          | 1310 |      |      | 1310 |      |      | 0.00 |
| Permanenti G2            | 1200 |      |      | 1200 |      |      | 0.00 |
| Ballast                  |      |      |      |      |      |      | 0.00 |
| Comb. Nmax Qv            | 1512 |      |      | 1341 |      |      | 0.00 |
| Comb. Nmax Q frenatura   |      | 0    |      |      | 0    |      | 3.00 |
| Comb. Nmax Q centrifuga  |      |      | 84   |      |      | 84   | 4.80 |
| Comb. Nmax Q serpeggio   |      |      | 13   |      |      | 13   | 3.00 |
| Comb. MTmax Qv           | 1173 |      |      | 1573 |      |      | 0.00 |
| Comb. MTmax Q frenatura  |      | 0    |      |      | 0    |      | 3.00 |
| Comb. MTmax Q centrifuga |      |      | 128  |      |      | 128  | 4.80 |
| Comb. MTmax Q serpeggio  |      |      | 13   |      |      | 13   | 3.00 |
| Comb. MLmax Qv           | 0    |      |      | 0    |      |      | 0.00 |
| Comb. MLmax Q frenatura  |      | 0    |      |      | 0    |      | 3.00 |
| Comb. MLmax Q centrifuga |      |      |      |      |      |      | 0.00 |
| Comb. MLmax Q serpeggio  |      |      |      |      |      | 0    | 3.00 |
| Vento Ponte Scarico      |      |      | 98   |      |      | 98   | 3.15 |
| Vento Ponte Carico       |      |      | 217  |      |      | 217  | 3.50 |
| Attrito permanente       |      | 75   | 75   |      | 75   | 75   | 0.00 |
| Attrito carichi mobili   |      | 45   | 45   |      | 47   | 47   | 0.00 |
| Sisma longitudinale      |      |      |      |      |      |      | 2.30 |
| Sisma trasversale        |      |      | 2138 |      |      | 2138 | 2.30 |
| Sisma verticale          | 619  |      |      | 619  |      |      | 0.00 |
| Sisma longitudinale      |      | 0    |      |      | 0    |      | 2.30 |
| Sisma trasversale        |      |      | 2358 |      |      | 2358 | 2.30 |
| Sisma verticale          | 619  |      |      | 619  |      |      | 0.00 |
| Sisma longitudinale      |      | 0    |      |      | 0    |      | 2.30 |
| Sisma trasversale        |      |      | 3207 |      |      | 3207 | 2.30 |
| Sisma verticale          | 619  |      |      | 619  |      |      | 0.00 |

**REAZIONI VINCOLARI [kN,m]**

dx

| Appoggio                 | A                   |      |      | B    |      |      | biz  |
|--------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|                          | FZ                  | FX   | FY   | FZ   | FX   | FY   |      |
| Descrizione carico       | [kN]                | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [m]  |
| Peso proprio g1          | 2100                |      |      | 2100 |      |      | 0.00 |
| Permanenti G2            | 2100                |      |      | 2100 |      |      | 0.00 |
| Ballast                  |                     |      |      |      |      |      | 0.00 |
| Comb. Nmax Qv            | 1445                |      |      | 1282 |      |      | 0.00 |
| Comb. Nmax Q frenatura   |                     | 875  |      |      | 875  |      | 3.00 |
| Comb. Nmax Q centrifuga  |                     |      | 117  |      |      | 117  | 4.80 |
| Comb. Nmax Q serpeggio   |                     |      | 13   |      |      | 13   | 3.00 |
| Comb. MTmax Qv           | 1173                |      |      | 1573 |      |      | 0.00 |
| Comb. MTmax Q frenatura  |                     | 770  |      |      | 770  |      | 3.00 |
| Comb. MTmax Q centrifuga |                     |      | 189  |      |      | 189  | 4.80 |
| Comb. MTmax Q serpeggio  |                     |      | 13   |      |      | 13   | 3.00 |
| Comb. MLmax Qv           | 2366                |      |      | 2099 |      |      | 0.00 |
| Comb. MLmax Q frenatura  |                     | 875  |      |      | 875  |      | 3.00 |
| Comb. MLmax Q centrifuga |                     |      | 117  |      |      | 117  | 4.80 |
| Comb. MLmax Q serpeggio  |                     |      | 25   |      |      | 25   | 3.00 |
| Vento Ponte Scarico      |                     |      | 171  |      |      | 171  | 3.15 |
| Vento Ponte Carico       |                     |      | 380  |      |      | 380  | 3.50 |
| Attrito permanente       |                     | 126  | 126  |      | 126  | 126  | 0.00 |
| Attrito carichi mobili   |                     | 71   | 71   |      | 63   | 63   | 0.00 |
| q=1.5                    | Sisma longitudinale |      | 5072 |      | 5072 |      | 4.20 |
|                          | Sisma trasversale   |      |      | 2138 |      | 2138 | 4.20 |
|                          | Sisma verticale     | 619  |      |      | 619  |      | 0.00 |
| q=1.36                   | Sisma longitudinale |      | 5594 |      | 5594 |      | 4.20 |
|                          | Sisma trasversale   |      |      | 2358 |      | 2358 | 4.20 |
|                          | Sisma verticale     | 619  |      |      | 619  |      | 0.00 |
| q=1                      | Sisma longitudinale |      | 7608 |      | 7608 |      | 4.20 |
|                          | Sisma trasversale   |      |      | 3207 |      | 3207 | 4.20 |
|                          | Sisma verticale     | 619  |      |      | 619  |      | 0.00 |

#### 4.6.3 Azione del Vento

| <b>Azione del Vento - generale - NTC e EC 1-1-4:2005</b>   |                            |         |        |       |
|--|----------------------------|---------|--------|-------|
| Condizione (ponte carico o scarico)                        |                            | scarico | carico |       |
| Altitudine sul livello del mare                            | as                         | 250     | 250    | m     |
| Zona   | Z                          | 4       | 4      |       |
| Parametri  | Vb,0                       | 28      | 28     | m/s   |
| Parametri  | a0                         | 500     | 500    | m     |
| Parametri  | ks                         | 0.36    | 0.36   | 1/s   |
| Velocità di riferimento (Tr=50anni)                        | $vb=vb0 * (1+ks(as/ao-1))$ | 28      | 28     | m/s   |
| Periodo di ritorno considerato                             | TR                         | 112.5   | 112.5  | anni  |
|  | αR                         | 1.05    | 1.05   |       |
| Velocità di riferimento                                    | Vb(TR)                     | 29.28   | 29.28  | m/s   |
| Densità dell'aria  | ρ                          | 1.25    | 1.25   | kg/mc |
| Pressione cinetica di riferimento                          | $qb=0.5*ρ*vb^2$            | 0.54    | 0.54   | kN/mq |
| Classe di rugosità del terreno                             |                            | D       | D      |       |
| Distanza dalla costa                                       |                            | >10     | >10    | km    |
| Altitudine sul livello del mare                            |                            | <750    | <750   | m     |
| Categoria di esposizione del sito                          | Cat                        | II      | II     |       |
| <b>Vento su impalcato</b>                                  |                            |         |        |       |
| Parametri  | kr                         | 0.19    | 0.19   |       |
| Parametri  | z0                         | 0.05    | 0.05   | m     |
| Parametri  | zmin                       | 4       | 4      | m     |
| Altezza di riferimento per l'impalcato (EC punto 8.3.1(6)) | z                          | 15      | 15     | m     |
| Coefficiente di topografia                                 | ct                         | 1       | 1      |       |
| Coefficiente di esposizione (z)                            | ce(z)                      | 2.62    | 2.62   |       |
| Larghezza impalcato  | b                          | 9.7     | 9.7    | m     |
| Altezza impalcato  | h1                         | 2.3     | 3      | m     |
| Altezza treno o parapetto                                  | h2                         | 1.5     | 4      | m     |
| Altezza totale impalcato (comprese le barriere o treno)    | dtot                       | 3.8     | 7      | m     |
| Rapporto di forma  | b/dtot                     | 2.55    | 1.39   |       |
| Coefficiente di forza (figura 8.3 EC)                      | cfx                        | 1.73    | 2.08   |       |
| <b>Riepilogo</b>   |                            |         |        |       |
| Pressione cinetica di riferimento                          | qb                         | 0.57    | 0.57   | kN/mq |
| Coefficiente di esposizione                                | ce                         | 2.62    | 2.62   |       |
| Coefficiente di forza                                      | cfx                        | 1.73    | 2.08   |       |
| Altezza di riferimento (EC punto 8.3.1 (4) e (5))          | d                          | 3.8     | 7      | m     |
| Forza statica equivalente a m/1                            | f=prodotto                 | 9.8     | 21.7   | kN/m  |
| Pressione statica equivalente                              | p=f/d                      | 2.57    | 3.09   | kN/mq |
| Pressione statica equivalente (minima considerata)         | pmin                       | 1.5     | 1.5    | kN/mq |
| Forza statica equivalente a m/1 considerata                | f                          | 9.8     | 21.7   | kN/m  |
| <b>Vento impalcato a ponte scarico</b>                     |                            |         |        |       |
|  |                            | sx      | dx     |       |
| Forza statica equivalente                                  | f                          | 9.8     | 9.8    | kN/m  |
| Luce impalcato   | L                          | 40      | 70     | m     |
| Forza trasversale al piano appoggi                         | FT=f*L/2                   | 196     | 342    | kN/m  |
| <b>Vento impalcato a ponte carico</b>                      |                            |         |        |       |
| Forza statica equivalente                                  | f                          | 21.7    | 21.7   | kN/m  |
| Luce impalcato   | L                          | 40      | 70     | m     |
| Forza trasversale al piano appoggi                         | FT=f*L/2                   | 433     | 758    | kN/m  |

| <b>Vento su Pila e Pulvino</b>                              |                    |              |              |       |
|---|--------------------|--------------|--------------|-------|
| Parametri   | kr                 | 0.19         | 0.19         |       |
| Parametri   | z0                 | 0.05         | 0.05         | m     |
| Parametri   | zmin               | 4            | 4            | m     |
| Altezza di riferimento per pila e pulvino (EC punto 7.6(2)) | z                  | 10.90        | 10.9         | m     |
| Coefficiente di topografia                                  | ct                 | 1            | 1            |       |
| Coefficiente di esposizione (z)                             | ce(z)              | 2.41         | 2.41         |       |
|   |                    | <b>dir.x</b> | <b>dir.x</b> |       |
| Altezza (dir.z)   | h                  | 2.20         | 8.70         | m     |
| Larghezza in direz. Ortogonale al vento                     | b                  | 8.00         | 4.50         | m     |
| Larghezza in direz. Parallela al vento                      | d                  | 5.3          | 4.5          | m     |
| Rapporto di forma   | d/b                | 0.66         | 1.00         |       |
| Coefficiente di forza (figura 7.23 EC)                      | cfx                | 2.38         | 2.15         |       |
| Raggio di arrotondamento (figura 7.24 EC)                   | r                  | 0            | 2.25         | m     |
| Rapporto di forma II  | r/b                | 0.00         | 0.50         |       |
| Fattore di riduzione (figura 7.24 EC)                       | Ψ                  | 1.00         | 0.50         |       |
| Pressione di riferimento                                    | $q=\Psi*cfx*ce*qb$ | 3.25         | 1.47         | kN/mq |
| Area investita dal vento                                    | $A=b*h$            | 17.6         | 39.15        | mq    |
| Forza statica equivalente                                   | $F=q*A$            | 57           | 58           | kN    |
|   |                    | <b>dir.y</b> | <b>dir.y</b> |       |
| Altezza (dir.z)   | h                  | 2.20         | 8.70         | m     |
| Larghezza in direz. Ortogonale al vento                     | b                  | 5.3          | 4.5          | m     |
| Larghezza in direz. Parallela al vento                      | d                  | 8            | 4.5          | m     |
| Rapporto di forma   | d/b                | 1.51         | 1.00         |       |
| Coefficiente di forza (figura 7.23 EC)                      | cfx                | 1.86         | 2.15         |       |
| Raggio di arrotondamento (figura 7.24 EC)                   | r                  | 0            | 2.25         | m     |
| Rapporto di forma II  | r/b                | 0.00         | 0.50         |       |
| Fattore di riduzione (figura 7.24 EC)                       | Ψ                  | 1.00         | 0.50         |       |
| Pressione di riferimento                                    | $q=\Psi*cfx*ce*qb$ | 2.54         | 1.47         | kN/mq |
| Area investita dal vento                                    | $A=b*h$            | 11.66        | 39.15        | mq    |
| Forza statica equivalente                                   | $F=q*A$            | 30           | 58           | kN    |
| <b>Riepilogo</b>  |                    |              |              |       |
| <b>Vento x</b>  |                    |              |              |       |
| Pulvino   | F                  | 57           | kN           |       |
| Pila  | F                  | 58           | kN           |       |
| Distanza tra spiccato fusto e testa pulvino                 | bz                 | 10.90        | m            |       |
| Forza totale  | F Tot              | 115          | kN           |       |
| <b>Vento y</b>  |                    |              |              |       |
| Pulvino   | F                  | 30           | kN           |       |
| Pila  | F                  | 58           | kN           |       |
| Distanza tra spiccato fusto e testa pulvino                 | bz                 | 10.90        | m            |       |
| Forza totale  | F Tot              | 87           | kN           |       |

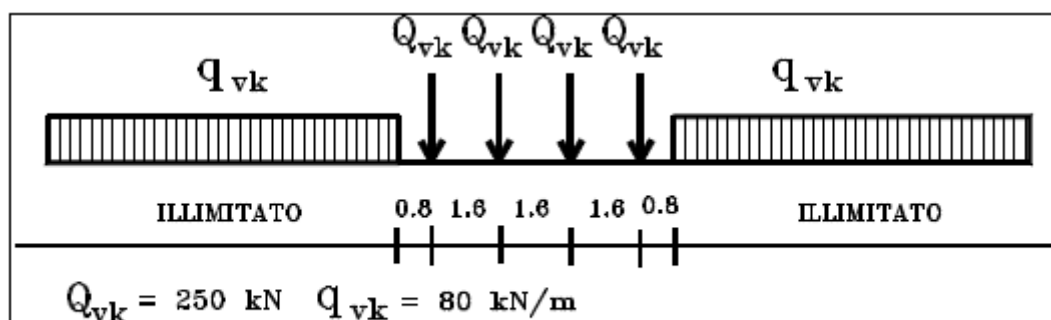
#### 4.6.4 Carichi da traffico verticali

L'opera è stata progettata considerando le sollecitazioni dovute al carico da traffico ferroviario, considerando i modelli LM71 e/o SW/2.

Si riportano di seguito le caratteristiche dei modelli di traffico presi in esame.

##### ➤ Modello di carico LM71

Sia le istruzioni RFI che le NTC 2008 (par. 5.2.2.2.1.1), definiscono questo modello di carico tramite carichi concentrati e carichi distribuiti, riferiti all'asse dei binari.



*Treno di carico LM 71*

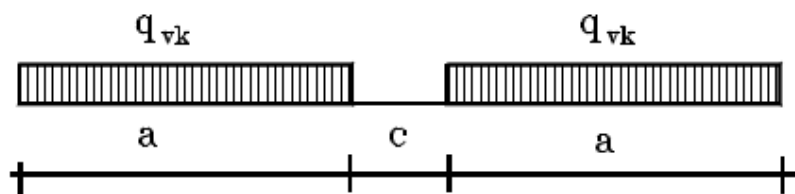
Carichi concentrati: quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m;

Carico distribuito: 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,8 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata

Per questo modello di carico è prevista un'eccentricità del carico rispetto all'asse del binario.

##### ➤ Modello di carico SW/2

Sia le istruzioni RFI che le NTC 2008 (par. 5.2.2.2.1.2), definiscono questo modello di carico tramite solo carichi distribuiti.



*Treno di carico SW*



| Tipo di Carico | $q_{vk}$ [kN/m] | a [m] | c [m] |
|----------------|-----------------|-------|-------|
| SW/0           | 133             | 15,0  | 5,3   |
| SW/2           | 150             | 25,0  | 7,0   |

In questo modello di carico non è prevista alcuna eccentricità del carico ferroviario.

Le azioni di entrambi i modelli dovranno essere moltiplicate per un coefficiente di adattamento definito dalla seguente tabella (tab. 2.5.1.4.1.1 - RFI DTC SI PS MA IFS 001 A).

| MODELLO DI CARICO | COEFFICIENTE "α" |
|-------------------|------------------|
| LM71              | 1,10             |
| SW/0              | 1,10             |
| SW/2              | 1,00             |

#### 4.6.5 Effetti dinamici

Per la definizione del coefficiente dinamico si segue quanto contenuto nel par.5.2.2.2.3 del DM 14.1.2008 che per l'opera in esame riporta:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00 \quad [5.2.7]$$

#### 4.6.6 Carichi da traffico orizzontali

| Frenatura                                    |      |                 |
|--|------|-----------------|
| L  | 70   | m               |
| L <sub>calc</sub>                            | 70   | per Treno LM 71 |
|  | 30   | per Treno SW/0  |
|  | 50   | per SW/2        |
| Q <sub>lb,k</sub>                            | 1540 | per Treno LM 71 |
| Q <sub>lb,k</sub>                            | 660  | per Treno SW/0  |
| Q <sub>lb,k</sub>                            | 1750 | per SW/2        |
| Q <sub>lb,k</sub> (filtrata) per Treno LM 71 | 1540 | kN              |
| Q <sub>lb,k</sub> (filtrata) per Treno SW/0  | 660  | kN              |
| Q <sub>lb,k</sub> (filtrata) per SW/2        | 1750 | kN              |

| Avviamento                                   |      |                 |
|--|------|-----------------|
| L  | 70   | m               |
| L <sub>calc</sub>                            | 70   | per Treno LM 71 |
|  | 30   | per Treno SW/0  |
|  | 50   | per SW/2        |
| Q <sub>la,k</sub>                            | 2541 | per Treno LM 71 |
| Q <sub>la,k</sub>                            | 1089 | per Treno SW/0  |
| Q <sub>la,k</sub>                            | 1650 | per SW/2        |
| Q <sub>la,k</sub> (filtrata) per Treno LM 71 | 1000 | kN              |
| Q <sub>la,k</sub> (filtrata) per Treno SW/0  | 1000 | kN              |
| Q <sub>la,k</sub> (filtrata) per SW/2        | 1000 | kN              |

| Serpeggio          |     |      |
|--------------------|-----|------|
| FT=100kN /2        | 50  | kN*m |
| <u>Treno LM 71</u> |     |      |
| $\alpha$           | 1.1 |      |
| FT* $\alpha$       | 55  | kN   |
| <u>Treno SW/0</u>  |     |      |
| $\alpha$           | 1.1 |      |
| FT* $\alpha$       | 55  | kN   |
| <u>Treno SW/2</u>  |     |      |
| $\alpha$           | 1   |      |
| FT* $\alpha$       | 50  | kN   |

L'azione centrifuga risulta nulla poiché la pila si trova in un tratto rettilineo.

#### 4.6.7 Azione sismica

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 14 gennaio 2008 e relativa circolare applicativa.

➤ Valori di progetto

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera:

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

---

Ricerca per comune

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

---

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

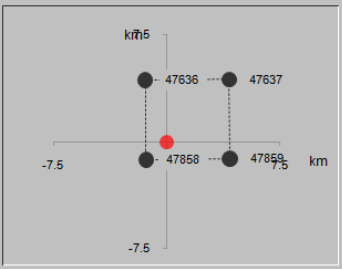
---

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

---

**Nodi del reticolo intorno al sito**



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo


Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$

info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$

info

---

**Valori di progetto**

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$

info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$

info

Stati limite di esercizio - SLE

|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| SLO - $P_{VR} = 81\%$ | <input type="text" value="120"/> |
| SLD - $P_{VR} = 63\%$ | <input type="text" value="201"/> |

Stati limite ultimi - SLU

|                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| SLV - $P_{VR} = 10\%$ | <input type="text" value="1898"/> |
| SLC - $P_{VR} = 5\%$  | <input type="text" value="2475"/> |

---

**Elaborazioni**

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

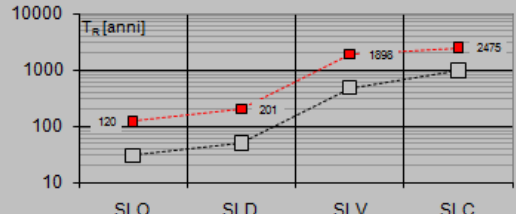
---

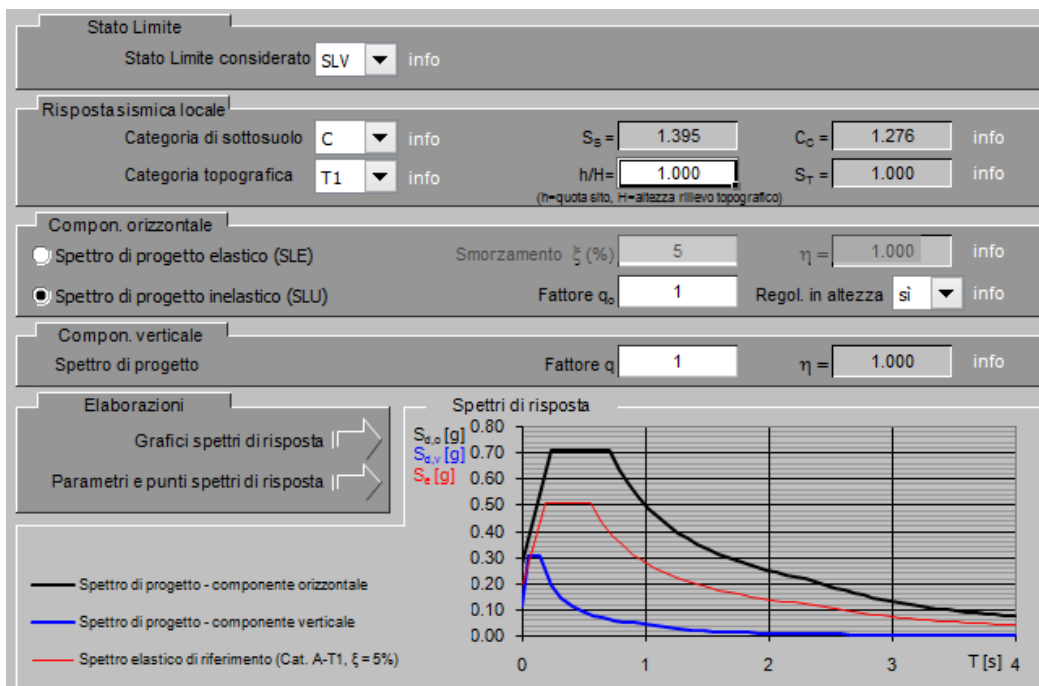
**LEGENDA GRAFICO**

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

Strategia di progettazione





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

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0.197 g |
| $F_c$        | 2.590   |
| $T_c$        | 0.554 s |
| $S_c$        | 1.395   |
| $C_c$        | 1.276   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |

**Parametri dipendenti**

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1.395   |
| $\eta$ | 1.000   |
| $T_B$  | 0.236 s |
| $T_C$  | 0.707 s |
| $T_D$  | 2.386 s |

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_3 \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

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

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

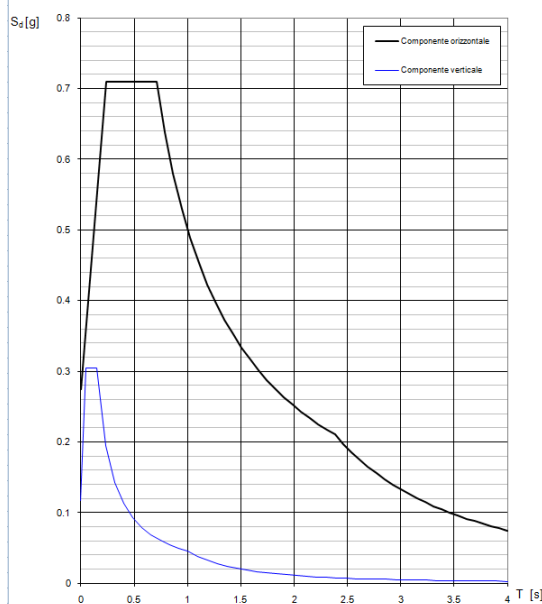
$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

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

**Punti dello spettro di risposta**

| T [s] | $S_e$ [g] |
|-------|-----------|
| 0.000 | 0.274     |
| 0.236 | 0.710     |
| 0.707 | 0.710     |
| 0.787 | 0.638     |
| 0.867 | 0.579     |
| 0.947 | 0.530     |
| 1.027 | 0.489     |
| 1.107 | 0.454     |
| 1.187 | 0.423     |
| 1.267 | 0.396     |
| 1.347 | 0.373     |
| 1.427 | 0.352     |
| 1.507 | 0.333     |
| 1.587 | 0.316     |
| 1.666 | 0.301     |
| 1.746 | 0.287     |
| 1.826 | 0.275     |
| 1.906 | 0.263     |
| 1.986 | 0.253     |
| 2.066 | 0.243     |
| 2.146 | 0.234     |
| 2.226 | 0.225     |
| 2.306 | 0.218     |
| 2.386 | 0.210     |
| 2.463 | 0.197     |
| 2.540 | 0.186     |
| 2.617 | 0.175     |
| 2.693 | 0.165     |
| 2.770 | 0.156     |
| 2.847 | 0.148     |
| 2.924 | 0.140     |
| 3.001 | 0.133     |
| 3.078 | 0.126     |
| 3.155 | 0.120     |
| 3.231 | 0.115     |
| 3.308 | 0.109     |
| 3.385 | 0.105     |
| 3.462 | 0.100     |
| 3.539 | 0.096     |
| 3.616 | 0.092     |
| 3.693 | 0.088     |
| 3.769 | 0.084     |
| 3.846 | 0.081     |
| 3.923 | 0.078     |
| 4.000 | 0.075     |

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**



➤ Calcolo dell'azione Sismica

Per il calcolo delle azioni sismiche si utilizza una Analisi Statica Lineare, come riportata nel cap. 7.9.4.1 delle Normative. Qualora le ipotesi non siano soddisfatte, per il calcolo dei periodi propri della pila, si è fatto riferimento ad una Analisi Dinamica Modale, attraverso la costruzione di un modello tridimensionale agli Elementi Finiti semplificato.

I Fattori di struttura utilizzati sono:


- $q = 1.5$  per la verifica a presso flessione della pila
- $q = 1.5/1.1$  per la verifica a capacità portante verticale dei pali e verifica del plinto
- $q = 1$  per le verifiche a taglio degli elementi strutturali (vedi anche punto successivo), verifiche a capacità portante orizzontale dei pali.
- Solo per la verifica a taglio dello spiccatto della pila, il criterio adottato è quello della gerarchia delle resistenze, così come indicato al punto 7.9.5 delle NTC

| Condizione Sismica                 |                       |       |    |
|------------------------------------|-----------------------|-------|----|
| Massa sismica impalcato dir x      | mix                   | 17891 | kN |
| Massa efficace pila dir x          | mpx                   | 3485  | kN |
| Massa complessiva dir x            | mix + mpx             | 21376 | kN |
| 1/5 Massa sismica impalcato dir x  | mi <sub>x</sub> /5    | 3578  | kN |
| Verifica requisito dir x           |                       | si    |    |
| Massa sismica impalcato dir. y     | mi <sub>y</sub>       | 14536 | kN |
| Massa efficace pila dir. Y         | mpy                   | 3485  | kN |
| Massa complessiva dir. Y           | mi <sub>y</sub> + mpy | 18021 | kN |
| 1/5 Massa sismica impalcato dir. Y | mi <sub>y</sub> /5    | 2907  | kN |
| Verifica requisito dir. Y          |                       | no    |    |
| Massa sismica impalcato dir. z     | mi <sub>z</sub>       | 14536 | kN |
| Massa efficace pila dir. Z         | mpz                   | 3485  | kN |
| Massa complessiva dir. Z           | mi <sub>z</sub> + mpz | 18021 | kN |
| 1/5 Massa sismica impalcato dir. Z | mi <sub>z</sub> /5    | 2907  | kN |
| Verifica requisito dir. Z          |                       | no    |    |

|                       |                 |             |                |
|-----------------------|-----------------|-------------|----------------|
| Inerzia Pila asse y   | J <sub>yy</sub> | 20.1        | m <sup>4</sup> |
| Inerzia Pila asse x   | J <sub>xx</sub> | 20.1        | m <sup>4</sup> |
| Area Pila             | A <sub>p</sub>  | 15.90       | m <sup>2</sup> |
| Rigidezza Pila asse y | K <sub>y</sub>  | 866429747.7 | N/m            |
| Rigidezza Pila asse x | K <sub>x</sub>  | 866429747.7 | N/m            |
| rigidezza Pila asse z | K <sub>z</sub>  | 48150671806 | N/m            |
| Periodo x             | T <sub>x</sub>  | 0.31        | s              |
| Periodo y             | T <sub>y</sub>  | 0.29        | s              |
| Periodo z             | T <sub>z</sub>  | 0.04        | s              |

|  |                  |       |  |
|--|------------------|-------|--|
| Accelerazione orizzontale Se(Tx) direzione x | a <sub>g</sub> x | 0.71  |  |
| Accelerazione orizzontale Se(Ty) direzione y | a <sub>g</sub> y | 0.71  |  |
| Accelerazione Verticale Se(Tz) direzione z   | a <sub>g</sub> z | 0.14  |  |
| <b>q=1.5</b>                                 |                  |       |  |
| Accelerazione orizzontale Sd(Tx) direzione x | a <sub>g</sub> x | 0.47  |  |
| Accelerazione orizzontale Sd(Ty) direzione y | a <sub>g</sub> y | 0.47  |  |
| Accelerazione Verticale Sd(Tz) direzione z   | a <sub>g</sub> z | 0.14  |  |
| <b>q=1.36</b>                                |                  |       |  |
| Accelerazione orizzontale Sd(Tx) direzione x | a <sub>g</sub> x | 0.52  |  |
| Accelerazione orizzontale Sd(Ty) direzione y | a <sub>g</sub> y | 0.52  |  |
| Accelerazione Verticale Sd(Tz) direzione z   | a <sub>g</sub> z | 0.14  |  |
| <b>q=1</b>                                   |                  |       |  |
| Accelerazione orizzontale Sd(Tx) direzione x | a <sub>g</sub> x | 0.7   |  |
| Accelerazione orizzontale Sd(Ty) direzione y | a <sub>g</sub> y | 0.7   |  |
| Accelerazione Verticale Sd(Tz) direzione z   | a <sub>g</sub> z | 0.137 |  |

| Condizione Sismica - Taglienti Totali |     |       |    |
|---------------------------------------|-----|-------|----|
| <b>q=1.5</b>                          |     |       |    |
| Tagliante direzione x                 | F x | 10143 | kN |
| Tagliante direzione y                 | F y | 8551  | kN |
| Tagliante direzione z                 | F z | 2476  | kN |
| <b>q=1.36</b>                         |     |       |    |
| Tagliante direzione x                 | F x | 11187 | kN |
| Tagliante direzione y                 | F y | 9432  | kN |
| Tagliante direzione z                 | F z | 2476  | kN |
| <b>q=1</b>                            |     |       |    |
| Tagliante direzione x                 | F x | 15215 | kN |
| Tagliante direzione y                 | F y | 12827 | kN |
| Tagliante direzione z                 | F z | 2476  | kN |

|   |   |                         |             |                     |                           |           |
|---|---|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>VI12 (ex VI04) - Singolo Binario</b> |                         |             |                     |                           |           |
|   | RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6   | COMMESSA<br><b>RS3E</b> | LOTTO<br>50 | CODIFICA<br>D 09 CL | DOCUMENTO<br>VI 12 05 004 | REV.<br>A |

#### 4.6.8 Calcolo delle sollecitazioni in testa pali

Le sollecitazioni agenti in testa palo vengono calcolate nell'ipotesi di platea di fondazione infinitamente rigida, attraverso la relazione

$$R(x, y) = \frac{N}{n} + \frac{M_l}{J_l} \cdot y + \frac{M_t}{J_t} \cdot x$$

dove

$N, M_l, M_t$  sono lo sforzo normale e i momenti flettenti longitudinale e trasversale agenti al baricentro della palificata,  $n$  è il numero di pali e  $J_l, J_t$  sono le inerzie longitudinale e trasversale della palificata

$$J_l = \sum y_i^2 \qquad J_t = \sum x_i^2$$

Per quanto riguarda le sollecitazioni orizzontali in testa palo, si assume che le azioni di taglio di ripartiscano uniformemente tra i pali, risultando

$$T(x, y) = \frac{\sqrt{H_l^2 + H_t^2}}{n}$$

dove  $H_l, H_t$  sono le forze orizzontali longitudinale e trasversale agenti al baricentro della palificata.

#### 4.6.9 Riepilogo risultati

Il foglio automatico, sulla base di calcoli sviluppati nei fogli successivi, restituisce, per ciascuna combinazione i risultati del controllo di verifica.

Per ciascuna combinazione vengono riassunti:

- Le sollecitazioni al livello del piano di fondazione in termini di sforzo normale  $N$ , forza orizzontale  $T$  e momento ribaltante  $M$ .
- Per i carichi sui pali in termini di  $N_{\max}, N_{\min}, T$  ed  $M$ .

**SPICCATO PILA: condizione statica**

| Descrizione carico   | F <sub>Z</sub> | F <sub>X</sub> | F <sub>Y</sub> | b <sub>ix</sub> | b <sub>iy</sub> | b <sub>iz</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                      | [kN]           | [kN]           | [kN]           | [m]             | [m]             | [m]             | [kNm]          | [kNm]          |
| Pila                 | 5791           |                |                | 0.00            | 0.00            | 0               | 0              | 0              |
| Vento su pila dir. x |                | 115            |                | 0.00            | 0.00            | 10.90           | 0              | 1250           |
| Vento su pila dir. y |                |                | 87.1           | 0.00            | 0.00            | 10.90           | 949            | 0              |

**INTRADOSSO FONDAZIONE: condizione statica**

| Descrizione carico   | F <sub>Z</sub> | F <sub>X</sub> | F <sub>Y</sub> | b <sub>ix</sub> | b <sub>iy</sub> | b <sub>iz</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                      | [kN]           | [kN]           | [kN]           | [m]             | [m]             | [m]             | [kNm]          | [kNm]          |
| Pila                 | 5791           |                |                | 0.00            | 0.00            | 0               | 0              | 0              |
| Plinto               | 14231.25       |                |                | 0.00            | 0.00            | 1.50            | 0.00           | 0              |
| Rinterro             | 6780           |                |                | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00           | 0              |
| Vento su pila dir. x |                | 115            |                | 0.00            | 0.00            | 13.90           | 0              | 1595           |
| Vento su pila dir. y |                |                | 87.1           | 0.00            | 0.00            | 13.90           | 1210           | 0              |

**INTRADOSSO FONDAZIONE: condizione sismica**

| Descrizione carico | F <sub>Z</sub> | F <sub>X</sub> | F <sub>Y</sub> | b <sub>ix</sub> | b <sub>iy</sub> | b <sub>iz</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                    | [kN]           | [kN]           | [kN]           | [m]             | [m]             | [m]             | [kNm]          | [kNm]          |
| Plinto sisma x     |                | 3911           |                | 0.00            | 0.00            | 1.50            | 0.00           | 5866           |
| Plinto sisma y     |                |                | 3911           | 0.00            | 0.00            | 1.50            | 5866           | 0              |
| Plinto sisma z     | 1955           |                |                | 0.00            | 0.00            | 1.50            | 0              | 0              |
| Rinterro sisma z   | 932            |                |                | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0              | 0              |



## 4.7 Sollecitazioni

| CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE<br>INTERNA ALLA BASE DELLA PILA |                   |       |       |       |        |        |
|--|-------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
|  | Nz                | Tx    | Ty    | Mx    | My     |        |
| A2 - SLU - N max gr.1  | 28166             | 1779  | 2249  | 32335 | 27993  |        |
| A2 - SLU - MT max gr.1   | 28056             | 1648  | 2540  | 33664 | 26299  |        |
| A2 - SLU - ML max gr.1   | 26772             | 1869  | 1041  | 14395 | 35855  |        |
| A2 - SLU - N max gr.3  | 28166             | 2873  | 1967  | 27839 | 43689  |        |
| A2 - SLU - MT max gr.3   | 28056             | 2611  | 2112  | 26816 | 40111  |        |
| A2 - SLU - ML max gr.3   | 26772             | 2963  | 863   | 11585 | 51550  |        |
| A2 - SLU - Vento ponte scarico                                       | 21191             | 403   | 1215  | 15945 | 9274   |        |
| A2 - SLU Gmin - N max gr.1   | 19586             | 1779  | 2249  | 32335 | 25185  |        |
| A2 - SLU Gmin - MT max gr.1  | 19476             | 1648  | 2540  | 33664 | 23491  |        |
| A2 - SLU Gmin - ML max gr.1  | 18192             | 1869  | 1041  | 14395 | 33047  |        |
| A2 - SLU Gmin - N max gr.3   | 19586             | 2873  | 1967  | 27839 | 40881  |        |
| A2 - SLU Gmin - MT max gr.3  | 19476             | 2611  | 2112  | 26816 | 37303  |        |
| A2 - SLU Gmin - ML max gr.3  | 18192             | 2963  | 863   | 11585 | 48742  |        |
| A2 - SLU Gmin - Vento ponte scarico                                  | 12611             | 403   | 1215  | 15945 | 6466   |        |
| A1 - SLU - N max gr.1  | 35016             | 2141  | 2679  | 38288 | 33683  |        |
| A1 - SLU - MT max gr.1   | 34889             | 1988  | 3017  | 39829 | 31718  |        |
| A1 - SLU - ML max gr.1   | 33399             | 2244  | 1284  | 17566 | 42797  |        |
| A1 - SLU - N max gr.3  | 35016             | 3411  | 2352  | 33072 | 51915  |        |
| A1 - SLU - MT max gr.3   | 34889             | 3106  | 2521  | 31885 | 47762  |        |
| A1 - SLU - ML max gr.3   | 33399             | 3514  | 1078  | 14306 | 61029  |        |
| A1 - SLU - Vento ponte scarico                                       | 26925             | 544   | 1481  | 19294 | 11968  |        |
| A1 - SLU Gmin - N max gr.1   | 20702             | 2141  | 2679  | 38288 | 29780  |        |
| A1 - SLU Gmin - MT max gr.1  | 20575             | 1988  | 3017  | 39829 | 27814  |        |
| A1 - SLU Gmin - ML max gr.1  | 19085             | 2244  | 1284  | 17566 | 38894  |        |
| A1 - SLU Gmin - N max gr.3   | 20702             | 3411  | 2352  | 33072 | 48011  |        |
| A1 - SLU Gmin - MT max gr.3  | 20575             | 3106  | 2521  | 31885 | 43858  |        |
| A1 - SLU Gmin - ML max gr.3  | 19085             | 3514  | 1078  | 14306 | 57125  |        |
| A1 - SLU Gmin - Vento ponte scarico                                  | 12611             | 403   | 1340  | 17695 | 6466   |        |
| SLE rara - N max gr.1  | 24791             | 1504  | 1849  | 26334 | 23601  |        |
| SLE rara - MT max gr.1   | 24703             | 1399  | 2082  | 27397 | 22246  |        |
| SLE rara - ML max gr.1   | 23676             | 1573  | 913   | 12430 | 29861  |        |
| SLE rara - N max gr.3  | 24791             | 2379  | 1623  | 22737 | 36158  |        |
| SLE rara - MT max gr.3   | 24703             | 2169  | 1740  | 21919 | 33295  |        |
| SLE rara - ML max gr.3   | 23676             | 2448  | 771   | 10182 | 42417  |        |
| SLE rara - Vento ponte scarico                                       | 19211             | 403   | 1028  | 13320 | 8626   |        |
| SLE freq. - N max gr.1   | 23675             | 1284  | 945   | 13015 | 20606  |        |
| SLE freq. - MT max gr.1  | 23605             | 1200  | 1131  | 13865 | 19522  |        |
| SLE freq. - ML max gr.1  | 22783             | 1284  | 811   | 10858 | 25014  |        |
| SLE freq. - N max gr.3   | 23675             | 1984  | 764   | 10137 | 30651  |        |
| SLE freq. - MT max gr.3  | 23605             | 1816  | 857   | 9482  | 28361  |        |
| SLE freq. - ML max gr.3  | 22783             | 1984  | 697   | 9059  | 35059  |        |
| SLE freq. - Vento ponte scarico                                      | 19211             | 403   | 672   | 8470  | 8626   |        |
| SLE quasi permanente   | 19211             | 403   | 403   | 4570  | 8626   |        |
| q = 1,5  | SLV - N max       | 22803 | 3640  | 2902  | 41854  | 59169  |
| q = 1,5  | SLV - MT max gr.1 | 21052 | 3598  | 8935  | 129468 | 58596  |
| q = 1,5  | SLV - ML max gr.1 | 20847 | 10741 | 2869  | 41315  | 170688 |
| q = 1,5  | SLV - MT max gr.3 | 19567 | 3598  | 8935  | 129468 | 58596  |
| q = 1,5  | SLV - ML max gr.3 | 19361 | 10741 | 2869  | 41315  | 170688 |
| q = 1,5  | SLV - N min       | 17851 | 3640  | 2902  | 41854  | 59169  |
| q = 1,36   | SLV - N max       | 22803 | 3953  | 3167  | 45648  | 64040  |
| q = 1,36   | SLV - MT max gr.1 | 21052 | 3911  | 9816  | 142465 | 63468  |
| q = 1,36   | SLV - ML max gr.1 | 20847 | 11785 | 3133  | 45171  | 186926 |
| q = 1,36   | SLV - MT max gr.3 | 19567 | 3911  | 9816  | 142465 | 63468  |
| q = 1,36   | SLV - ML max gr.3 | 19361 | 11785 | 3133  | 45171  | 186926 |
| q = 1,36   | SLV - N min       | 17851 | 3953  | 3167  | 45648  | 64040  |
| q = 1  | SLV - N max       | 22803 | 5161  | 4185  | 60583  | 82830  |
| q = 1  | SLV - MT max gr.1 | 21052 | 5119  | 13211 | 191897 | 82257  |
| q = 1  | SLV - ML max gr.1 | 20847 | 15813 | 4152  | 60043  | 249558 |
| q = 1  | SLV - MT max gr.3 | 19567 | 5119  | 13211 | 191897 | 82257  |
| q = 1  | SLV - ML max gr.3 | 19361 | 15813 | 4152  | 60043  | 249558 |
| q = 1  | SLV - N min       | 17851 | 5161  | 4185  | 60583  | 82830  |

Tabella 3 – Sollecitazioni della base della pila

#### 4.7.1 Plinto di fondazione

Nella tabella che segue sono indicati la risultante e momento risultante rispetto al baricentro del plinto di fondazione.

| CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE<br>INTERNA INTRADOSSO FONDAZIONE |       |       |       |        |        |  |
|---|-------|-------|-------|--------|--------|--|
|   | Nz    | Tx    | Ty    | Mx     | My     |  |
| A2 - SLU - N max gr.1   | 51211 | 1779  | 2249  | 39082  | 33332  |  |
| A2 - SLU - MT max gr.1  | 51101 | 1648  | 2540  | 41284  | 31244  |  |
| A2 - SLU - ML max gr.1  | 49818 | 1869  | 1041  | 17517  | 41462  |  |
| A2 - SLU - N max gr.3   | 51211 | 2873  | 1967  | 33740  | 52308  |  |
| A2 - SLU - MT max gr.3  | 51101 | 2611  | 2112  | 33154  | 47943  |  |
| A2 - SLU - ML max gr.3  | 49818 | 2963  | 863   | 14174  | 60439  |  |
| A2 - SLU - Vento ponte scarico  | 44236 | 403   | 1215  | 19590  | 10481  |  |
| A2 - SLU Gmin - N max gr.1  | 33817 | 1779  | 2249  | 39082  | 30524  |  |
| A2 - SLU Gmin - MT max gr.1   | 33707 | 1648  | 2540  | 41284  | 28436  |  |
| A2 - SLU Gmin - ML max gr.1   | 32424 | 1869  | 1041  | 17517  | 38654  |  |
| A2 - SLU Gmin - N max gr.3  | 33817 | 2873  | 1967  | 33740  | 49500  |  |
| A2 - SLU Gmin - MT max gr.3   | 33707 | 2611  | 2112  | 33154  | 45135  |  |
| A2 - SLU Gmin - ML max gr.3   | 32424 | 2963  | 863   | 14174  | 57631  |  |
| A2 - SLU Gmin - Vento ponte scarico                                   | 26842 | 403   | 1215  | 19590  | 7673   |  |
| A1 - SLU - N max gr.1   | 64398 | 2141  | 2679  | 46324  | 40105  |  |
| A1 - SLU - MT max gr.1  | 64271 | 1988  | 3017  | 48879  | 37683  |  |
| A1 - SLU - ML max gr.1  | 62782 | 2244  | 1284  | 21418  | 49529  |  |
| A1 - SLU - N max gr.3   | 64398 | 3411  | 2352  | 40128  | 62149  |  |
| A1 - SLU - MT max gr.3  | 64271 | 3106  | 2521  | 39448  | 57081  |  |
| A1 - SLU - ML max gr.3  | 62782 | 3514  | 1078  | 17540  | 71572  |  |
| A1 - SLU - Vento ponte scarico  | 56307 | 544   | 1481  | 23738  | 13599  |  |
| A1 - SLU Gmin - N max gr.1  | 34933 | 2141  | 2679  | 46324  | 36202  |  |
| A1 - SLU Gmin - MT max gr.1   | 34806 | 1988  | 3017  | 48879  | 33780  |  |
| A1 - SLU Gmin - ML max gr.1   | 33317 | 2244  | 1284  | 21418  | 45625  |  |
| A1 - SLU Gmin - N max gr.3  | 34933 | 3411  | 2352  | 40128  | 58245  |  |
| A1 - SLU Gmin - MT max gr.3   | 34806 | 3106  | 2521  | 39448  | 53178  |  |
| A1 - SLU Gmin - ML max gr.3   | 33317 | 3514  | 1078  | 17540  | 67668  |  |
| A1 - SLU Gmin - Vento ponte scarico                                   | 26842 | 403   | 1340  | 21715  | 7673   |  |
| SLE rara - N max gr.1   | 45802 | 1504  | 1849  | 31880  | 28114  |  |
| SLE rara - MT max gr.1  | 45714 | 1399  | 2082  | 33642  | 26443  |  |
| SLE rara - ML max gr.1  | 44687 | 1573  | 913   | 15169  | 34580  |  |
| SLE rara - N max gr.3   | 45802 | 2379  | 1623  | 27607  | 43295  |  |
| SLE rara - MT max gr.3  | 45714 | 2169  | 1740  | 27138  | 39803  |  |
| SLE rara - ML max gr.3  | 44687 | 2448  | 771   | 12495  | 49761  |  |
| SLE rara - Vento ponte scarico  | 40222 | 403   | 1028  | 16403  | 9833   |  |
| SLE freq.-N max gr.1  | 44686 | 1284  | 945   | 15848  | 24458  |  |
| SLE freq.-MT max gr.1   | 44616 | 1200  | 1131  | 17258  | 23121  |  |
| SLE freq.-ML max gr.1   | 43794 | 1284  | 811   | 13291  | 28865  |  |
| SLE freq.-N max gr.3  | 44686 | 1984  | 764   | 12430  | 36603  |  |
| SLE freq.-MT max gr.3   | 44616 | 1816  | 857   | 12055  | 33809  |  |
| SLE freq.-ML max gr.3   | 43794 | 1984  | 697   | 11151  | 41010  |  |
| SLE freq.- Vento ponte scarico  | 40222 | 403   | 672   | 10485  | 9833   |  |
| SLE quasi permanente  | 40222 | 403   | 403   | 5777   | 9833   |  |
| q = 1.5   |       |       |       |        |        |  |
| SLV - N max   | 46702 | 4813  | 4076  | 52321  | 71848  |  |
| SLV - MT max gr.1   | 42930 | 4771  | 12846 | 162140 | 71150  |  |
| SLV - ML max gr.1   | 42724 | 14652 | 4042  | 51682  | 208776 |  |
| SLV - MT max gr.3   | 39712 | 4771  | 12846 | 162140 | 71150  |  |
| SLV - ML max gr.3   | 39507 | 14652 | 4042  | 51682  | 208776 |  |
| SLV - N min   | 35975 | 4813  | 4076  | 52321  | 71848  |  |
| q = 1.36  |       |       |       |        |        |  |
| SLV - N max   | 46702 | 5126  | 4340  | 56908  | 77659  |  |
| SLV - MT max gr.1   | 42930 | 5084  | 13727 | 177779 | 76961  |  |
| SLV - ML max gr.1   | 42724 | 15696 | 4306  | 56330  | 228147 |  |
| SLV - MT max gr.3   | 39712 | 5084  | 13727 | 177779 | 76961  |  |
| SLV - ML max gr.3   | 39507 | 15696 | 4306  | 56330  | 228147 |  |
| SLV - N min   | 35975 | 5126  | 4340  | 56908  | 77659  |  |
| q = 1   |       |       |       |        |        |  |
| SLV - N max   | 46702 | 6335  | 5358  | 74898  | 100074 |  |
| SLV - MT max gr.1   | 42930 | 6293  | 17122 | 237398 | 99375  |  |
| SLV - ML max gr.1   | 42724 | 19724 | 5325  | 74259  | 302862 |  |
| SLV - MT max gr.3   | 39712 | 6293  | 17122 | 237398 | 99375  |  |
| SLV - ML max gr.3   | 39507 | 19724 | 5325  | 74259  | 302862 |  |
| SLV - N min   | 35975 | 6335  | 5358  | 74898  | 100074 |  |

Tabella 4 – Sollecitazioni ad intradosso del baricentro fondazione

#### 4.8 Pali di fondazione

Le sollecitazioni risultanti sono riportati nelle seguenti tabelle:

| <b>SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA</b> |       |                |                |                |                |                       |                       |                   |
|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| C.C.  | N     | T <sub>x</sub> | T <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> | N <sub>max/palo</sub> | N <sub>min/palo</sub> | T <sub>palo</sub> |
| n°  | kN    | kN             | kN             | kNm            | kNm            | kN                    | kN                    | kN                |
| AI - SLU - N max gr.1                               | 64398 | 2141           | 2679           | 46324          | 40105          | 7510                  | 3223                  | 286               |
| AI - SLU - MT max gr.1                              | 64271 | 1988           | 3017           | 48879          | 37683          | 7489                  | 3223                  | 301               |
| AI - SLU - ML max gr.1                              | 62782 | 2244           | 1284           | 21418          | 49529          | 7084                  | 3380                  | 215               |
| AI - SLU - N max gr.3                               | 64398 | 3411           | 2352           | 40128          | 62149          | 7985                  | 2748                  | 345               |
| AI - SLU - MT max gr.3                              | 64271 | 3106           | 2521           | 39448          | 57081          | 7818                  | 2894                  | 333               |
| AI - SLU - ML max gr.3                              | 62782 | 3514           | 1078           | 17540          | 71572          | 7610                  | 2854                  | 306               |
| AI - SLU - Vento ponte scarico                      | 56307 | 544            | 1481           | 23738          | 13599          | 5598                  | 3787                  | 131               |
| AI - SLU Gmin - N max gr.1                          | 34933 | 2141           | 2679           | 46324          | 36202          | 4946                  | 876                   | 286               |
| AI - SLU Gmin - MT max gr.1                         | 34806 | 1988           | 3017           | 48879          | 33780          | 4925                  | 876                   | 301               |
| AI - SLU Gmin - ML max gr.1                         | 33317 | 2244           | 1284           | 21418          | 45625          | 4520                  | 1033                  | 215               |
| AI - SLU Gmin - N max gr.3                          | 34933 | 3411           | 2352           | 40128          | 58245          | 5421                  | 401                   | 345               |
| AI - SLU Gmin - MT max gr.3                         | 34806 | 3106           | 2521           | 39448          | 53178          | 5254                  | 547                   | 333               |
| AI - SLU Gmin - ML max gr.3                         | 33317 | 3514           | 1078           | 17540          | 67668          | 5046                  | 507                   | 306               |
| AI - SLU Gmin - Vento ponte scarico                 | 26842 | 403            | 1340           | 21715          | 7673           | 2933                  | 1541                  | 117               |
|   |       |                |                |                |                | 7985                  | 401                   | 345               |

Tabella 5 – Sollecitazioni massime sul singolo palo C.C. SLU

| <b>SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA</b> |       |                |                |                |                |                       |                       |                   |
|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| C.C.  | N     | T <sub>x</sub> | T <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> | N <sub>max/palo</sub> | N <sub>min/palo</sub> | T <sub>palo</sub> |
| n°  | kN    | kN             | kN             | kNm            | kNm            | kN                    | kN                    | kN                |
| SLV - N max   | 46702 | 6335           | 5358           | 74898          | 100074         | 8336                  | -552                  | 691               |
| SLV - MT max gr.1                                   | 42930 | 6293           | 17122          | 237398         | 99375          | 11613                 | -4458                 | 1520              |
| SLV - ML max gr.1                                   | 42724 | 19724          | 5325           | 74259          | 302862         | 13623                 | -6503                 | 1702              |
| SLV - MT max gr.3                                   | 39712 | 6293           | 17122          | 237398         | 99375          | 11345                 | -4727                 | 1520              |
| SLV - ML max gr.3                                   | 39507 | 19724          | 5325           | 74259          | 302862         | 13355                 | -6771                 | 1702              |
| SLV - N min   | 35975 | 6335           | 5358           | 74898          | 100074         | 7442                  | -1446                 | 691               |
|   |       |                |                |                |                | 13623                 | -6771                 | 1702              |

Tabella 6 – Sollecitazioni massime sul singolo palo C.C. SLV q=1

| <b>SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA</b> |       |                |                |                |                |                       |                       |                   |
|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| C.C.  | N     | T <sub>x</sub> | T <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> | N <sub>max/palo</sub> | N <sub>min/palo</sub> | T <sub>palo</sub> |
| n°  | kN    | kN             | kN             | kNm            | kNm            | kN                    | kN                    | kN                |
| SLV - N max   | 46702 | 5126           | 4340           | 56908          | 77659          | 7314                  | 470                   | 560               |
| SLV - MT max gr.1                                   | 42930 | 5084           | 13727          | 177779         | 76961          | 9666                  | -2511                 | 1220              |
| SLV - ML max gr.1                                   | 42724 | 15696          | 4306           | 56330          | 228147         | 11150                 | -4029                 | 1356              |
| SLV - MT max gr.3                                   | 39712 | 5084           | 13727          | 177779         | 76961          | 9398                  | -2779                 | 1220              |
| SLV - ML max gr.3                                   | 39507 | 15696          | 4306           | 56330          | 228147         | 10881                 | -4297                 | 1356              |
| SLV - N min   | 35975 | 5126           | 4340           | 56908          | 77659          | 6420                  | -424                  | 560               |
|   |       |                |                |                |                | 11150                 | -4297                 | 1356              |

Tabella 7 – Sollecitazioni massime sul singolo palo C.C. SLV q=1.36

**SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA**

| C.C.<br>n°                     | N<br>kN | T <sub>x</sub><br>kN | T <sub>y</sub><br>kN | M <sub>x</sub><br>kNm | M <sub>y</sub><br>kNm | N <sub>max/palo</sub><br>kN | N <sub>min/palo</sub><br>kN | T <sub>palo</sub><br>kN |
|--------------------------------|---------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| SLE rara - N max gr.1          | 45802   | 1504                 | 1849                 | 31880                 | 28114                 | 6146                        | 2346                        | 199                     |
| SLE rara - MT max gr.1         | 45714   | 1399                 | 2082                 | 33642                 | 26443                 | 6148                        | 2377                        | 209                     |
| SLE rara - ML max gr.1         | 44687   | 1573                 | 913                  | 15169                 | 34580                 | 5618                        | 2239                        | 152                     |
| SLE rara - N max gr.3          | 45802   | 2379                 | 1623                 | 27607                 | 43295                 | 6536                        | 1842                        | 240                     |
| SLE rara - MT max gr.3         | 45714   | 2169                 | 1740                 | 27138                 | 39803                 | 6380                        | 1970                        | 232                     |
| SLE rara - ML max gr.3         | 44687   | 2448                 | 771                  | 12495                 | 49761                 | 6072                        | 1713                        | 214                     |
| SLE rara - Vento ponte scarico | 40222   | 403                  | 1028                 | 16403                 | 9833                  | 4379                        | 2767                        | 92                      |
|                                |         |                      |                      |                       |                       | 6536                        | 1713                        | 240                     |

Tabella 8 – Sollecitazioni massime sul singolo palo C.C. SLE

#### 4.9 Verifiche degli elementi strutturali

Per tutti gli elementi strutturali della spalla (muro frontale, muro paraghiaia, ...) vengono svolte le seguenti verifiche:

- verifiche a rottura (pressoflessione e taglio) per le combinazioni allo stato limite ultimo (SLU).
- verifiche tensionali per le combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti (SLE)
- verifiche a fessurazione per le combinazioni rara (SLE)

**CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE  
INTERNA ALLA BASE DELLA PILA**

|               |                     |                        | Nz,A<br>[kN] | Tx,A<br>[kN] | Ty,A<br>[kN] | Mxx<br>[kNm] | Myy<br>[kNm] |
|---------------|---------------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SLU GEO       | Nz,A <sub>max</sub> | A2 - SLU - N max gr.1  | 28166        | 1779         | 2249         | 32335        | 27993        |
|               | Tx,A <sub>max</sub> | A2 - SLU - ML max gr.3 | 26772        | 2963         | 863          | 11585        | 51550        |
|               | Ty,A <sub>max</sub> | A2 - SLU - MT max gr.1 | 28056        | 1648         | 2540         | 33664        | 26299        |
|               | Mxx <sub>max</sub>  | A2 - SLU - MT max gr.1 | 28056        | 1648         | 2540         | 33664        | 26299        |
|               | Myy <sub>max</sub>  | A2 - SLU - ML max gr.3 | 26772        | 2963         | 863          | 11585        | 51550        |
| SLU STR       | Nz,A <sub>max</sub> | A1 - SLU - N max gr.1  | 35016        | 2141         | 2679         | 38288        | 33683        |
|               | Tx,A <sub>max</sub> | A1 - SLU - ML max gr.3 | 33399        | 3514         | 1078         | 14306        | 61029        |
|               | Ty,A <sub>max</sub> | A1 - SLU - MT max gr.1 | 34889        | 1988         | 3017         | 39829        | 31718        |
|               | Mxx <sub>max</sub>  | A1 - SLU - MT max gr.1 | 34889        | 1988         | 3017         | 39829        | 31718        |
|               | Myy <sub>max</sub>  | A1 - SLU - ML max gr.3 | 33399        | 3514         | 1078         | 14306        | 61029        |
| SLE RARA      | Nz,A <sub>max</sub> | SLE rara - N max gr.1  | 24791        | 1504         | 1849         | 26334        | 23601        |
|               | Tx,A <sub>max</sub> | SLE rara - ML max gr.3 | 23676        | 2448         | 771          | 10182        | 42417        |
|               | Ty,A <sub>max</sub> | SLE rara - MT max gr.1 | 24703        | 1399         | 2082         | 27397        | 22246        |
|               | Mxx <sub>max</sub>  | SLE rara - MT max gr.1 | 24703        | 1399         | 2082         | 27397        | 22246        |
|               | Myy <sub>max</sub>  | SLE rara - ML max gr.3 | 23676        | 2448         | 771          | 10182        | 42417        |
| SLE FREQUENTE | Nz,A <sub>max</sub> | SLE freq.- N max gr.1  | 23675        | 1284         | 945          | 13015        | 20606        |
|               | Tx,A <sub>max</sub> | SLE freq.- N max gr.3  | 23675        | 1984         | 764          | 10137        | 30651        |
|               | Ty,A <sub>max</sub> | SLE freq.- MT max gr.1 | 23605        | 1200         | 1131         | 13865        | 19522        |
|               | Mxx <sub>max</sub>  | SLE freq.- MT max gr.1 | 23605        | 1200         | 1131         | 13865        | 19522        |
|               | Myy <sub>max</sub>  | SLE freq.- ML max gr.3 | 22783        | 1984         | 697          | 9059         | 35059        |
| SLE Q.P.      |                     | SLE quasi permanente   | 19211        | 403          | 403          | 4570         | 8626         |
| SLV q=1.5     | Nz,A <sub>max</sub> | SLV - N max            | 22803        | 3640         | 2902         | 41854        | 59169        |
|               | Tx,A <sub>max</sub> | SLV - ML max gr.1      | 20847        | 10741        | 2869         | 41315        | 170688       |
|               | Ty,A <sub>max</sub> | SLV - MT max gr.1      | 21052        | 3598         | 8935         | 129468       | 58596        |
|               | Mxx <sub>max</sub>  | SLV - MT max gr.1      | 21052        | 3598         | 8935         | 129468       | 58596        |
|               | Myy <sub>max</sub>  | SLV - ML max gr.3      | 19361        | 10741        | 2869         | 41315        | 170688       |
| SLV q=1.36    | Nz,A <sub>max</sub> | SLV - N max            | 22803        | 3953         | 3167         | 45648        | 64040        |
|               | Tx,A <sub>max</sub> | SLV - ML max gr.1      | 20847        | 11785        | 3133         | 45171        | 186926       |
|               | Ty,A <sub>max</sub> | SLV - MT max gr.1      | 21052        | 3911         | 9816         | 142465       | 63468        |
|               | Mxx <sub>max</sub>  | SLV - MT max gr.1      | 21052        | 3911         | 9816         | 142465       | 63468        |
|               | Myy <sub>max</sub>  | SLV - ML max gr.3      | 19361        | 11785        | 3133         | 45171        | 186926       |
| SLV q=1       | Nz,A <sub>max</sub> | SLV - N max            | 22803        | 5161         | 4185         | 60583        | 82830        |
|               | Tx,A <sub>max</sub> | SLV - ML max gr.1      | 20847        | 15813        | 4152         | 60043        | 249558       |
|               | Ty,A <sub>max</sub> | SLV - MT max gr.1      | 21052        | 5119         | 13211        | 191897       | 82257        |
|               | Mxx <sub>max</sub>  | SLV - MT max gr.1      | 21052        | 5119         | 13211        | 191897       | 82257        |
|               | Myy <sub>max</sub>  | SLV - ML max gr.3      | 19361        | 15813        | 4152         | 60043        | 249558       |

**CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE  
INTERNA INTRADOSSO FONDAZIONE**

|               |                 | $N_{z,A}$<br>[kN]      | $T_{x,A}$<br>[kN] | $T_{y,A}$<br>[kN] | $M_{xx}$<br>[kNm] | $M_{yy}$<br>[kNm] |        |
|---------------|-----------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| SLU GEO       | $N_{z,A_{max}}$ | A2 - SLU - N max gr.1  | 51211             | 1779              | 2249              | 39082             | 33332  |
|               | $T_{x,A_{max}}$ | A2 - SLU - ML max gr.3 | 49818             | 2963              | 863               | 14174             | 60439  |
|               | $T_{y,A_{max}}$ | A2 - SLU - MT max gr.1 | 51101             | 1648              | 2540              | 41284             | 31244  |
|               | $M_{xx_{max}}$  | A2 - SLU - MT max gr.1 | 51101             | 1648              | 2540              | 41284             | 31244  |
|               | $M_{yy_{max}}$  | A2 - SLU - ML max gr.3 | 49818             | 2963              | 863               | 14174             | 60439  |
| SLU STR       | $N_{z,A_{max}}$ | A1 - SLU - N max gr.1  | 64398             | 2141              | 2679              | 46324             | 40105  |
|               | $T_{x,A_{max}}$ | A1 - SLU - ML max gr.3 | 62782             | 3514              | 1078              | 17540             | 71572  |
|               | $T_{y,A_{max}}$ | A1 - SLU - MT max gr.1 | 64271             | 1988              | 3017              | 48879             | 37683  |
|               | $M_{xx_{max}}$  | A1 - SLU - MT max gr.1 | 64271             | 1988              | 3017              | 48879             | 37683  |
|               | $M_{yy_{max}}$  | A1 - SLU - ML max gr.3 | 62782             | 3514              | 1078              | 17540             | 71572  |
| SLE RARA      | $N_{z,A_{max}}$ | SLE rara - N max gr.1  | 45802             | 1504              | 1849              | 31880             | 28114  |
|               | $T_{x,A_{max}}$ | SLE rara - ML max gr.3 | 44687             | 2448              | 771               | 12495             | 49761  |
|               | $T_{y,A_{max}}$ | SLE rara - MT max gr.1 | 45714             | 1399              | 2082              | 33642             | 26443  |
|               | $M_{xx_{max}}$  | SLE rara - MT max gr.1 | 45714             | 1399              | 2082              | 33642             | 26443  |
|               | $M_{yy_{max}}$  | SLE rara - ML max gr.3 | 44687             | 2448              | 771               | 12495             | 49761  |
| SLE FREQUENTE | $N_{z,A_{max}}$ | SLE freq.- N max gr.1  | 44686             | 1284              | 945               | 15848             | 24458  |
|               | $T_{x,A_{max}}$ | SLE freq.- N max gr.3  | 44686             | 1984              | 764               | 12430             | 36603  |
|               | $T_{y,A_{max}}$ | SLE freq.- MT max gr.1 | 44616             | 1200              | 1131              | 17258             | 23121  |
|               | $M_{xx_{max}}$  | SLE freq.- MT max gr.1 | 44616             | 1200              | 1131              | 17258             | 23121  |
|               | $M_{yy_{max}}$  | SLE freq.- ML max gr.3 | 43794             | 1984              | 697               | 11151             | 41010  |
| SLE Q.P.      |                 | SLE quasi permanente   | 40222             | 403               | 403               | 5777              | 9833   |
| SLV q=1.5     | $N_{z,A_{max}}$ | SLV - N max            | 46702             | 4813              | 4076              | 52321             | 71848  |
|               | $T_{x,A_{max}}$ | SLV - ML max gr.1      | 42724             | 14652             | 4042              | 51682             | 208776 |
|               | $T_{y,A_{max}}$ | SLV - MT max gr.1      | 42930             | 4771              | 12846             | 162140            | 71150  |
|               | $M_{xx_{max}}$  | SLV - MT max gr.1      | 42930             | 4771              | 12846             | 162140            | 71150  |
|               | $M_{yy_{max}}$  | SLV - ML max gr.1      | 42724             | 14652             | 4042              | 51682             | 208776 |
| SLV q=1.36    | $N_{z,A_{max}}$ | SLV - N max            | 46702             | 5126              | 4340              | 56908             | 77659  |
|               | $T_{x,A_{max}}$ | SLV - ML max gr.1      | 42724             | 15696             | 4306              | 56330             | 228147 |
|               | $T_{y,A_{max}}$ | SLV - MT max gr.1      | 42930             | 5084              | 13727             | 177779            | 76961  |
|               | $M_{xx_{max}}$  | SLV - MT max gr.1      | 42930             | 5084              | 13727             | 177779            | 76961  |
|               | $M_{yy_{max}}$  | SLV - ML max gr.1      | 42724             | 15696             | 4306              | 56330             | 228147 |
| SLV q=1       | $N_{z,A_{max}}$ | SLV - N max            | 46702             | 6335              | 5358              | 74898             | 100074 |
|               | $T_{x,A_{max}}$ | SLV - ML max gr.1      | 42724             | 19724             | 5325              | 74259             | 302862 |
|               | $T_{y,A_{max}}$ | SLV - MT max gr.1      | 42930             | 6293              | 17122             | 237398            | 99375  |
|               | $M_{xx_{max}}$  | SLV - MT max gr.1      | 42930             | 6293              | 17122             | 237398            | 99375  |
|               | $M_{yy_{max}}$  | SLV - ML max gr.3      | 39507             | 19724             | 5325              | 74259             | 302862 |

#### 4.9.1 Pila

Taglio di progetto:

| Direzione  |               | Long.(Myy,Tx) | Trasv.(Mxx,Ty) |      |
|--|---------------|---------------|----------------|------|
| Altezza pila   | H             | 13.7          | 13.7           | m    |
| Fattore di struttura   |               | 1.5           | 1.5            |      |
| Fattore di sovraresistenza (eq. 7.9.7)   | $\gamma_{Rd}$ | 1             | 1              |      |
| Fattore di sovraresistenza filtrato (eq. 7.9.7)                                  | $\gamma_{Rd}$ | 1             | 1              |      |
| Taglio agente (q=1)  | V             | 15813         | 13211          | kN   |
| Momento agente (q=1)   | M             | 249558        | 191897         | kN*m |
| Taglio agente (con q)  | VEd           | 10741         | 8935           | kN   |
| Momento agente (con q)   | MEd           | 170688        | 129468         | kN*m |
| Momento Resistente   | MRd           | 190262        | 178549         | kN*m |
| Rapporto di sovraresistenza  | MRd/MEd       | 1.11          | 1.38           |      |
| Tipo sezione (EC8-2; eq. 6.11)   |               | CRITICA       | NON CRITICA    |      |
| Angolo inclinazione bielle compresse   | Teta          | 45            | da calc.       |      |
| Limite superiore Vgr   | Vgr.max= V    | 15813         | 13211          | kN   |
| Taglio di progetto per la gerarchia della resistenza (eq. 7.9.12)                | Vgr           | 11972         | 12323          | kN   |
| Taglio di progetto per la gerarchia della resistenza filtrato (eq. 7.9.12)       | Vgr           | <b>11972</b>  | <b>12323</b>   | kN   |
| fattore di sicurezza aggiuntivo per la resistenza a taglio (eq. 7.9.10)          | $\gamma_{Bd}$ | 1             | 1.16           |      |
| fattore di sicurezza aggiuntivo per la resistenza a taglio filtrato (eq. 7.9.10) | $\gamma_{Bd}$ | <b>1</b>      | <b>1.16</b>    |      |
| <b>Riassumendo</b>   |               |               |                |      |
| Taglio di calcolo  | Vgr           | <b>11972</b>  | <b>12323</b>   | kN   |
| fattore di sicurezza aggiuntivo filtrato (eq. 7.9.10)                            | $\gamma_{Bd}$ | 1.00          | 1.16           |      |
| Angolo inclinazione bielle compresse   | Teta          | 45            | da calc.       |      |

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|  |   |                               |                     |     |
|--|---|-------------------------------|---------------------|-----|
| CALCESTRUZZO -                                       | Classe:                                   | C32/40                        |                     |     |
|  | Resis. compr. di progetto fcd:            | 18.800                        | MPa                 |     |
|  | Resis. compr. ridotta fcd':               | 9.400                         | 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:         | 182.60                        | daN/cm <sup>2</sup> |     |
|  | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.200                         | 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                                      |                               |                     |     |



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**V112 (ex VI04) - Singolo Binario**

RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 40 di 52 |

Sf limite S.L.E. Comb. Rare:

337.50 MPa

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare  
 Classe Conglomerato: C32/40

Raggio circ.: 225.0 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     | 215.0  | 120     | 30 |
| 2      | 0.0     | 0.0     | 205.0  | 120     | 30 |
| 3      | 0.0     | 0.0     | 195.0  | 120     | 30 |

### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm  
 Passo staffe: 1.7 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       | 35016.00 | 33683.00  | 38288.00  | 0.00     | 0.00     |
| 2       | 33399.00 | 61029.00  | 14306.00  | 0.00     | 0.00     |
| 3       | 34889.00 | 31718.00  | 39829.00  | 0.00     | 0.00     |
| 4       | 34889.00 | 31718.00  | 39829.00  | 0.00     | 0.00     |
| 5       | 33399.00 | 61029.00  | 14306.00  | 0.00     | 0.00     |
| 6       | 22803.00 | 59169.00  | 41854.00  | 0.00     | 0.00     |
| 7       | 20847.00 | 170688.00 | 41315.00  | 11972.00 | 0.00     |
| 8       | 21052.00 | 58596.00  | 129468.00 | 0.00     | 12323.00 |
| 9       | 21052.00 | 58596.00  | 129468.00 | 0.00     | 0.00     |
| 10      | 19361.00 | 170688.00 | 41315.00  | 0.00     | 0.00     |

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



RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 41 di 52 |

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       | 24791.00 | 26334.00 | 23601.00 |
| 2       | 23676.00 | 10182.00 | 42417.00 |
| 3       | 24703.00 | 27397.00 | 22246.00 |
| 4       | 24703.00 | 27397.00 | 22246.00 |
| 5       | 23676.00 | 10182.00 | 42417.00 |

**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       | 23675.00 | 13015.00 (54031.90) | 20606.00 (85546.01) |
| 2       | 23675.00 | 10137.00 (22791.03) | 30651.00 (68912.69) |
| 3       | 23605.00 | 13865.00 (60020.09) | 19522.00 (84508.63) |
| 4       | 23605.00 | 13865.00 (60020.09) | 19522.00 (84508.63) |
| 5       | 22783.00 | 9059.00 (16160.31)  | 35059.00 (62541.59) |

**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       | 19211.00 | 4570.00 (0.00) | 8626.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.5 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.0 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.)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**VI12 (ex VI04) - Singolo Binario**

**RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 42 di 52 |

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  $\geq 1.000$   
 As Totale 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   | 35016.00 | 33683.00  | 38288.00  | 35016.07 | 138576.99 | 157518.23 | 4.112544.7(477.1) |           |
| 2      | S   | 33399.00 | 61029.00  | 14306.00  | 33398.82 | 202803.13 | 47527.53  | 3.322544.7(477.1) |           |
| 3      | S   | 34889.00 | 31718.00  | 39829.00  | 34888.93 | 130631.37 | 164021.75 | 4.122544.7(477.1) |           |
| 4      | S   | 34889.00 | 31718.00  | 39829.00  | 34888.93 | 130631.37 | 164021.75 | 4.122544.7(477.1) |           |
| 5      | S   | 33399.00 | 61029.00  | 14306.00  | 33398.82 | 202803.13 | 47527.53  | 3.322544.7(477.1) |           |
| 6      | S   | 22803.00 | 59169.00  | 41854.00  | 22803.20 | 161498.47 | 114227.89 | 2.732544.7(477.1) |           |
| 7      | S   | 20847.00 | 170688.00 | 41315.00  | 20846.87 | 190262.29 | 46056.63  | 1.112544.7(477.1) |           |
| 8      | S   | 21052.00 | 58596.00  | 129468.00 | 21051.98 | 80794.51  | 178549.59 | 1.382544.7(477.1) |           |
| 9      | S   | 21052.00 | 58596.00  | 129468.00 | 21051.98 | 80794.51  | 178549.59 | 1.382544.7(477.1) |           |
| 10     | S   | 19361.00 | 170688.00 | 41315.00  | 19360.84 | 188733.71 | 45683.35  | 1.112544.7(477.1) |           |

**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  
 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 | 168.9  | 105.3  | 0.00326 | 159.8  | 143.9  | -0.00720 | -159.8 | -143.9 |
| 2      | 0.00350 | 51.4   | 70.6   | 0.00325 | 44.7   | 210.3  | -0.00733 | -44.7  | -210.3 |
| 3      | 0.00350 | 176.0  | 130.3  | 0.00326 | 167.1  | 135.3  | -0.00721 | -167.1 | -135.3 |
| 4      | 0.00350 | 176.0  | 130.3  | 0.00326 | 167.1  | 135.3  | -0.00721 | -167.1 | -135.3 |
| 5      | 0.00350 | 51.4   | 56.3   | 0.00325 | 44.7   | 210.3  | -0.00733 | -44.7  | -210.3 |
| 6      | 0.00350 | 129.9  | 183.7  | 0.00323 | 126.4  | 173.9  | -0.00826 | -126.4 | -173.9 |
| 7      | 0.00350 | 52.9   | 218.7  | 0.00323 | 55.6   | 207.7  | -0.00845 | -55.6  | -207.7 |
| 8      | 0.00350 | 205.0  | 92.8   | 0.00323 | 196.4  | 87.4   | -0.00843 | -196.4 | -87.4  |
| 9      | 0.00350 | 205.0  | 92.8   | 0.00323 | 196.4  | 87.4   | -0.00843 | -196.4 | -87.4  |
| 10     | 0.00350 | 52.9   | 218.7  | 0.00322 | 55.6   | 207.7  | -0.00860 | -55.6  | -207.7 |

**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      | 0.000018263 | 0.000016066 | -0.001972864 | ---- | ----   |
| 2      | 0.000005618 | 0.000023967 | -0.002038774 | ---- | ----   |
| 3      | 0.000019044 | 0.000015166 | -0.001977711 | ---- | ----   |
| 4      | 0.000019044 | 0.000015166 | -0.001977711 | ---- | ----   |
| 5      | 0.000005618 | 0.000023967 | -0.002038774 | ---- | ----   |
| 6      | 0.000015440 | 0.000021828 | -0.002515829 | ---- | ----   |

**RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 43 di 52 |

|    |             |             |              |      |      |
|----|-------------|-------------|--------------|------|------|
| 7  | 0.000006392 | 0.000026408 | -0.002613305 | ---- | ---- |
| 8  | 0.000024711 | 0.000011184 | -0.002602946 | ---- | ---- |
| 9  | 0.000024711 | 0.000011184 | -0.002602946 | ---- | ---- |
| 10 | 0.000006471 | 0.000026735 | -0.002689181 | ---- | ---- |

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 10 mm  
Passo staffe: 1.7 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   | 0.00     | 70386.26 | 34280.98377.4 | 331.4 | 404.5 | 1.000 | 1.117 | 0.0  | 264.3(0.0) |
| 2      | S   | 0.00     | 70034.43 | 34396.61377.9 | 332.5 | 403.1 | 1.000 | 1.112 | 0.0  | 264.4(0.0) |
| 3      | S   | 0.00     | 70370.72 | 34284.91377.4 | 331.5 | 404.5 | 1.000 | 1.117 | 0.0  | 264.3(0.0) |
| 4      | S   | 0.00     | 70370.72 | 34284.91377.4 | 331.5 | 404.5 | 1.000 | 1.117 | 0.0  | 264.3(0.0) |
| 5      | S   | 0.00     | 70034.43 | 34396.61377.9 | 332.5 | 403.1 | 1.000 | 1.112 | 0.0  | 264.4(0.0) |
| 6      | S   | 0.00     | 67893.16 | 35059.76380.3 | 339.0 | 396.0 | 1.000 | 1.076 | 0.0  | 264.3(0.0) |
| 7      | S   | 11635.99 | 67468.70 | 35195.34380.8 | 340.2 | 394.5 | 1.000 | 1.070 | 87.4 | 264.4(0.0) |
| 8      | S   | 11226.70 | 67677.17 | 35132.57380.3 | 339.7 | 396.0 | 1.000 | 1.070 | 84.5 | 264.3(0.0) |
| 9      | S   | 0.00     | 67677.17 | 35132.57380.3 | 339.7 | 396.0 | 1.000 | 1.070 | 0.0  | 264.3(0.0) |
| 10     | S   | 0.00     | 67283.59 | 35258.79380.8 | 340.8 | 394.5 | 1.000 | 1.065 | 0.0  | 264.4(0.0) |

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [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   | 4.49   | 150.2  | 0.0    | -35.5  | -143.9 | -159.8 | 10663   | 473.6   |
| 2      | S   | 5.46   | 218.8  | 0.0    | -61.1  | -210.3 | -44.7  | 13037   | 551.3   |
| 3      | S   | 4.48   | 141.8  | 0.0    | -35.5  | -135.3 | -167.1 | 10676   | 473.6   |
| 4      | S   | 4.48   | 141.8  | 0.0    | -35.5  | -135.3 | -167.1 | 10676   | 473.6   |
| 5      | S   | 5.46   | 218.8  | 0.0    | -61.1  | -210.3 | -44.7  | 13037   | 551.3   |

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

RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 44 di 52 |

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

|             |  |
|-------------|--|
| 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  |
| $\emptyset$ | 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]<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 = $sr \max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(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    | $\emptyset$ | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess  | My fess  |
|-------|-----|----------|----|-------|-------------|----|-------------------|--------|--------------|----------|----------|
| 1     | S   | -0.00019 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00011 (0.00011) | 404    | 0.043 (0.20) | 52057.41 | 46654.77 |
| 2     | S   | -0.00032 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00018 (0.00018) | 410    | 0.075 (0.20) | 13815.92 | 57555.49 |
| 3     | S   | -0.00019 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00011 (0.00011) | 404    | 0.043 (0.20) | 54200.21 | 44009.85 |
| 4     | S   | -0.00019 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00011 (0.00011) | 404    | 0.043 (0.20) | 54200.21 | 44009.85 |
| 5     | S   | -0.00032 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00018 (0.00018) | 410    | 0.075 (0.20) | 13815.92 | 57555.49 |

**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   | 3.25   | 190.2  | 0.0    | -12.9  | -180.3 | -117.1 | 5470    | 282.7   |
| 2      | S   | 4.11   | 213.6  | 0.0    | -30.1  | -204.5 | -66.4  | 10060   | 445.3   |
| 3      | S   | 3.20   | 183.4  | 0.0    | -12.2  | -173.9 | -126.4 | 5244    | 275.7   |
| 4      | S   | 3.20   | 183.4  | 0.0    | -12.2  | -173.9 | -126.4 | 5244    | 275.7   |
| 5      | S   | 4.56   | 217.8  | 0.0    | -42.4  | -207.7 | -55.6  | 11822   | 508.9   |

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


| Comb. | Ver | e1       | e2 | k2    | $\emptyset$ | Cf | e sm - e cm       | sr max | wk           | Mx fess  | My fess  |
|-------|-----|----------|----|-------|-------------|----|-------------------|--------|--------------|----------|----------|
| 1     | S   | -0.00007 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00004 (0.00004) | 388    | 0.015 (0.20) | 54031.90 | 85546.01 |
| 2     | S   | -0.00016 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00009 (0.00009) | 404    | 0.037 (0.20) | 22791.03 | 68912.69 |
| 3     | S   | -0.00007 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00004 (0.00004) | 386    | 0.014 (0.20) | 60020.09 | 84508.63 |
| 4     | S   | -0.00007 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00004 (0.00004) | 386    | 0.014 (0.20) | 60020.09 | 84508.63 |
| 5     | S   | -0.00022 | 0  | 0.500 | 30.0        | 85 | 0.00013 (0.00013) | 407    | 0.052 (0.20) | 16160.31 | 62541.59 |

**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   | 1.75   | 198.8  | 0.0    | 3.4    | -191.6 | -97.6  | ----    | ----    |

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

| Comb. | Ver | e1      | e2      | k2   | $\emptyset$ | Cf   | e sm - e cm | sr max | wk           | Mx fess | My fess |
|-------|-----|---------|---------|------|-------------|------|-------------|--------|--------------|---------|---------|
| 1     | S   | 0.00000 | 0.00000 | ---- | ----        | ---- | ----        | ----   | 0.000 (0.20) | 0.00    | 0.00    |

|   |   |                         |             |                     |                           |           |
|---|---|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b><br><b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b><br><b>PROGETTO DEFINITIVO</b><br><b>V112 (ex VI04) - Singolo Binario</b> |                         |             |                     |                           |           |
|   | RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6   | COMMESSA<br><b>RS3E</b> | LOTTO<br>50 | CODIFICA<br>D 09 CL | DOCUMENTO<br>VI 12 05 004 | REV.<br>A |

#### 4.9.2 Zattera di fondazione

Per la valutazione delle sollecitazioni nel plinto di fondazione, è necessario valutare preventivamente le sollecitazioni agenti nei pali di fondazione. Tali sollecitazioni sono state valutate mediante una ripartizione rigida delle sollecitazioni agenti a base plinto.

Si vedano i paragrafi precedenti da cui risulta :

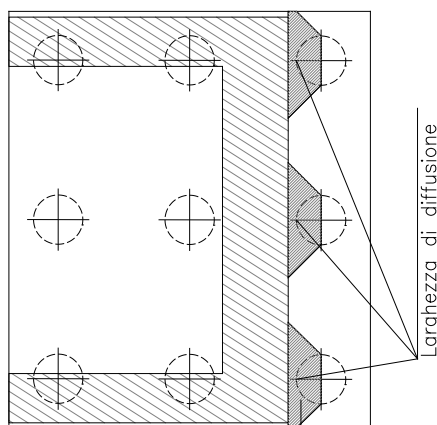
$$N_{\max} = 7985 \text{ kN (CC. SLU)}$$

$$N_{\max} = 11150 \text{ kN (CC. SLV } q=1.36)$$

$$T_{\max} = 1356 \text{ kN (CC. SLV } q=1.36)$$

Il plinto fondazione è stato verificato ipotizzando un meccanismo di tirante puntone. Si riporta di seguito la verifica. La larghezza di diffusione è stata valutata in corrispondenza del filo esterno della pila, mediante una diffusione a  $45^\circ$  a partire dal piano medio del palo (vedi figura seguente), mentre l'altezza della biella compressa è stata valutata pari a  $0.2 d_p$  (con  $d_p$  altezza utile della sezione del plinto).

La verifica è stata eseguita in corrispondenza del palo più sollecitato.

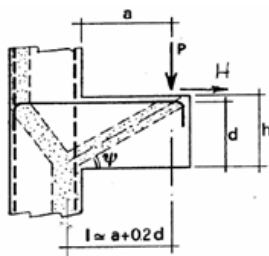


**Figura 1 – Diffusione delle azioni dal palo alla pila**

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche strutturali del plinto di fondazione, condotte con riferimento al metodo usualmente utilizzato per la verifica delle mensole tozze, ovvero il metodo del tirante-puntone, di cui nel seguito si riporta lo schema e di verifica generale e relative formulazioni proposte a riguardo al C4.1.2.1.5 dalla Circolare Ministeriale n° 617 del 02-02-09.

**VERIFICA MENSOLE TOZZE - MECCANISMO TIRANTE PUNTO** secondo Circ 617-09/ C4.1.2.1.5

VERIFICA - MECCANISMO TIRANTE PUNTO.



$P, H$  : Carichi Esterni di Progetto ( $P_{Fn}, H_{Fn}$ )

$P_r$  : Portanza mensola in termini di resistenza dell'armatura metallica

$$P_r = P_{R_s} = (A_s f_{yd} - H_{Ed}) \frac{1}{\lambda} \quad \lambda = \text{ctg} \psi \geq l / (0,9d)$$

$P_r$  : Portanza mensola in termini di resistenza della Biella compressa

$$P_{R_c} = 0,4 b d f_{cd} \frac{c}{1 + \lambda^2} \geq P_{R_s}$$

**CONDIZIONI DI VERIFICA**

- 1  $P_R \geq P_{Ed}$
- 2  $\quad \geq P_{R_s}$

RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

|          |       |          |              |      |          |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 47 di 52 |

### Dati di progetto

|                        |          |    |  |
|------------------------|----------|----|--|
| b(m)=                  | 5.30     | m  | dimensione trasversale verifica  |
| P <sub>Ed</sub> (KN) = | 11150.00 | KN | Carico complessivo VERTICALE sulla fascia di dimensione b                |
| H <sub>Ed</sub> (KN) = | 1356.00  | KN | Carico complessivo ORIZZONTALE sulla fascia di dimensione b              |
| a(m) =                 | 5.80     | m  | distanza P da incastro   |
| h(m) =                 | 3.00     | m  | spessore mensola   |
| δ(m) =                 | 0.10     | m  | copriferro riferito al baricentro delle armature compressive in trazione |
| d(m) =                 | 2.90     | m  | altezza utile  |
| l(m) =                 | 6.38     | m  | a+0,2d   |
| λ =                    | 2.44     |    | λ=ctgψ±l/(0,9d).   |

### Tipo di mensola (Valutazione coefficiente C)

sblazi di piastre (no staffatura)

c(m) = 1.00

### Caratteristiche Materiali

|                   |       |     |              |
|-------------------|-------|-----|--------------|
| f <sub>cd</sub> = | 14.1  | MPa | Calcestruzzo |
| f <sub>yd</sub> = | 391.0 | MPa | Acciaio      |

### Caratteristiche Armature di Progetto

|                                       |        |            |      |   |          |   |          |
|---------------------------------------|--------|------------|------|---|----------|---|----------|
| <u>Registro tipo</u>                  |        | R1         |      |   |          |   |          |
| n° R1=                                | 1      | φ1(mm) =   | 26.0 | p1(cm) =                                | 10.0     | θ1° =                                   | 0.0      |
| A <sub>φ i</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 530.93 | nb tot 1=  | 53.0 | A <sub>φ TOT</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 28139.22 | A <sub>φ CAL</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 28139.22 |
| <u>Registro tipo</u>                  |        | R2         |      |   |          |   |          |
| n° R2=                                | 1      | φ2(mm) =   | 26.0 | p2(cm) =                                | 10.0     | θ2° =                                   | 0.0      |
| A <sub>φ i</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 530.93 | nb tot 2 = | 53.0 | A <sub>φ TOT</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 28139.22 | A <sub>φ CAL</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 28139.22 |
| <u>Registro tipo</u>                  |        | R3         |      |   |          |   |          |
| n° R3=                                | 1      | φ3(mm) =   | 24.0 | p3(cm) =                                | 10.0     | θ3° =                                   | 0.0      |
| A <sub>φ i</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 452.39 | nb tot 3 = | 53.0 | A <sub>φ TOT</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 23976.61 | A <sub>φ CAL</sub> (mm <sup>2</sup> ) = | 23976.61 |

### Verifiche di resistenza

Ψ = 0.388 rad = 22.25 °

P<sub>RS</sub> = 12282.4 KN PR<sub>s</sub>>P<sub>Ed</sub>- Verifica Soddisfatta

P<sub>RC</sub> = 12427.7 KN PR<sub>c</sub>>P<sub>Rs</sub> - Verifica Soddisfatta

#### 4.9.3 Palo di fondazione $L=32.0m$

Viene verificata la sezione di incastro con la platea di fondazione.

Il momento flettente agente in testa palo viene derivato dal taglio in testa palo nell'ipotesi di elasticità lineare sia per il palo che per il terreno. Risulta

$$M = T * \alpha$$

$$\alpha = 3.34 \text{ (vedi relazione geotecnica)}$$

$$N_{\max} = 13623 \text{ kN} \quad T = 1702 \text{ kN} \quad M = 1702 * 3.34 = 5685 \text{ kNm}$$

$$N_{\min} = -6771 \text{ kN} \quad T = 1702 \text{ kN} \quad M = 1702 * 3.34 = 5685 \text{ kNm}$$

$$N = -6771 \text{ kN} \quad T = 1702 \text{ kN} \quad M_{\max} = 1702 * 3.34 = 5685 \text{ kNm}$$

*Caratteristiche della sezione:*

*Sezione circolare  $\varnothing 150 \text{ cm}$*

$$A_s = 40+40 \varnothing 26 \quad \text{staffe } \varnothing 14/15$$

La lunghezza del palo è pari a  $L = 32.00m$

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

|  |   |                     |                     |
|--|---|---------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO -                                   | Classe:                                   | C25/30              |                     |
|  | Resis. compr. di progetto fcd:            | 14.160              | MPa                 |
|  | Resis. compr. ridotta fcd':               | 7.080               | MPa                 |
|  | Def.unit. max resistenza ec2:             | 0.0020              |                     |
|  | Def.unit. ultima ecu:                     | 0.0035              |                     |
|  | Diagramma tensione-deformaz.:             | Parabola-Rettangolo |                     |
|  | Modulo Elastico Normale Ec:               | 31475.0             | MPa                 |
|  | Resis. media a trazione fctm:             | 2.560               | MPa                 |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | Coeff. Omogen. S.L.E.:                    | 15.00               |                     |
|  | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:         | 137.50              | daN/cm <sup>2</sup> |
|  | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 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 $\beta 1 * \beta 2$ : |   | 1.00                |                     |
| Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$ :  |   | 0.50                |                     |
| Sf limite S.L.E. Comb. Rare:                     | 337.50                                    | MPa                 |                     |

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO



RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 49 di 52 |

Forma del Dominio: Circolare  
Classe Conglomerato: C25/30

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 circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate  
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonferenza 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 equidistanti disposte lungo la circonferenza  
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

| N°Gen. | Xcentro | Ycentro | Raggio | N°Barre | Ø  |
|--------|---------|---------|--------|---------|----|
| 1      | 0.0     | 0.0     | 66.0   | 40      | 26 |
| 2      | 0.0     | 0.0     | 61.0   | 40      | 26 |

**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       | 13623.00 | 5685.00 | 0.00 | 1702.00 | 0.00 |
| 2       | -6771.00 | 5685.00 | 0.00 | 1702.00 | 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       | 6536.00 | 802.00 | 0.00 |
| 2       | 1713.00 | 802.00 | 0.00 |

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

RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 50 di 52 |

|    |   |
|----|---|
| 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       | 5619.00 | 967.00 (0.00)    | 0.00 (0.00) |
| 2       | 1980.00 | 967.00 (2251.67) | 0.00 (0.00) |

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

|  |        |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 7.7 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 2.4 cm |
| Copriferro netto minimo staffe:              | 6.3 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   | 13623.00 | 5685.00 | 0.00 | 13622.74 | 9639.61 | 0.00   | 1.70     | 424.7(53.0) |
| 2      | S   | -6771.00 | 5685.00 | 0.00 | -6770.87 | 5699.31 | 0.00   | 1.00     | 424.7(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   | 0.00313 | 0.0    | 66.0   | -0.00222 | 0.0    | -66.0  |
| 2      | 0.00350 | 0.0    | 75.0   | 0.00238 | 0.0    | 66.0   | -0.01402 | 0.0    | -66.0  |

**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 |



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**  
**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**VI12 (ex VI04) - Singolo Binario**

RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 51 di 52 |

C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

| N°Comb | a           | b           | c            | x/d  | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|------|--------|
| 1      | 0.000000000 | 0.000040569 | 0.000457298  | ---- | ----   |
| 2      | 0.000000000 | 0.000124233 | -0.005817440 | ---- | ----   |

## VERIFICHE A TAGLIO

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

Ver S = comb. verificata / N = comb. non verificata  
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiezz. 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   | 1702.00 | 3368.01 | 3462.12118.5 | 89.6  | 135.2 | 2.500 | 1.139 | 19.4 | 39.5(0.0) |
| 2      | S   | 1702.00 | 3336.87 | 4532.84126.3 | 117.3 | 116.5 | 2.500 | 1.000 | 14.8 | 39.5(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   | 4.31   | 0.0    | 0.0    | 19.7   | 0.0    | -66.0  | ----    | ----    |
| 2      | S   | 2.50   | 0.0    | 0.0    | -16.4  | 0.0    | -66.0  | 1153    | 63.7    |

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

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
 Esito della verifica  
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2 * e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]

RELAZIONE DI CALCOLO PILE 4/6

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS3E     | 50    | D 09 CL  | VI 12 05 004 | A    | 52 di 52 |

|             |  |
|-------------|--|
| 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   | 0.00000  | 0.00000 | ----  | ---- | ---- | ----              | ----   | 0.000 (0.20) | 0.00    | 0.00    |
| 2     | S   | -0.00010 | 0       | 0.500 | 26.0 | 77   | 0.00005 (0.00005) | 342    | 0.017 (0.20) | 2326.87 | 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   | 4.26   | 0.0    | 0.0    | 9.7    | 0.0    | -66.0  | ----    | ----    |
| 2      | S   | 3.00   | 0.0    | 0.0    | -21.0  | 0.0    | -66.0  | 1201    | 63.7    |

**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   | 0.00000  | 0.00000 | ----  | ---- | ---- | ----              | ----   | 0.000 (0.20) | 0.00    | 0.00    |
| 2     | S   | -0.00013 | 0       | 0.500 | 26.0 | 77   | 0.00006 (0.00006) | 345    | 0.022 (0.20) | 2251.67 | 0.00    |