

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI - S.O. PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



DIREZIONE GESTIONE COMMESSE - AREA CENTRO SUD – GRANDI APPALTI  
PM tratta Adriatica, nodo di Bari e Bari – Taranto

APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:



## PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

**LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA**  
**INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA**  
**VARIANTE FOSSO DELLA LISCIA**

**VI21 - VIADOTTO ESINO DA PROG. 1+023,00 A PROG. 2+330,71**

### Relazione di calcolo di variante

APPALTATORE	PROGETTAZIONE	SCALA
IL DIRETTORE TECNICO	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE Ing. G.TANZI	-

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

I A 2 0    0 0    V    Z Z    C L    V I 2 1 0 0    0 0 1    C

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Ing. Giancarlo Tanzi  Data: Ottobre 2021
A	Prima emissione	T.Capitanio	Gennaio 2021	A.Nastasi	Gennaio 2021	G.Tanzi	Gennaio 2021	
B	Emiss. a seguito ODS n° 263	T.Capitanio	Aprile 2021	A.Nastasi	Aprile 2021	G.Tanzi	Aprile 2021	
C	Emiss. a seguito ODS n. 292	V. Venier	Ottobre 2021	A. Nastasi	Ottobre 2021		Ottobre 2021	

CIG. 5512584838

CUP: J41C07000000001

File:

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. Foglio C 1 di 136

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
2.1	LEGISLAZIONE DI CARATTERE GENERALE .....	4
2.2	LEGISLAZIONE SISMICA.....	4
2.3	NORMATIVA FERROVIARIA .....	4
<b>3</b>	<b>MATERIALI .....</b>	<b>5</b>
3.1	CALCESTRUZZI.....	5
3.2	ACCIAIO ARMATURA ORDINARIA .....	5
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE IN VARIANTE .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO DEL VIADOTTO .....</b>	<b>11</b>
5.1	RICONOSCIMENTO DELLE UNITÀ GEOTECNICHE .....	11
5.2	STRATIGRAFIA DI PROGETTO E LIVELLI DI FALDA .....	11
<b>6</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI PILE.....</b>	<b>13</b>
6.1	PESO PROPRIO DELLE PILE E DEGLI IMPALCATI .....	13
6.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI DAGLI IMPALCATI.....	13
6.3	AZIONI DOVUTE AL TRAFFICO FERROVIARIO .....	15
6.4	AZIONI DEL VENTO.....	18
6.5	AZIONI SISMICHE.....	18
6.6	AZIONI INDIRETTE .....	19
6.7	SIMULTANEITÀ E COMBINAZIONI DI CARICO.....	19
<b>7</b>	<b>CALCOLO SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO PILA E SULLE FONDAZIONI.....</b>	<b>22</b>
7.1	PILA 44 .....	22
7.2	PILE 45 E 46.....	28
<b>8</b>	<b>PILA 44 – VERIFICHE STRUTTURALI.....</b>	<b>33</b>
8.1	VERIFICA IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI SPICCATO DEL FUSTO.....	33
8.2	VERIFICA IN CORRISPONDENZA DELLA SOLETTA SUPERIORE DELLA PILA.....	38
8.3	VERIFICA DEL PLINTO DI FONDAZIONE .....	56
8.4	VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE - RICHIAMI TEORICI.....	62
8.5	VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE - DATI .....	64
8.6	VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE .....	66
<b>9</b>	<b>PILE 45 E 46 – VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>87</b>
9.1	RICHIAMI TEORICI .....	87
9.2	DATI.....	88
9.3	VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE .....	91
9.4	VERIFICA DEL PLINTO DI FONDAZIONE .....	113
<b>10</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE FONDAZIONI DELLE PILE P44, P45 E P46</b>	<b>120</b>
10.1	VERIFICA DEI PALI ALLE AZIONI ASSIALI .....	121

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 2 di 136

10.2 VERIFICA DEI PALI ALLE AZIONI ORIZZONTALI .....	131
<b>11 INCIDENZA ARMATURE.....</b>	<b>134</b>
11.1 ZATTERE DI FONDAZIONE.....	134
11.2 ELEVAZIONI.....	135
11.3 PALI DI FONDAZIONE .....	136

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 3 di 136

## 1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo di variante viene redatta nell'ambito del progetto denominato "Nodo di Falconara". Il progetto prevede la realizzazione di una variante alla linea ferroviaria Adriatica atto a by- passare l'area degli insediamenti industriali di Falconara.

Il tratto di tracciato compreso tra le progressive pk 1+023 e pk 2+330.71, per una lunghezza complessiva di circa 1.307 metri, corre in viadotto (Viadotto Esino - VI21) e scavalca una serie di interferenze con le viabilità locali e con il reticolo idrografico superficiale.

Il presente progetto esecutivo di variante è stato redatto al fine di compatibilizzare la realizzazione del Viadotto Esino (VI21) con l'intervento di sistemazione idraulica del Canale della Liscia a cura del Consorzio di Bonifica della Regione Marche. Gli interventi di sistemazione idraulica del Canale della Liscia assunti come base per la presente progettazione sono quelli previsti nella perizia di variante, emessa a Febbraio 2020, al progetto denominato "Opere di regimazione idraulica e di riduzione del rischio criticità lungo i fossi San Sebastiano, Rigatta e Cannetacci. Loc. Castelferretti in Comune di Falconara Marittima – 1° Lotto 1° Stralcio" e vengono descritti nel Capitolo 3.

La nuova configurazione del Canale della Liscia risulta interferente con la pila P45 del Viadotto esino (VI21) per cui nè è stato modificato il posizionamento dalla pk 2+230.71 alla pk 2.212.71 lasciando invariata la posizione delle pile P44 e P46. Lo scavalco del Canale della Liscia è previsto tra le pile P45 e P46 mediante un impalcato a struttura mista acciaio calcestruzzo di luce 43.00m (misurata in asse pila).

Si precisa che nel presente progetto esecutivo di variante di variante il tracciato del viadotto, l'inquadramento geotecnico del viadotto, il sistema di fondazione, i materiali impiegati e la geometria dell'impalcato risultano in accordo a quanto già previsto nel Progetto Esecutivo approvato.

Nella presente relazione si riportano le verifiche geotecniche delle fondazioni delle pile P44, P45 e P46 interessate dal progetto di variante, in particolare per le fondazioni delle pile P45 e P46 i pali sono realizzati a partire dal rilevato arginale di nuova realizzazione previsto nella configurazione definitiva del Canale della Liscia.

In tal senso per la valutazione delle azioni sollecitanti sui pali di fondazione, per le verifiche strutturali degli impalcati in c.a.p. e a struttura mista acciaio – calcestruzzo, delle sottostrutture (platee di fondazione ed elevazioni), e delle opere di fondazione (pali di fondazione delle sottostrutture con eccezione delle pile P44, P45 e P46 oggetto della presente relazione) si rimanda ai seguenti elaborati del Progetto Esecutivo approvato e del Progetto Esecutivo di Dettaglio già predisposti:

- **IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-001\_C** - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo elevazioni e fondazioni delle sottostrutture del Viadotto.
- **IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-002\_C** - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo impalcati in c.a.p.
- **IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-003\_C** - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo impalcati a struttura mista acciaio – cls.
- **IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-004\_C** - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo ponte a travi incorporate via Clementina.
- **IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-004\_C** - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione geotecnica e di calcolo opere provvisionali.
- **IA20-00-C-ZZ-CL-VI2100-013\_B** - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo impalcati in c.a.p. tipo 1 8L=25,00 m)

Per la valutazione delle stratigrafie e la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione si rimanda ai seguenti elaborati del Progetto Esecutivo approvato:

- **IA1Y-00-E-ZZ-RB-GE0100-001\_B** - Relazione geotecnica generale.
- **IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-002\_B** - Profilo geotecnico linea "Adriatica" - Tav. 2.

APPALTATORE  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 4 di 136

## 2      **NORMATIVA RIFERIMENTO**

### 2.1   **Legislazione di carattere generale**

**Legge 05.11.1971 n. 1086** : "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";

**Ministero dei LL.PP. - D.M. 14.02.1992**: Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**Ministero dei LL.PP. - Circ. 37406 del 24.06.1993**: Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al Decreto Ministeriale 14 febbraio 1992.

**Ministero dei LL.PP. - D.M. 09.01.1996**: Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**Ministero dei LL.PP. - Circ. 252 del 15.10.1996**: Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al Decreto Ministeriale 09 gennaio 1996.

**Ministero dei LL.PP. - D.M. 16.01.1996**: Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

**Ministero dei LL.PP. - Circ. 156 del 04.07.1996**: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

**Ministero dei LL.PP. - D.M. 11.03.1988**: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**Ministero dei LL.PP. - Circ. LL. PP. 24.09.1988 n. 30483**: "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre opere di fondazione".

### 2.2   **Legislazione sismica**

**Legge del 02.02.1974**: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";

**Ministero dei LL.PP. - D.M. 16.01.1996**: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

**Ministero dei LL.PP. - Circ. 65/AA. GG. del 10.04.1997**: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

Solo per la classificazione sismica del territorio si è fatto riferimento all'OPCM 3274/2003.

### 2.3   **Normativa ferroviaria**

**Istruzione n. 44/b del 14.11.1996**: Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica.

**Istruzione n. 44/e**: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la posa in opera dei dispositivi di vincolo, dei ritegni sismici e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari.

**I/SC/PS-OM/2298 del 02.06.95 - aggiornamento 13.01.1997**: Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 5 di 136

### 3 MATERIALI

Qui di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali (congruenti con la normativa del 1996) utilizzati per il calcolo dell'opera. Nell'apposita tabella materiali allegata al presente progetto i materiali sono invece definiti secondo le normative oggi vigenti (con particolare riferimento alle classi di esposizione della UNI206) e tengono conto delle reali produzioni industriali oggi disponibili.

Le opere in progetto vengono realizzate in una area con classe di esposizione 4b (marino con gelo).

#### 3.1 Calcestruzzi

Calcestruzzo per getti in cantiere: pali

- resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$
- resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 0,83 \times 35,00 = 29,05 \text{ N/mm}^2$
- modulo di elasticità:  $E_{cs} = 33.721,00 \text{ N/mm}^2$
- tensione normale ammissibile:  $\sigma_{c \text{ amm}} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- tensione tangenziale ammissibile (solo cls.):  $\tau_{c0} = 0,667 \text{ N/mm}^2$
- tensione tangenziale ammissibile (con armature):  $\tau_{c1} = 1,97 \text{ N/mm}^2$

Calcestruzzo per getti in cantiere: fondazioni, elevazioni

- resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$
- resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 0,83 \times 35,00 = 29,05 \text{ N/mm}^2$
- modulo di elasticità:  $E_{cs} = 33.721,00 \text{ N/mm}^2$
- tensione normale ammissibile:  $\sigma_{c \text{ amm}} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- tensione tangenziale ammissibile (solo cls.):  $\tau_{c0} = 0,667 \text{ N/mm}^2$
- tensione tangenziale ammissibile (con armature):  $\tau_{c1} = 1,97 \text{ N/mm}^2$

#### 3.2 Acciaio armatura ordinaria

Acciaio da cemento armato: Fe B44k controllato in stabilimento

- tensione ammissibile:  $\sigma_{s \text{ amm}} = 255 \text{ N/mm}^2$

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. Foglio C 6 di 136

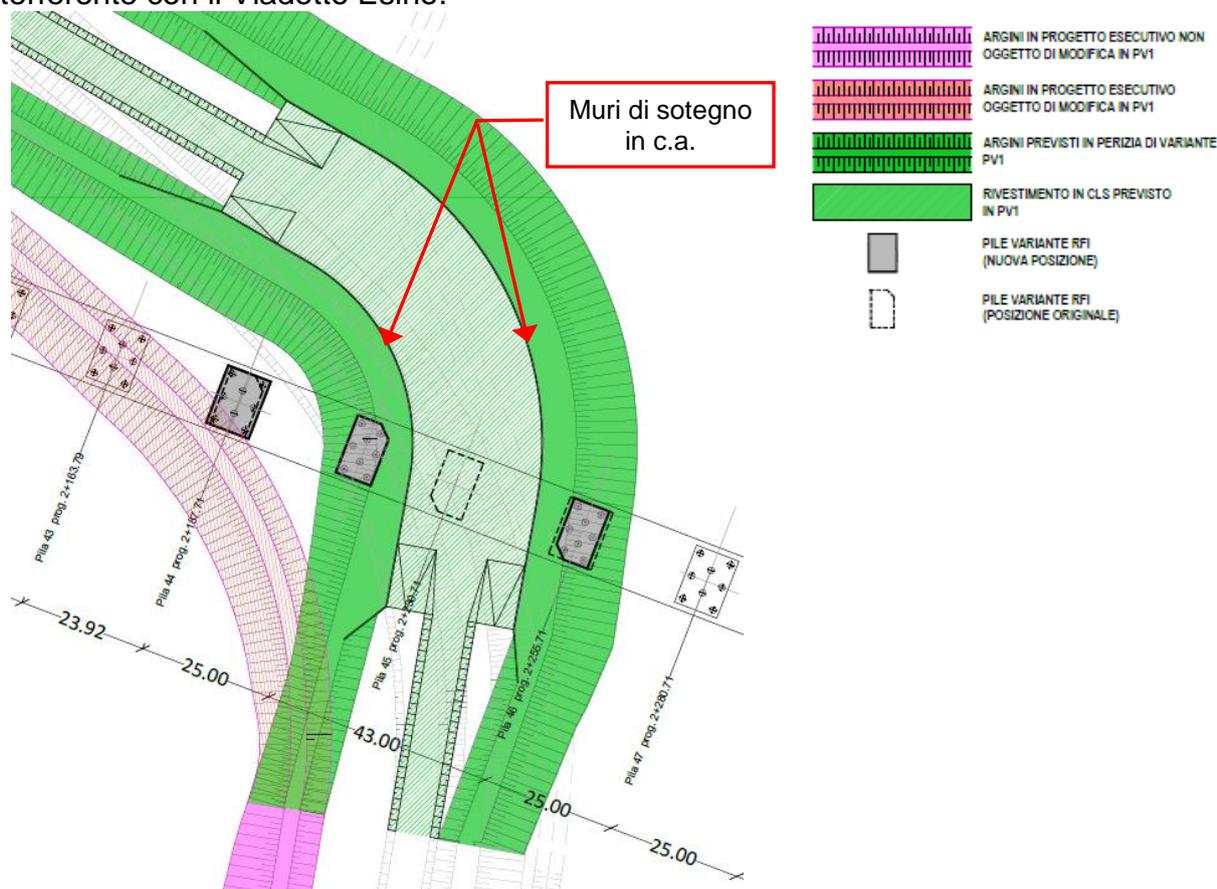
#### 4 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN VARIANTE

Nel presente capitolo si descrivono gli interventi previsti in perizia di variante al progetto denominato “Opere di regimazione idraulica e di riduzione del rischio criticità lungo i fossi San Sebastiano, Rigatta e Cannetacci. Loc. Castelferretti in Comune di Falconara Marittima – 1° Lotto 1° Stralcio” datato Febbraio 2020, in particolare in relazione alla sistemazione idraulica del Canale della Liscia e alle relative implicazioni sul Viadotto Esino (VI21) che lo scavalca.

La configurazione definitiva del canale della Liscia, limitatamente al tratto di canale in corrispondenza del Viadotto Esino, prevede principalmente le seguenti opere/lavorazioni:

- realizzazione di rilevati arginali con materiale idoneo, adeguatamente steso e compattato per strati successivi;
- realizzazione di muri di sostegno in c.a. con funzione di sostegno del rilevato arginale e protezione delle fondazioni delle pile P45 e P46 del Viadotto Esino (VI21);
- rivestimento del fondo del canale in cls.

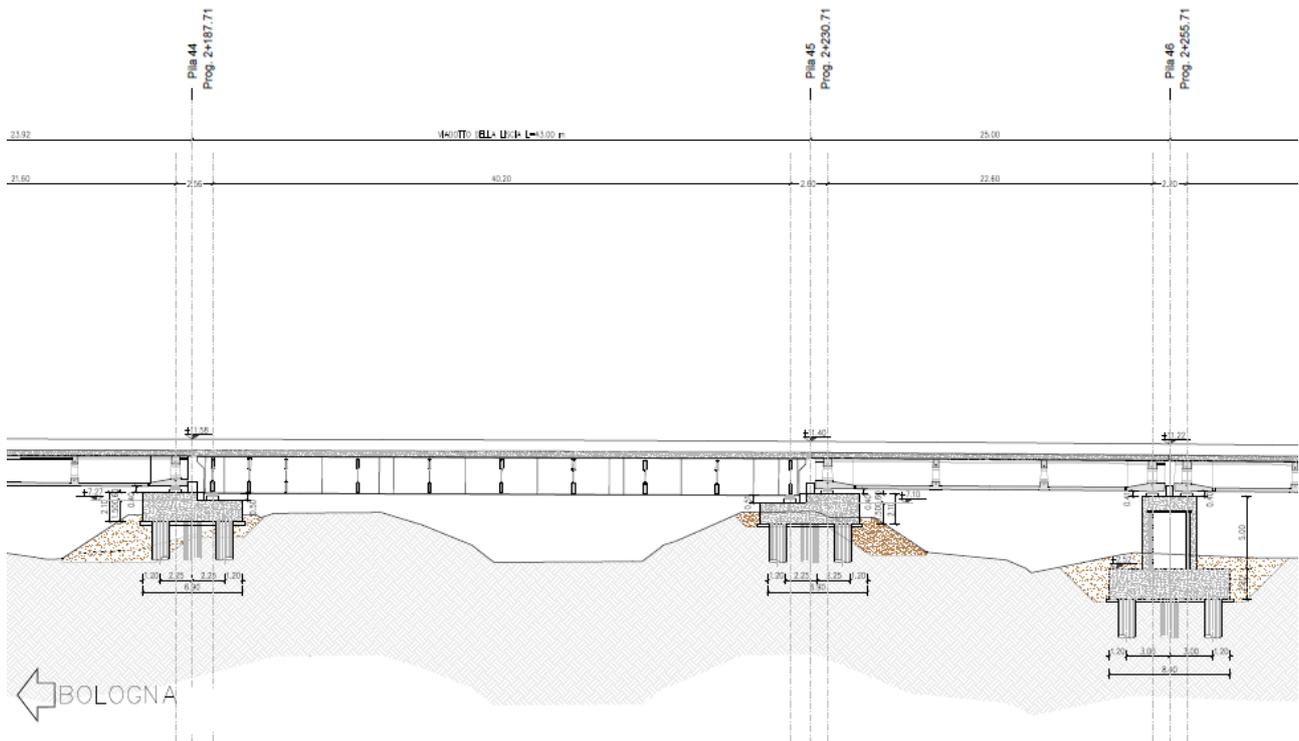
La Figura 4.1 riporta uno stralcio planimetrico del tratto in variante del Canale della Liscia interferente con il Viadotto Esino.



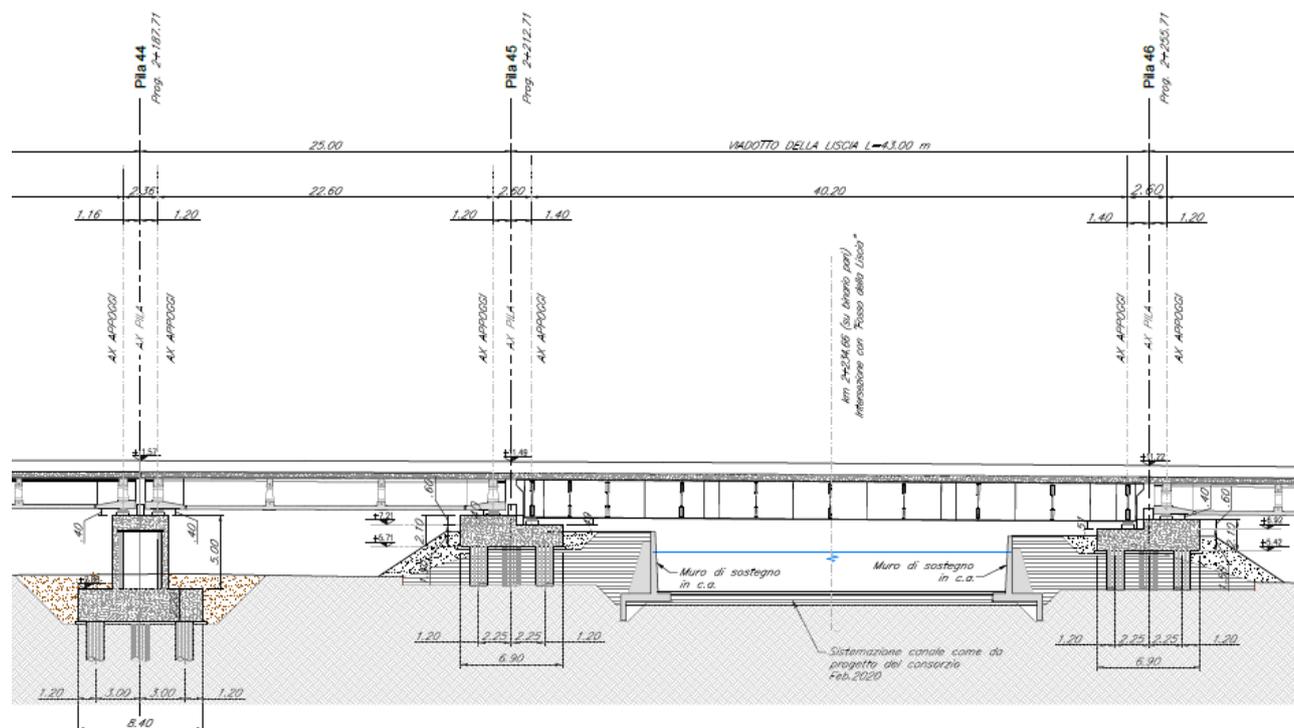
**Figura 4.1 – Stralcio planimetrico del tratto in variante del Canale della Liscia interferente con il Viadotto Esino**

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 7 di 136

La configurazione del canale della Liscia definita nella perizia di variante risulta interferente con la pila P45 del viadotto Esino (VI21). Nel presente progetto di variante l'interferenza è stata risolta modificando il posizionamento della pila P45 dalla pk 2+230.71 alla pk 2.212.71 e lasciando invariata la posizione delle pile P44 e P46 rispetto a quanto già previsto nel Progetto Esecutivo ovvero, rispettivamente, pk 2+187.71 e pk 2+255.71. Lo spostamento della pila P45, lasciando invariata la posizione delle pile P44 e P46, comporta l'inversione tra la campata in struttura mista acciaio-calcestruzzo di luce 43,00 metri (misurata in asse pila) e la campata ordinaria con impalcato a 4 cassoncini in c.a.p di luce 25,00 metri (misurata in asse pila). Nel progetto esecutivo la campata in struttura mista acciaio-calcestruzzo di luce 43,00 metri (misurata in asse pila) risulta compresa tra le pile P44 e P45 invece nell'attuale progetto di variante risulta compresa tra le pile P45 e P46. Di seguito si riporta uno stralcio della sezione longitudinale, limitatamente alle pile P44, P45 e P46, sia relativo al progetto esecutivo (Figura 4.2) sia all'attuale progetto definitivo di variante (Figura 4.3).



**Figura 4.2 – Stralcio della sezione longitudinale limitatamente alle pile P44, P45 e P46 - Progetto esecutivo approvato**



**Figura 4.3 – Stralcio della sezione longitudinale limitatamente alle pile P44, P45 e P46 - Progetto esecutivo di variante**

La mutata configurazione geometrica del canale comporta la riorganizzazione delle pile P44, P45 e P46 e delle relative fondazioni, come di seguito riportato:

- la pila P44 è composta da un fusto con sezione anulare rettangolare **3,80 m x 9,30 m** di altezza **5,00 m** che spicca da un plinto di dimensioni **8,40 m x 11,40 m x 2,20 m** fondato su **8** pali di diametro **1,20 m** e di lunghezza **35,00 m** (Figura 4.4). La pila P44 risulta analoga alla pila P43, ovvero alla pila P46, del progetto esecutivo approvato;
- le pile di transizione P45 e P46, ubicate in corrispondenza dell'attraversamento del "Canale della Liscia", hanno un plinto di dimensioni in pianta di **6,90 m x 11,40 m** realizzato a doppia altezza, con altezza minima **1,50 m** e massima **2,10 m**, per assicurare il corretto salto di quota fra i due impalcati all'intradosso. Il plinto si fonda su **8** pali di diametro **1,20 m** e di lunghezza **37,00 m**. In questo caso l'impalcato poggia direttamente sul plinto di fondazione (Figura 4.5). Le pile P45 e P46 risultano analoghe, rispettivamente, alle pile P44 e P45 del progetto esecutivo approvato.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati allegati al presente progetto relativi alle carpenterie delle fondazioni delle pile P44, P45 e P46.

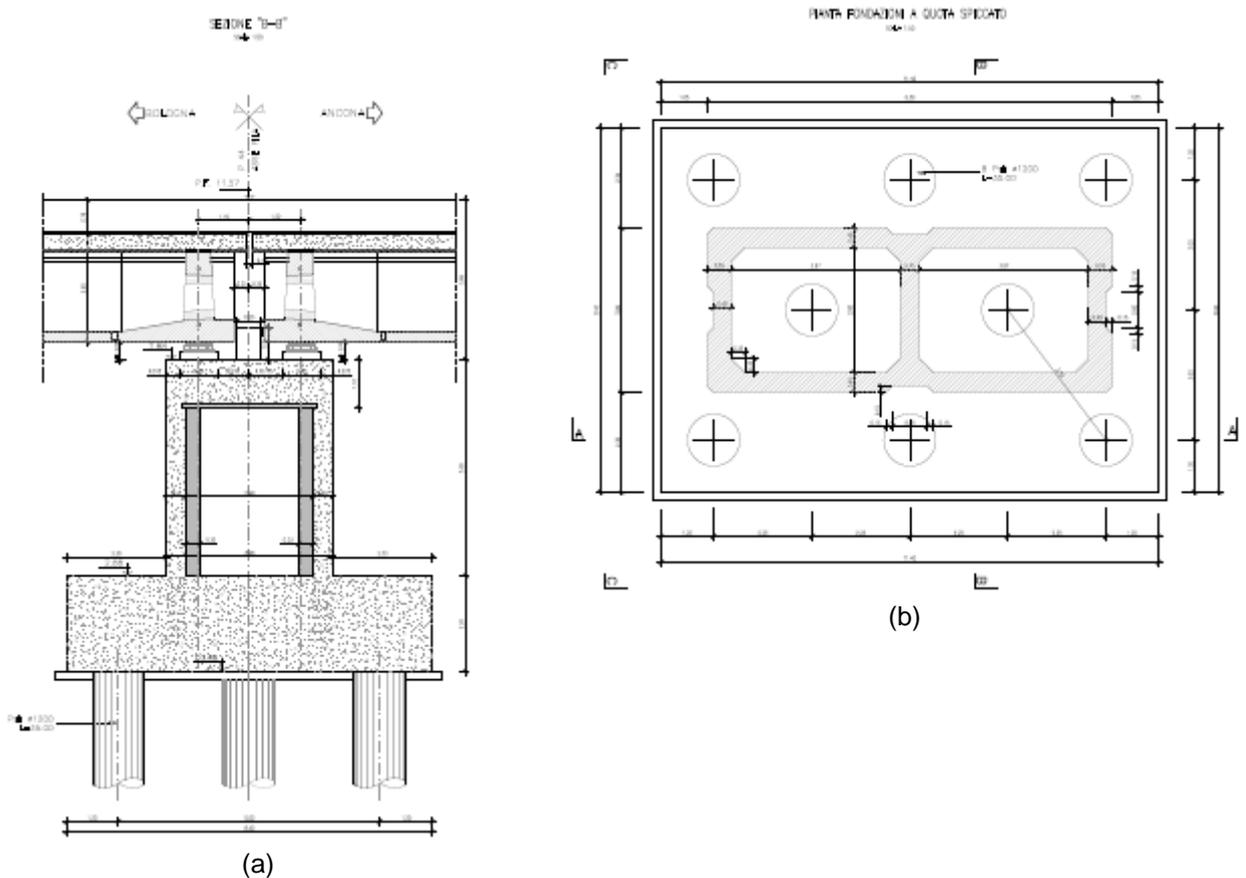


Figura 4.4 – Pila P44: (a) sezione B-B; (b) pianta fondazioni a quota spiccato

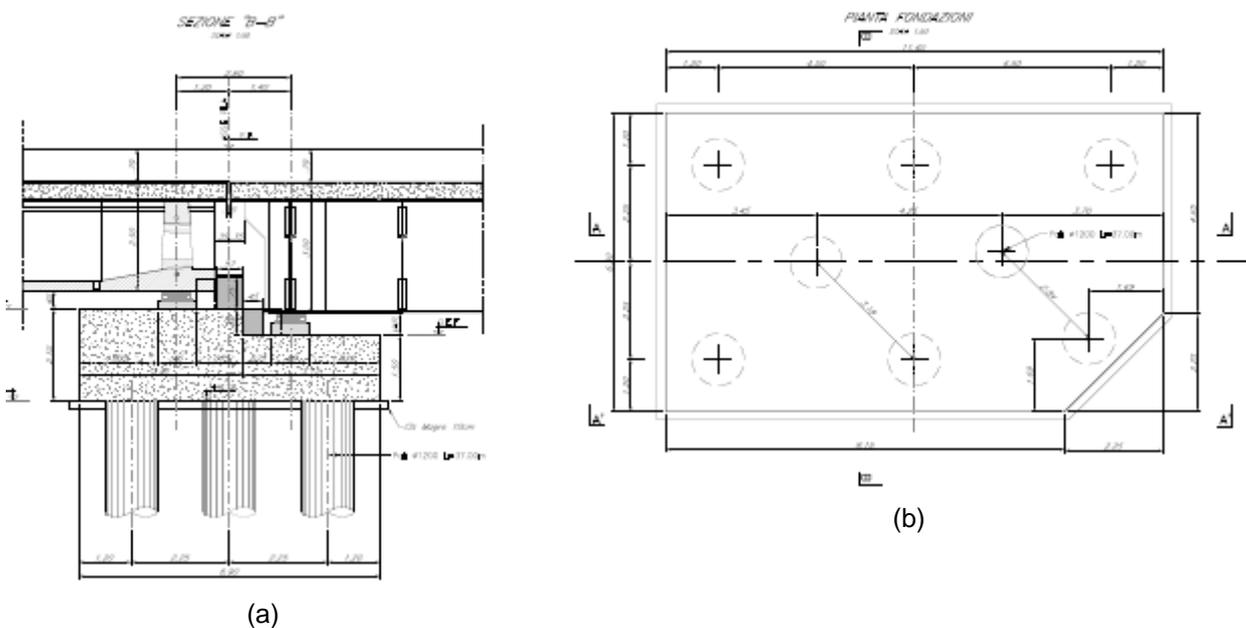


Figura 4.5 – Pila P45: (a) sezione B-B; (b) pianta fondazioni.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 10 di 136

Si precisa che la riorganizzazione delle pile P44, P45 e P46 è stata effettuata nel rispetto delle quote di progetto definite nel progetto esecutivo approvato. La Tabella 4.1 indica le quote di progetto riferite all'asse delle pile P44, P45 e P46. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati "Profilo longitudinale" e "Pianta fondazioni e sezione longitudinale".

**Tabella 4.1 – Quote di progetto in asse delle pile P44, P45 e P46.**

Pila	Progressiva riferita all'asse del binario pari	Quota di progetto in asse pila
(-)	(km)	(m)
P44	2+187.71	+11.57
P45	2+212.71	+11.49
P46	2+255.71	+11.22

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 11 di 136

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO DEL VIADOTTO

La stratigrafia di calcolo e i parametri fisico-meccanici di progetto per le singole unità geotecniche individuate sono stati assunti in accordo agli elaborati progettuali del progetto esecutivo approvato. Nei paragrafi seguenti si riportano le unità geotecniche intercettate lungo il tracciato ed una sintesi dei parametri fisico-meccanici di progetto. Per il dettaglio delle indagini eseguite e la scelta dei parametri si rimanda alla “Relazione geotecnica generale” del Progetto Esecutivo approvato.

### 5.1 Riconoscimento delle unità geotecniche

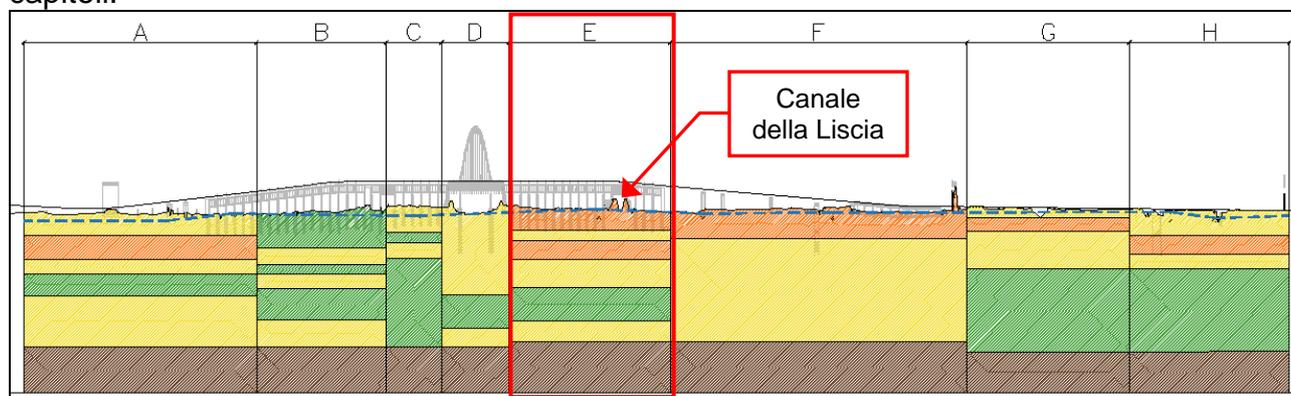
L'area risulta in prevalenza ricoperta da depositi alluvionali (limi argillosi, argille limose e/o sabbiose intercalate a sabbie, sabbie ghiaiose e ghiaie in matrice limoso argillosa) a cui segue il substrato riconducibile alla formazione Plio-Pleistocenica caratterizzata da argille limose grigio-azzurre consistenti.

Le campagne di indagini geognostiche eseguite hanno consentito di individuare le seguenti unità geotecniche:

- Depositi alluvionali ghiaiosi (1a);
- Depositi alluvionali sabbiosi (1b);
- Depositi alluvionali limo argillosi/sabbiosi (2a);
- Depositi alluvionali argillosi/ argillosi limosi (2b);
- Argille limose Plioceniche consistenti (3).

### 5.2 Stratigrafia di progetto e livelli di falda

In fase di progettazione esecutiva il tracciato ferroviario è stato suddiviso in tratti omogenei dal punto di vista geotecnico al fine di ottenere una stratigrafia di progetto per le diverse opere disposte lungo il tracciato stesso. La Figura 5.1 riporta tale suddivisione in tratti omogenei, in cui si evidenzia il tratto omogeneo in cui ricade il Canale della Liscia (Tratto E). Dall'analisi del profilo geotecnico e delle indagini geognostiche più prossime alle pile P44, P45 e P46, ovvero il sondaggio geognostico SB9 (pk 2+137.45) e la prova petrometrica statica PB9 (pk 2+255.50), si è confermata la stratigrafia E prevista nel progetto esecutivo approvato per le verifiche geotecniche presentate nei successivi capitoli.



**Figura 5.1 – Suddivisione in tratti omogenei del profilo geotecnico adottata nel progetto esecutivo approvato**

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
						
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 12 di 136

La tabella seguente sintetizza la stratigrafia di progetto e i parametri fisico-meccanici di progetto per ciascuna delle unità geotecniche individuate.

**Tabella 5.1 – Parametri fisico-meccanici per ciascuna delle unità geotecniche individuate (Progetto Esecutivo approvato - Profilo geotecnico linea "Adriatica" Tav.2 - Tratto E)**

Unità geotecnica	Prof. da	p.c. a	Spessore	$\gamma$	$c'$	$\varphi'$	$c_u$	$E'$	$E_{ed}$	$k$
(-)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(°)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(m/s)
2a	0	6.30	6.30	19	5.0	26	80	9.50	12.0	6.50 10 <sup>-6</sup>
1a	6.30	9.30	3.0	19	-	37	-	67.90	-	3.0 10 <sup>-5</sup>
2a	9.30	14.80	5.50	19	5.0	26	70	8.40	10.50	6.50 10 <sup>-6</sup>
1a	14.80	22.80	8.0	19	-	37	-	108.40	-	3.0 10 <sup>-5</sup>
2b	22.80	32.80	10.0	19	10	25	120	14.40	18.0	6.50 10 <sup>-6</sup>
1a	32.80	38.80	6.0	19	-	37	-	115	-	3.0 10 <sup>-5</sup>
3	38.80	-	-	20	15	25	250	30	37.50	2.0 10 <sup>-10</sup>

#### LEGENDA

- $\gamma$ : peso dell'unità di volume al contenuto naturale d'acqua;
- $c'$ : coesione efficace;
- $\varphi'$ : angolo di attrito in condizioni drenate;
- $c_u$ : coesione non drenata.
- $E'$ : modulo di Young;
- $E_{ed}$ : modulo edometrico
- $k$ : permeabilità.

La stratigrafia di progetto per le pile P45 e P46 è stata definita considerando, oltre la stratigrafia di Tabella 5.1, la presenza del rilevato arginale previsto nella perizia di variante del progetto di sistemazione idraulica del Canale della Liscia assumendo una altezza di **3,00 m**.

In assenza di specifiche prescrizioni sui materiali impiegati per la realizzazione del rilevato arginale si è considerato un peso dell'unità di volume  $\gamma_{ril} = 20,00 \text{ kN/m}^3$  e si omettono i parametri meccanici in quanto nelle verifiche di capacità portante dei pali delle pile P45 e P46 si trascura, cautelativamente, il contributo di portanza laterale per il tratto di palo posto all'interno del rilevato arginale stesso.

La quota della falda di progetto viene posta a **quota p.c. locale**.

APPALTATORE  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 13 di 136

## 6 ANALISI DEI CARICHI PILE

L'analisi dei carichi sulle pile è stata desunta dall'elaborato del Progetto Esecutivo approvato:

- **IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-001\_C** - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo elevazioni e fondazioni delle sottostrutture del Viadotto.

Con riferimento all'istruzione I/SC/PS-OM/2298 del 02.06.95 - aggiornamento 13.01.1997: "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo", le azioni considerate sono riepilogabili come di seguito.

Si considerano solo i carichi significativi per lo scopo della relazione.

### 6.1 Peso proprio delle pile e degli impalcati

- Peso specifico del cemento armato:  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ .

Le reazioni verticali dovute al peso proprio degli impalcati sulla pila sono ricavate dalle relative relazioni di calcolo:

- Reazione campata in c.a.p. di 25 m di lunghezza:  $G_1 = (3.746,70 + 2.745,00) / 2 = 3.245,90 \text{ kN}$
- Reazione campata in acciaio/cls. di 43 m di lunghezza:  $G_2 = (2.139,60 + 4731,9) / 2 = 3.435,70 \text{ kN}$

### 6.2 Carichi permanenti portati dagli impalcati

#### 6.2.1 Peso dei cordoli laterali ( $g_{2,1}$ )

I cordoli laterali presentano una sezione rettangolare 40 x 20 cm. Il peso per unità di lunghezza dei cordoli laterali risulta dunque pari a:

$$g_{2,1} = 2 \times 0,40 \times 0,20 \times 25,00 = 4,00 \text{ kN/m}$$

#### 6.2.2 Peso proprio dei muretti porta – ballast ( $g_{2,2}$ )

Il muretto della vasca porta - ballast, realizzato in cemento armato, presenta una sezione trasversale trapezoidale con le seguenti dimensioni:

$$B_{\min} = 15 \text{ cm}$$

$$B_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$H = 70 \text{ cm}$$

L'area della sezione trasversale risulta dunque pari a  $A_{\text{mpb}} = 0,1575 \text{ m}^2$ .

Il carico per unità di lunghezza relativo al peso dei muretti risulta dunque pari a:

$$g_{2,2} = 2 \times 0,1575 \times 25,00 = 7,88 \text{ kN/m}$$

#### 6.2.3 Veelette laterali ( $g_{2,3}$ )

Le veelette di finitura laterali in calcestruzzo presentano una sezione rettangolare 7 x 54 cm.

L'area della sezione trasversale risulta dunque pari a  $A_{\text{veletta}} = 0,0378 \text{ m}^2$ .

Il carico per unità di lunghezza relativo al peso delle veelette risulta dunque pari a:

$$g_{2,3} = 2 \times 0,0378 \times 25,00 = 1,89 \text{ kN/m}$$

#### 6.2.4 Canalette porta impianti ( $g_{2,4}$ )

L'area della sezione trasversale della singola canaletta porta impianti in cemento armato è uguale a  $0,085 \text{ m}^2$ .

Si assume pertanto un valore del carico per unità di lunghezza relativo alle canalette pari a:

$$g_{2,4} = 2 \times 0,085 \times 25,00 = 4,25 \text{ kN/m}$$

APPALTATORE  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	DIREZIONE LAVORI 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 14 di 136

### 6.2.5 Conglomerato bituminoso ( $g_{2,5}$ )

Il peso per unità di volume del conglomerato bituminoso è assunto pari a  $\gamma_{cb} = 20,00$  kN/m<sup>3</sup>.

Lo strato di conglomerato bituminoso disposto al di sopra della soletta in calcestruzzo presenta uno spessore pari a 4 cm.

Il carico per unità di lunghezza relativo al peso dello strato in conglomerato bituminoso risulta dunque pari a:

$$g_{2,5} = 0,04 \times 12,60 \times 20,00 = 10,08 \text{ kN/m}$$

### 6.2.6 Guaine di protezione dell'estradosso della soletta ( $g_{2,6}$ )

Lo spessore complessivo delle guaine di protezione dell'estradosso della soletta è pari a 7 mm.

Si assume pertanto un valore del carico per unità di superficie relativo alle guaine di protezione pari a:

$$g_{\text{guaina}} = 0,10 \text{ kN/m}^2$$

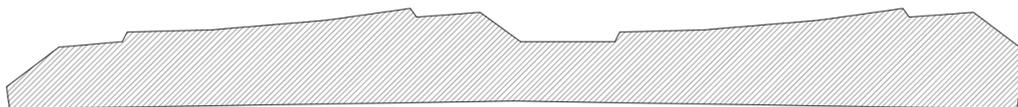
Il carico per unità di lunghezza relativo al peso dello strato di impermeabilizzazione risulta dunque pari a:

$$g_{2,6} = 0,10 \times 12,60 = 1,26 \text{ kN/m}$$

### 6.2.7 Ballast tracciato in curva ( $g_{2,7}$ )

Il peso per unità di volume del ballast e dell'armamento ferroviario è assunto pari a  $\gamma_{b+ar} = 18,00$  kN/m<sup>3</sup>.

L'area della sezione trasversale del ballast e dell'armamento ferroviario risulta pari a 5,1413 m<sup>2</sup>.



Il carico medio per unità di lunghezza relativo al peso dello strato di ballast e armamento ferroviario risulta dunque pari a:

$$g_{2,7} = 5,1413 \times 18,00 = 92,54 \text{ kN/m}$$

### 6.2.8 Barriere fonoassorbenti ( $g_{2,8}$ )

Il carico per unità di lunghezza della singola barriera fonoassorbente è assunto pari a:

$$g_{\text{barriera}} = 8,00 \text{ kN/m}$$

Il carico per unità di lunghezza dovuto al peso proprio delle due barriere fonoassorbenti risulta pari a:

$$g_{2,8} = 2 \times 8,00 = 16,00 \text{ kN/m}$$

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 15 di 136

### 6.2.9 Riepilogo dei carichi permanenti portati

Di seguito è riportato il riepilogo dei carichi permanenti portati dall'impalcato:

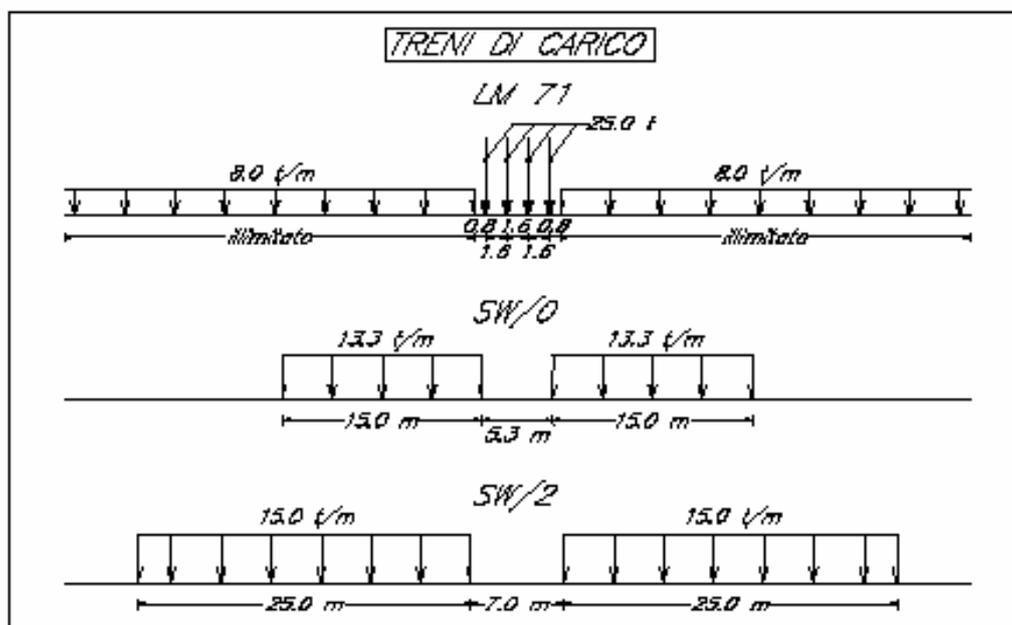
g <sub>2,1</sub>	Peso proprio dei cordoli laterali	4,00	kN/m
g <sub>2,2</sub>	Peso proprio dei muretti porta – ballast	7,88	kN/m
g <sub>2,3</sub>	Peso proprio delle velette laterali di finitura	1,89	kN/m
g <sub>2,4</sub>	Peso proprio delle canalette porta impianti	4,25	kN/m
g <sub>2,5</sub>	Peso proprio dello strato di conglomerato bituminoso	10,08	kN/m
g <sub>2,6</sub>	Peso proprio dello strato di impermeabilizzazione	1,26	kN/m
g <sub>2,7</sub>	Peso proprio del ballast (configurazione in curva)	92,54	kN/m
g <sub>2,8</sub>	Peso proprio delle barriere fonoassorbenti	16,00	kN/m
<b>g<sub>2</sub></b>	<b>TOTALE CARICHI PERMANENTI PORTATI</b>	<b>137,90</b>	<b>kN/m</b>

### 6.3 Azioni dovute al traffico ferroviario

#### 6.3.1 Carichi verticali

Relativamente ai carichi verticali, sono state considerate le seguenti tre tipologie di carico direttamente fornite dalla normativa:

- Treno di carico LM 71 rappresentativo del traffico normale
- Treni di carico SW/0 e SW/2 rappresentativi del traffico pesante



Nell'applicazione dei modelli di carico dei treni LM71 è stata tenuta in conto l'eccentricità accidentale prescritta dalla normativa, pari ad un diciottesimo dello scartamento ( $e_a=8$  cm).

In seguito, definiti i treni di carico, questi ultimi vengono fatti scorrere lungo le corsie per determinare le posizioni più gravose per la pila ( si assume come posizione più gravosa quella che origina lo sforzo verticale massimo).

I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai vari modelli di carico sono stati incrementati secondo il

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>		<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 16 di 136

coefficiente di adattamento  $\alpha$ , che per ponti di cat. A assume i valori riportati in tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83

Si considera la contemporaneità del transito sui due binari, sia per il caso di traffico normale che di traffico pesante, come riportato nella seguente tabella:

Numero di binari	Binari carichi	Traffico normale		Traffico pesante <sup>(1)</sup>
		caso a <sup>(1)</sup>	caso b <sup>(1)</sup>	
1	primo	1.0 (LM 71+"SW/0)	-	1.0 SW/2
2	primo	1.0 (LM 71+"SW/0)	-	1.0 SW/2
	secondo	1.0 (LM 71+"SW/0)	-	1.0 (LM 71+"SW/0)
$\geq 3$	primo	1.0 (LM 71+"SW/0)	0.75 (LM 71+"SW/0)	1.0 SW/2
	secondo	1.0 (LM 71+"SW/0)	0.75 (LM 71+"SW/0)	1.0 (LM 71+"SW/0)
	altri	-	0.75 (LM 71+"SW/0)	-

**Tab. 1.7.2.2 - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte**

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

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

### 6.3.2 Effetti dinamici dei carichi mobili

Dato che le pile hanno snellezza  $\lambda < 30$  si assumono coefficienti dinamici unitari.

### 6.3.3 Azioni di avviamento e frenatura

Tali forze vengono applicate orizzontalmente uniformemente distribuite lungo gli assi dei binari. I valori caratteristici di queste azioni, nel rispetto delle vigenti norme, valgono:

avviamento:  $Q_{Ia,k} = 33 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}] \leq 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{Ib,k} = 20 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}] \leq 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{Ib,k} = 35 \text{ [kN/m]} \cdot L[\text{m}]$ <sup>(6)</sup> per modelli di carico SW/2

APPALTATORE  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 17 di 136

Tali azioni vengono chiaramente combinate con i relativi carichi verticali; nel nostro caso (ponte a doppio binario) si considerano due treni in transito in versi opposti, uno in frenata ed uno in avviamento.

#### 6.3.4 Serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applica sia in rettilineo che in curva.

Il valore caratteristico di tale forza è assunto pari a  $Q_{sk}=100$  kN. Tale valore non deve essere moltiplicato per  $\alpha$  e per il coefficiente  $\phi$ .

Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

#### 6.3.5 Sopraelevazione dei binari

Trattandosi di un tratto di linea in curva i binari presentano una sopraelevazione della rotaia esterna rispetto alla rotaia interna. Tale sopraelevazione genera un momento trasversale verso l'interno curva che si oppone al momento trasversale generato dall'azione centrifuga.

A favore di sicurezza tale azione non verrà tenuta in conto.

#### 6.3.6 Forza centrifuga

Nei ponti al di sopra dei quali il binario presenta un tracciato in curva deve essere considerata la forza centrifuga agente su tutta l'estensione del tratto in curva.

La forza centrifuga si considera agente verso l'esterno della curva, in direzione orizzontale ed applicata alla quota di 1.80 m dal P.F. Si assume una velocità di progetto pari a 130 Km/h per i modelli di carico LM71, mentre per i modelli di carico pesante SW/0 e SW/2 si ha una velocità di progetto pari a 100 Km/h.

La forza centrifuga deve essere combinata sempre con i carichi verticali e non deve essere né incrementata dinamicamente e né moltiplicata per il coefficiente di adattamento  $\alpha$ .

La struttura oggetto della presente relazione è situata lungo una curva a raggio costante che risulta pari a  $R = 1.050,00$  m.

L'azione centrifuga riferita ai carichi lineari viene valutata mediante la seguente formulazione:

$$q_{tk} = [f \times q_{vk} \times V^2] / [127 \times r]$$

dove:

$q_{tk}$  = valore caratteristico dell'azione centrifuga

$q_{vk}$  = valore caratteristico dei carichi verticali distribuiti

V = velocità di progetto espressa in km/h

r = raggio di curvatura espresso in m

f = fattore riduttivo funzione della velocità di progetto → per velocità di progetto < 160 km/h il fattore f è assunto pari a 1,00

L'azione centrifuga riferita ai carichi concentrati viene valutata mediante la seguente formulazione:

$$Q_{tk} = [f \times Q_{vk} \times V^2] / [127 \times r]$$

dove:

$Q_{tk}$  = valore caratteristico dell'azione centrifuga

$Q_{vk}$  = valore caratteristico dei carichi verticali concentrati

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 18 di 136

$V$  = velocità di progetto espressa in km/h

$r$  = raggio di curvatura espresso in m

$f$  = fattore riduttivo funzione della velocità di progetto → per velocità di progetto < 160 km/h il fattore  $f$  è assunto pari a 1,00

## 6.4 Azioni del vento

L'azione del vento viene assunta convenzionalmente come una pressione statica con valore caratteristico  $F_{wk} = 2,50 \text{ KN/m}^2$ .

Vengono considerati i due casi di struttura carica e di struttura scarica; per le verifiche si considererà il più gravoso, in alternativa.

Nel primo caso si considera l'azione del vento agente sulla superficie esposta della struttura e su una fascia alta convenzionalmente 4.00 m dal P.F.; nel secondo caso si considera l'azione del vento agente sulla prima e sulla seconda barriera.

## 6.5 Azioni sismiche

L'opera ricade in una zona riconducibile alla categoria sismica 2, secondo la classificazione del OPCM 3274/2003; in tal senso nell'analisi statica degli effetti sismici si adotteranno i seguenti coefficienti:

- coefficiente di intensità sismica  **$C = 0,07$**
- coefficiente di protezione sismica  **$I = 1,00$**  (vedi Istruzione 44B – punto B.5.2)
- coefficiente di fondazione  **$\varepsilon = 1,00$**  (vedi Istruzione 44B – punto B.14)
- coefficiente di struttura
  - **$\beta = 1,20$**  per l'analisi globale (punto B.15)
  - **$\beta = 2,50$**  per gli apparecchi d'appoggio (punto B.15)
- coefficiente di risposta  **$R = 1,00$**  (vedi Istruzione 44B – punto B.5.1)
- coefficiente per azioni verticali  **$m = 2,00$**  (vedi Istruzione 44B – punto B.4)

Le azioni statiche equivalenti saranno stimate come:

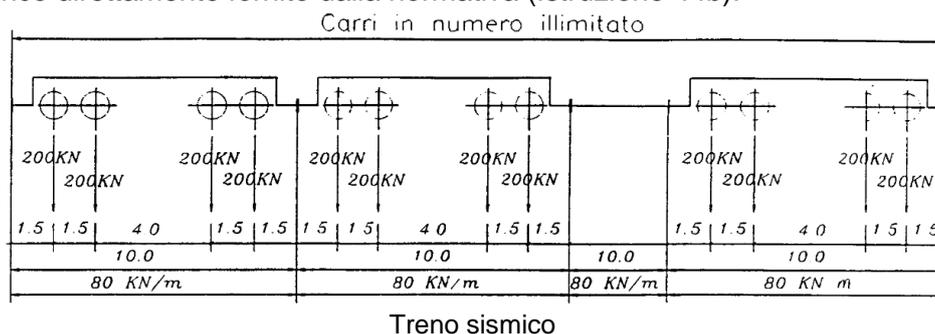
- $F_h = C \cdot R \cdot I \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot W$
- $F_v = m \cdot C \cdot I \cdot \varepsilon \cdot W$

In cui  $W = P + Q$  è il peso delle masse strutturali,  $P$  rappresenta i pesi propri ed i carichi permanenti e  $Q = s \times Q_t$  è il peso convenzionale del treno teorico adottato nelle verifiche sismiche:

- coefficiente di contemporaneità:  **$s = 1,50$**
- treno sismico:  **$q_t = 80,00 \text{ kN/m}$**

### 6.5.1 Azione verticale del treno sismico

Relativamente ai carichi verticali da traffico concomitanti con sisma, si è considerato il seguente schema di carico direttamente fornito dalla normativa (Istruzione 44b):



APPALTATORE  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 19 di 136

In seguito, definiti i treni di carico, questi ultimi vengono fatti scorrere lungo le corsie per determinare le posizioni piú gravose per la pila.

Si considera la contemporaneità del transito sui due binari attraverso il coefficiente di contemporaneità pari a  $s = 1,50$ .

### 6.5.2 Frenatura sismica

L'azione della frenatura, associata al treno sismico e pari ad 1/10 del valore di Q; si combina col sisma solo se è diretta ortogonalmente alla direzione di questo.

### 6.5.3 Azione centrifuga sismica

La struttura oggetto della presente relazione è situata lungo una curva a raggio costante che risulta pari a 1.050,00 m.

L'azione centrifuga riferita ai carichi concentrati viene valutata mediante la seguente formulazione:

$$Q_{tk} = [f \times Q_{vk} \times V^2] / [127 \times r]$$

dove:

- $Q_{tk}$  = valore caratteristico dell'azione centrifuga
- $Q_{vk}$  = valore caratteristico dei carichi verticali distribuiti
- V = velocità di progetto espressa in km/h
- r = raggio di curvatura espresso in m
- f = fattore riduttivo funzione della velocità di progetto; per velocità di progetto < 160 km/h il fattore f è assunto pari a 1,00

Nelle combinazioni sismiche la centrifuga suddetta si assume ridotta al 50%.

## 6.6 Azioni indirette

### 6.6.1 Attrito parassita agli appoggi

Per gli appoggi si considera un coefficiente di attrito pari al 6 % del carico verticale.

## 6.7 Simultaneità e Combinazioni di carico

Con riferimento alle azioni descritte ai paragrafi precedenti, si riportano di seguito le tabelle relative alla simultaneità delle azioni da traffico e, in relazione a queste ultime, le combinazioni di carico contemplate dal presente documento, ai sensi della già citata istruzione I/SC/PS-OM/2298.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 20 di 136

TIPO DI CARICO		Azioni verticali		Azioni orizzontali			COMMENTI
Riferimento		1.4.1.2	1.4.1.2	1.4.3.1.3	1.4.3.1.1	1.4.3.1.2	
Gruppo di carico		Carico Verticale <sup>(1)</sup>	Treno scarico <sup>(1)</sup>	Frenatura ed avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppi di Carico <sup>(2)</sup>	gr. 1	1.0	-	0.5 (0.0)	1.0 (0.0)	1.0 (0.0)	massima azione verticale e laterale
	gr. 2	-	1.0	0.0	1.0 (0.0)	0.5 (0.0)	stabilità laterale
	gr. 3	1.0 (0.7)	-	1.0	0.5 (0.0)	0.5 (0.0)	massima azione longitudinale
	gr. 4	0.8	-	0.5 (0.0)	1.0	1.0 (0.0)	massima azione laterale
	gr. 5	0.5	-	0.5 (0.0)	0.5 (0.0)	1.0	effetti locali laterali
	gr. 6	0.8 (0.6; 0.4)	-	0.8 (0.6; 0.4)	0.8 (0.6; 0.4)	0.8 (0.6; 0.4)	fessurazione

 Azione dominante

I/SC/PS-OM/2298 – Tabella 1.7.2.3 – simultaneità delle azioni da traffico

A riguardo della tabella precedente, valida per tutte le strutture sotto binario, si nota che si sono trascurati i seguenti gruppi, non significativi nell'applicazione specifica: gr.2, gr.4, gr.5, gr.6.

COMBINAZIONE	AZIONE						
	G <sub>k</sub>	P <sub>k</sub>	I <sub>k</sub>	Q <sub>k</sub>	T <sub>k</sub>	W <sub>k</sub>	A <sub>k</sub>
TA1	1.0	1.0	1.0	1.0 <sup>(1)</sup>	0.6 <sup>(1)</sup>	0.6 <sup>(1)</sup>	0.0
TA2	1.0	1.0	1.0	0.8 <sup>(1)</sup>	1.0 <sup>(1)</sup>	0.6 <sup>(1)</sup>	0.0
TA3	1.0	1.0	1.0	0.0	0.6 <sup>(1)</sup>	1.0 <sup>(1)</sup>	0.0
TA4	0.75	1.0	1.0	0.7 <sup>(1)(2)</sup>	0.4 <sup>(1)</sup>	0.4 <sup>(1)</sup>	1.0
TA5	1.0	1.0	1.0	1.0 <sup>(1)</sup>	0.6 <sup>(1)</sup>	0.5 <sup>(1)</sup>	0.0

I/SC/PS-OM/2298 – Tabella 1.7.3.2 – combinazioni di carico

A riguardo della tabella precedente si nota che si è considerata l'unica combinazione significativa per gli scopi della presente relazione: TA1.

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 21 di 136

Oltre alle precedenti le verifiche che seguono sono state effettuate per le combinazioni sismiche seguenti:

- TA-(SV+SX):
  - carichi permanenti  $G_K \times 1.0$
  - carichi variabili (treni sismici)  $Q_k \times 1.0$
  - centrifuga (treni sismici)
  - effetti sismici orizzontali longitudinali X e verticali Z, combinati quadraticamente secondo Istruzione 44B; il sisma verticale si suppone verso l'alto
- TA+(SV+SX):
  - carichi permanenti  $G_K \times 1.0$
  - carichi variabili (treni sismici)  $Q_k \times 1.0$
  - centrifuga (treni sismici)
  - effetti sismici orizzontali longitudinali X e verticali Z, combinati quadraticamente secondo Istruzione 44B; il sisma verticale si suppone verso il basso
- TA-(SV+SY):
  - carichi permanenti  $G_K \times 1.0$
  - carichi variabili (treni sismici)
  - frenatura (treni sismici: 1/10 Q):  $Q_k \times 1.0$
  - centrifuga (treni sismici)
  - effetti sismici orizzontali trasversali Y e verticali Z, combinati quadraticamente secondo Istruzione 44B; il sisma verticale si suppone verso l'alto
- TA+(SV+SY):
  - carichi permanenti  $G_K \times 1.0$
  - carichi variabili (treni sismici)
  - frenatura (treni sismici: 1/10 Q):  $Q_k \times 1.0$
  - centrifuga (treni sismici)
  - effetti sismici orizzontali trasversali Y e verticali Z, combinati quadraticamente secondo Istruzione 44B; il sisma verticale si suppone verso il basso

<b>APPALTATORE</b> 	<b>DIREZIONE LAVORI</b> 					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 40%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 20%;">Foglio 22 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 22 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 22 di 136		

## 7 CALCOLO SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO PILA E SULLE FONDAZIONI

### 7.1 Pila 44

Come riportato all'interno dell'elaborato del Progetto Esecutivo approvato "IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-001\_C - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo elevazioni e fondazioni delle sottostrutture del Viadotto", i calcoli per la pila 44 sono stati riferiti, a favore di sicurezza, alla pila tipo "A" (pila di altezza massima → H = 6,00 m; pila sostenente due campate in c.a.p. di luce pari a 25,00 m).

I calcoli sono eseguiti mediante foglio di calcolo Excel di cui seguono i tabulati.

#### VIADOTTO "ESINO" - PILA H=6.00 m L1=25.00 m L2=25.00 m R=1050 m (Pila n. 15)

##### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE GENERALI

Altezza fusto pila	H =	6.00 m	
Altezza plinto di fondazione:	Hp =	2.20 m	
Altezza baggioli + appoggi:	Hb =	0.40 m	
Altezza piano del ferro da testa baggioli:	Hf =	3.30 m	
		SX	DX
Lunghezza impalcati adiacenti (interasse pile):	I =	25.00	25.00 m
Luce netta tra gli appoggi:	L =	22.60	22.60 m
Distanza tra assi appoggi e asse pila:	d =	1.20	1.20 m
Tipologia appoggi longitudinali (gruppo):		FISSI	MOBILI
Tipologia appoggi trasversali (gruppo):		FISSI	FISSI

##### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE FUSTO PILA

		Sezione corrente	Sezione testa pila
Altezza fusto pila	H =	5.00	1.00 m
Lato longitudinale	Li =	3.80	3.80 m
Lato trasversale	Lt =	9.30	9.30 m
Area sezione	A =	12.672	34.724 m <sup>2</sup>
Inerzia longitudinale	JI =	26.406	41.395 m <sup>4</sup>
Inerzia trasversale	Jt =	117.921	247.748 m <sup>4</sup>
Modulo di resistenza longitudinale	WI =	13.898	21.787 m <sup>3</sup>
Modulo di resistenza trasversale	Wt =	25.359	53.279 m <sup>3</sup>

##### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PLINTO DI FONDAZIONE E PALIFICATA

Altezza terreno sul plinto	Ht =	1.00 m
Altezza plinto di fondazione:	Hp =	2.20 m
Lato longitudinale plinto:	Lpl =	8.40 m
Lato trasversale plinto:	Lpt =	11.40 m
Numero pali	Np =	8
Modulo di resistenza longitudinale palificata	Wpl =	18.00 m
Modulo di resistenza trasversale palificata	Wpt =	20.25 m

##### ANALISI DEI CARICHI

###### CARICHI PERMANENTI:

Peso specifico calcestruzzo armato	Gc =	25 kN/m <sup>3</sup>	
Peso specifico terreno sul plinto	Gt =	20 kN/m <sup>3</sup>	
		SX	DX
Reazioni impalcati	V =	4972.9	4972.9 kN
Altezza risultante dal piano di fondazione	Hi =	10.73	10.73 m

##### CARICHI VARIABILI VERTICALI - MODELLI DI CARICO

	Qvk (kN)	Numero Qvk	Interasse (m)	Binario 1		Binario 2		varco (m)	eccentricità (m)	Coeff. di adattamento	Carico qvk segmentabile ?	Velocità (km/h)
				2.00	-2.00 m	qvk (kN/m)	Lunghezza qvk (m)					
Treno di carico LM71:	250	4	1.60	80	9999.00	6.40	±0.08	1.1	SI	130		
Treno di carico SW/0				133	15.00	5.30	0	1.1	NO	100		
Treno di carico SW/2				150	25.00	7.00	0	1	NO	100		
Treno "sismico" (equiv. tagliante)				88	9999.00	0	0	1	SI	100		



Effetti massimi dei carichi verticali rispetto all'asse pila; in questo calcolo i modelli di carico sono riferiti ad una origine fittizia X rispetto all'asse pila, stabilita al centro del varco libero.

Treno di carico LM71 - Massimo carico verticale sulla pila:

Origine treno: X = 0.00 m

	V (kN)	Xini (m)	Xfin (m)	Rsx (kN)	Rdx (kN)	Rtot (kN)
Carico Qvk1	275	-2.4	-2.4	260.40	0.00	260.40
Carico Qvk2	275	-0.8	-0.8	275.00	0.00	275.00
Carico Qvk3	275	0.8	0.8	0.00	275.00	275.00
Carico Qvk4	275	2.4	2.4	0.00	260.40	260.40
Carico qvk SX	88	-23.80	-3.2	826.19	0.00	826.19
Carico qvk DX	88	3.2	23.80	0.00	826.19	826.19
<b>TOTALI</b>				<b>1361.59</b>	<b>1361.59</b>	<b>2723.17</b>

Treno di carico SW/0 - Massimo carico verticale sulla pila:

Origine treno: X = 1.50 m

	V (kN)	Xini (m)	Xfin (m)	Rsx (kN)	Rdx (kN)	Rtot (kN)
Carico qvk SX	146.3	-16.15	-1.15	1471.08	0.00	1471.08
Carico qvk DX	146.3	4.15	19.15	0.00	1179.79	1179.79
<b>TOTALI</b>				<b>1471.08</b>	<b>1179.79</b>	<b>2650.87</b>

Treno di carico SW/2 - Massimo carico verticale sulla pila:

Origine treno: X = -12.00 m

	V (kN)	Xini (m)	Xfin (m)	Rsx (kN)	Rdx (kN)	Rtot (kN)
Carico qvk SX	150	-23.80	-15.5	228.62	0.00	228.62
Carico qvk DX	150	-8.5	16.50	1098.15	1698.15	2796.31
<b>TOTALI</b>				<b>1326.77</b>	<b>1698.15</b>	<b>3024.92</b>

Treno sismico - Massimo carico verticale sulla pila

Origine treno: X = 0.00 m

	V (kN)	Xini (m)	Xfin (m)	Rsx (kN)	Rdx (kN)	Rtot (kN)
Carico qvk SX	88	-23.80	0	1100.00	0.00	1100.00
Carico qvk DX	88	0	23.80	0.00	1100.00	1100.00
<b>TOTALI</b>				<b>1100.00</b>	<b>1100.00</b>	<b>2200.00</b>

Contemporaneità dei treni su due binari

	y (m)	Rsx (kN)	X (m)	Rdx (kN)	X (m)
Traffico normale:					
Binario 1 LM71	2.08	1361.59	-1.20	1361.59	1.20
Binario 2 LM71	-1.92	1361.59	-1.20	1361.59	1.20
Reazione totale sulla pila:		V =		5446.34 kN	
Momento longitudinale:		MI =		0.00 kNm	
Momento trasversale:		Mt =		435.71 kNm	
Traffico pesante:					
Binario 1 SW/2	2.00	1326.77	-1.20	1698.15	1.20
Binario 2 LM71	-1.92	1361.59	-1.20	1361.59	1.20
Reazione totale sulla pila:		V =		5748.09 kN	
Momento longitudinale:		MI =		445.66 kNm	
Momento trasversale:		Mt =		821.36 kNm	
Traffico sismico:					
Binario 1 100% T.s.	2.00	1100.00	-1.20	1100.00	1.20
Binario 2 50% T.s.	-2.00	550.00	-1.20	550.00	1.20
Reazione totale sulla pila:		V =		3300.00 kN	
Momento longitudinale:		MI =		0.00 kNm	
Momento trasversale:		Mt =		2200.00 kNm	

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

**RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE**

 Progetto  
IA00

 Lotto  
00

 Codifica Documento  
CLVI2100001

 Rev.  
C

 Foglio  
24 di 136

## CARICHI VARIABILI ORIZZONTALI - FORZA CENTRIFUGA

Raggio di curvatura binari:	R =	1050 m
Altezza risultante dal piano del ferro	zt =	1.80 m
Altezza risultante dal piano di fondazione	Zt =	13.70 m
Treno di carico LM71:	Qtk =	345.12 kN
Treno di carico SW/0:	Qtk =	198.79 kN
Treno di carico SW/2:	Qtk =	226.84 kN
Treno sismico:	Qtk =	164.98 kN

## CARICHI VARIABILI ORIZZONTALI - AVVIAMENTO E FRENATURA

Altezza risultante dal piano di fondazione	zf =	11.90 m
	Avviamento	Frenatura
Treno di carico LM71:	825	500 kN
Treno di carico SW/0:	825	500 kN
Treno di carico SW/2:	825	875 kN
Treno sismico:	0	220 kN

## CARICHI VARIABILI ORIZZONTALI - SERPEGGIO

Altezza risultante dal piano di fondazione	zs =	11.90 m
Forza trasversale di serpeggio	Qsk =	100 kN

## AZIONI AMBIENTALI - VENTO TRASVERSALE

Pressione del vento	qv =	2.5 kN/m <sup>2</sup>
Lunghezza di influenza:	Lv =	25.00 m

## a) Vento su struttura scarica

	Qv (kN)	z (m)
Vento su 1° barriera + impalcato	403.75	11.83
Vento sulla 2° barriera	241.25	13.13
Vento sul fusto pila	57.0	5.20
Totale vento su struttura scarica	702.0	11.74

## b) Vento su struttura carica

	Qv (kN)	z (m)
Vento su 1° barriera + impalcato	403.75	11.83
Vento sul convoglio	250	13.9
Vento sul fusto pila	57.0	5.20
Totale vento su struttura carica	710.8	12.03

## AZIONI SISMICHE

Coefficiente di intensità sismica:	C =	0.07
Coefficiente di protezione sismica:	I =	1.00
Coefficiente di fondazione:	ε =	1.00
Coefficiente di struttura	β =	1.20
Coefficiente di risposta	R =	1.00
Coefficiente azioni verticali	m =	2.00

Coefficiente sismico orizzontale:	Kh =	0.084
Coefficiente sismico verticale:	<td>0.140</td>	0.140

## Determinazione del periodo proprio della pila:

	M =	Dir. Longit.	Dir. Trasv.
Massa sismica degli impalcati sulla pila:	M =	1350.79	1350.79 t
Massa del fusto pila:	Mp =	265.53	265.53 t
Massa considerata: M0 = M(1+0.24 Mp/M)	M0 =	1414.51	1414.51 t
Modulo di elasticità del calcestruzzo pila:	E =	33721655	33721655 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente K = 3*E*/H <sup>3</sup>	K =	12367604	55228998 kN/m
Periodo proprio pila:	T =	0.067	0.032 sec ( T < 1.4 sec)

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

**RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE**

 Progetto  
IA00

 Lotto  
00

 Codifica Documento  
CLVI2100001

 Rev.  
C

 Foglio  
25 di 136

## EFFETTI SISMA VERTICALE

Sisma verticale: nella tabella seguente sono riportati i carichi verticali e orizzontali, i relativi bracci di leva e i momenti rispetto all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto per le sole azioni sismiche.  
Si è assunto un riferimento in cui X è l'asse longitudinale, Y l'asse trasversale e Z l'asse verticale.

	V (kN)	bx (m)	by (m)	ML (kNm)	MT (kNm)
Reazione permanente impalcato SX	696.21	-1.20	0.00	-835.45	0.00
Reazione permanente impalcato DX	696.21	1.20	0.00	835.45	0.00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	21.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione di testa	121.53	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione corrente	221.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso plinto di fondazione	737.35	0.00	0.00	0.00	0.00
Treni - Traffico sismico	462.00	0.00	0.67	0.00	308.00
<b>SISMA VERTICALE TOTALE</b>	<b>2956.30</b>	<b>0.00</b>	<b>0.10</b>	<b>0.00</b>	<b>308.00</b>

## EFFETTI SISMA LONGITUDINALE

Sisma longitudinale: nella tabella seguente sono riportati i carichi verticali e orizzontali, i relativi bracci di leva e i momenti rispetto all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto per le sole azioni sismiche.  
Si è assunto un riferimento in cui X è l'asse longitudinale, Y l'asse trasversale e Z l'asse verticale.

	HL (kN)	HT (kN)	bz (m)	ML (kNm)	MT (kNm)
Reazione permanente impalcato SX	835.45	0.00	8.53	7126.36	0.00
Reazione permanente impalcato DX	0.00	0.00	8.53	0.00	0.00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	12.74	0.00	6.30	80.29	0.00
Peso fusto pila - sezione di testa	72.92	0.00	5.50	401.06	0.00
Peso fusto pila - sezione corrente	133.06	0.00	2.50	332.64	0.00
Peso plinto di fondazione	442.41	0.00	-1.10	-486.65	0.00
Treni - Traffico sismico	277.20	0.00	9.70	2688.84	0.00
<b>SISMA LONGITUDINALE TOTALE</b>	<b>1773.78</b>	<b>0.00</b>	<b>5.72</b>	<b>10142.55</b>	<b>0.00</b>

## EFFETTI SISMA TRASVERSALE

Sisma trasversale: nella tabella seguente sono riportati i carichi verticali e orizzontali, i relativi bracci di leva e i momenti rispetto all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto per le sole azioni sismiche.  
Si è assunto un riferimento in cui X è l'asse longitudinale, Y l'asse trasversale e Z l'asse verticale.

	HL (kN)	HT (kN)	bz (m)	ML (kNm)	MT (kNm)
Reazione permanente impalcato SX	0.00	417.72	8.53	0.00	3563.18
Reazione permanente impalcato DX	0.00	417.72	8.53	0.00	3563.18
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	0.00	12.74	6.30	0.00	80.29
Peso fusto pila - sezione di testa	0.00	72.92	5.50	0.00	401.06
Peso fusto pila - sezione corrente	0.00	133.06	2.50	0.00	332.64
Peso plinto di fondazione	0.00	442.41	-1.10	0.00	-486.65
Treni - Traffico sismico	0.00	277.20	9.70	0.00	2688.84
<b>SISMA TRASVERSALE TOTALE</b>	<b>0.00</b>	<b>1773.78</b>	<b>5.72</b>	<b>0.00</b>	<b>10142.55</b>



## CARICHI ALLA BASE DEL FUSTO PILA - COMB. STATICHE

Nella tabella seguente sono riportati i carichi verticali e orizzontali, i relativi bracci di leva e i momenti rispetto all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto.  
Si è assunto un riferimento in cui X è l'asse longitudinale, Y l'asse trasversale e Z l'asse verticale.  
La tabella ricopre i carichi tipici delle combinazioni statiche.

	V (kN)	bx (m)	by (m)	HL (kN)	HT (kN)	bz (m)	ML (kNm)	MT (kNm)
Reazione permanente impalcato SX	4972.90	-1.20	0.00	0.00	0.00	8.53	-5967.48	0.00
Reazione permanente impalcato DX	4972.90	1.20	0.00	0.00	0.00	8.53	5967.48	0.00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	151.73	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione di testa	868.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione corrente	1584.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
Treni - Traffico pesante	5748.09	0.08	0.14	0.00	0.00	9.70	445.66	821.36
Forza centrifuga	0.00	0.00	0.00	0.00	571.96	11.50	0.00	6577.54
Avviamento e frenatura	0.00	0.00	0.00	1700.00	0.00	9.70	16490.00	0.00
Serpeggio	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	9.70	0.00	1940.00
Vento su struttura carica	0.00	0.00	0.00	0.00	710.75	9.83	0.00	6984.11
Attrito agli appoggi (0.2xG+Q)	0.00	0.00	0.00	464.24	0.00	6.40	2971.11	0.00

Le sollecitazioni complessive riferite all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto risultano:

Combinazione di calcolo:		GR.1 - TA1	GR.3 - TA1
Sforzo verticale:	V =	18297.72	18297.72 kN
Sforzo longitudinale:	HL =	1314.24	2164.24 kN
Sforzo trasversale:	HT =	1198.41	812.43 kN
Momento longitudinale:	ML =	11661.76	19906.76 kNm
Momento trasversale:	MT =	13529.36	9270.59 kNm

Le tensioni massime e minime ai lembi della sezione del fusto, supposta interamente reagente risultano:

Compressione massima:	Sc,max =	-2.82	-3.24 N/mm <sup>2</sup>
Compressione minima:	Sc,min =	-0.07	0.35 N/mm <sup>2</sup>

## CARICHI ALLA BASE DEL FUSTO PILA - COMB. SISMICHE

Nella tabella seguente sono riportati i carichi verticali e orizzontali, i relativi bracci di leva e i momenti rispetto all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto.  
Si è assunto un riferimento in cui X è l'asse longitudinale, Y l'asse trasversale e Z l'asse verticale.  
La tabella ricopre i carichi tipici delle combinazioni sismiche, da combinare con gli effetti sismici.

	V (kN)	bx (m)	by (m)	HL (kN)	HT (kN)	bz (m)	ML (kNm)	MT (kNm)
Reazione permanente impalcato SX	4972.90	-1.20	0.00	0.00	0.00	8.53	-5967.48	0.00
Reazione permanente impalcato DX	4972.90	1.20	0.00	0.00	0.00	8.53	5967.48	0.00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	151.73	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione di testa	868.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione corrente	1584.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
Treni - Traffico sismico	3300.00	0.00	0.67	0.00	0.00	9.70	0.00	2200.00
Forza centrifuga sismica	0.00	0.00	0.00	0.00	247.47	11.50	0.00	2845.89
Avviamento e frenatura sismici	0.00	0.00	0.00	220.00	0.00	9.70	2134.00	0.00

Le sollecitazioni complessive riferite all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto risultano:

Combinazione di calcolo:	Carichi statici	Sisma V	Sisma X	Sisma Y	TA-(SV+SX)	TA+(SV+SX)	TA-(SV+SY)	TA+(SV+SY)
Sforzo verticale:	V =	15849.63	2956.30	0	0	12893.33	18805.92	12893.33
Sforzo longitudinale:	HL =	220.00	0	1773.78	0.00	1993.78	1993.78	220.00
Sforzo trasversale:	HT =	247.47	0	0.00	1773.78	247.47	247.47	2021.25
Momento longitudinale:	ML =	2134.00	0.00	10142.55	0.00	10142.55	10142.55	2134.00
Momento trasversale:	MT =	5045.89	308.00	0.00	10142.55	5353.89	5353.89	15193.12

Le tensioni massime e minime ai lembi della sezione del fusto, supposta interamente reagente risultano:

Compressione massima:	Sc,max =	-1.96	-2.42	-1.77	-2.24 N/mm <sup>2</sup>
Compressione minima:	Sc,min =	-0.08	-0.54	-0.26	-0.73 N/mm <sup>2</sup>



## CARICHI ALLA BASE FONDAZIONE - COMB. STATICHE

Nella tabella seguente sono riportati i carichi verticali e orizzontali, i relativi bracci di leva e i momenti rispetto all'asse pila, all'altezza della testa pali.  
Si è assunto un riferimento in cui X è l'asse longitudinale, Y l'asse trasversale e Z l'asse verticale.  
La tabella ricopre i carichi tipici delle combinazioni statiche.

	V (kN)	bx (m)	by (m)	HL (kN)	HT (kN)	bz (m)	ML (kNm)	MT (kNm)
Reazione permanente impalcato SX	4972.90	-1.20	0.00	0.00	0.00	10.73	-5967.48	0.00
Reazione permanente impalcato DX	4972.90	1.20	0.00	0.00	0.00	10.73	5967.48	0.00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	151.73	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione di testa	868.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione corrente	1584.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00
Peso plinto di fondazione	5266.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00
Peso terreno sul plinto	1220.72	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00
Treni - Traffico pesante	5748.09	0.08	0.14	0.00	0.00	11.90	445.66	821.36
Forza centrifuga	0.00	0.00	0.00	0.00	571.96	13.70	0.00	7835.85
Avviamento e frenatura	0.00	0.00	0.00	1700.00	0.00	11.90	20230.00	0.00
Serpeggio	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	11.90	0.00	2380.00
Vento su struttura carica	0.00	0.00	0.00	0.00	710.75	12.03	0.00	8547.76
Attrito agli appoggi (0.2xG+Q)	0.00	0.00	0.00	464.24	0.00	8.60	3992.42	0.00

Le sollecitazioni complessive riferite all'asse pila, all'altezza della testa dei pali risultano:

Combinazione di calcolo:		GR.1 - TA1	GR.3 - TA1
Sforzo verticale:	V =	24785.24	24785.24 kN
Sforzo longitudinale:	HL =	1314.24	2164.24 kN
Sforzo trasversale:	HT =	1198.41	812.43 kN
Momento longitudinale:	ML =	14553.08	24668.08 kNm
Momento trasversale:	MT =	16165.86	11057.94 kNm

I carichi massimi e minimi sui pali risultano:

Combinazione di calcolo:		GR.1 - TA1	GR.3 - TA1
Carico verticale massimo	Vmax =	4704.97	5014.67 kN
Carico verticale minimo	Vmin =	1491.34	1181.63 kN
Carico orizzontale totale:	H =	222.32	288.96 kN

## CARICHI ALLA BASE FONDAZIONE - COMB. SISMICHE

Nella tabella seguente sono riportati i carichi verticali e orizzontali, i relativi bracci di leva e i momenti rispetto all'asse pila, all'altezza dello spiccato plinto.  
Si è assunto un riferimento in cui X è l'asse longitudinale, Y l'asse trasversale e Z l'asse verticale.  
La tabella ricopre i carichi tipici delle combinazioni sismiche che vengono combinati con gli effetti sismici.

	V (kN)	bx (m)	by (m)	HL (kN)	HT (kN)	bz (m)	ML (kNm)	MT (kNm)
Reazione permanente impalcato SX	4972.90	-1.20	0.00	0.00	0.00	10.73	-5967.48	0.00
Reazione permanente impalcato DX	4972.90	1.20	0.00	0.00	0.00	10.73	5967.48	0.00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	151.73	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione di testa	868.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	0.00	0.00
Peso fusto pila - sezione corrente	1584.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00
Peso plinto di fondazione	5266.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00
Peso terreno sul plinto	1220.72	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00
Treni - Traffico sismico	3300.00	0.00	0.67	0.00	0.00	11.90	0.00	2200.00
Forza centrifuga sismica	0.00	0.00	0.00	0.00	247.47	13.70	0.00	3390.33
Avviamento e frenatura sismici	0.00	0.00	0.00	220.00	0.00	11.90	2618.00	0.00

Le sollecitazioni complessive riferite all'asse pila, all'altezza della testa dei pali risultano:

Combinazione di calcolo:	Carichi statici	Sisma V	Sisma X	Sisma Y	TA-(SV+SX)	TA+(SV+SX)	TA-(SV+SY)	TA+(SV+SY)	
Sforzo verticale:	V =	22337.15	2956.30	0	0	19380.85	25293.44	19380.85	25293.44 kN
Sforzo longitudinale:	HL =	220.00	0	1773.78	0.00	1993.78	1993.78	220.00	220.00 kN
Sforzo trasversale:	HT =	247.47	0	0.00	1773.78	247.47	247.47	2021.25	2021.25 kN
Momento longitudinale:	ML =	2618.00	0.00	14044.86	0.00	14044.86	14044.86	2618.00	2618.00 kNm
Momento trasversale:	MT =	5590.33	308.00	0.00	14044.86	5898.33	5898.33	19638.57	19638.57 kNm

I carichi massimi e minimi sui pali risultano:

Combinazione di calcolo:		TA-(SV+SX)	TA+(SV+SX)	TA-(SV+SY)	TA+(SV+SY)
Carico verticale massimo	Vmax =	3494.15	4233.23	3537.86	4276.93 kN
Carico verticale minimo	Vmin =	1351.06	2090.14	1307.36	2046.43 kN
Carico orizzontale totale:	H =	251.13	251.13	254.15	254.15 kN

<b>APPALTATORE</b> 	<b>DIREZIONE LAVORI</b> 					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 40%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 10%;">Foglio 28 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 28 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 28 di 136		

## 7.2 Pile 45 e 46

A favore di sicurezza, per la valutazione delle azioni sollecitanti sulle pile 45 e 46, si è fatto riferimento alla determinazione delle azioni indotte dai carichi esterni (trasmesse dagli impalcati) riportata all'interno dall'elaborato del Progetto Esecutivo approvato "IA1Y-00-E-ZZ-CL-VI2100-001\_C - VI21 - Viadotto Esino - Da prog.1+023 a prog. 2+330,71 - Relazione di calcolo elevazioni e fondazioni delle sottostrutture del Viadotto", per la pila tipo "B" (pila sostenente una campata in c.a.p. di luce pari a 25,00 m e una campata in acciaio - cls di luce pari a 43,00 m). I calcoli sono stati poi riferiti alle dimensioni reali delle pile 45 e 46.

Longitudinalmente l'asse appoggi lato impalcato in c.a.p. è stato considerato come **mobile** mentre l'asse appoggi lato impalcato in acciaio - cls è stato considerato come **fisso**.

I calcoli sono eseguiti mediante foglio di calcolo Excel di cui seguono i tabulati.

### A. GEOMETRIA DELLA ZATTERA DI FONDAZIONE\*

\*Tutte le dimensioni e le azioni sollecitanti sono riferite agli assi ortogonali costituiti dall'asse longitudinale del viadotto e all'asse del varco tra i due impalcati.

Area della piante della zattera di fondazione	A	76,13	[m <sup>2</sup> ]
Spessore della zattera di fondazione	s <sub>z</sub>	1,50	[m]
Volume della zattera di fondazione	V <sub>z</sub>	114,19	[m <sup>3</sup> ]
Eccentricità longitudinale rispetto all'origine degli assi di riferimento	e <sub>L</sub>	-0,09	[m]
Eccentricità trasversale rispetto all'origine degli assi di riferimento	e <sub>T</sub>	0,16	[m]
Dimensione del rialzamento in cemento armato (lato impalcato in c.a.p.) - Direzione parallela all'asse longitudinale del viadotto	a <sub>L</sub>	3,75	[m]
Dimensione del rialzamento in cemento armato (lato impalcato in c.a.p.) - Direzione perpendicolare all'asse longitudinale del viadotto	a <sub>T</sub>	11,40	[m]
Spessore del rialzamento in cemento armato (lato impalcato in c.a.p.)	s <sub>r</sub>	0,60	[m]
Volume del rialzamento in cemento armato (lato impalcato in c.a.p.)	V <sub>r</sub>	25,65	[m <sup>3</sup> ]
Eccentricità longitudinale rispetto all'origine degli assi di riferimento	e <sub>L</sub>	-1,58	[m]
Eccentricità trasversale rispetto all'origine degli assi di riferimento	e <sub>T</sub>	0,00	[m]
Peso totale della zattera di fondazione	N	3.496,08	[kN]
Momento flettente longitudinale (riferito all'origine degli assi di riferimento) indotto dal peso proprio della zattera	M <sub>L</sub>	-1.266,26	[kNm]
Momento flettente trasversale (riferito all'origine degli assi di riferimento) indotto dal peso proprio della zattera	M <sub>T</sub>	469,86	[kNm]

### B. CARICHI TRASMESSI DAGLI IMPALCATI

#### B.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEGLI IMPALCATI INSISTENTI SULLA PILA

	IMPALCATO SX (C.A.P.)	IMPALCATO DX (ACCIAIO - CLS)	
Altezza baggioli + appoggi	0,40	0,50	[m]
Altezza del piano del ferro dalla sommità dei baggioli + appoggi	3,29	3,79	[m]
Lunghezza degli impalcati adiacenti (interasse pile)	25,00	43,00	[m]
Luce netta tra gli appoggi	22,60	40,80	[m]
Distanza tra asse appoggi e asse pila	1,20	1,10	[m]
Tipologia appoggi longitudinali (gruppo)	MOBILI	FISSI	[-]
Tipologia appoggi trasversali (gruppo)	FISSI	FISSI	[-]

#### B.2. CARICHI PERMANENTI TRASMESSI DAGLI IMPALCATI

	IMPALCATO SX (C.A.P.)	IMPALCATO DX (ACCIAIO - CLS)	
Reazioni trasmesse dagli impalcati	4.972,90	6.411,26	[kN]
Altezza risultante dal piano di fondazione	4,63	4,83	[m]

#### B.3. CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO FERROVIARIOVERTICALI\*\*

	BINARIO 1	BINARIO 2	
Distanza trasversale tra gli assi dei binari e l'origine degli assi di riferimento	2,00	-2,00	[m]

TRENO DI CARICO	Q <sub>ik</sub> [kN]	NUMERO CARICHI	INTERASSE [m]	q <sub>ik</sub> [kN/m]	LUNGHEZZA q <sub>ik</sub> [m]	VARCO (m)	ECCENTRICITA' (m)	COEFFICIENTE DI	CARICO q <sub>ik</sub> SEGMENTABIL	VELOCITA' [km/h]
LM71	250,00	4	1,60	80,00	9.999,00	6,40	0,08	1,10	SI	130,00
SW/0	-	-	-	133,00	15,00	5,30	0,00	1,10	NO	100,00
SW/2	-	-	-	150,00	25,00	7,00	0,00	1,00	NO	100,00
TRENO SISMICO	-	-	-	88,00	9.999,00	0,00	0,00	1,00	SI	100,00

\*\*Nel calcolo degli effetti massimi dei carichi verticali rispetto all'asse pila i modelli di carico sono riferiti a un'origine fittizia X rispetto all'asse della pila, stabilita al centro del varco libero.

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 29 di 136

**B.3.1. TRENO DI CARICO LM71 - MASSIMO CARICO VERTICALE SULLA PILA**

 Origine treno X 1,00 [m]

CARICO	V [kN]	X <sub>INIZIALE</sub> [m]	X <sub>FINALE</sub> [m]	R <sub>SX</sub> [kN]	R <sub>DX</sub> [kN]	R <sub>TOT</sub> [kN]
Q <sub>k1</sub>	275,00	-1,40	-1,40	272,57	0,00	272,57
Q <sub>k2</sub>	275,00	0,20	0,20	0,00	275,00	275,00
Q <sub>k3</sub>	275,00	1,80	1,80	0,00	270,28	270,28
Q <sub>k4</sub>	275,00	3,40	3,40	0,00	259,50	259,50
Q <sub>k,SX</sub>	88,00	-23,80	-2,20	908,35	0,00	908,35
Q <sub>k,DX</sub>	88,00	4,20	41,90	0,00	1.532,76	1.532,76
<b>TOTALE</b>				<b>1.180,91</b>	<b>2.337,54</b>	<b>3.518,46</b>

**B.3.2. TRENO DI CARICO SW/0 - MASSIMO CARICO VERTICALE SULLA PILA**

 Origine treno X 7,00 [m]

CARICO	V [kN/m]	X <sub>INIZIALE</sub> [m]	X <sub>FINALE</sub> [m]	R <sub>SX</sub> [kN]	R <sub>DX</sub> [kN]	R <sub>TOT</sub> [kN]
q <sub>k,SX</sub>	146,30	-10,65	4,35	1.269,05	617,47	1.886,51
q <sub>k,DX</sub>	146,30	9,65	24,65	0,00	1.331,22	1.331,22
<b>TOTALE</b>				<b>1.269,05</b>	<b>1.948,69</b>	<b>3.217,74</b>

**B.3.3. TRENO DI CARICO SW/2 - MASSIMO CARICO VERTICALE SULLA PILA**

 Origine treno X 10,00 [m]

CARICO	V [kN/m]	X <sub>INIZIALE</sub> [m]	X <sub>FINALE</sub> [m]	R <sub>SX</sub> [kN]	R <sub>DX</sub> [kN]	R <sub>TOT</sub> [kN]
q <sub>k,SX</sub>	150,00	-18,50	6,50	1.781,78	921,40	2.703,18
q <sub>k,DX</sub>	150,00	13,50	38,50	0,00	1.461,40	1.461,40
<b>TOTALE</b>				<b>1.781,78</b>	<b>2.382,79</b>	<b>4.164,58</b>

**B.3.3. TRENO DI CARICO SISMICO - MASSIMO CARICO VERTICALE SULLA PILA**

 Origine treno X 0,00 [m]

CARICO	V [kN/m]	X <sub>INIZIALE</sub> [m]	X <sub>FINALE</sub> [m]	R <sub>SX</sub> [kN]	R <sub>DX</sub> [kN]	R <sub>TOT</sub> [kN]
q <sub>k,SX</sub>	88,00	-23,80	0,00	1.100,00	0,00	1.100,00
q <sub>k,DX</sub>	88,00	0,00	41,90	0,00	1.892,00	1.892,00
<b>TOTALE</b>				<b>1.100,00</b>	<b>1.892,00</b>	<b>2.992,00</b>

**B.4. CONTEMPORANEITA' DEI TRENI SUI DUE BINARI**
**B.4.1. TRAFFICO NORMALE**

BINARIO	TRENO	Y [m]	R <sub>SX</sub> [kN]	X [m]	R <sub>DX</sub> [kN]	X [m]
BINARIO 1	LM71	2,08	1.180,91	-1,20	2.337,54	1,10
BINARIO 2	LM71	-1,92	1.180,91	-1,20	2.337,54	1,10

 Reazione verticale totale sulla pila V<sub>k</sub> 7.036,91 [kN]  
 Momento flettente longitudinale M<sub>LONG,k</sub> 2.308,40 [kNm]  
 Momento flettente trasversale M<sub>TRASV,k</sub> 562,95 [kNm]
**B.4.2. TRAFFICO PESANTE**

BINARIO	TRENO	Y [m]	R <sub>SX</sub> [kN]	X [m]	R <sub>DX</sub> [kN]	X [m]
BINARIO 1	SW2	2,00	1.781,78	-1,20	2.382,79	1,10
BINARIO 2	LM71	-1,92	1.180,91	-1,20	2.337,54	1,10

 Reazione verticale totale sulla pila V<sub>k</sub> 7.683,03 [kN]  
 Momento flettente longitudinale M<sub>LONG,k</sub> 1.637,14 [kNm]  
 Momento flettente trasversale M<sub>TRASV,k</sub> 1.573,71 [kNm]
**B.4.3. TRAFFICO SISMICO**

BINARIO	TRENO	Y [m]	R <sub>SX</sub> [kN]	X [m]	R <sub>DX</sub> [kN]	X [m]
BINARIO 1	100% TRENO SISMICO	2,00	1.100,00	-1,20	1.892,00	1,10
BINARIO 2	50% TRENO SISMICO	-2,00	550,00	-1,20	946,00	1,10

 Reazione verticale totale sulla pila V<sub>k</sub> 4.488,00 [kN]  
 Momento flettente longitudinale M<sub>LONG,k</sub> 1.141,80 [kNm]  
 Momento flettente trasversale M<sub>TRASV,k</sub> 2.992,00 [kNm]
**B.5. CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO FERROVIARIO ORIZZONTALI**
**B.5.1. AZIONE TRASVERSALE CENTRIFUGA**

 Raggio di curvatura dei binari R 1.050,00 [m]  
 Quota di applicazione dell'azione centrifuga rispetto al piano del ferro Z<sub>pf</sub> 1,80 [m]  
 Quota di applicazione dell'azione centrifuga rispetto alla base della zattera di fondazione Z<sub>pf</sub> 7,59 [m]  
 Azione centrifuga - Treno LM71 Q<sub>k,LM71</sub> 445,91 [kN]  
 Azione centrifuga - Treno SW/0 Q<sub>k,SW0</sub> 241,30 [kN]  
 Azione centrifuga - Treno SW/2 Q<sub>k,SW2</sub> 312,30 [kN]  
 Azione centrifuga - Treno sismico Q<sub>k,S</sub> 224,37 [kN]



## B.5.2. AZIONE LONGITUDINALE DI AVVIAMENTO/FRENATURA

Quota di applicazione dell'azione di avviamento/frenatura rispetto al piano del ferro

Z <sub>pf</sub>	0,00	[m]
-----------------	------	-----

Quota di applicazione dell'azione di avviamento/frenatura rispetto alla base della zattera di fondazione

Z <sub>pf</sub>	5,79	[m]
-----------------	------	-----

Azione di avviamento/frenatura - Treno LM71

	AVVIAMENTO	FRENATURA	
Q <sub>ik,LM71</sub>	1.000,00	860,00	[kN]

Azione di avviamento/frenatura - Treno SW0

Q <sub>ik,SW0</sub>	1.000,00	860,00	[kN]
---------------------	----------	--------	------

Azione di avviamento/frenatura - Treno SW2

Q <sub>ik,SW2</sub>	1.000,00	1.505,00	[kN]
---------------------	----------	----------	------

Azione di avviamento/frenatura - Treno sismico

Q <sub>ik,S</sub>	0,00	378,40	[kN]
-------------------	------	--------	------

## B.5.3. AZIONE TRASVERSALE DI SERPEGGIO

Quota di applicazione dell'azione di avviamento/frenatura rispetto al piano del ferro

Z <sub>pf</sub>	0,00	[m]
-----------------	------	-----

Quota di applicazione dell'azione di avviamento/frenatura rispetto alla base della zattera di fondazione

Z <sub>pf</sub>	5,79	[m]
-----------------	------	-----

Azione trasversale di serpeggio

Q <sub>S,k</sub>	100,00	[kN]
------------------	--------	------

## B.6. AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO

Pressione orizzontale del vento

p <sub>v</sub>	2,50	[kN/m <sup>2</sup> ]
----------------	------	----------------------

Lunghezza di impalcato di pertinenza della pila

L <sub>v</sub>	34,00	[m]
----------------	-------	-----

## B.6.1. AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO SULLA STRUTTURA SCARICA

Vento sulla prima barriera + impalcato

Q <sub>v</sub>	Z	
[kN]	[m]	
575,98	5,89	[-]
328,10	7,03	[-]
904,08	6,30	[-]

Vento sulla seconda barriera

Vento totale sulla struttura

## B.6.2. AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO SULLA STRUTTURA CARICA

Vento sulla prima barriera + impalcato

Q <sub>v</sub>	Z	
[kN]	[m]	
575,98	5,89	[-]
340,00	7,79	[-]
915,98	6,59	[-]

Vento sulla seconda barriera

Vento totale sulla struttura

## C. AZIONE SISMICA

## C.1. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Coefficiente di intensità sismica

C	0,07	[-]
---	------	-----

Coefficiente di proiezione sismica

I	1,00	[-]
---	------	-----

Coefficiente di fondazione

ε	1,00	[-]
---	------	-----

Coefficiente di struttura

β	1,20	[-]
---	------	-----

Coefficiente di risposta

R	1,00	[-]
---	------	-----

Coefficiente per azioni verticali

m	2,00	[-]
---	------	-----

Coefficiente sismico orizzontale

k <sub>h</sub>	0,084	[-]
----------------	-------	-----

Coefficiente sismico verticale

k <sub>v</sub>	0,140	[-]
----------------	-------	-----

## C.1. EFFETTI SISMA LONGITUDINALE

CARICO ELEMENTARE	H <sub>LONG</sub>	H <sub>TRASV</sub>	b <sub>z</sub>	M <sub>LONG</sub>	M <sub>TRASV</sub>
	[kN]	[kN]	[m]	[kNm]	[kNm]
Reazione permanente impalcato SX	417,72	0,00	4,63	1.934,06	0,00
Reazione permanente impalcato DX	538,55	0,00	4,83	2.601,18	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	12,75	0,00	2,30	29,31	0,00
Peso plinto di fondazione	293,67	0,00	0,94	276,81	0,00
Treni - Traffico sismico	138,60	0,00	5,79	802,49	0,00
<b>TOTALE</b>	<b>1.401,29</b>	<b>0,00</b>	<b>4,03</b>	<b>5.643,86</b>	<b>0,00</b>

## C.2. EFFETTI SISMA TRASVERSALE

CARICO ELEMENTARE	H <sub>LONG</sub>	H <sub>TRASV</sub>	b <sub>z</sub>	M <sub>LONG</sub>	M <sub>TRASV</sub>
	[kN]	[kN]	[m]	[kNm]	[kNm]
Reazione permanente impalcato SX	0,00	417,72	4,63	0,00	1.934,06
Reazione permanente impalcato DX	0,00	538,55	4,83	0,00	2.601,18
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	0,00	12,75	2,30	0,00	29,31
Peso plinto di fondazione	0,00	293,67	0,94	0,00	276,81
Treni - Traffico sismico	0,00	376,99	5,79	0,00	2.182,78
<b>TOTALE</b>	<b>0,00</b>	<b>1.639,68</b>	<b>4,28</b>	<b>0,00</b>	<b>7.024,15</b>

## C.3. EFFETTI SISMA VERTICALE

CARICO ELEMENTARE	V	b <sub>x</sub>	b <sub>y</sub>	M <sub>LONG</sub>	M <sub>TRASV</sub>
	[kN]	[m]	[m]	[kNm]	[kNm]
Reazione permanente impalcato SX	696,21	-1,20	0,00	-835,45	0,00
Reazione permanente impalcato DX	897,58	1,10	0,00	987,33	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	21,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	489,45	-0,36	0,13	-177,28	65,78
Treni - Traffico sismico	628,32	0,25	0,67	159,85	418,88
<b>TOTALE</b>	<b>2.732,80</b>	<b>0,05</b>	<b>0,18</b>	<b>134,46</b>	<b>484,66</b>

APPALTATORE



**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
31 di 136

## D. RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI IN FASE STATICA

## D.1. RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE STATICHE

CARICO ELEMENTARE	V [kN]	b <sub>x</sub> [m]	b <sub>y</sub> [m]	H <sub>LONG</sub> [kN]	H <sub>TRASV</sub> [kN]	b <sub>z</sub> [m]	M <sub>LONG</sub> [kNm]	M <sub>TRASV</sub> [kNm]
Reazione permanente impalcato SX	4.972,90	-1,20	0,00	0,00	0,00	4,63	-5.967,48	0,00
Reazione permanente impalcato DX	6.411,26	1,10	0,00	0,00	0,00	4,83	7.052,39	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	151,73	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	3.496,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00
Treni - Traffico pesante	7.683,03	0,21	0,20	0,00	0,00	0,00	1.637,14	1.573,71
Forza centrifuga	0,00	0,00	0,00	0,00	758,21	7,59	0,00	5.754,83
Avviamento e frenatura	0,00	0,00	0,00	2.505,00	0,00	5,79	14.503,95	0,00
Serpeggio	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	5,79	0,00	1.158,00
Vento su struttura carica	0,00	0,00	0,00	0,00	915,98	6,59	0,00	6.039,99
Attrito agli appoggi (0.2xG+Q)	0,00	0,00	0,00	597,59	0,00	2,50	1.493,98	0,00

## D.2. AZIONI SOLLECITANTI DI CARICO - COMBINAZIONE GR.1 - TA1

CARICO ELEMENTARE	ψ	V [kN]	H <sub>LONG</sub> [kN]	H <sub>TRASV</sub> [kN]	M <sub>LONG</sub> [kNm]	M <sub>TRASV</sub> [kNm]
Reazione permanente impalcato SX	1,00	4.972,90	0,00	0,00	-5.967,48	0,00
Reazione permanente impalcato DX	1,00	6.411,26	0,00	0,00	7.052,39	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	1,00	151,73	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	1,00	3.496,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Treni - Traffico pesante	1,00	7.683,03	0,00	0,00	1.637,14	1.573,71
Forza centrifuga	1,00	0,00	0,00	758,21	0,00	5.754,83
Avviamento e frenatura	0,50	0,00	1.252,50	0,00	7.251,98	0,00
Serpeggio	1,00	0,00	0,00	200,00	0,00	1.158,00
Vento su struttura carica	0,60	0,00	0,00	549,59	0,00	3.623,99
Attrito agli appoggi (0.2xG+Q)	1,00	0,00	597,59	0,00	1.493,98	0,00
<b>TOTALE</b>		<b>22.715,00</b>	<b>1.850,09</b>	<b>1.507,80</b>	<b>11.468,00</b>	<b>12.110,54</b>

## D.3. AZIONI SOLLECITANTI DI CARICO - COMBINAZIONE GR.3 - TA1

CARICO ELEMENTARE	ψ	V [kN]	H <sub>LONG</sub> [kN]	H <sub>TRASV</sub> [kN]	M <sub>LONG</sub> [kNm]	M <sub>TRASV</sub> [kNm]
Reazione permanente impalcato SX	1,00	4.972,90	0,00	0,00	-5.967,48	0,00
Reazione permanente impalcato DX	1,00	6.411,26	0,00	0,00	7.052,39	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	1,00	151,73	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	1,00	3.496,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Treni - Traffico pesante	1,00	7.683,03	0,00	0,00	1.637,14	1.573,71
Forza centrifuga	0,50	0,00	0,00	379,11	0,00	2.877,42
Avviamento e frenatura	1,00	0,00	2.505,00	0,00	14.503,95	0,00
Serpeggio	0,50	0,00	0,00	100,00	0,00	579,00
Vento su struttura carica	0,60	0,00	0,00	549,59	0,00	3.623,99
Attrito agli appoggi (0.2xG+Q)	1,00	0,00	597,59	0,00	1.493,98	0,00
<b>TOTALE</b>		<b>22.715,00</b>	<b>3.102,59</b>	<b>1.028,69</b>	<b>18.719,97</b>	<b>8.654,13</b>

## D.4. AZIONI SOLLECITANTI DI CARICO - COMBINAZIONE GR.6 - TA5

CARICO ELEMENTARE	ψ	V [kN]	H <sub>LONG</sub> [kN]	H <sub>TRASV</sub> [kN]	M <sub>LONG</sub> [kNm]	M <sub>TRASV</sub> [kNm]
Reazione permanente impalcato SX	1,00	4.972,90	0,00	0,00	-5.967,48	0,00
Reazione permanente impalcato DX	1,00	6.411,26	0,00	0,00	7.052,39	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	1,00	151,73	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	1,00	3.496,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Treni - Traffico pesante	0,60	4.609,82	0,00	0,00	982,28	944,23
Forza centrifuga	0,60	0,00	0,00	454,93	0,00	3.452,90
Avviamento e frenatura	0,60	0,00	1.503,00	0,00	8.702,37	0,00
Serpeggio	0,60	0,00	0,00	120,00	0,00	694,80
Vento su struttura carica	0,50	0,00	0,00	457,99	0,00	3.020,00
Attrito agli appoggi (0.2xG+Q)	1,00	0,00	597,59	0,00	1.493,98	0,00
<b>TOTALE</b>		<b>19.641,79</b>	<b>2.100,59</b>	<b>1.032,92</b>	<b>12.263,54</b>	<b>8.111,92</b>

## E. RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI IN FASE SISMICA

## E.1. RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE - COMPONENTI STATICHE

CARICO ELEMENTARE	V [kN]	b <sub>x</sub> [m]	b <sub>y</sub> [m]	H <sub>LONG</sub> [kN]	H <sub>TRASV</sub> [kN]	b <sub>z</sub> [m]	M <sub>LONG</sub> [kNm]	M <sub>TRASV</sub> [kNm]
Reazione permanente impalcato SX	4.972,90	-1,20	0,00	0,00	0,00	4,63	-5.967,48	0,00
Reazione permanente impalcato DX	6.411,26	1,10	0,00	0,00	0,00	4,83	7.052,39	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi:	151,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	3.496,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1.266,26	469,86
Treni - Traffico sismico	4.488,00	0,25	0,67	0,00	0,00	0,00	1.141,80	2.992,00
Forza centrifuga sismica	0,00	0,00	0,00	0,00	336,56	7,59	0,00	2.554,47
Avviamento e frenatura sismici	0,00	0,00	0,00	567,60	0,00	5,79	3.286,40	0,00

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
CONSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
32 di 136

## E.2. RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI CARATTERISTICHE - COMPONENTI STATICHE

AZIONE SOLLECITANTE	CARICHI STATICI	SISMA VERTICALE	SISMA LONGITUDINALE	SISMA TRAVERSALE	COMBINAZIONE TA - (S <sub>v</sub> +S <sub>LONG</sub> )	COMBINAZIONE TA + (S <sub>v</sub> +S <sub>LONG</sub> )	COMBINAZIONE TA - (S <sub>v</sub> +S <sub>TRASV</sub> )	COMBINAZIONE TA + (S <sub>v</sub> +S <sub>TRASV</sub> )	
SFORZO VERTICALE - V	19.519,97	2.732,80	0,00	0,00	16.787,17	22.252,77	16.787,17	22.252,77	[kN]
TAGLIO LONGITUDINALE - H <sub>LONG</sub>	567,60	0,00	1.401,29	0,00	-833,69	1.968,89	567,60	567,60	[kN]
TAGLIO TRASVERSALE - H <sub>TRASV</sub>	336,56	0,00	0,00	1.639,68	336,56	336,56	-1.303,12	1.976,24	[kN]
MOMENTO LONGITUDINALE - M <sub>LONG</sub>	4.246,85	134,46	5.643,86	0,00	-1.531,47	10.025,17	4.112,39	4.381,31	[kNm]
MOMENTO TRASVERSALE - M <sub>TRASV</sub>	6.016,34	484,66	0,00	7.024,15	5.531,68	6.501,00	-1.492,47	13.525,15	[kNm]

## F. RIEPILOGO DELLE AZIONI SOLLECITANTI ALLA BASE DELLA ZATTERA DI FONDAZIONE

COMBINAZIONE	V [kN]	H <sub>LONG</sub> [kN]	H <sub>TRASV</sub> [kN]	M <sub>LONG</sub> [kNm]	M <sub>TRASV</sub> [kNm]
GR.1 - TA1	22.715,00	1.850,09	1.507,60	11.468,00	12.110,54
GR.3 - TA1	22.715,00	3.102,59	1.028,69	18.719,97	8.654,13
TA - (S <sub>v</sub> +S <sub>LONG</sub> )	16.787,17	-833,69	336,56	-1.531,47	5.531,68
TA + (S <sub>v</sub> +S <sub>LONG</sub> )	22.252,77	1.968,89	336,56	10.025,17	6.501,00
TA - (S <sub>v</sub> +S <sub>TRASV</sub> )	16.787,17	567,60	-1.303,12	4.112,39	-1.492,47
TA + (S <sub>v</sub> +S <sub>TRASV</sub> )	22.252,77	567,60	1.976,24	4.381,31	13.525,15
GR.6 - TA5	19.641,79	2.100,59	1.032,92	12.263,54	8.111,92

## G. VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI SUI PALI DI FONDAZIONE

Numero di pali									n <sub>p</sub>	8	[-]
	PALO 1	PALO 2	PALO 3	PALO 4	PALO 5	PALO 6	PALO 7	PALO 8			
X [m]	-2,25	-2,25	-2,25	0,00	-0,25	2,25	2,25	1,76			
Y [m]	4,50	0,00	-4,50	2,25	-2,00	4,50	0,00	-4,01			
X <sup>2</sup>	5,06	5,06	5,06	0,00	0,06	5,06	5,06	3,10		28,47	
Y <sup>2</sup>	20,25	0,00	20,25	5,06	4,00	20,25	0,00	16,08		85,89	
COMBINAZIONE	N <sub>Sd,1</sub> [kN]	N <sub>Sd,2</sub> [kN]	N <sub>Sd,3</sub> [kN]	N <sub>Sd,4</sub> [kN]	N <sub>Sd,5</sub> [kN]	N <sub>Sd,6</sub> [kN]	N <sub>Sd,7</sub> [kN]	N <sub>Sd,8</sub> [kN]	R <sub>Sd</sub> [kN]		
GR.1 - TA1	2.567,62	1.933,14	1.298,65	3.156,62	2.456,69	4.380,10	3.745,61	2.982,86	298,34		
GR.3 - TA1	1.813,46	1.360,06	906,66	3.066,07	2.473,50	4.772,09	4.318,69	3.592,50	408,59		
TA - (S <sub>v</sub> +S <sub>LONG</sub> )	2.509,23	2.219,42	1.929,61	2.243,30	1.983,04	2.267,19	1.977,38	1.745,48	112,38		
TA + (S <sub>v</sub> +S <sub>LONG</sub> )	2.329,97	1.989,37	1.648,78	2.951,89	2.542,20	3.914,41	3.573,82	3.097,78	249,68		
TA - (S <sub>v</sub> +S <sub>TRASV</sub> )	1.695,23	1.773,42	1.851,61	2.059,30	2.097,04	2.345,18	2.423,37	2.422,28	177,67		
TA + (S <sub>v</sub> +S <sub>TRASV</sub> )	3.143,97	2.435,37	1.726,77	3.135,89	2.428,19	3.836,42	3.127,82	2.420,98	257,02		
GR.6 - TA5	1.911,11	1.486,12	1.061,13	2.667,72	2.158,66	3.849,32	3.424,33	2.834,56	292,60		

Azione massima di compressione sul singolo palo di fondazione

N<sub>C,max</sub> 4.772,09 [kN]

Azione minima di compressione sul singolo palo di fondazione

N<sub>C,min</sub> 906,66 [kN]

Risultante di taglio massima sul singolo palo di fondazione

R<sub>max</sub> 408,59 [kN]

Per le verifiche a fessurazione verranno considerate le seguenti azioni sollecitanti sui pali di fondazione:

## G. VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI SUI PALI DI FONDAZIONE

Numero di pali									n <sub>p</sub>	8	[-]
	PALO 1	PALO 2	PALO 3	PALO 4	PALO 5	PALO 6	PALO 7	PALO 8			
X [m]	-2,25	-2,25	-2,25	0,00	-0,25	2,25	2,25	1,76			
Y [m]	4,50	0,00	-4,50	2,25	-2,00	4,50	0,00	-4,01			
X <sup>2</sup>	5,06	5,06	5,06	0,00	0,06	5,06	5,06	3,10		28,47	
Y <sup>2</sup>	20,25	0,00	20,25	5,06	4,00	20,25	0,00	16,08		85,89	
COMBINAZIONE	N <sub>Sd,1</sub> [kN]	N <sub>Sd,2</sub> [kN]	N <sub>Sd,3</sub> [kN]	N <sub>Sd,4</sub> [kN]	N <sub>Sd,5</sub> [kN]	N <sub>Sd,6</sub> [kN]	N <sub>Sd,7</sub> [kN]	N <sub>Sd,8</sub> [kN]	R <sub>Sd</sub> [kN]		
GR.6 - TA5	1.911,11	1.486,12	1.061,13	2.667,72	2.158,66	3.849,32	3.424,33	2.834,56	292,60		

Azione massima di compressione sul singolo palo di fondazione

N<sub>C,max</sub> 3.849,32 [kN]

Azione minima di compressione sul singolo palo di fondazione

N<sub>C,min</sub> 1.061,13 [kN]

Risultante di taglio massima sul singolo palo di fondazione

R<sub>max</sub> 292,60 [kN]

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 33 di 136

## 8 PILA 44 – VERIFICHE STRUTTURALI

### 8.1 Verifica in corrispondenza della sezione di spiccatto del fusto

Si effettua la verifica a presso-flessione deviata e taglio della sezione di spiccatto della pila mediante il programma RC-SEC, prodotto da GeoStru, Bianco, RC.

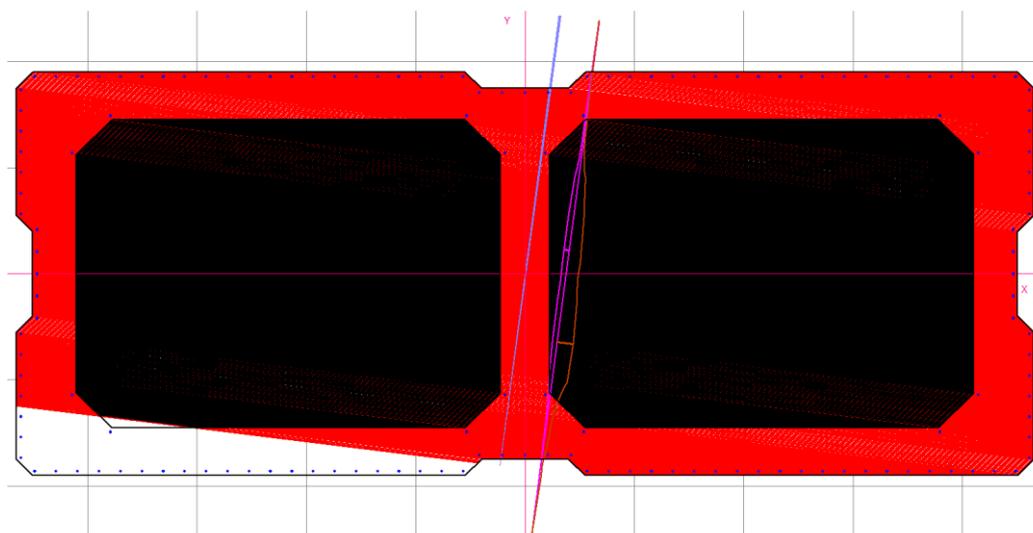
L'armatura è costituita da uno strato esterno di  $\varnothing 20$  con passo 20 cm e ricoprimento di 4 cm.

Si verifica la combinazione più gravosa GR3-TA1 della pila di transizione.

- sforzo normale:  $V = 22018.26$  kN
- sforzo longitudinale:  $HL = 2297.59$  kN
- sforzo trasversale:  $HT = 1062.89$  kN
- momento longitudinale:  $ML = 24454.95$  kNm
- momento trasversale:  $MT = 13017.36$  kNm

I risultati della verifica sono qui riassunti:

- compressione massima cls.:  $\sigma_c = -3.81$  N/mm<sup>2</sup>
- trazione massima armature:  $\sigma_f = +7.92$  N/mm<sup>2</sup>
- massima tensione tangenziale cls.:  $\tau_c = 0.569$  N/mm<sup>2</sup>



Sezione con tensioni e deformazioni

La sezione risulta verificata; dato che  $\tau_c$  è minore di  $\tau_{c0} = 0.667$  N/mm<sup>2</sup> non si effettua il calcolo delle armature resistenti a taglio.

Segue tabulato del calcolo svolto.

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 40%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 10%;">Foglio 34 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 34 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 34 di 136		

**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: PILA DI TRANSIZIONE**

Descrizione Sezione: PILA DI TRANSIZIONE C.A.P. / ACCIAIO  
Metodo di calcolo resistenza: Tensioni Ammissibili  
Tipologia sezione: Sezione generica  
Riferimento Sforzi assegnati: Assi X,Y coordinate sezione

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C28/35  
Tensione Normale Ammiss. Sc : 110.00 daN/cm<sup>2</sup>  
Tensione Normale media Amm. : 77.00 daN/cm<sup>2</sup>  
Tensione Tangenz.Amm. TauC0 : 6.66 daN/cm<sup>2</sup>  
Tensione Tangenz.Amm. TauC1 : 19.71 daN/cm<sup>2</sup>  
Coeff. N di omogeneizzazione : 15.0  
Modulo Elastico Normale Ec : 323080 daN/cm<sup>2</sup>  
Coeff. di Poisson : 0.20  
Resis. media a trazione fctm: 27.60 daN/cm<sup>2</sup>

ACCIAIO - Tipo: FeB44k  
Resist. caratt. rottura ftk: 4400.0 daN/cm<sup>2</sup>  
Tensione Ammissibile Sf : 2550.0 daN/cm<sup>2</sup>  
Modulo Elastico Ef : 2100000 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO**

**DOMINIO N° 1**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C28/35

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-449.99	-40.00
2	-449.99	40.00
3	-464.99	55.00
4	-464.99	175.00
5	-449.99	190.00
6	-54.99	190.00
7	-39.99	175.00
8	39.99	175.00
9	54.99	190.00
10	449.99	190.00
11	464.99	175.00
12	464.99	55.00
13	450.00	40.01
14	449.99	-40.00
15	464.99	-55.00
16	464.99	-175.00
17	450.00	-189.99
18	54.99	-190.00
19	39.99	-175.00
20	-39.99	-175.00
21	-54.99	-190.00
22	-449.99	-190.00
23	-464.99	-175.00
24	-464.99	-55.00

**DOMINIO N° 2**

Forma del Dominio: Poligonale vuoto  
Classe Conglomerato: C28/35

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C      Foglio 35 di 136

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-54.99	145.00
2	-22.50	112.51
3	-22.50	-112.51
4	-54.99	-145.00
5	-377.50	-145.00
6	-409.99	-112.51
7	-409.99	112.51
8	-377.50	145.00

### DOMINIO N° 3

Forma del Dominio: Poligonale vuoto  
Classe Conglomerato: C28/35

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	377.50	145.00
2	409.99	112.51
3	409.99	-112.51
4	377.50	-145.00
5	54.99	-145.00
6	22.50	-112.51
7	22.50	112.51
8	54.99	145.00

### DATI BARRE ISOLATE

N.Barra      Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini  
Ascissa X      Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O  
Ordinata Y      Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O  
Diam.      Diametro in mm della barra

N.Barra	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm	Diam.Ø,mm
1	-445.99	-41.66	20
2	-445.99	41.66	20
3	-460.99	56.66	20
4	-460.99	173.34	20
5	-448.33	186.00	20
6	-56.65	186.00	20
7	-41.65	171.00	20
8	41.65	171.00	20
9	56.65	186.00	20
10	448.33	186.00	20
11	460.99	173.34	20
12	460.99	56.66	20
13	446.00	41.67	20
14	445.99	-41.66	20
15	460.99	-56.66	20
16	460.99	-173.34	20
17	448.34	-185.99	20
18	56.65	-186.00	20
19	41.65	-171.00	20
20	-41.65	-171.00	20
21	-56.65	-186.00	20
22	-448.33	-186.00	20
23	-460.99	-173.34	20
24	-460.99	-56.66	20
25	-53.33	149.00	20
26	-18.50	114.17	20
27	-18.50	-114.17	20
28	-53.33	-149.00	20

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>		<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 36 di 136

29	-379.16	-149.00	20
30	-413.99	-114.17	20
31	-413.99	114.17	20
32	-379.16	149.00	20
33	379.16	149.00	20
34	413.99	114.17	20
35	413.99	-114.17	20
36	379.16	-149.00	20
37	53.33	-149.00	20
38	18.50	-114.17	20
39	18.50	114.17	20
40	53.33	149.00	20

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.  
N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.  
N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.  
Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	N.Barra In.	N.Barra Fin.	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	1	2	3	20
2	3	4	5	20
3	5	6	19	20
4	9	10	19	20
5	11	12	5	20
6	13	14	3	20
7	15	16	5	20
8	17	18	19	20
9	7	8	3	20
10	19	20	3	20
11	21	22	19	20
12	23	24	5	20

#### TENS.AMMISS. - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN nell'origine O del sist. di rif. X,Y,O  
MX Coppia concentrata in daNm intorno all'asse X del rif. X,Y,O  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione  
MY Coppia concentrata in daNm intorno all'asse Y del rif. X,Y,O  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione  
VY Componente del Taglio [daN] parall. all'asse Y del rif. X,Y,O  
VX Componente del Taglio [daN] parall. all'asse X del rif. X,Y,O

N.Comb.	N	MX	MY	VY	VX
1	2188022	2483617	1288316	229577	77429

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 15.9 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 2.2 cm

#### METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI - MASSIME E MINIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max Massima tensione [in daN/cm<sup>2</sup>] nel conglomerato (positiva se di compress.)  
Xc max Ascissa [in cm] corrispond. al punto di massima compressione  
Yc max Ordinata [in cm] corrispond. al punto di massima compressione  
Sc min Minima tensione [in daN/cm<sup>2</sup>] nel conglomerato (positiva se di compress.)  
Xc min Ascissa [in cm] corrispond. al punto di minima compressione

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 37 di 136

Yc min      Ordinata [in cm] corrispond. al punto di minima compressione  
 Sc med      Tensione media [in daN/cm<sup>2</sup>] nel congl. in presenza di sf. normale  
 Sf min      Minima tensione [in daN/cm<sup>2</sup>] nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Yf min      Ordinata [in cm] corrispond. alla barra di minima tensione

N.Comb.	Ver	Sc max	Xcmax	Ycmax	Sc min	Xcmin	Ycmin	Sc med	Sf min	Xfmin	Yfmin
1	S	38.3	450.0	190.0	0.0	-450.0	-190.0	16.4	-87	-448.3	-186.0

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

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

N.Comb.	a	b	c
1	0.000000081	0.000000646	0.000114735

**METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver      S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Vsd      Taglio agente [daN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
 Tau max      Massima tensione tangenziale a taglio nel conglom. [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Scorr.      Scorrimento massimo per taglio nel conglomerato [daN/cm]  
 Bs      Lunghezza in cm della corda di scorrimento massimo  
 TgFi      Rapporto tra la tens. princ. trazione e quella tang. nella corda Bs  
 Afst      Area di calcolo staffe a taglio per metro di trave [cm<sup>2</sup>/m]

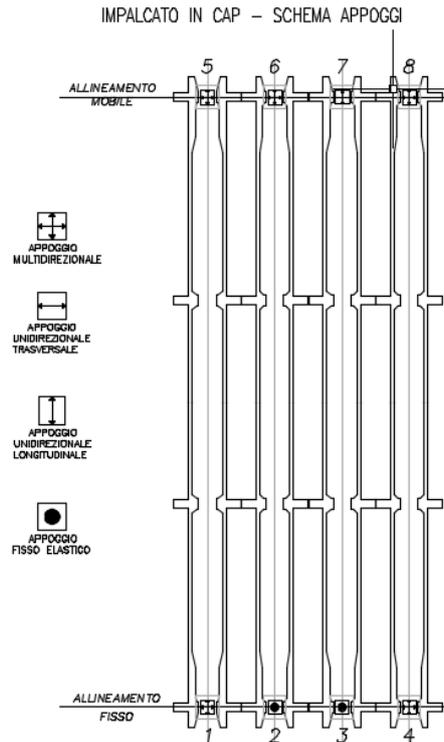
N.Comb.	Ver	Vsd	Tau max	Scorr.	Bs	TgFi	Afst
1	S	237427	5.65	297.5	141.1	0.4081	0.00

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 38 di 136

## 8.2 Verifica in corrispondenza della soletta superiore della pila

### 8.2.1 Definizione delle azioni sollecitanti applicate sulla soletta superiore della pila

Di seguito è riportato lo schema di distribuzione degli appoggi su una campata tipo in c.a.p. con lunghezza pari a 25,00 m (lunghezza massima relativa alle campate in c.a.p.):



Si riepilogano di seguito gli scarichi massimi sui baglioli di appoggio per la campata tipo in c.a.p. con lunghezza pari a 25,00 m, desunti dall'elaborato **IA20-00-C-ZZ-CL-VI2100-013-B** – Allegato 6 del Progetto Esecutivo di Dettaglio. Per gli appoggi mobili è sempre stato considerato un coefficiente di attrito parassita pari a:

$$F_x = F_y = 6\% F_z$$

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**
**GRUPPO FERROVIE DELLO STATO**
**RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE**

 Progetto  
IA00

 Lotto  
00

 Codifica Documento  
CLV12100001

 Rev.  
C

 Foglio  
39 di 136

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
1	GR. 1 TA1(max)	126,11	126,11	2.101,91
1	GR. 1 TA2(max)	116,74	116,74	1.945,67
1	GR. 1 TA3(max)	81,37	81,37	1.356,16
1	GR. 3 TA1(max)	120,88	120,88	2.014,74
1	GR. 3 TA2(max)	112,56	112,56	1.875,93
1	GR. 3 TA3(max)	81,37	81,37	1.356,16
1	TA-SISMA XZ(max)	113,39	113,39	1.889,82
1	TA-SISMA YZ(max)	119,33	119,33	1.988,87
1	GR. 1 TA1(min)	88,41	88,41	1.473,47
1	GR. 1 TA2(min)	86,41	86,41	1.440,23
1	GR. 1 TA3(min)	81,15	81,15	1.352,54
1	GR. 3 TA1(min)	83,18	83,18	1.386,30
1	GR. 3 TA2(min)	82,23	82,23	1.370,49
1	GR. 3 TA3(min)	81,15	81,15	1.352,54
1	TA-SISMA XZ(min)	62,42	62,42	1.040,33
1	TA-SISMA YZ(min)	56,35	56,35	939,23
2	GR. 1 TA1(max)	723,75	342,66	2.692,52
2	GR. 1 TA2(max)	585,03	298,92	2.408,27
2	GR. 1 TA3(max)	50,19	206,10	1.287,33
2	GR. 3 TA1(max)	1.119,48	230,86	2.726,55
2	GR. 3 TA2(max)	901,62	209,48	2.435,49
2	GR. 3 TA3(max)	50,19	206,10	1.287,33
2	TA-SISMA XZ(max)	1.357,51	57,29	2.321,00
2	TA-SISMA YZ(max)	455,97	676,70	2.323,32
2	GR. 1 TA1(min)	276,22	-43,52	1.381,73
2	GR. 1 TA2(min)	225,95	-15,18	1.355,00
2	GR. 1 TA3(min)	41,50	164,29	1.267,48
2	GR. 3 TA1(min)	671,96	-155,32	1.415,76
2	GR. 3 TA2(min)	542,53	-104,62	1.382,22
2	GR. 3 TA3(min)	41,50	164,29	1.267,48
2	TA-SISMA XZ(min)	-1.354,02	-121,81	951,86
2	TA-SISMA YZ(min)	-63,99	-747,45	1.011,49
3	GR. 1 TA1(max)	570,39	651,63	2.524,44
3	GR. 1 TA2(max)	451,35	540,09	2.263,39
3	GR. 1 TA3(max)	-41,49	155,94	1.200,57
3	GR. 3 TA1(max)	1.021,25	547,82	2.618,62
3	GR. 3 TA2(max)	812,04	457,04	2.338,74
3	GR. 3 TA3(max)	-41,49	155,94	1.200,57
3	TA-SISMA XZ(max)	1.266,95	217,41	2.266,76
3	TA-SISMA YZ(max)	402,39	803,54	2.264,51
3	GR. 1 TA1(min)	122,86	280,95	1.211,08
3	GR. 1 TA2(min)	92,25	239,20	1.209,80
3	GR. 1 TA3(min)	-50,19	120,75	1.195,18
3	GR. 3 TA1(min)	573,72	177,14	1.305,27
3	GR. 3 TA2(min)	452,95	156,15	1.285,15
3	GR. 3 TA3(min)	-50,19	120,75	1.195,18
3	TA-SISMA XZ(min)	-1.270,42	54,87	943,42
3	TA-SISMA YZ(min)	-117,57	-536,36	986,71

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**
**GRUPPO FERROVIE DELLO STATO**
**RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE**

 Progetto  
IA00

 Lotto  
00

 Codifica Documento  
CLV12100001

 Rev.  
C

 Foglio  
40 di 136

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
4	GR.1 TA1(max)	98,92	98,92	1.648,72
4	GR.1 TA2(max)	93,54	93,54	1.558,94
4	GR.1 TA3(max)	69,28	69,28	1.154,68
4	GR.3 TA1(max)	103,64	103,64	1.727,36
4	GR.3 TA2(max)	97,31	97,31	1.621,85
4	GR.3 TA3(max)	69,28	69,28	1.154,68
4	TA-SISMA XZ(max)	106,02	106,02	1.767,01
4	TA-SISMA YZ(max)	112,48	112,48	1.874,74
4	GR.1 TA1(min)	60,50	60,50	1.008,38
4	GR.1 TA2(min)	62,50	62,50	1.041,67
4	GR.1 TA3(min)	67,91	67,91	1.131,87
4	GR.3 TA1(min)	65,22	65,22	1.087,02
4	GR.3 TA2(min)	66,28	66,28	1.104,58
4	GR.3 TA3(min)	67,91	67,91	1.131,87
4	TA-SISMA XZ(min)	58,70	58,70	978,39
4	TA-SISMA YZ(min)	51,92	51,92	865,39
5	GR.1 TA1(max)	124,57	124,57	2.076,13
5	GR.1 TA2(max)	115,46	115,46	1.924,33
5	GR.1 TA3(max)	81,01	81,01	1.350,20
5	GR.3 TA1(max)	118,17	118,17	1.969,57
5	GR.3 TA2(max)	110,34	110,34	1.839,08
5	GR.3 TA3(max)	81,01	81,01	1.350,20
5	TA-SISMA XZ(max)	113,66	113,66	1.894,39
5	TA-SISMA YZ(max)	117,93	117,93	1.965,48
5	GR.1 TA1(min)	86,37	86,37	1.439,53
5	GR.1 TA2(min)	84,74	84,74	1.412,34
5	GR.1 TA3(min)	80,79	80,79	1.346,43
5	GR.3 TA1(min)	79,98	79,98	1.332,98
5	GR.3 TA2(min)	79,63	79,63	1.327,10
5	GR.3 TA3(min)	80,79	80,79	1.346,43
5	TA-SISMA XZ(min)	62,16	62,16	1.036,01
5	TA-SISMA YZ(min)	56,42	56,42	940,37
6	GR.1 TA1(max)	155,74	155,74	2.595,73
6	GR.1 TA2(max)	139,82	139,82	2.330,35
6	GR.1 TA3(max)	77,00	77,00	1.283,33
6	GR.3 TA1(max)	152,06	152,06	2.534,37
6	GR.3 TA2(max)	136,88	136,88	2.281,27
6	GR.3 TA3(max)	77,00	77,00	1.283,33
6	TA-SISMA XZ(max)	135,66	135,66	2.261,06
6	TA-SISMA YZ(max)	135,30	135,30	2.254,92
6	GR.1 TA1(min)	76,46	76,46	1.274,36
6	GR.1 TA2(min)	76,12	76,12	1.268,69
6	GR.1 TA3(min)	75,84	75,84	1.264,01
6	GR.3 TA1(min)	72,78	72,78	1.213,01
6	GR.3 TA2(min)	73,18	73,18	1.219,60
6	GR.3 TA3(min)	75,84	75,84	1.264,01
6	TA-SISMA XZ(min)	59,51	59,51	991,78
6	TA-SISMA YZ(min)	58,11	58,11	968,49

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**
**GRUPPO FERROVIE DELLO STATO**

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLV12100001Rev.  
CFoglio  
41 di 136

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
7	GR.1 TA1(max)	147,20	609,00	2.453,27
7	GR.1 TA2(max)	132,50	523,51	2.208,28
7	GR.1 TA3(max)	72,95	302,52	1.215,79
7	GR.3 TA1(max)	146,55	409,71	2.442,56
7	GR.3 TA2(max)	131,98	364,07	2.199,71
7	GR.3 TA3(max)	72,95	302,52	1.215,79
7	TA-SISMA XZ(max)	132,85	125,60	2.214,15
7	TA-SISMA YZ(max)	132,06	1.270,75	2.201,06
7	GR.1 TA1(min)	68,49	575,14	1.141,48
7	GR.1 TA2(min)	69,34	496,18	1.155,61
7	GR.1 TA3(min)	72,46	300,62	1.207,59
7	GR.3 TA1(min)	67,85	375,84	1.130,77
7	GR.3 TA2(min)	68,82	336,74	1.147,05
7	GR.3 TA3(min)	72,46	300,62	1.207,59
7	TA-SISMA XZ(min)	58,93	87,03	982,19
7	TA-SISMA YZ(min)	58,36	-1.046,80	972,69
8	GR.1 TA1(max)	97,52	97,52	1.625,35
8	GR.1 TA2(max)	92,39	92,39	1.539,81
8	GR.1 TA3(max)	69,07	69,07	1.151,10
8	GR.3 TA1(max)	101,06	101,06	1.684,28
8	GR.3 TA2(max)	95,22	95,22	1.586,95
8	GR.3 TA3(max)	69,07	69,07	1.151,10
8	TA-SISMA XZ(max)	106,27	106,27	1.771,18
8	TA-SISMA YZ(max)	112,77	112,77	1.879,43
8	GR.1 TA1(min)	58,74	58,74	978,92
8	GR.1 TA2(min)	61,05	61,05	1.017,57
8	GR.1 TA3(min)	67,64	67,64	1.127,37
8	GR.3 TA1(min)	62,27	62,27	1.037,86
8	GR.3 TA2(min)	63,88	63,88	1.064,71
8	GR.3 TA3(min)	67,64	67,64	1.127,37
8	TA-SISMA XZ(min)	58,45	58,45	974,19
8	TA-SISMA YZ(min)	50,81	50,81	846,83

**MASSIMI E MINIMI PER APPOGGIO**

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	TIPO DI APPOGGIO
1	Massimi	126,11	126,11	2.101,91	MULTIDIREZIONALE
	Minimi	56,35	56,35	939,23	
2	Massimi	1.357,51	676,70	2.726,55	FISSO CEDEVOLE (ELASTICO)
	Minimi	-1.354,02	-747,45	951,86	
3	Massimi	1.266,95	803,54	2.618,62	FISSO CEDEVOLE (ELASTICO)
	Minimi	-1.270,42	-536,36	943,42	
4	Massimi	112,48	112,48	1.874,74	MULTIDIREZIONALE
	Minimi	51,92	51,92	865,39	
5	Massimi	124,57	124,57	2.076,13	MULTIDIREZIONALE
	Minimi	56,42	56,42	940,37	
6	Massimi	155,74	155,74	2.595,73	MULTIDIREZIONALE
	Minimi	58,11	58,11	968,49	
7	Massimi	147,20	1.270,75	2.453,27	UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE
	Minimi	58,36	-1.046,80	972,69	
8	Massimi	112,77	112,77	1.879,43	MULTIDIREZIONALE
	Minimi	50,81	50,81	846,83	

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 42 di 136

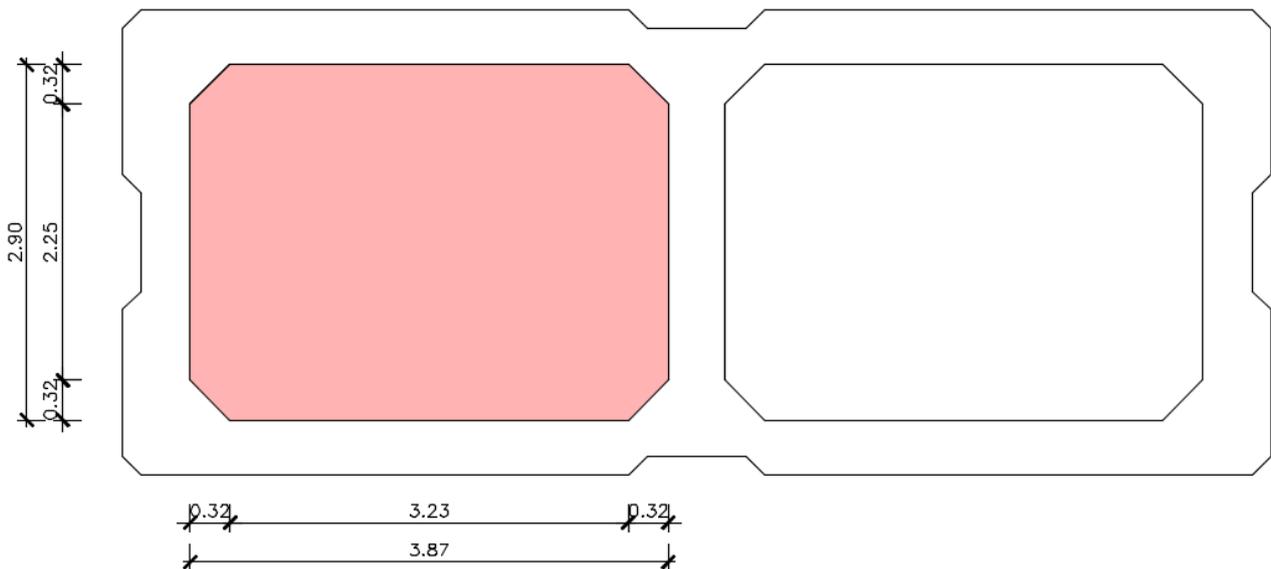
Nella tabella successiva sono riepilogati i valori massimi degli scarichi applicati sui singoli appoggi della singola pila (valutati per la combinazione di carico maggiormente gravosa (GR.1 TA1 – max):

APPOGGIO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	POSIZIONE
1	GR.1 TA1 (max)	2.101,91	esterno
2	GR.1 TA1 (max)	2.726,55	interno
3	GR.1 TA1 (max)	2.618,62	interno
4	GR.1 TA1 (max)	1.874,74	esterno
5	GR.1 TA1 (max)	2.076,13	esterno
6	GR.1 TA1 (max)	2.595,73	interno
7	GR.1 TA1 (max)	2.453,27	interno
8	GR.1 TA1 (max)	1.879,43	esterno

### 8.2.2 Applicazione dei carichi e valutazione delle azioni sollecitanti sulla soletta superiore della pila

Per la valutazione delle azioni sollecitanti sulla soletta superiore della pila è stato approntato un apposito modello di calcolo agli elementi finiti mediante il software SAP2000 v.15.1 (Computers & Structures, Inc.).

Nel modello di calcolo è stata considerato un singolo campo di soletta superiore, identificato nell'immagine successiva:



APPALTATORE



**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00

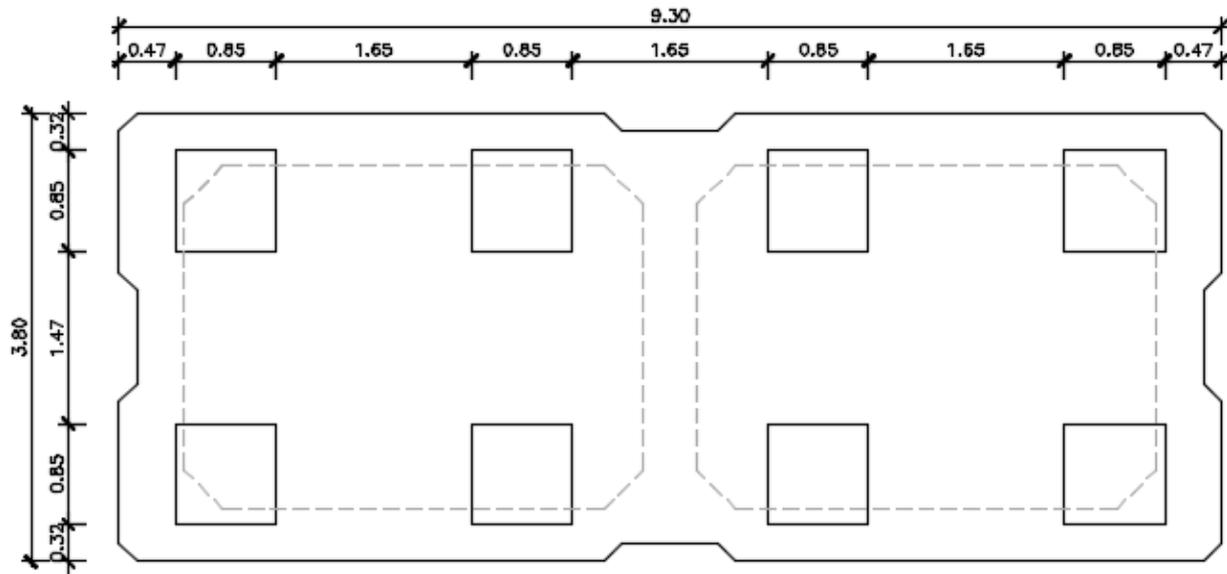
Lotto  
00

Codifica Documento  
CLVI2100001

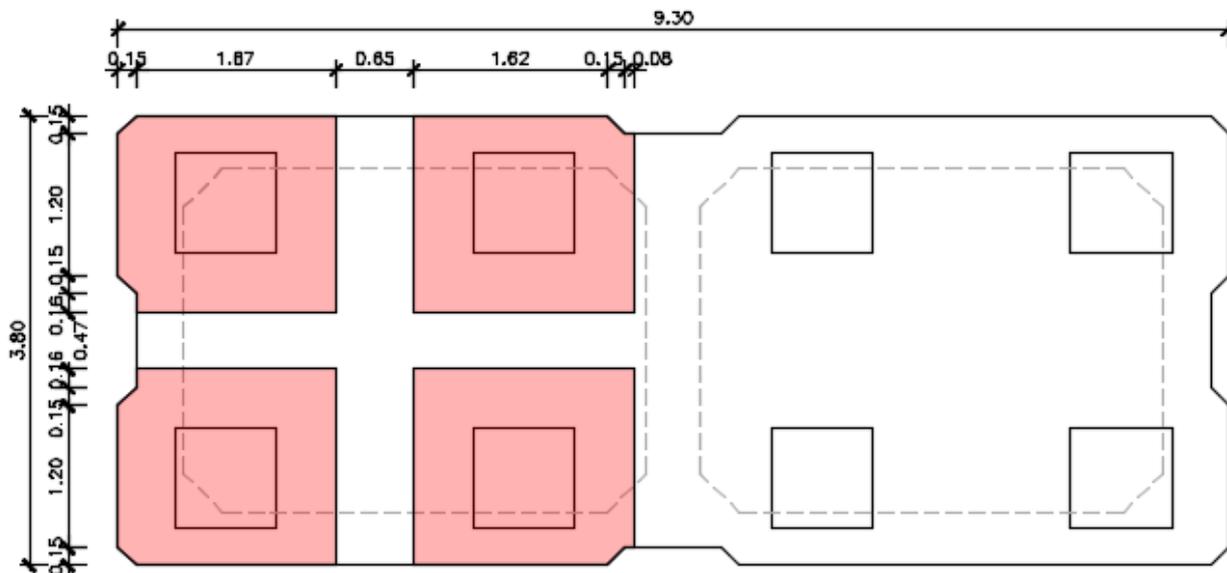
Rev.  
C

Foglio  
43 di 136

Gli scarichi trasmessi dall'impalcato sono stati considerati applicati in maniera baricentrica rispetto al singolo boggino di appoggio, considerando una diffusione secondo un angolo di 45° fino alla linea media della soletta superiore delle pile:

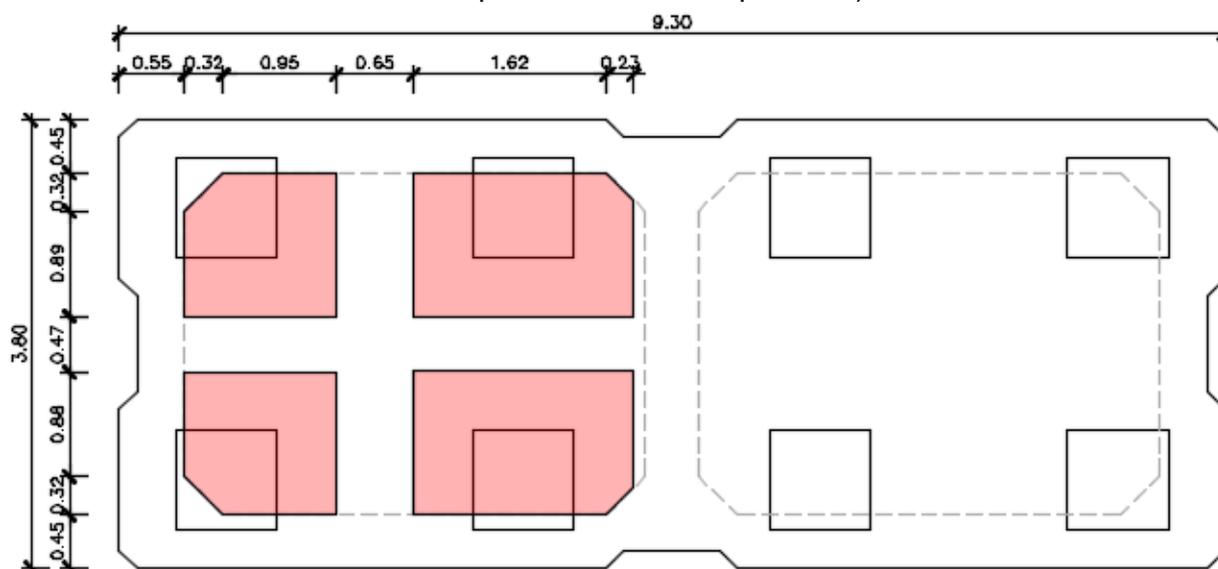


Di seguito sono evidenziate le aree di diffusione degli scarichi fino alla linea media della soletta superiore:



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 44 di 136

L'area di diffusione diretta degli scarichi sulla soletta superiore (non viene considerata la porzione di scarico direttamente scaricata sulle pareti verticali della pila cava):

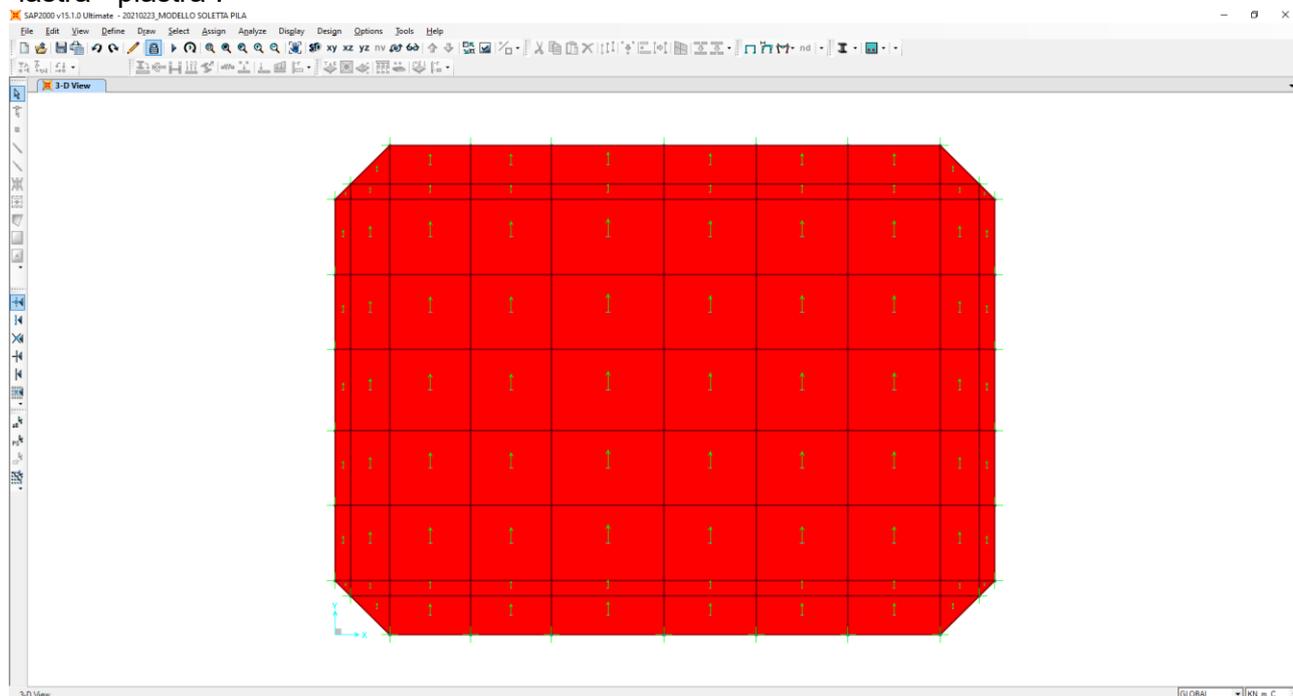


Nella tabella successiva è riportato la valutazione del carico superficiale uniformemente distribuito determinato mediante la diffusione secondo un angolo di 45° degli scarichi sui baggioli fino alla linea media della soletta superiore delle pile:

APPOGGIO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	POSIZIONE	$A_{diff}$ [m <sup>2</sup> ]	$p$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	GR.1 TA1 (max)	2.101,91	esterno	2,9948	701,85
2	GR.1 TA1 (max)	2.726,55	interno	3,0615	890,59
3	GR.1 TA1 (max)	2.618,62	interno	3,0615	855,34
4	GR.1 TA1 (max)	1.874,74	esterno	2,9948	626,00
5	GR.1 TA1 (max)	2.076,13	esterno	2,9948	693,24
6	GR.1 TA1 (max)	2.595,73	interno	3,0615	847,86
7	GR.1 TA1 (max)	2.453,27	interno	3,0615	801,33
8	GR.1 TA1 (max)	1.879,43	esterno	2,9948	627,56

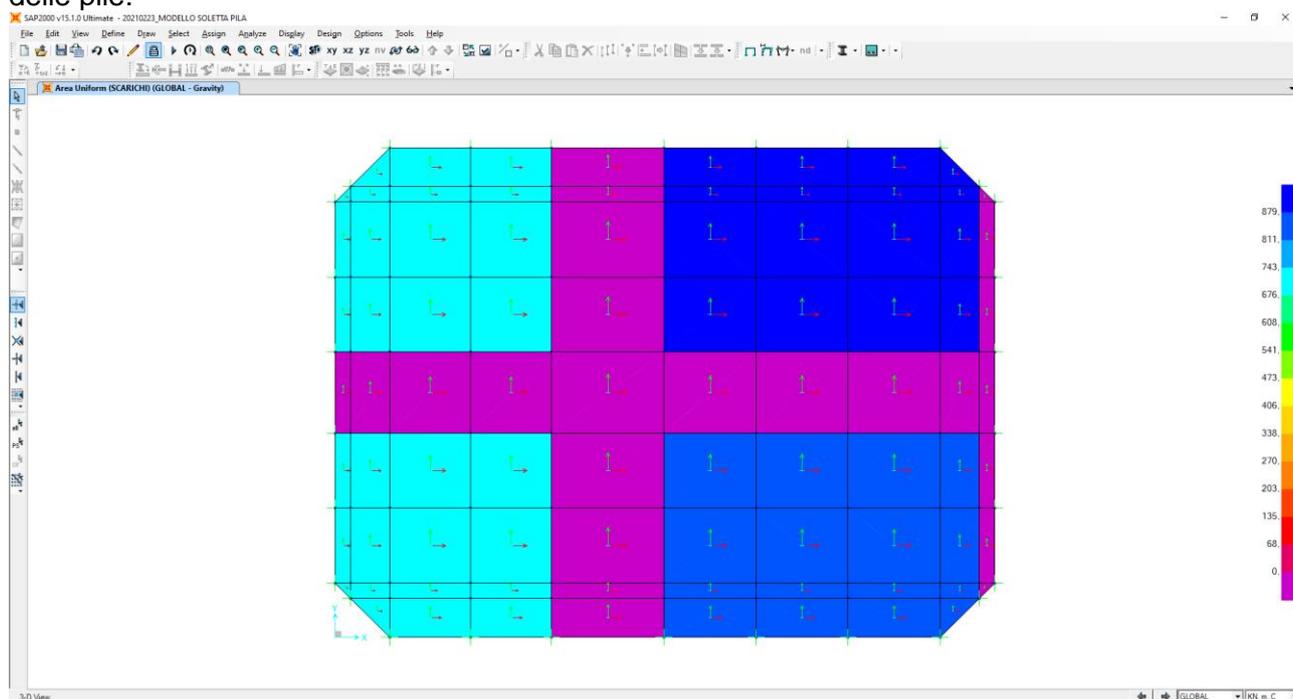


La soletta è stata modellata mediante elementi bidimensionali tipo “shell” con comportamento a “lastra - piastra”:



La soletta è stata considerata come incastrata ai bordi (vincolo di continuità con le pareti verticali della pila cava).

Nell'immagine seguente è riportata l'applicazione dei carichi (carichi superficiali uniformemente distribuiti sull'area di impronta diffusa dei singoli baggioli di appoggio) dovuti alla diffusione secondo un angolo di 45° degli scarichi sui baggioli fino alla linea media della soletta superiore delle pile:

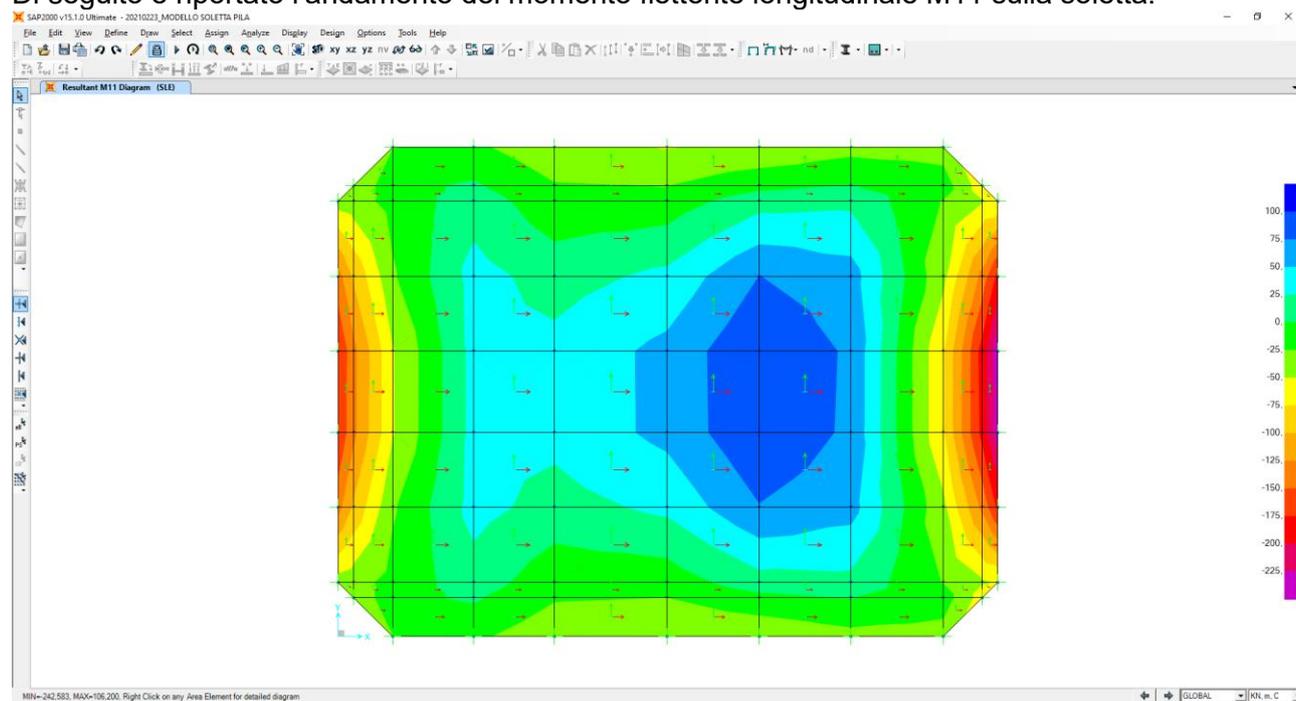




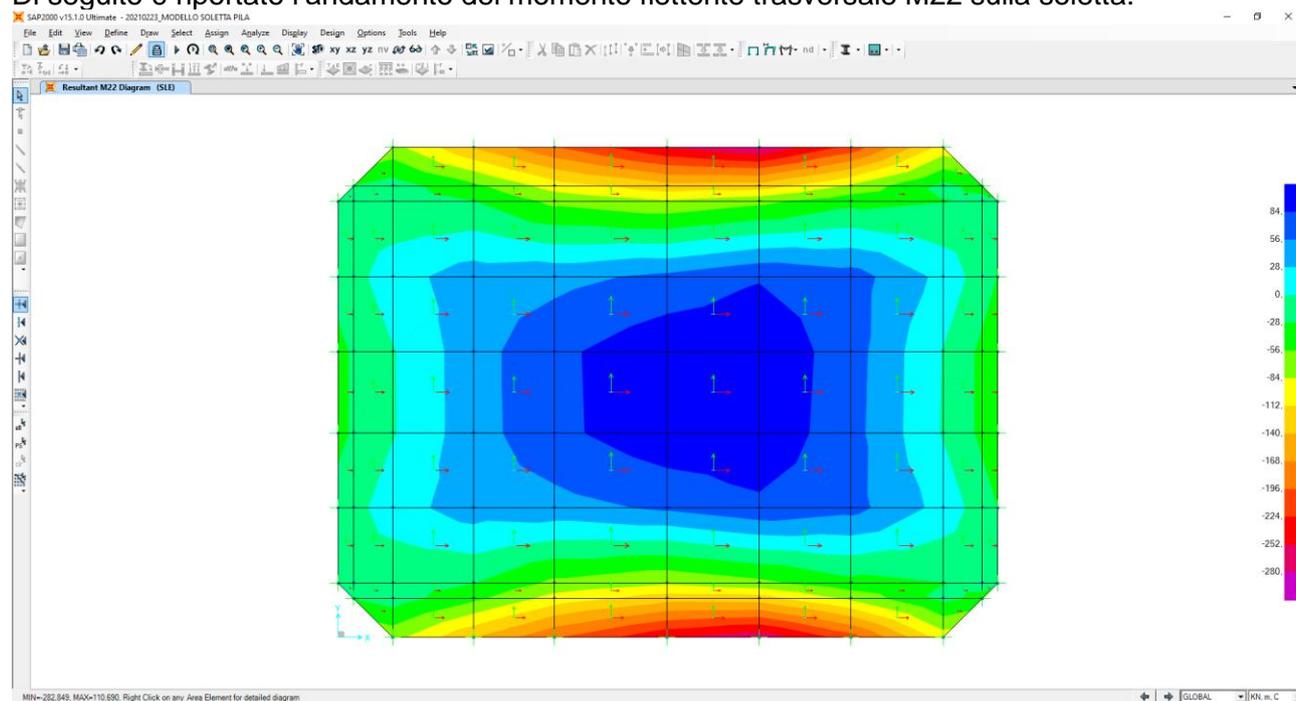
Per la definizione delle azioni sollecitanti di calcolo sulla soletta sono stati, pertanto, presi in esame i seguenti carichi:

- Peso proprio della soletta
- Scarichi trasmessi dall'impalcato

Di seguito è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale M11 sulla soletta:



Di seguito è riportato l'andamento del momento flettente trasversale M22 sulla soletta:



APPALTATORE



**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00

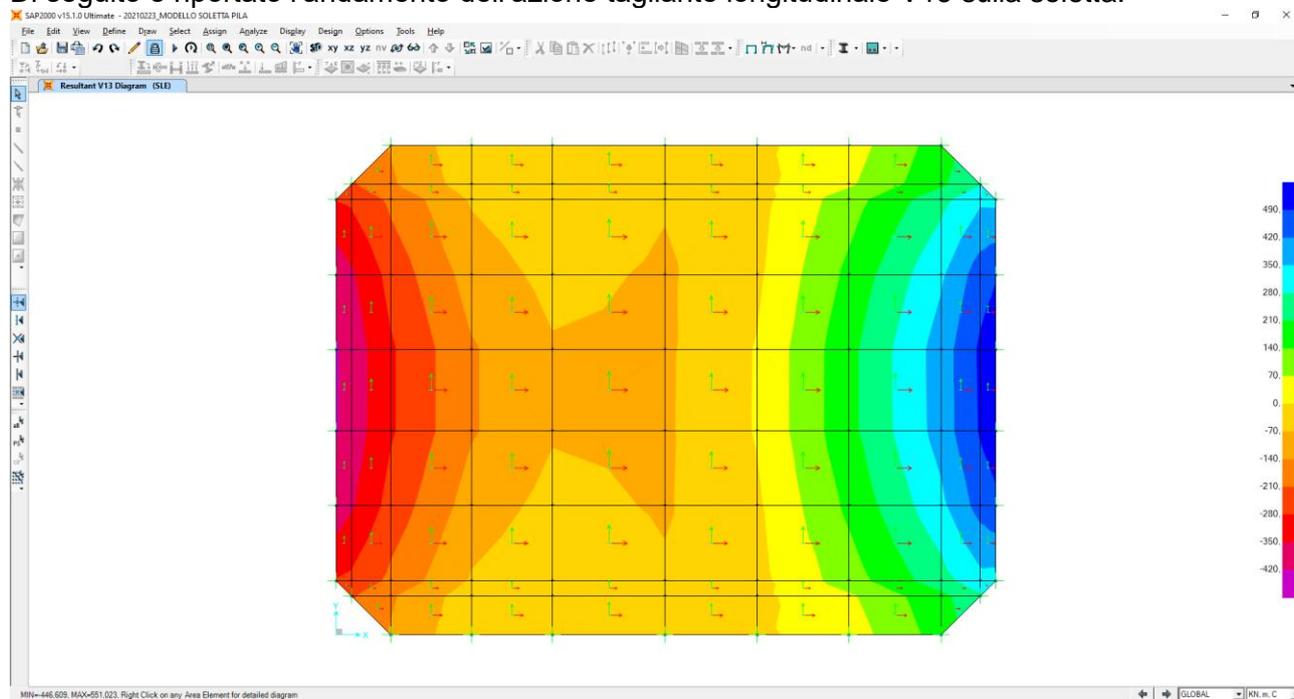
Lotto  
00

Codifica Documento  
CLVI2100001

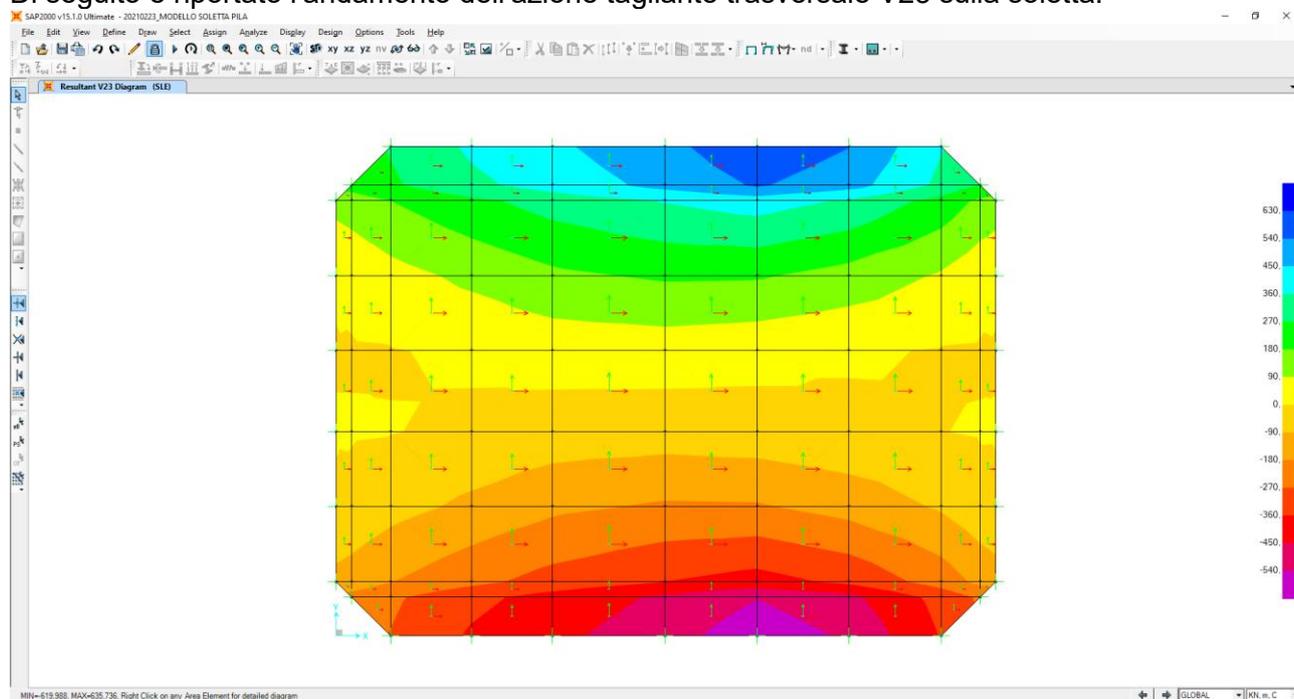
Rev.  
C

Foglio  
47 di 136

Di seguito è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale V13 sulla soletta:



Di seguito è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale V23 sulla soletta:



<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 48 di 136

### 8.2.3 Sezione e armatura di verifica

La sezione di verifica della soletta per le verifiche a flessione semplice è assunta rettangolare con base pari a 100 cm e altezza pari a 100 cm (non si considera, a favore di sicurezza, lo spessore della lastra prefabbricata inferiore).

La sezione di verifica della soletta per le verifiche a taglio è assunta rettangolare con base pari a 100 cm e altezza pari a 110 cm (si considera lo spessore della lastra prefabbricata inferiore).

L'armatura orizzontale longitudinale (asse longitudinale della pila → direzione perpendicolare all'asse dell'impalcato) è assunta pari a:

- Ø20/20 superiore
- Ø20/20 inferiore

L'armatura orizzontale trasversale (asse trasversale della pila → direzione parallela all'asse dell'impalcato) è assunta pari a:

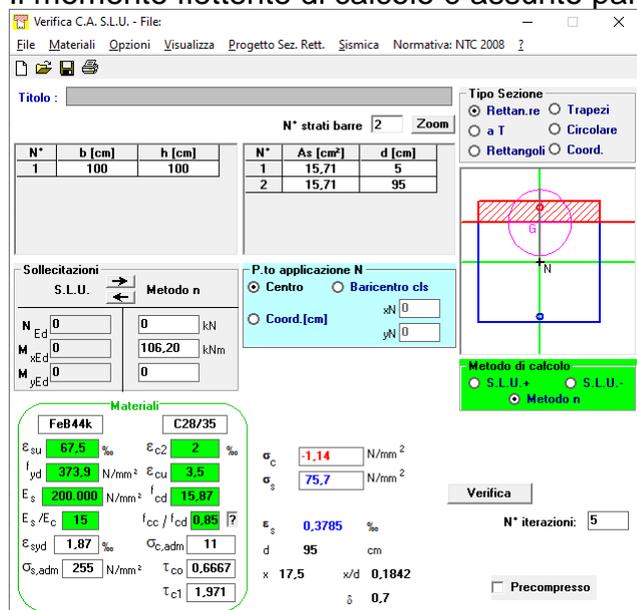
- Ø20/20 superiore
- Ø20/20 inferiore

Non è prevista alcuna specifica armatura a taglio. Il copriferro netto minimo è assunto pari a 40 mm.

### 8.2.4 Direzione longitudinale della pila – Verifica a flessione semplice

#### Condizione di massimo momento flettente positivo

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 106,20$  kNm.



The screenshot shows the following data in the software interface:

- Section Properties:** b [cm] = 100, h [cm] = 100, N\* strati barre = 2, As [cm²] = 31.42, d [cm] = 95.
- Applied Forces:** M<sub>Ed</sub> = 106.20 kNm.
- Material Properties:** FeB44k (sigma<sub>s</sub> = 200.000 N/mm²), C28/35 (sigma<sub>c</sub> = 29.0 N/mm²).
- Calculated Stresses:** sigma<sub>c</sub> = -1.14 N/mm², sigma<sub>s</sub> = 75.70 N/mm².
- Verification:** S.L.U. (Sufficient).

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 1,14 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c,amm} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = 75,70 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{s,amm} = 255,00 \text{ N/mm}^2$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### Condizione di massimo momento flettente negativo

Il momento flettente di calcolo é assunto pari a  $M_{sd} = -242,58$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	15,71	5
			2	15,71	95

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm  
 P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U. +  S.L.U. -  
 Metodo n

Materiali  
**FeB44k** **C28/35**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  15,87 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,85  
 $\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6667  
 $\tau_{c1}$  1,971

$\sigma_c$  -2,603 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  172,9 N/mm<sup>2</sup>

Verifica  
 N° iterazioni: 5  
 Precompresso

$\epsilon_s$  0,8646 ‰  
 d 95 cm  
 x 17,5 x/d 0,1842  
 $\delta$  0,7

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 2,60$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 172,90$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm<sup>2</sup>

La verifica risulta pertanto soddisfatta.



### 8.2.5 Direzione trasversale della pila – Verifica a flessione semplice

#### Condizione di massimo momento flettente positivo

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 110,69$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo :

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	15,71	7
			2	15,71	93

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n  
 Metodo n

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U. +  S.L.U. -  
 Metodo n

Materiali  
 FeB44k C28/35  
 $E_{su}$  67,5 %  $E_{c2}$  2 %  
 $f_{yd}$  373,9 N/mm²  $E_{cu}$  3,5 %  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  15,87  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,85  
 $E_{syd}$  1,87 %  $\sigma_{c,adm}$  11  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,6667  
 $\tau_{c1}$  1,971

$\sigma_c$  -1,252 N/mm²  
 $\sigma_s$  80,98 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0,4049 %  
 d 93 cm  
 x 17,5 x/d 0,1882  
 $\delta$  0,7

Verifica N° iterazioni: 5

Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 1,25$  N/mm² <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm²
- $\sigma_s = 80,98$  N/mm² <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm²

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### Condizione di massimo momento flettente negativo

Il momento flettente di calcolo é assunto pari a  $M_{sd} = -282,85$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	15,71	7
			2	15,71	93

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm  
 P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali

FeB44k	C28/35
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 373,9 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 15,87
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0,85
$\epsilon_{syd}$ 1,87 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 11
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,6667
	$\tau_{c1}$ 1,971

$\sigma_c$  -3,198 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  206,9 N/mm<sup>2</sup>

Verifica

$\epsilon_s$  1,035 ‰  
 d 93 cm  
 x 17,5 x/d 0,1882  
 $\delta$  0,7

N° iterazioni: 5

Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 3,19$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 206,90$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm<sup>2</sup>

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE 	DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 52 di 136

## 8.2.6 Verifica a taglio

### Direzione longitudinale della pila

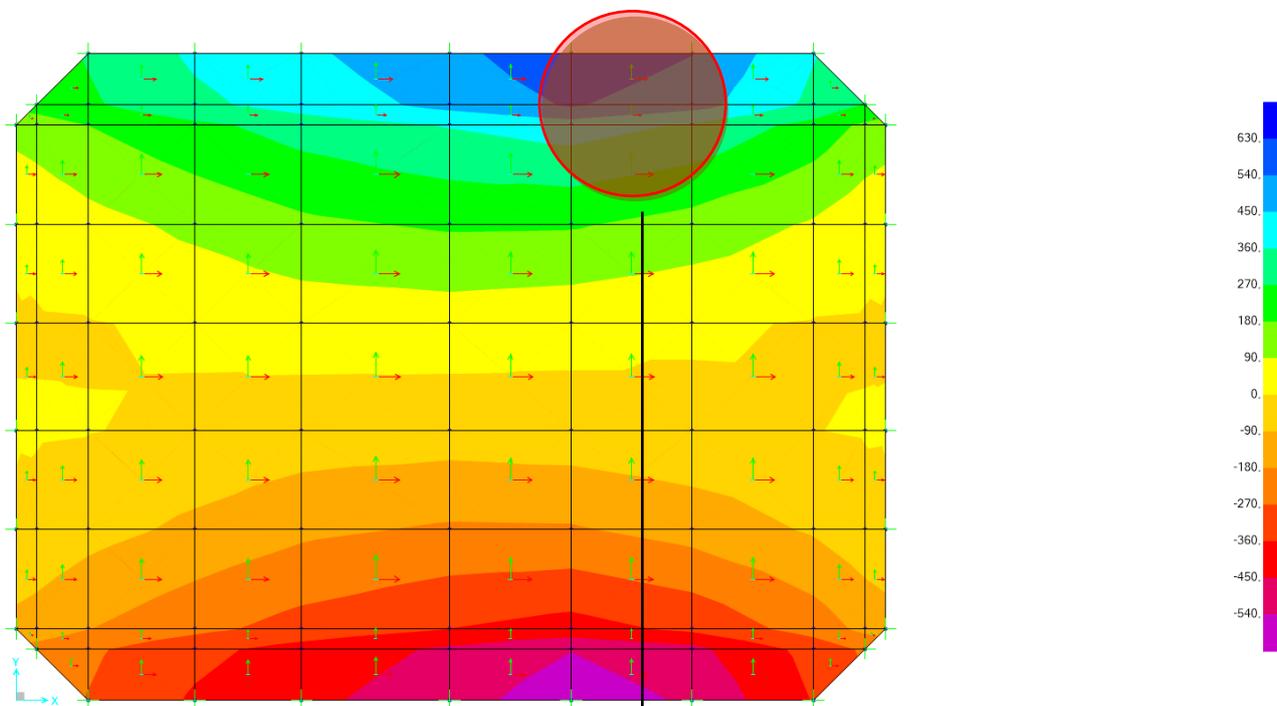
L'azione tagliante di calcolo è assunto pari a  $V_{sd} = 551,02$  kNm.

VERIFICA ALLE TENSIONI MASSIME AMMISSIBILI TANGENZIALI (elementi non armati a taglio)		
CARATTERISTICHE DEL MATERIALE		
Resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo $R_{ck}$ :	35,00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione tangenziale massima ammissibile del calcestruzzo $\tau_{amm}$ :	0,67	N/mm <sup>2</sup>
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE		
Base della sezione b:	100,00	cm
Altezza della sezione h:	110,00	cm
Copriferro minimo garantito c:	4,00	cm
Diametro dell'armatura tesa $\phi_{tesa}$ :	20,00	mm
Diametro delle staffe o dei ripartitori $\phi_{rip}$ :	0,00	mm
Diametro delle eventuali spille $\phi_{spille}$ :	0,00	mm
Altezza utile della sezione z:	105,00	cm
CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E VERIFICA		
Azione tagliante di calcolo $V_{S,d}$ :	551,02	kN
Tensione tangenziale massima $\tau_{max}$ :	0,58	N/mm <sup>2</sup>
VERIFICA POSITIVA		



**Direzione trasversale della pila**

L'azione tagliante di calcolo é assunto pari a  $V_{sd} = 607,59 \text{ kNm}$ .



APPALTATORE 	DIREZIONE LAVORI 			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 54 di 136

VERIFICA ALLE TENSIONI MASSIME AMMISSIBILI TANGENZIALI (elementi non armati a taglio)		
CARATTERISTICHE DEL MATERIALE		
Resistenza caratteristica cubica del calcestruzzo $R_{ck}$ :	35,00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione tangenziale massima ammissibile del calcestruzzo $T_{amm}$ :	0,67	N/mm <sup>2</sup>
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE		
Base della sezione b:	100,00	cm
Altezza della sezione h:	110,00	cm
Copriferro minimo garantito c:	4,00	cm
Diametro dell'armatura tesa $\varnothing_{tesa}$ :	20,00	mm
Diametro delle staffe o dei ripartitori $\varnothing_{rip}$ :	20,00	mm
Diametro delle eventuali spille $\varnothing_{spille}$ :	0,00	mm
Altezza utile della sezione z:	103,00	cm
CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E VERIFICA		
Azione tagliante di calcolo $V_{s,d}$ :	607,59	kN
Tensione tangenziale massima $T_{max}$ :	0,66	N/mm <sup>2</sup>
VERIFICA POSITIVA		

### 8.2.7 Verifica a punzonamento

La verifica a punzonamento della soletta superiore delle pile è stata condotta, mediante la seguente relazione:

$$\tau_{c,max} = \frac{F}{0,90 \cdot d \cdot u} \leq \tau_{c,amm}$$

dove:

- $T_{c,max}$  → tensione tangenziale massima sul calcestruzzo indotta dal punzonamento (elementi con sezione parzializzata non specificatamente armati a punzonamento);
- u → perimetro del contorno ottenuto dal contorno effettivo mediante una ripartizione a 45° fino al piano medio della lastra;
- d → altezza utile della sezione;
- $T_{c,amm}$  → tensione tangenziale massima ammissibile del calcestruzzo (elementi non specificatamente armati a punzonamento).

A favore di sicurezza, per la verifica a punzonamento, non è stato tenuto in conto lo spessore della lastra prefabbricata inferiore; si assume pertanto uno spessore della soletta superiore pari a 100 cm.

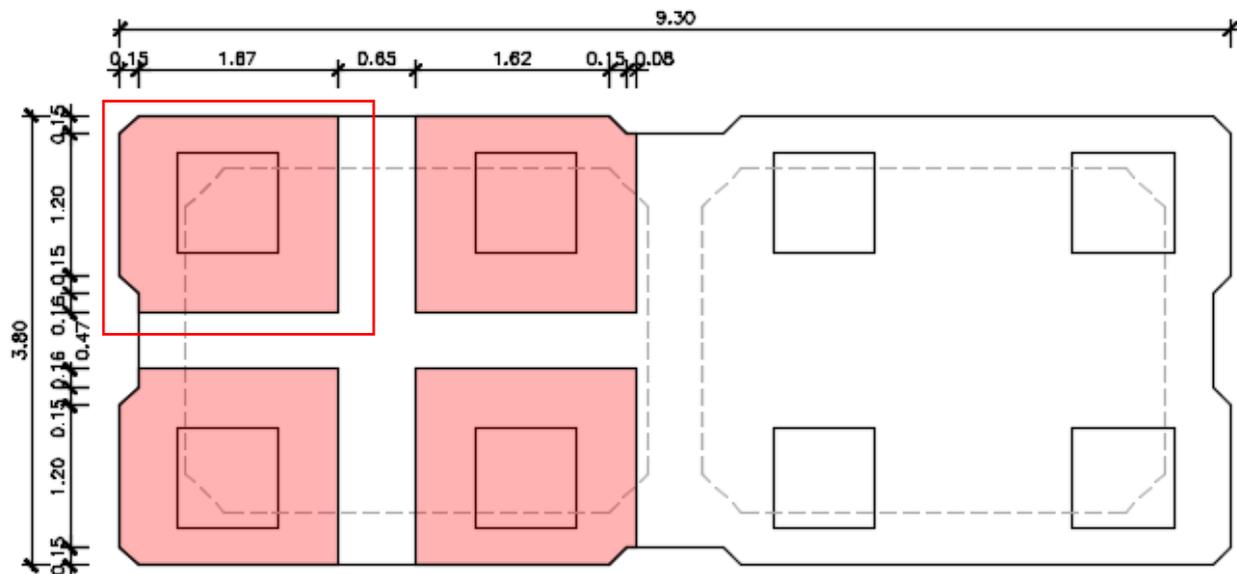
A favore di sicurezza la verifica è stata condotta considerando:

- Azione normale massima di punzonamento (assunta come il valore maggiore tra gli scarichi verticali trasmessi dall'impalcato).
- Area di ripartizione minima tra le varie aree di ripartizione a 45° fino alla linea media della soletta superiore.

L'area minima di diffusione, evidenziata nell'immagine successiva, presenta un perimetro

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 55 di 136

del controno pari a **6,79 m**:



Il valore massimo tra gli scarichi verticali trasmessi dall'impalcato è risultato pari a **2.689,79 kN**.

Risulta dunque:

$$\tau_{c,max} = \frac{6.689,79 \cdot 10^3}{0,90 \cdot 950,00 \cdot 6.790,00} = 0,46 \frac{N}{mm^2} < \tau_{c,amm} = 0,67 \frac{N}{mm^2}$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

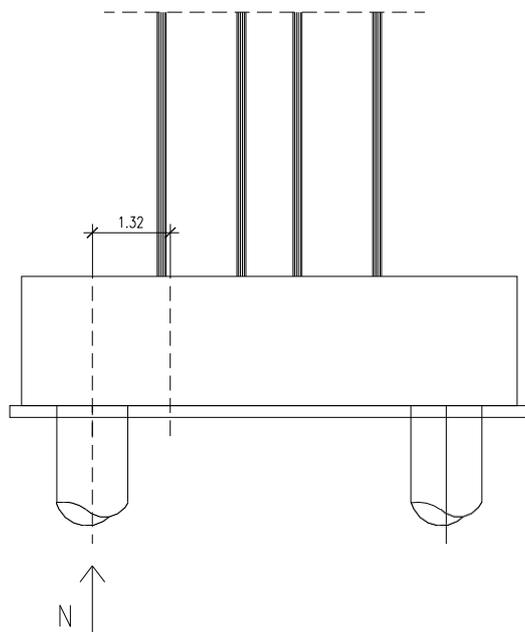
APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. Foglio C 56 di 136

### 8.3 Verifica del plinto di fondazione

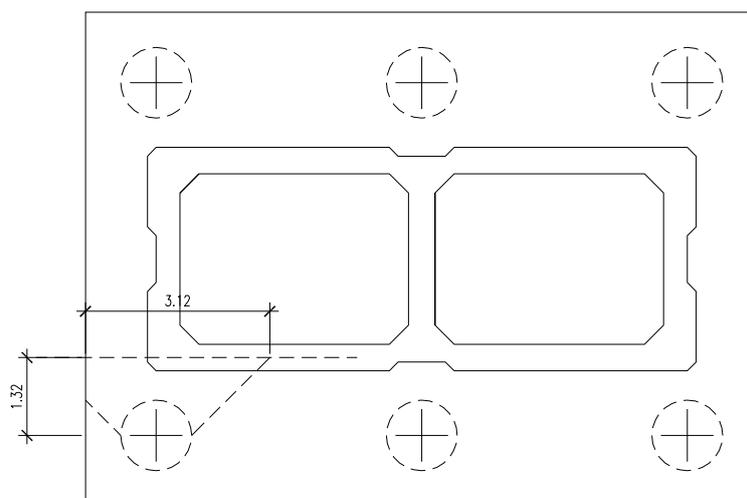
#### 8.3.1 Verifiche di resistenza

Il plinto di fondazione ha dimensioni 11,40 x 8,40 metri e spessore 2,20 metri ed è fondato su 8 pali Ø1200.

Si considera un comportamento del plinto a mensola incastrata nella sezione di mezzeria della parete del fusto della pila (come specificato nelle figure seguenti).



Fondazione pila - Sezione longitudinale



Fondazione pila – Pianta

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 57 di 136

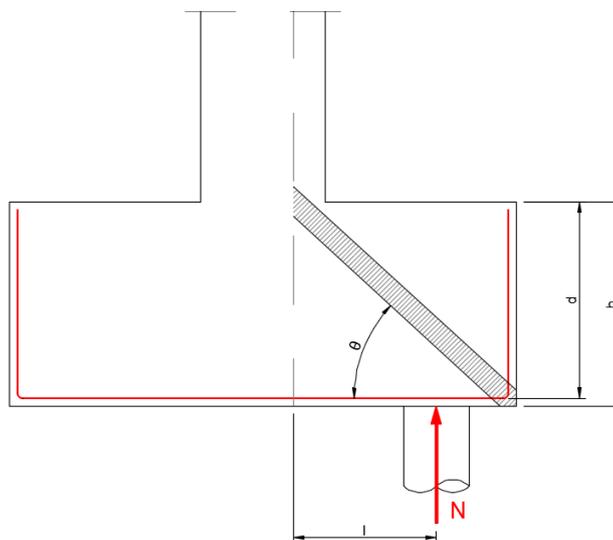
È necessario osservare che, dato il valore dei rapporti altezza – aggetto dalla pila nelle diverse situazioni presenti nel progetto, le mensole da verificare sono di tipo “tozzo”. Pertanto, non può essere impiegata la “teoria della trave”, ma è più opportuno adottare una schematizzazione a traliccio basata sull’ipotesi di un meccanismo di trasferimento degli sforzi a “tirante di acciaio” – “puntone di cls” che meglio rappresenta il reale andamento delle tensioni all’interno dei materiali costituenti l’elemento.

Per la verifica della fondazione è necessario per prima cosa stabilire la larghezza di zattera di fondazione competente al singolo palo, da assumere per il meccanismo resistente a tirante-puntone. Si ottiene diffondendo il carico trasmesso dal palo secondo delle isostatiche a 45°, ed è pari a **b = 3,12 m**.

Di seguito si assume quindi un sistema a tirante-puntone isolato dal resto del plinto e di larghezza pari a **b = 3,12 m**.

Detta **d = 2,099 m** la distanza del baricentro del tirante inferiore dal lembo compresso superiore ed assumendo quale braccio **l** della mensola tozza, quello che va dal centro dei pali ad 1/2 dello spessore della parete del fusto della pila, e pertanto **l = 1,32 m**, si calcola la risultante ultima resistente sull’insieme dei pali di bordo in direzione trasversale.

Lo schema di calcolo a “tirante – puntone” è di seguito esplicitato:



Indicando con  $N_C$  l’azione normale di compressione sulla biella in calcestruzzo e con  $N_T$  l’azione normale di trazione sul tirante inferiore in acciaio, per l’equilibrio verticale si ottiene:

$$N_C \cdot \sin\theta + N = 0 \rightarrow N_C = -\frac{N}{\sin\theta}$$

Per l’equilibrio orizzontale si ottiene:

$$N_C \cdot \cos\theta + N_T = 0 \rightarrow N_T = \frac{N}{\cot\theta}$$

La resistenza dell’armatura costituente il tirante teso si ottiene come:

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 58 di 136

$$N_{T,Rd} = \frac{N_T}{\cot\theta} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \frac{1}{\cot\theta} \geq N$$

Essendo:

$$\cot\theta = \frac{l}{z} = \frac{l}{0,90 \cdot d}$$

Si ottiene pertanto:

$$N_{T,Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \frac{0,90 \cdot d}{l} \geq N$$

La resistenza della biella compressa in calcestruzzo si ottiene come:

$$N_{C,Rd} = N_C \cdot \sin\theta = 0,20 \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \sin\theta \geq N$$

Essendo:

$$\sin\theta = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l}{0,90 \cdot d}\right)^2\right]^{0,5}}$$

Si ottiene pertanto:

$$N_{C,Rd} = N_C \cdot \sin\theta = 0,20 \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l}{0,90 \cdot d}\right)^2\right]^{0,5}} \geq N$$

Si assume uno sforzo normale massimo trasmesso dal palo pari a  **$N_{\max} = 5.014,67 \text{ kN}$** .

Si adotta una armatura inferiore disposta su tre strati:

- Ø26/15 (I strato) →  $c' = 5,30 \text{ cm}$
- Ø26/15 (II strato) →  $c' = 11,30 \text{ cm}$
- Ø26/30 (III strato) →  $c' = 17,30 \text{ cm}$

L'area del tirante (armatura tesa) è pertanto costituito da:

$$A_{\text{tirante}} = 2 \times 3,12 / 0,15 \times 531 + 3,12 / 30 \times 531 = 27.612,00 \text{ mm}^2$$

Il baricentro del tirante risulta disposto a una distanza pari a **209,90 cm** dal lembo superiore compresso.

Si considerano i seguenti limiti tensionali per i materiali:

- Calcestruzzo →  $f_{cd} = \sigma_{c,amm} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- Acciaio →  $f_{yd} = \sigma_{s,amm} = 255,00 \text{ N/mm}^2$

Si ottiene dunque:

- Tirante in acciaio

$$N_{T,Rd} = 27.612,00 \cdot 255,00 \cdot \frac{0,90 \cdot 2.099,00}{1.320,00} = 10.076,72 \text{ kN} > N_{Sd} = 5.014,67 \text{ kN}$$

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 59 di 136

• Puntone in c.a.

$$N_{c,Rd} = 0,20 \cdot 2.099,00 \cdot 3.120,00 \cdot 11,00 \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{1.320,00}{0,90 \cdot 2.099,00}\right)^2\right]} = 21.441,95 \text{ kN} > N_{Sd} = 5.014,67 \text{ kN}$$

La tensione tangenziale massima risulta pari a:

$$\tau_{c,max} = \frac{5.014,67 \cdot 10^3}{3.120,00 \cdot 0,90 \cdot 2.099,00} = 0,85 \frac{N}{mm^2} < \tau_{c0} = 0,667 \frac{N}{mm^2}$$

Poiché la tensione tangenziale massima sul cls risulta superiore al valore limite  $\tau_{c0}$ , risulta necessario l'inserimento di apposite armature a taglio costituite da cavallotti **Ø26/50x80**. Per la verifica delle armature a taglio si considera l'aliquota di azione tagliante non assorbita dal calcestruzzo.

$$V_{cavallotti} = 5.014,67 - [(3.120,00 \times 0,90 \times 2.099,00) \times 0,667] \times 10^{-3} = 5.014,97 - 3.931,29 = 1.083,37 \text{ kN}$$

Verifica a taglio di sezioni rettangolari

(ai sensi del D.M. del 14/02/1992)

Dimensioni della sezione		
$b_w$	3,12	m
$h$	2,20	m
$d$	1,98	m
$A_c$	6864000	mm <sup>2</sup>
$b_w * 0,9 d$	5559840	mm <sup>2</sup>

larghezza sezione di verifica  
 altezza sezione di verifica  
 altezza utile (0.9\*h) della sezione  
 area di calcestruzzo  
 area di scorrimento a taglio

**Cls di classe :**

**R<sub>ck</sub> 35**

Materiali		
$\sigma_c$	11,00	Mpa
$\tau_{c0}$	0,67	Mpa
$\tau_{c1}$	1,97	Mpa

tensione normale ammissibile  
 tensione tangenziale ammissibile - lim. 1  
 tensione tangenziale ammissibile - lim. 2

**Acciaio di classe :**

**FeB 44k**

Armatura trasversale a taglio		
$\sigma_s$	255	Mpa
$\Phi_{st}$	26	mm
$A_{st}$	530,9	mm <sup>2</sup>
$s_{st}$	0,80	m
n° bracci	6	
$\alpha$	90	°
$A_{sw}/s_w$	39,82	cm <sup>2</sup> /m
	3982	mm <sup>2</sup> /m

tensione normale ammissibile  
 diametro delle staffe  
 area della sezione della staffa  
 passo delle staffe  
 numero di bracci delle staffe  
 inclinazione delle staffe rispetto all'asse (tra 45° e 90°)  
 armatura a taglio a metro lineare

Taglio resistente per armatura		
$V_{st}$	1809446	N
	<b>1809,4</b>	<b>kN</b>

inserito il termine per tenere conto della inclinazione

$$V_{st} > V$$

**Armatura a taglio sufficiente**

Le verifiche di resistenza risultano pertanto soddisfatte.



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 61 di 136

Si ha:

- sforzo tagliante:  **$V = 5.014,67 \text{ kN}$**
- diametro palo:  **$d = 1,20 \text{ m}$**
- altezza del plinto:  **$h = 2,20 \text{ m}$**
- diametro della superficie di distacco:  **$d = 1,20 + 2 \times 1,10 = 3,40 \text{ m}$**
- distanza dal bordo asse palo:  **$t = 1,20 \text{ m}$**
- perimetro di distacco:  **$p = 5,66 \text{ m}$**

La resistenza a punzonamento della zattera di fondazione risulta dunque pari a:

$$= 0,50 \cdot 5.660,00 \cdot 2.200,00 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} = 8.218,32 \text{ kN} > N_{Sd} = 5.014,67 \text{ kN}$$

La verifica a punzonamento risulta pertanto soddisfatta.

<p>APPALTATORE</p>  <p><b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.</p>	<p>DIREZIONE LAVORI</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 25%;">Lotto 00</td> <td style="width: 25%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 25%;">Rev. C</td> <td style="width: 25%;">Foglio 62 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 62 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 62 di 136		

## 8.4 Verifica dei pali di fondazione - Richiami teorici

### 8.4.1 Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il carico ammissibile del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, il carico ammissibile del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- $Q_T$  Portanza totale del palo;
- $Q_P$  Portanza di base del palo;
- $Q_L$  Portanza per attrito laterale del palo;
- $W_P$  Peso proprio del palo.

Le due componenti  $Q_P$  e  $Q_L$  sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente  $\eta_p$  e  $\eta_l$ .

I coefficienti  $\eta_p$  e  $\eta_l$  rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/\eta_p + Q_L/\eta_l - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/\eta_l + W_P$$

#### Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove  $A_P$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q_b$  è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti  $N_c$  e  $N_q$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

$N_c$  ed  $N_q$  dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ( $\phi$  e  $c$ ).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di  $N_c$  ed  $N_q$ .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ( $\phi=0$ ,  $c=c_u$ ) si assume in genere per  $N_c$  il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre  $N_q=1$ . Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore  $N_c$  ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore  $N_q$  per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare, da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare, si assume che la pressione verticale  $\sigma_v$  cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità  $z_c$  ( $\sigma_v = \sigma_c$ ); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a  $\sigma_c$ : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di  $z_c$  (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo,  $D$ , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno  $\phi$ .

Nella determinazione di  $z_c$  il valore di  $\phi$  da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo,  $\phi'$ , secondo le seguenti relazioni:

$$\text{Per pali infissi} \quad \phi = 3/4 \phi' + 10$$

$$\text{Per pali trivellati} \quad \phi = \phi' - 3$$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa  $D_r$ ) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di  $N_c$  ed  $N_q$ .

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR</b> <b>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 63 di 136

Capacità portante per attrito laterale

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \text{Int}(\tau_a) dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \text{tg } \delta$$

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno, e  $\sigma_h$  è la tensione orizzontale alla generica profondità  $z$ . La tensione orizzontale  $\sigma_h$  è legata alla pressione verticale  $\sigma_v$  tramite il coefficiente di spinta  $K_s$

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con  $C$  il perimetro e con  $L$  la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L(C(c_a + K_s \sigma_v \text{tg } \delta) dz)$$

<b>APPALTATORE</b> 	<b>DIREZIONE LAVORI</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLVI2100001    Rev. C    Foglio 64 di 136

## 8.5 Verifica dei pali di fondazione - Dati

### 8.5.1 Geometria della fondazione

*Simbologia adottata*

<i>Descr</i>	Descrizione del palo
<i>Frm</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	[m]	[m]	[m]
PALO	(C)	0,00	0,00	120,00	37,00

### 8.5.2 Materiali palo

*Calcestruzzo*

Tipo	C28/35	
Resistenza caratteristica a compressione $R_{bk}$	35000	[kPa]
Peso specifico	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico	33348040	[kPa]
Coeff. di omogeneizzazione	15,00	

*Acciaio*

Tipo	FeB44K	
Tensione caratteristica di snervamento	431499	[kPa]

### 8.5.3 Caratteristiche pali

Pali in c.a.

Armatura con ferri longitudinali e spirale

Vincolo in testa di tipo INCASTRO

Tipo di palo TRIVELLATO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

### 8.5.4 Descrizione terreni e falda

*Simbologia adottata*

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_{sat}$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
$\delta$	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
$c$	Coesione del terreno espressa in [kPa]
$ca$	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_{sat}$	$\phi$	$\delta$	$c$	$ca$
	[kN/mc]	[kN/mc]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]
Terreno 1	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 2	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 3	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 4	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 5	19,000	20,000	25,00	25,00	10,0	10,0
Terreno 6	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 7	20,000	21,000	25,00	25,00	15,0	15,0

Falda

Profondità dal piano di posa 0,00 [m]

### 8.5.5 Descrizione stratigrafia

*Simbologia adottata*

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato
<i>K<sub>w</sub></i>	Costante di Winkler espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
<i>K<sub>s</sub></i>	Coefficiente di spinta
$\alpha$	Coefficiente di espansione laterale

<b>APPALTATORE</b> 	<b>DIREZIONE LAVORI</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLVI2100001    Rev. C    Foglio 65 di 136

n°	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	Kw [kg/cmq/cm]	Ks	α
1	-3,8	-3,8	-3,8	Terreno 1	0.26	0.56	1.00
2	-6,8	-6,8	-6,8	Terreno 2	3.88	0.40	1.00
3	-12,3	-12,3	-12,3	Terreno 3	0.62	0.56	1.00
4	-20,3	-20,3	-20,3	Terreno 4	9.50	0.40	1.00
5	-30,3	-30,3	-30,3	Terreno 5	1.37	0.58	1.00
6	-36,3	-36,3	-36,3	Terreno 6	16.17	0.40	1.00
7	-40,0	-40,0	-40,0	Terreno 7	1.62	0.58	1.00

### 8.5.6 Normativa

Calcolo e verifiche secondo :

- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

### PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti di sicurezza.

Portanza alla punta 2,50  
 Portanza per attrito laterale 2,50

### 8.5.7 Condizioni di carico

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.  
 Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

*fnd*

Indice della fondazione

*N<sub>TOT</sub>*

Sforzo normale totale espressa in [kN]

*M<sub>YTOT</sub>*

Momento in direzione Y espresso in [kNm]

*T<sub>TOT</sub>*

Forza di taglio espressa in [kN]

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - N<sub>max</sub>

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>YTOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	5014,670	0,000	288,960

Condizione n° 2 - Condizione n° 2 - N<sub>min</sub>

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>YTOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	1181,630	0,000	288,960

### 8.5.8 Descrizione combinazioni di carico

*Simbologia adottata*

*c* Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - Tamm

Cond	C
Condizione n° 1	1.00

Combinazione n° 2 - Tamm

Cond	C
Condizione n° 2	1.00



## 8.6 Verifica dei pali di fondazione

### 8.6.1 Sezioni ed armatura di verifica

#### Sezione 1-1 (quota 0,00 = quota di getto utile)

La sezione di verifica è circolare con diametro pari a 120 cm.

L'armatura verticale (armatura di forza) è prevista come segue:

- 20Ø26 disposti a raggiera (Pos. 1A)
- 4Ø26 disposti a raggiera (Pos. 1B)

L'armatura a taglio è costituita da una spirale Ø10/10.

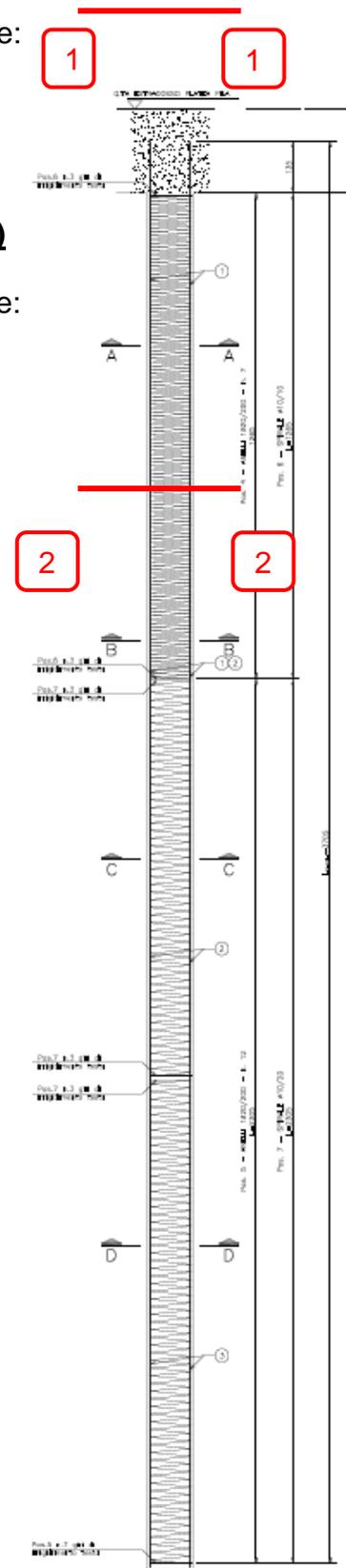
#### Sezione 2-2 (quota -12,65 rispetto alla quota di getto utile)

La sezione di verifica è circolare con diametro pari a 120 cm.

L'armatura verticale (armatura di forza) è prevista come segue:

- 20Ø20 disposti a raggiera

L'armatura a taglio è costituita da una spirale Ø10/20.

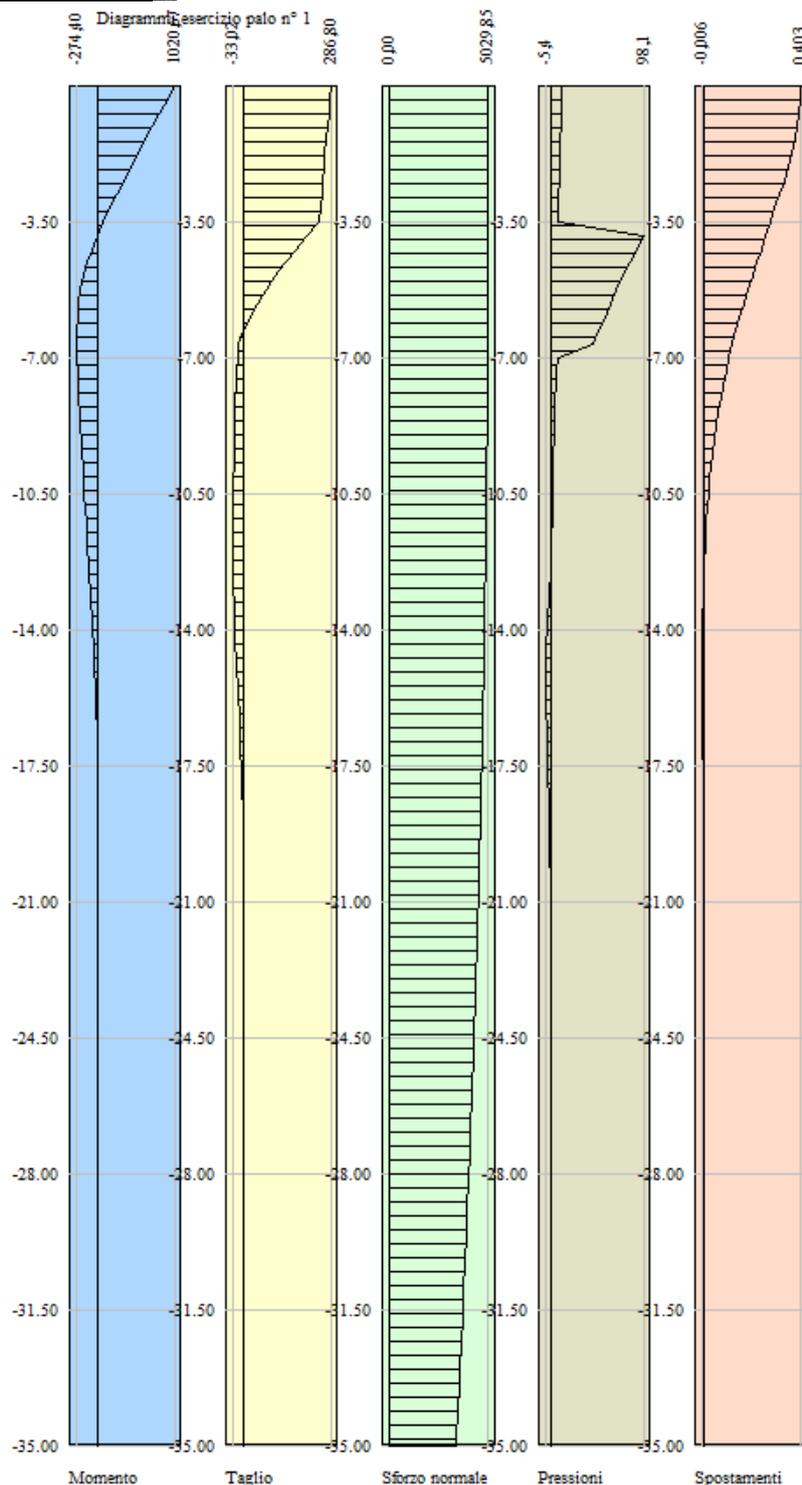




### 8.6.2 Verifiche di resistenza - Diagrammi delle azioni sollecitanti

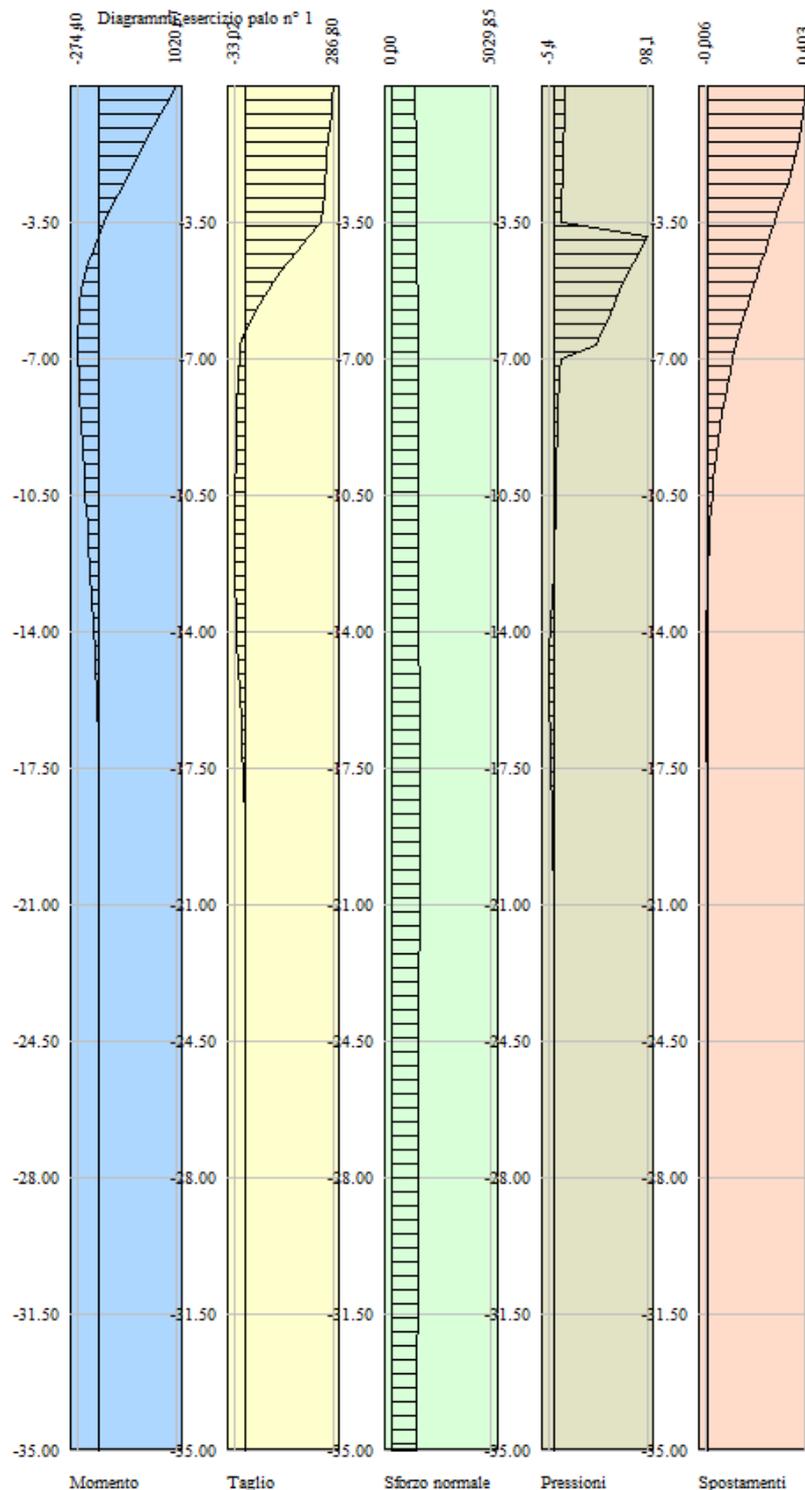
Di seguito sono riportati i diagrammi delle azioni sollecitanti lungo il palo, desunte dal programma di calcolo:

Condizione n° 1 -  $N_{max}$





Condizione n° 2 - N<sub>min</sub>



<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 35%;">Codifica Documento CLV12100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 15%;">Foglio 69 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 69 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 69 di 136		

### 8.6.3 Verifiche di resistenza - Riepilogo delle azioni sollecitanti lungo il palo

#### Simbologia adottata

Nr.	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
N	sfuerzo normale espresso in [kN]
T	taglio espresso in [kN]
M	momento espresso in [kNm]

#### Combinazione n° 1 - N<sub>max</sub>

n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]	n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]
1	0,00	1020,6744	286,8021	5014,6700	2	0,00	920,2937	282,5054	5017,8552
3	0,70	821,4168	278,2634	5020,6657	4	0,70	724,0246	274,1077	5023,1017
5	1,40	628,0869	270,0665	5025,1630	6	1,40	533,5636	266,1639	5026,8498
7	2,10	440,4063	262,4207	5028,1619	8	2,10	348,5590	258,8538	5029,0994
9	2,80	257,9602	255,4767	5029,6623	10	2,80	168,5433	252,2994	5029,8506
11	3,50	80,2386	249,3285	5029,6642	12	3,50	-7,0264	208,1178	5029,2521
13	4,20	-79,8676	170,0298	5029,3357	14	4,20	-139,3781	135,0196	5029,0059
15	4,90	-186,6349	103,0080	5028,2627	16	4,90	-222,6877	73,8885	5027,1061
17	5,60	-248,5487	47,5336	5025,5360	18	5,60	-265,1854	23,8009	5023,5526
19	6,30	-273,5157	2,5381	5021,1557	20	6,30	-274,4041	-16,4116	5018,3454
21	7,00	-268,6600	-19,0953	5014,7215	22	7,00	-261,9767	-21,4592	5010,4145
23	7,70	-254,4659	-23,5277	5005,7328	24	7,70	-246,2312	-25,3240	5000,6765
25	8,40	-237,3678	-26,8709	4995,2456	26	8,40	-227,9630	-28,1903	4989,4401
27	9,10	-218,0964	-29,3032	4983,2600	28	9,10	-207,8403	-30,2296	4976,7053
29	9,80	-197,2599	-30,9886	4969,7760	30	9,80	-186,4139	-31,5986	4962,4720
31	10,50	-175,3544	-32,0766	4954,7935	32	10,50	-164,1276	-32,4388	4946,7403
33	11,20	-152,7740	-32,7004	4938,3125	34	11,20	-141,3288	-32,8754	4929,5102
35	11,90	-129,8225	-32,9768	4920,3332	36	11,90	-118,2806	-33,0166	4910,7816
37	12,60	-106,7248	-32,8495	4900,9283	38	12,60	-95,2275	-32,0563	4890,6766
39	13,30	-84,0078	-30,7715	4880,0114	40	13,30	-73,2378	-29,1138	4868,9329
41	14,00	-63,0480	-27,1868	4857,4409	42	14,00	-53,5326	-25,0796	4845,5355
43	14,70	-44,7547	-22,8681	4833,2167	44	14,70	-36,7509	-20,6156	4820,4845
45	15,40	-29,5354	-18,3743	4807,3388	46	15,40	-23,1044	-16,1859	4793,7798
47	16,10	-17,4394	-14,0833	4779,8073	48	16,10	-12,5102	-12,0913	4765,4215
49	16,80	-8,2782	-10,2278	4750,6222	50	16,80	-4,6985	-8,5045	4735,4095
51	17,50	-1,7219	-6,9283	4719,7834	52	17,50	0,7030	-5,5017	4703,7438
53	18,20	2,6286	-4,2238	4687,2909	54	18,20	4,1069	-3,0911	4670,4245
55	18,90	5,1888	-2,0978	4653,1447	56	18,90	5,9230	-1,2366	4635,4516
57	19,60	6,3558	-0,4994	4617,3450	58	19,60	6,5306	0,1229	4598,8249
59	20,30	6,4876	0,6394	4579,8915	60	20,30	6,2638	0,6999	4559,6845
61	21,00	6,0189	0,7478	4539,1066	62	21,00	5,7571	0,7842	4518,1577
63	21,70	5,4827	0,8103	4496,8379	64	21,70	5,1990	0,8273	4475,1471
65	22,40	4,9095	0,8363	4453,0854	66	22,40	4,6168	0,8381	4430,6527
67	23,10	4,3235	0,8337	4407,8491	68	23,10	4,0317	0,8241	4384,6746
69	23,80	3,7432	0,8100	4361,1291	70	23,80	3,4597	0,7922	4337,2126
71	24,50	3,1824	0,7715	4312,9252	72	24,50	2,9124	0,7484	4288,2669
73	25,20	2,6505	0,7236	4263,2376	74	25,20	2,3972	0,6975	4237,8374
75	25,90	2,1531	0,6707	4212,0662	76	25,90	1,9184	0,6437	4185,9240
77	26,60	1,6931	0,6168	4159,4110	78	26,60	1,4772	0,5903	4132,5269
79	27,30	1,2706	0,5646	4105,2720	80	27,30	1,0730	0,5399	4077,6460
81	28,00	0,8840	0,5164	4049,6492	82	28,00	0,7033	0,4944	4021,2814
83	28,70	0,5302	0,4739	3992,5426	84	28,70	0,3644	0,4551	3963,4329
85	29,40	0,2051	0,4380	3933,9523	86	29,40	0,0518	0,4227	3904,1007
87	30,10	-0,0962	0,4093	3873,8781	88	30,10	-0,2394	0,2710	3843,1384
89	30,80	-0,3343	0,1532	3811,8026	90	30,80	-0,3879	0,0550	3780,0533
91	31,50	-0,4072	-0,0245	3747,8906	92	31,50	-0,3986	-0,0863	3715,3145
93	32,20	-0,3684	-0,1312	3682,3250	94	32,20	-0,3225	-0,1603	3648,9221
95	32,90	-0,2664	-0,1742	3615,1057	96	32,90	-0,2054	-0,1736	3580,8760
97	33,60	-0,1446	-0,1591	3546,2328	98	33,60	-0,0889	-0,1308	3511,1762
99	34,30	-0,0432	-0,0892	3475,7062	100	34,30	-0,0120	-0,0341	3439,8228
101	35,00	0,0000	-0,0341	3403,5260	102				

APPALTATORE



**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLV12100001Rev.  
CFoglio  
70 di 136Combinazione n° 2 - N<sub>min</sub>

n°	Y	M	T	N	n°	Y	M	T	N
	[m]	[kNm]	[kN]	[kN]		[m]	[kNm]	[kN]	[kN]
<b>1</b>	<b>0,00</b>	<b>1020,6744</b>	<b>286,8021</b>	<b>1181,6300</b>	2	0,00	920,2937	282,5054	1188,9905
3	0,70	821,4168	278,2634	1196,2163	4	0,70	724,0246	274,1077	1203,3075
5	1,40	628,0869	270,0665	1210,2639	6	1,40	533,5636	266,1639	1217,0856
7	2,10	440,4063	262,4207	1223,7726	8	2,10	348,5590	258,8538	1230,3249
9	2,80	257,9602	255,4767	1236,7426	10	2,80	168,5433	252,2994	1243,0255
11	3,50	80,2386	249,3285	1249,1737	12	3,50	-7,0264	208,1178	1255,2407
13	4,20	-79,8676	170,0298	1261,4860	14	4,20	-139,3781	135,0196	1267,5826
15	4,90	-186,6349	103,0080	1273,5306	16	4,90	-222,6877	73,8885	1279,3299
17	5,60	-248,5487	47,5336	1284,9806	18	5,60	-265,1854	23,8009	1290,4826
19	6,30	-273,5157	2,5381	1295,8360	20	6,30	-274,4041	-16,4116	1301,0407
21	7,00	-268,6600	-19,0953	1305,9528	22	7,00	-261,9767	-21,4592	1310,6193
23	7,70	-254,4659	-23,5277	1315,1511	24	7,70	-246,2312	-25,3240	1319,5482
25	8,40	-237,3678	-26,8709	1323,8106	26	8,40	-227,9630	-28,1903	1327,9383
27	9,10	-218,0964	-29,3032	1331,9313	28	9,10	-207,8403	-30,2296	1335,7896
29	9,80	-197,2599	-30,9886	1339,5132	30	9,80	-186,4139	-31,5986	1343,1021
31	10,50	-175,3544	-32,0766	1346,5563	32	10,50	-164,1276	-32,4388	1349,8758
33	11,20	-152,7740	-32,7004	1353,0606	34	11,20	-141,3288	-32,8754	1356,1107
35	11,90	-129,8225	-32,9768	1359,0261	36	11,90	-118,2806	-33,0166	1361,8068
<b>37</b>	<b>12,60</b>	<b>-106,7248</b>	<b>-32,8495</b>	<b>1364,4790</b>	38	12,60	-95,2275	-32,0563	1367,0079
39	13,30	-84,0078	-30,7715	1369,3882	40	13,30	-73,2378	-29,1138	1371,6199
41	14,00	-63,0480	-27,1868	1373,7029	42	14,00	-53,5326	-25,0796	1375,6372
43	14,70	-44,7547	-22,8681	1377,4229	44	14,70	-36,7509	-20,6156	1379,0599
45	15,40	-29,5354	-18,3743	1380,5483	46	15,40	-23,1044	-16,1859	1381,8880
47	16,10	-17,4394	-14,0833	1383,0790	48	16,10	-12,5102	-12,0913	1384,1214
49	16,80	-8,2782	-10,2278	1385,0152	50	16,80	-4,6985	-8,5045	1385,7603
51	17,50	-1,7219	-6,9283	1386,3568	52	17,50	0,7030	-5,5017	1386,8045
53	18,20	2,6286	-4,2238	1387,1037	54	18,20	4,1069	-3,0911	1387,2542
55	18,90	5,1888	-2,0978	1387,2560	56	18,90	5,9230	-1,2366	1387,1092
57	19,60	6,3558	-0,4994	1386,8137	58	19,60	6,5306	0,1229	1386,3696
59	20,30	6,4876	0,6394	1385,7768	60	20,30	6,2638	0,6999	1384,7261
61	21,00	6,0189	0,7478	1383,5420	62	21,00	5,7571	0,7842	1382,2245
63	21,70	5,4827	0,8103	1380,7736	64	21,70	5,1990	0,8273	1379,1894
65	22,40	4,9095	0,8363	1377,4718	66	22,40	4,6168	0,8381	1375,6207
67	23,10	4,3235	0,8337	1373,6363	68	23,10	4,0317	0,8241	1371,5186
69	23,80	3,7432	0,8100	1369,2674	70	23,80	3,4597	0,7922	1366,8828
71	24,50	3,1824	0,7715	1364,3649	72	24,50	2,9124	0,7484	1361,7136
73	25,20	2,6505	0,7236	1358,9289	74	25,20	2,3972	0,6975	1356,0108
75	25,90	2,1531	0,6707	1352,9593	76	25,90	1,9184	0,6437	1349,7745
77	26,60	1,6931	0,6168	1346,4563	78	26,60	1,4772	0,5903	1343,0046
79	27,30	1,2706	0,5646	1339,4196	80	27,30	1,0730	0,5399	1335,7013
81	28,00	0,8840	0,5164	1331,8495	82	28,00	0,7033	0,4944	1327,8643
83	28,70	0,5302	0,4739	1323,7458	84	28,70	0,3644	0,4551	1319,4939
85	29,40	0,2051	0,4380	1315,1086	86	29,40	0,0518	0,4227	1310,5899
87	30,10	-0,0962	0,4093	1305,9378	88	30,10	-0,2394	0,2710	1301,0998
89	30,80	-0,3343	0,1532	1296,0474	90	30,80	-0,3879	0,0550	1290,8464
91	31,50	-0,4072	-0,0245	1285,4967	92	31,50	-0,3986	-0,0863	1279,9984
93	32,20	-0,3684	-0,1312	1274,3514	94	32,20	-0,3225	-0,1603	1268,5557
95	32,90	-0,2664	-0,1742	1262,6114	96	32,90	-0,2054	-0,1736	1256,5184
97	33,60	-0,1446	-0,1591	1250,2768	98	33,60	-0,0889	-0,1308	1243,8866
99	34,30	-0,0432	-0,0892	1237,3476	100	34,30	-0,0120	-0,0341	1230,6601
101	35,00	0,0000	-0,0341	1223,8238	102				

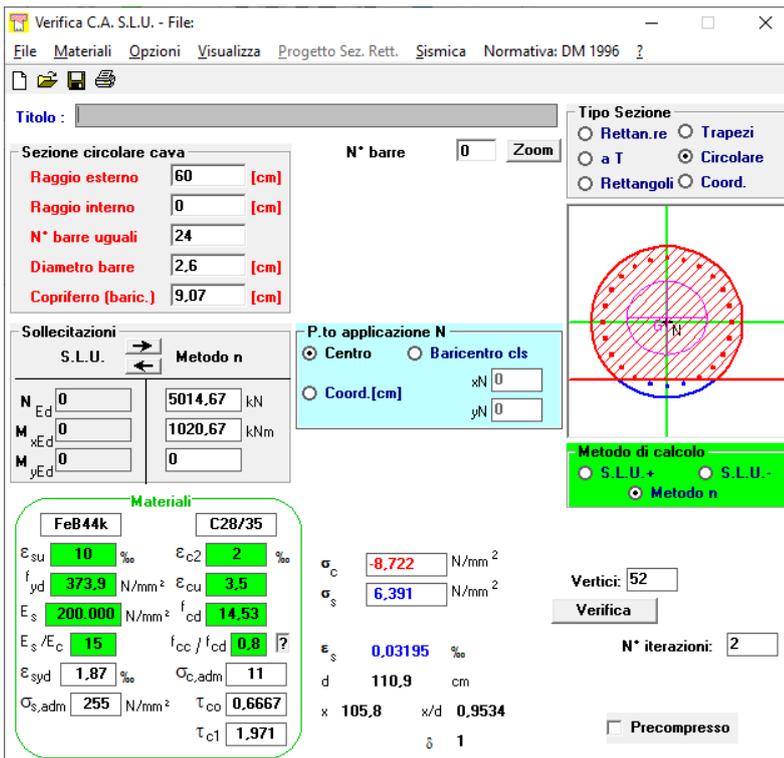
APPALTATORE 	DIREZIONE LAVORI 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLVI2100001    Rev. C    Foglio 71 di 136

### 8.6.4 Verifiche a pressoflessione

#### Prima gabbia – Condizione $N_{max}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 5.014,67$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 1.020,67$  kNm.



**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 24  
 Diametro barre: 2,6 [cm]  
 Copriferrò (baric.): 9,07 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.    Metodo n

$N_{Ed}$ : 0    5014,67 kN  
 $M_{xEd}$ : 0    1020,67 kNm  
 $M_{yEd}$ : 0    0

**P.to applicazione N**  
 Centro     Baricentro cls  
 Coord.[cm]     $xN$ : 0     $yN$ : 0

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+     S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

FeB44k	C28/35
$\epsilon_{su}$ : 10 ‰	$\epsilon_{c2}$ : 2 ‰
$f_{yd}$ : 373,9 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰
$E_s$ : 200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ : 14,53
$E_s/E_c$ : 15	$f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8
$\epsilon_{syd}$ : 1,87 ‰	$\sigma_{c,adm}$ : 11
$\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ : 0,6667
	$\tau_{cl}$ : 1,971

$\sigma_c$ : -8,722 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 6,391 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : 0,03195 ‰  
 $d$ : 110,9 cm  
 $x$ : 105,8     $x/d$ : 0,9534  
 $\delta$ : 1

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 2  
 Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 8,72$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 6,39$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm<sup>2</sup>

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
72 di 136

### Prima gabbia – Condizione $N_{min}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 1.181,63$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 1.020,67$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]

Raggio interno 0 [cm]

N° barre uguali 24

Diametro barre 2,6 [cm]

Copriferro (baric.) 9,07 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 1181,63 kN

M<sub>xEd</sub> 0 1020,67 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Materiali

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$  10 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5

$E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14,53

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8

$\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6667

$\tau_{cl}$  1,971

$\sigma_c$  -8,34 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  156 N/mm<sup>2</sup>

Vertici: 52

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

$\epsilon_s$  0,7799 ‰

d 110,9 cm

x 49,37 x/d 0,4451

$\delta$  0,9963

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 8,34$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 156,00$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm<sup>2</sup>

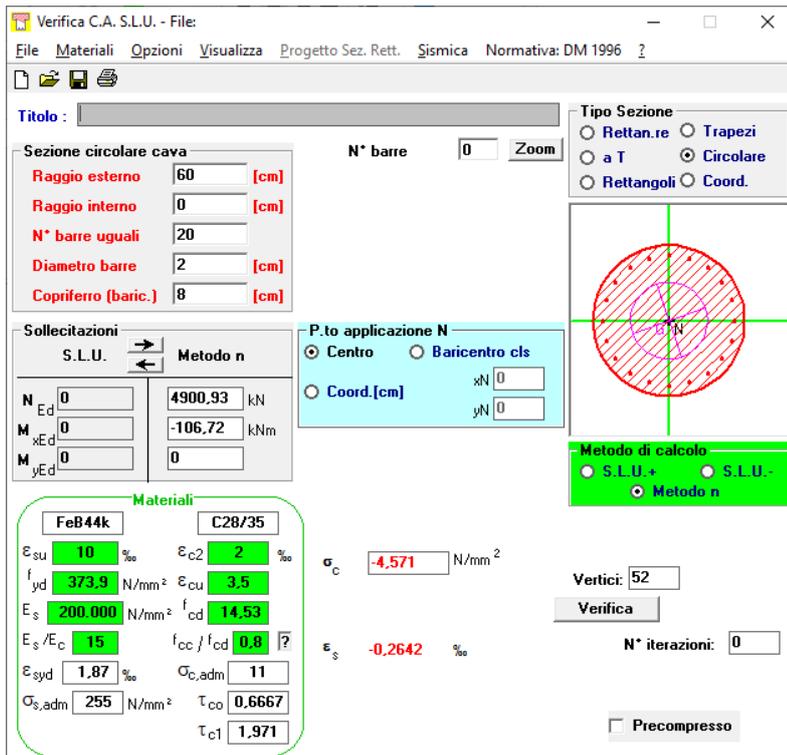
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 30%;">Foglio 73 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 73 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 73 di 136		

**Seconda gabbia – Condizione  $N_{max}$**

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 4.900,93 \text{ kN}$ .

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -106,72 \text{ kNm}$ .



**Verifica C.A. S.L.U. - File:**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 20  
Diametro barre: 2 [cm]  
Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 4900,93 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 -106,72 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$ : 10 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  $\sigma_c$ : -4,571 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$ : 373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5  $\epsilon_s$ : -0,2642 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14,53  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6667  
 $\tau_{c1}$ : 1,971

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 0  
 Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 4,57 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c,amm} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = - \text{N/mm}^2$  (sezione interamente compressa)

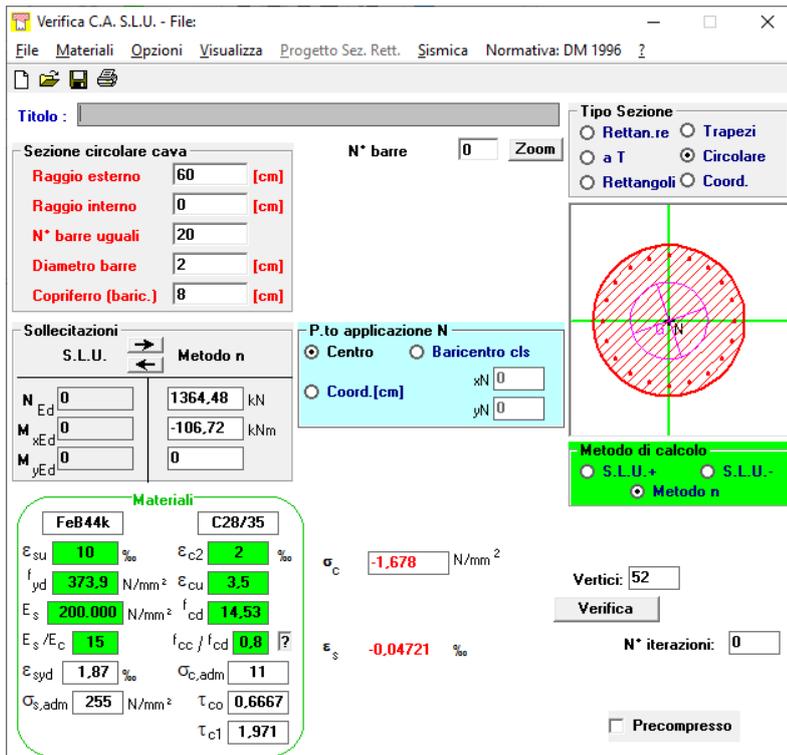
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE 	DIREZIONE LAVORI 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLVI2100001    Rev. C    Foglio 74 di 136

**Seconda gabbia – Condizione  $N_{min}$**

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 1.364,48 \text{ kN}$ .

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -106,72 \text{ kNm}$ .



**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 20  
 Diametro barre: 2 [cm]  
 Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$ : 0    1364,48 kN  
 $M_{xEd}$ : 0    -106,72 kNm  
 $M_{yEd}$ : 0    0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$ : 10 ‰     $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 373,9 N/mm<sup>2</sup>     $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>     $f_{cd}$ : 14,53 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$ : 15     $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,87 ‰     $\sigma_{c,adm}$ : 11 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>     $\tau_{co}$ : 0,6667 N/mm<sup>2</sup>  
 $\tau_{c1}$ : 1,971 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_c$ : -1,678 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : -0,04721 ‰

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 0

Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 1,67 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c,amm} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = - \text{N/mm}^2$  (sezione interamente compressa)

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE	DIREZIONE LAVORI			
				
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 75 di 136

### 8.6.5 Verifica a taglio

#### Prima gabbia

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a  $V_{sd} = 286,80 \text{ kN}$ .

#### Verifica a taglio di sezioni circolari

(ai sensi del D.M. del 14/02/1992)

Dimensioni della sezione		
$\varnothing$	1,20 m	
A	1130973 mm <sup>2</sup>	
J	1,02E+11 mm <sup>4</sup>	
$l_{eq}$	1,05 m	larghezza sezione di verifica
d	0,95 m	altezza utile (0.9*h) della sezione
$A_c$	1105193 mm <sup>2</sup>	area di calcestruzzo
$b_w * 0,9 d$	895206 mm <sup>2</sup>	area di scorrimento a taglio

Cls di classe :

$R_{ck}$  35

Materiali		
$\sigma_c$	11,00 Mpa	tensione normale ammissibile
$\tau_{c0}$	0,67 Mpa	tensione tangenziale ammissibile - lim. 1
$\tau_{c1}$	1,97 Mpa	tensione tangenziale ammissibile - lim. 2

Sollecitazioni nella sezione		
V	286,8 kN	forza di taglio di progetto
$\tau$	0,32 Mpa	tensione tangenziale sull'area di scorrimento

Controllo tensioni tang.		
$\tau$	<	$\tau_{c0}$ ; $V_{c0}$ 596,8 kN
<b>E' sufficiente l'armatura minima a taglio prevista da N.I e non è necessario verificarla.</b>		
$\tau$	<	$\tau_{c1}$ ; $V_{c1}$ 1764,8 kN
<b>Le dimensioni della sezione di verifica sono accettabili.</b>		

APPALTATORE 	DIREZIONE LAVORI 			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 76 di 136

### Seconda gabbia

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a  $V_{sd} = -32,85$  kN.

#### Verifica a taglio di sezioni circolari

(ai sensi del D.M. del 14/02/1992)

Dimensioni della sezione		
$\varnothing$	1,20 m	
A	1130973 mm <sup>2</sup>	
J	1,02E+11 mm <sup>4</sup>	
$I_{eq}$	1,05 m	larghezza sezione di verifica
d	0,95 m	altezza utile (0.9*h) della sezione
$A_c$	1105193 mm <sup>2</sup>	area di calcestruzzo
$b_w * 0,9 d$	895206 mm <sup>2</sup>	area di scorrimento a taglio

Cls di classe :

	Materiali		
$R_{ck}$ 35	$\sigma_c$	11,00 Mpa	tensione normale ammissibile
	$\tau_{c0}$	0,67 Mpa	tensione tangenziale ammissibile - lim. 1
	$\tau_{c1}$	1,97 Mpa	tensione tangenziale ammissibile - lim. 2

Sollecitazioni nella sezione		
V	32,9 kN	forza di taglio di progetto
$\tau$	0,04 Mpa	tensione tangenziale sull'area di scorrimento

Controllo tensioni tang.		
$\tau$	<	$\tau_{c0}$ ; $V_{c0}$ 596,8 kN
<b>E' sufficiente l'armatura minima a taglio prevista da N.I. e non è necessario verificarla.</b>		
$\tau$	<	$\tau_{c1}$ ; $V_{c1}$ 1764,8 kN
<b>Le dimensioni della sezione di verifica sono accettabili.</b>		

<b>APPALTATORE</b> 	<b>DIREZIONE LAVORI</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLV12100001    Rev. C    Foglio 77 di 136

### 8.6.6 Verifica a fessurazione – Valutazione delle azioni sollecitanti massime in testa palo

Di seguito è riportata la determinazione delle azioni sollecitanti sui pali di fondazione per la combinazione di carico TA5 – Gruppo 6 (considerata un'altezza della pila pari a 5,00 m).

#### VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI SOLLECITANTI RELATIVI AI CARICHI ELEMENTARI

CARICO ELEMENTARE	N [kN]	b <sub>z</sub> [m]	b <sub>y</sub> [m]	H <sub>L</sub> [kN]	H <sub>T</sub> [kN]	b <sub>z</sub> [m]	M <sub>L</sub> [kNm]	M <sub>T</sub> [kNm]
Reazione permanente impalcato SX	4.972,90	-1,20	0,00	0,00	0,00	9,73	-5.967,48	0,00
Reazione permanente impalcato DX	4.972,90	1,20	0,00	0,00	0,00	9,73	5.967,48	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi	151,73	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00
Peso fusto pila - Sezione di testa	868,10	0,00	0,00	0,00	0,00	6,70	0,00	0,00
Peso fusto pila - Sezione corrente	1.267,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	5.266,80	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
Peso terreno sul plinto	1.220,72	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00
Treni - Traffico pesante	5.748,09	0,08	0,14	0,00	0,00	10,90	459,85	804,73
Forza centrifuga	0,00	0,00	0,00	0,00	571,96	12,70	0,00	7.263,89
Avviamento e frenatura	0,00	0,00	0,00	1.700,00	0,00	10,90	18.530,00	0,00
Serpeggio	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	10,90	0,00	2.180,00
Vento su struttura carica	0,00	0,00	0,00	0,00	710,75	11,03	0,00	7.839,57
Attrito agli appoggi	0,00	0,00	0,00	464,24	0,00	7,60	3.528,22	0,00

#### COMBINAZIONE DI CARICO TA5 - Gruppo 6

CARICO ELEMENTARE	ψ	N [kN]	H <sub>L</sub> [kN]	H <sub>T</sub> [kN]	M <sub>L</sub> [kNm]	M <sub>T</sub> [kNm]
Reazione permanente impalcato SX	1,00	4.972,90	0,00	0,00	-5.967,48	0,00
Reazione permanente impalcato DX	1,00	4.972,90	0,00	0,00	5.967,48	0,00
Peso baggioli, ritegni sismici e appoggi	1,00	151,73	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso fusto pila - Sezione di testa	1,00	868,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso fusto pila - Sezione corrente	1,00	1.267,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso plinto di fondazione	1,00	5.266,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso terreno sul plinto	1,00	1.220,72	0,00	0,00	0,00	0,00
Treni - Traffico pesante	0,60	3.448,85	0,00	0,00	275,91	482,84
Forza centrifuga	0,60	0,00	0,00	343,18	0,00	4.358,34
Avviamento e frenatura	0,60	0,00	1.020,00	0,00	11.118,00	0,00
Serpeggio	0,60	0,00	0,00	120,00	0,00	1.308,00
Vento su struttura carica	0,50	0,00	0,00	355,38	0,00	3.919,79
Attrito agli appoggi	1,00	0,00	464,24	0,00	3.528,22	0,00
<b>TOTALE</b>		<b>22.169,20</b>	<b>1.484,24</b>	<b>818,55</b>	<b>14.922,13</b>	<b>10.068,96</b>

Numero pali **8**

	PALO 1	PALO 2	PALO 3	PALO 4	PALO 5	PALO 6	PALO 7	PALO 8
X	-3,00	-3,00	-3,00	0,00	0,00	3,00	3,00	3,00
Y	-4,50	0,00	4,50	-2,25	2,25	-4,50	0,00	4,50
X <sup>2</sup>	9,00	9,00	9,00	0,00	0,00	9,00	9,00	9,00
Y <sup>2</sup>	20,25	0,00	20,25	5,06	5,06	20,25	0,00	20,25

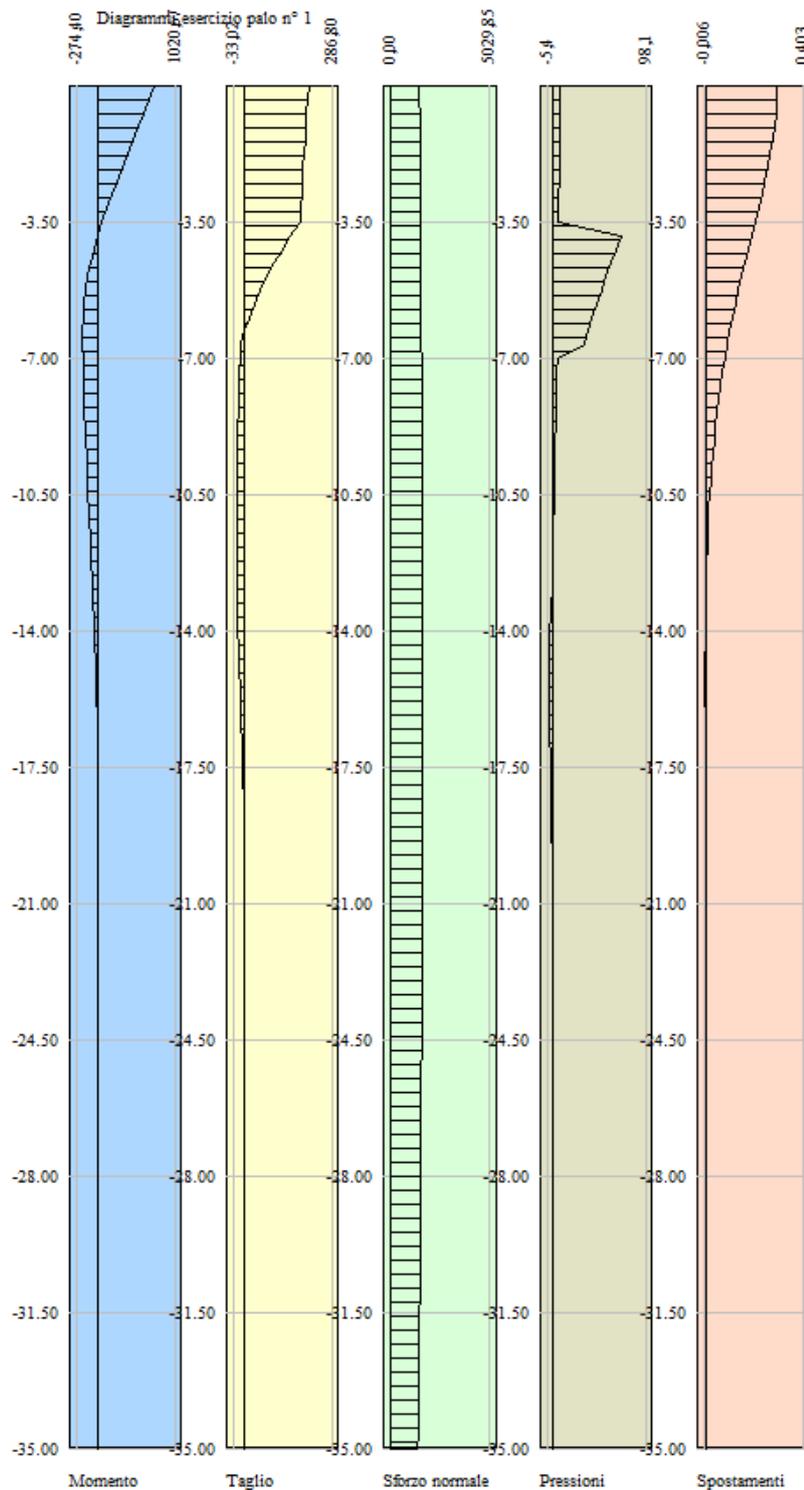
COMBINAZIONE	NP <sub>1</sub> [kN]	NP <sub>2</sub> [kN]	NP <sub>3</sub> [kN]	NP <sub>4</sub> [kN]	NP <sub>5</sub> [kN]	NP <sub>6</sub> [kN]	NP <sub>7</sub> [kN]	NP <sub>8</sub> [kN]
TA5 - Gruppo 6	1.444,91	1.942,14	2.439,38	2.522,53	3.019,77	3.102,93	3.600,16	4.097,39

COMBINAZIONE	N <sub>MAX</sub> [kN]	N <sub>MIN</sub> [kN]	R <sub>V</sub> [kN]
TA5 - Gruppo 6	4.097,39	1.444,91	211,87





Condizione n° 2 - N<sub>min</sub> (fessurazione)



<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento CLV12100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 20%;">Foglio 80 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 80 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 80 di 136		

## 8.6.8 Verifica a fessurazione - Riepilogo delle azioni sollecitanti lungo il palo

### Simbologia adottata

Nr.	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
N	sforzio normale espresso in [kN]
T	taglio espresso in [kN]
M	momento espresso in [kNm]

### Combinazione n° 1 - N<sub>max</sub> (fessurazione)

n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]	n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]
1	0,00	748,3745	210,2878	4097,3900	2	0,00	674,7738	207,1374	4101,5744
3	0,70	602,2757	204,0271	4105,4415	4	0,70	530,8662	200,9801	4108,9915
5	1,40	460,5232	198,0170	4112,2243	6	1,40	391,2172	195,1556	4115,1399
7	2,10	322,9128	192,4110	4117,7383	8	2,10	255,5689	189,7957	4120,0194
9	2,80	189,1405	187,3195	4121,9834	10	2,80	123,5786	184,9899	4123,6302
11	3,50	58,8322	182,8115	4124,9598	12	3,50	-5,1519	152,5952	4126,0981
13	4,20	-58,5602	124,6685	4127,6563	14	4,20	-102,1942	98,9985	4128,8644
15	4,90	-136,8436	75,5271	4129,7225	16	4,90	-163,2781	54,1762	4130,2304
17	5,60	-182,2398	34,8524	4130,3884	18	5,60	-194,4381	17,4512	4130,1963
19	6,30	-200,5460	1,8610	4129,6541	20	6,30	-201,1974	-12,0333	4128,7619
21	7,00	-196,9857	-14,0009	4127,1807	22	7,00	-192,0854	-15,7343	4125,0211
23	7,70	-186,5784	-17,2509	4122,5443	24	7,70	-180,5406	-18,5680	4119,7503
25	8,40	-174,0418	-19,7022	4116,6391	26	8,40	-167,1460	-20,6696	4113,2107
27	9,10	-159,9117	-21,4855	4109,4651	28	9,10	-152,3917	-22,1648	4105,4023
29	9,80	-144,6341	-22,7214	4101,0223	30	9,80	-136,6816	-23,1686	4096,3252
31	10,50	-128,5726	-23,5191	4091,3108	32	10,50	-120,3409	-23,7847	4085,9792
33	11,20	-112,0163	-23,9764	4080,3304	34	11,20	-103,6245	-24,1047	4074,3644
35	11,90	-95,1879	-24,1791	4068,0812	36	11,90	-86,7252	-24,2083	4061,4808
37	12,60	-78,2523	-24,0858	4054,6251	38	12,60	-69,8223	-23,5042	4047,4318
39	13,30	-61,5958	-22,5621	4039,8886	40	13,30	-53,6991	-21,3467	4031,9953
41	14,00	-46,2278	-19,9338	4023,7519	42	14,00	-39,2509	-18,3888	4015,1585
43	14,70	-32,8149	-16,7673	4006,2150	44	14,70	-26,9463	-15,1157	3996,9215
45	15,40	-21,6558	-13,4723	3987,2779	46	15,40	-16,9405	-11,8677	3977,2842
47	16,10	-12,7868	-10,3261	3966,9405	48	16,10	-9,1727	-8,8656	3956,2468
49	16,80	-6,0697	-7,4992	3945,2030	50	16,80	-3,4450	-6,2356	3933,8091
51	17,50	-1,2626	-5,0799	3922,0652	52	17,50	0,5154	-4,0339	3909,9712
53	18,20	1,9273	-3,0970	3897,5272	54	18,20	3,0112	-2,2664	3884,7331
55	18,90	3,8045	-1,5381	3871,5890	56	18,90	4,3428	-0,9067	3858,0948
57	19,60	4,6602	-0,3662	3844,2506	58	19,60	4,7883	0,0901	3830,0563
59	20,30	4,7568	0,4688	3815,5119	60	20,30	4,5927	0,5132	3799,8892
61	21,00	4,4131	0,5483	3783,9524	62	21,00	4,2212	0,5750	3767,7015
63	21,70	4,0200	0,5942	3751,1365	64	21,70	3,8120	0,6066	3734,2574
65	22,40	3,5997	0,6132	3717,0642	66	22,40	3,3851	0,6145	3699,5569
67	23,10	3,1700	0,6113	3681,7355	68	23,10	2,9561	0,6042	3663,6000
69	23,80	2,7446	0,5939	3645,1504	70	23,80	2,5367	0,5809	3626,3867
71	24,50	2,3334	0,5657	3607,3089	72	24,50	2,1354	0,5487	3587,9171
73	25,20	1,9434	0,5305	3568,2111	74	25,20	1,7577	0,5114	3548,1911
75	25,90	1,5787	0,4918	3527,8569	76	25,90	1,4066	0,4720	3507,2086
77	26,60	1,2414	0,4522	3486,2463	78	26,60	1,0831	0,4328	3464,9698
79	27,30	0,9316	0,4140	3443,3793	80	27,30	0,7867	0,3959	3421,4747
81	28,00	0,6482	0,3787	3399,2559	82	28,00	0,5156	0,3625	3376,7231
83	28,70	0,3888	0,3475	3353,8762	84	28,70	0,2672	0,3337	3330,7152
85	29,40	0,1504	0,3212	3307,2401	86	29,40	0,0380	0,3100	3283,4508
87	30,10	-0,0705	0,3001	3259,3475	88	30,10	-0,1756	0,1987	3234,8064
89	30,80	-0,2451	0,1123	3209,7604	90	30,80	-0,2844	0,0403	3184,3643
91	31,50	-0,2985	-0,0180	3158,6182	92	31,50	-0,2923	-0,0632	3132,5221
93	32,20	-0,2701	-0,0962	3106,0758	94	32,20	-0,2364	-0,1175	3079,2796
95	32,90	-0,1953	-0,1277	3052,1333	96	32,90	-0,1506	-0,1273	3024,6369
97	33,60	-0,1060	-0,1166	2996,7905	98	33,60	-0,0652	-0,0959	2968,5940
99	34,30	-0,0316	-0,0654	2940,0474	100	34,30	-0,0088	-0,0250	2911,1508
101	35,00	0,0000	-0,0250	2881,9042	102				

<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento CLV12100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 20%;">Foglio 81 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 81 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 81 di 136		

Combinazione n° 2 - N<sub>min</sub> (fessurazione)

n°	Y	M	T	N	n°	Y	M	T	N
	[m]	[kNm]	[kN]	[kN]		[m]	[kNm]	[kN]	[kN]
1	0,00	748,3745	210,2878	1444,9100	2	0,00	674,7738	207,1374	1451,9837
3	0,70	602,2757	204,0271	1458,9063	4	0,70	530,8662	200,9801	1465,6777
5	1,40	460,5232	198,0170	1472,2978	6	1,40	391,2172	195,1556	1478,7669
7	2,10	322,9128	192,4110	1485,0847	8	2,10	255,5689	189,7957	1491,2513
9	2,80	189,1405	187,3195	1497,2668	10	2,80	123,5786	184,9899	1503,1311
11	3,50	58,8322	182,8115	1508,8442	12	3,50	-5,1519	152,5952	1514,4662
13	4,20	-58,5602	124,6685	1520,2883	14	4,20	-102,1942	98,9985	1525,9435
15	4,90	-136,8436	75,5271	1531,4319	16	4,90	-163,2781	54,1762	1536,7534
17	5,60	-182,2398	34,8524	1541,9081	18	5,60	-194,4381	17,4512	1546,8960
19	6,30	-200,5460	1,8610	1551,7170	20	6,30	-201,1974	-12,0333	1556,3712
21	7,00	-196,9857	-14,0009	1560,6970	22	7,00	-192,0854	-15,7343	1564,7471
23	7,70	-186,5784	-17,2509	1568,6461	24	7,70	-180,5406	-18,5680	1572,3939
25	8,40	-174,0418	-19,7022	1575,9905	26	8,40	-167,1460	-20,6696	1579,4359
27	9,10	-159,9117	-21,4855	1582,7301	28	9,10	-152,3917	-22,1648	1585,8732
29	9,80	-144,6341	-22,7214	1588,8651	30	9,80	-136,6816	-23,1686	1591,7058
31	10,50	-128,5726	-23,5191	1594,3953	32	10,50	-120,3409	-23,7847	1596,9336
33	11,20	-112,0163	-23,9764	1599,3208	34	11,20	-103,6245	-24,1047	1601,5568
35	11,90	-95,1879	-24,1791	1603,6416	36	11,90	-86,7252	-24,2083	1605,5752
37	12,60	-78,2523	-24,0858	1607,3871	38	12,60	-69,8223	-23,5042	1609,0382
39	13,30	-61,5958	-22,5621	1610,5224	40	13,30	-53,6991	-21,3467	1611,8398
41	14,00	-46,2278	-19,9338	1612,9904	42	14,00	-39,2509	-18,3888	1613,9741
43	14,70	-32,8149	-16,7673	1614,7910	44	14,70	-26,9463	-15,1157	1615,4410
45	15,40	-21,6558	-13,4723	1615,9242	46	15,40	-16,9405	-11,8677	1616,2406
47	16,10	-12,7868	-10,3261	1616,3901	48	16,10	-9,1727	-8,8656	1616,3728
49	16,80	-6,0697	-7,4992	1616,1886	50	16,80	-3,4450	-6,2356	1615,8376
51	17,50	-1,2626	-5,0799	1615,3198	52	17,50	0,5154	-4,0339	1614,6351
53	18,20	1,9273	-3,0970	1613,7836	54	18,20	3,0112	-2,2664	1612,7653
55	18,90	3,8045	-1,5381	1611,5801	56	18,90	4,3428	-0,9067	1610,2281
57	19,60	4,6602	-0,3662	1608,7092	58	19,60	4,7883	0,0901	1607,0235
59	20,30	4,7568	0,4688	1605,1710	60	20,30	4,5927	0,5132	1602,8044
61	21,00	4,4131	0,5483	1600,2882	62	21,00	4,2212	0,5750	1597,6223
63	21,70	4,0200	0,5942	1594,8067	64	21,70	3,8120	0,6066	1591,8414
65	22,40	3,5997	0,6132	1588,7264	66	22,40	3,3851	0,6145	1585,4617
67	23,10	3,1700	0,6113	1582,0473	68	23,10	2,9561	0,6042	1578,4832
69	23,80	2,7446	0,5939	1574,7694	70	23,80	2,5367	0,5809	1570,9059
71	24,50	2,3334	0,5657	1566,8927	72	24,50	2,1354	0,5487	1562,7297
73	25,20	1,9434	0,5305	1558,4171	74	25,20	1,7577	0,5114	1553,9548
75	25,90	1,5787	0,4918	1549,3428	76	25,90	1,4066	0,4720	1544,5811
77	26,60	1,2414	0,4522	1539,6697	78	26,60	1,0831	0,4328	1534,6085
79	27,30	0,9316	0,4140	1529,3977	80	27,30	0,7867	0,3959	1524,0372
81	28,00	0,6482	0,3787	1518,5270	82	28,00	0,5156	0,3625	1512,8671
83	28,70	0,3888	0,3475	1507,0574	84	28,70	0,2672	0,3337	1501,0981
85	29,40	0,1504	0,3212	1494,9891	86	29,40	0,0380	0,3100	1488,7304
87	30,10	-0,0705	0,3001	1482,3219	88	30,10	-0,1756	0,1987	1475,7048
89	30,80	-0,2451	0,1123	1468,8471	90	30,80	-0,2844	0,0403	1461,8225
91	31,50	-0,2985	-0,0180	1454,6311	92	31,50	-0,2923	-0,0632	1447,2729
93	32,20	-0,2701	-0,0962	1439,7478	94	32,20	-0,2364	-0,1175	1432,0559
95	32,90	-0,1953	-0,1277	1424,1972	96	32,90	-0,1506	-0,1273	1416,1716
97	33,60	-0,1060	-0,1166	1407,9791	98	33,60	-0,0652	-0,0959	1399,6199
99	34,30	-0,0316	-0,0654	1391,0938	100	34,30	-0,0088	-0,0250	1382,4008
101	35,00	0,0000	-0,0250	1373,5410	102				

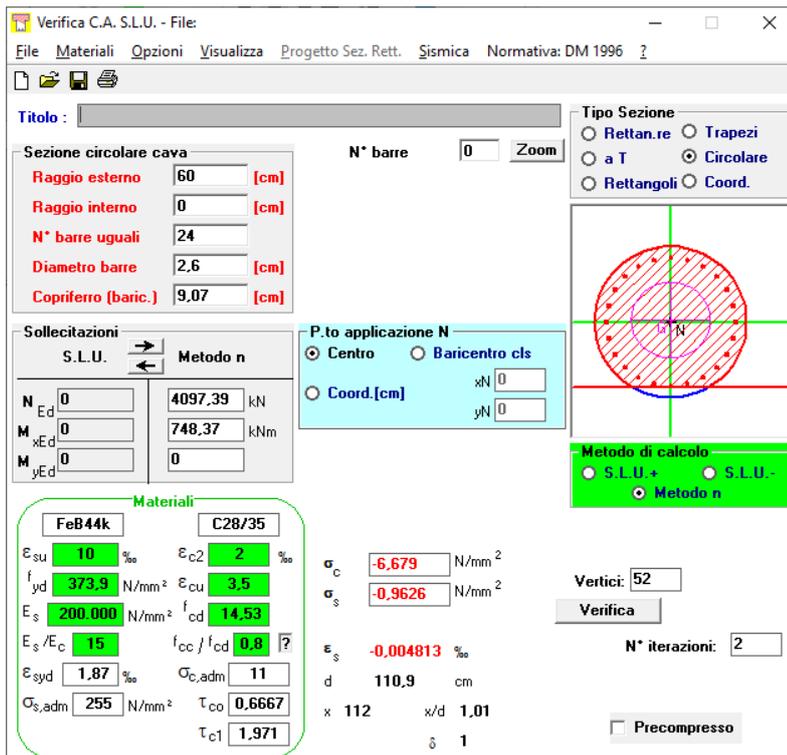
<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 82 di 136

### 8.6.9 Verifiche a fessurazione

#### Prima gabbia – Condizione $N_{max}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 4.097,39$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 748,37$  kNm.



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays the following data:

- Sezione circolare cava:**
  - Raggio esterno: 60 [cm]
  - Raggio interno: 0 [cm]
  - N° barre uguali: 24
  - Diametro barre: 2,6 [cm]
  - Copriferro (baric.): 9,07 [cm]
- Sollecitazioni:**
  - $N_{Ed}$ : 0
  - $M_{xEd}$ : 0
  - $M_{yEd}$ : 0
  - Calculated  $N$ : 4097,39 kN
  - Calculated  $M$ : 748,37 kNm
- Materiali:**
  - FeB44k:  $\epsilon_{su}$  10 ‰,  $f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>,  $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>,  $E_s/E_c$  15,  $\epsilon_{syd}$  1,87 ‰,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>
  - C28/35:  $\epsilon_{c2}$  2 ‰,  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰,  $f_{cd}$  14,53 N/mm<sup>2</sup>,  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8,  $\sigma_{c,adm}$  11 N/mm<sup>2</sup>,  $\tau_{co}$  0,6667,  $\tau_{cl}$  1,971
- Stress Results:**
  - $\sigma_c$ : -6,679 N/mm<sup>2</sup>
  - $\sigma_s$ : -0,9626 N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_s$ : -0,004813 ‰
- Other Parameters:**
  - Vertici: 52
  - N° iterazioni: 2
  - Precompresso:

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 6,67$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = -$  N/mm<sup>2</sup> (sezione interamente compressa)

APPALTATORE



DIREZIONE LAVORI



RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
83 di 136

### Prima gabbia – Condizione $N_{min}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 1.444,91$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 748,37$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]

Raggio interno 0 [cm]

N° barre uguali 24

Diametro barre 2,6 [cm]

Copriferro (baric.) 9,07 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 1444,91 kN

M<sub>xEd</sub> 0 748,37 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Materiali

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$  10 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰

$E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14,53

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8

$\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6667

$\tau_{c1}$  1,971

$\sigma_c$  -5,946 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  74,48 N/mm<sup>2</sup>

Vertici: 52

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

$\epsilon_s$  0,3724 ‰

d 110,9 cm

x 60,45 x/d 0,545

$\delta$  1

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 5,94$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 74,48$  N/mm<sup>2</sup>

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 84 di 136

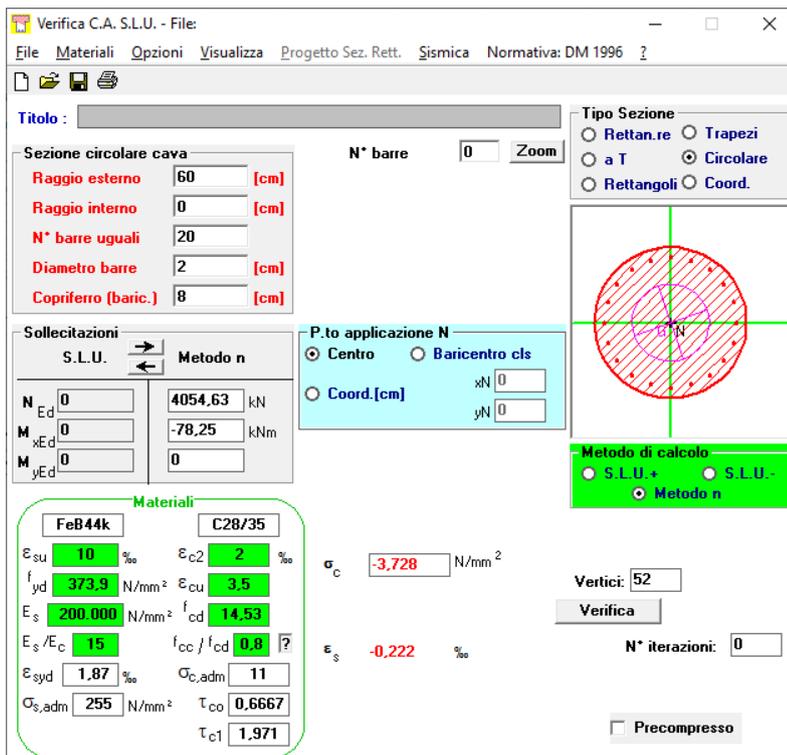
$\sigma_s$	74,48 N/mm <sup>2</sup>	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R <sub>ck</sub>	35,0 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica cls
$\phi_l$	26 mm	Diametro barre longitudinali
$\phi_s$	10 mm	Diametro staffe o spirale
n	24	Numero ferri longitudinali
c	60 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	1200 mm	Diametro
k <sub>t</sub>	0,4	kt=0,6 ; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k <sub>2</sub>	0,5	k2=0,5 ; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k <sub>1</sub>	0,8	k1=0,8 ; 1,6 barre aderenza migliorata/lisce
w	0,15 mm	Valore limite apertura fessure
<b>Dati</b>		
f <sub>ck</sub>	29,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	135 mm	Interasse ferri longitudinali
A <sub>φ</sub>	531 mm <sup>2</sup>	Area barra longitudinale
E <sub>s</sub>	210000,0 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico acciaio da c.a
f <sub>ctm</sub>	2,8 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a trazione media cls
E <sub>cm</sub>	32588,1 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico medio cls
α <sub>e</sub>	6,44	Rapporto Es/Ecm
f <sub>cm</sub>	37,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media cls
ρ <sub>eff</sub>	0,0269	Rapporto area acciaio/area efficace
ε <sub>sm1</sub>	0,000119	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ε <sub>sm2</sub>	0,000213	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ε <sub>sm</sub>	0,000213	Deformazione unitaria media
k <sub>3</sub>	3,4	Coefficiente
k <sub>4</sub>	0,4	Coefficiente
Δs <sub>max</sub>	368,5 mm	Distanza massima tra le fessure
w <sub>d</sub>	✓ 0,078 mm	Valore di calcolo apertura fessure

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 85 di 136

### Seconda gabbia – Condizione $N_{max}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 4.054,63$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -78,25$  kNm.



Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]

Raggio interno 0 [cm]

N\* barre uguali 20

Diametro barre 2 [cm]

Copriferro (baric.) 8 [cm]

N\* barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 4054,63 kN

M<sub>xEd</sub> 0 -78,25 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Materiali

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$  10 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰

$E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14,53

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8

$\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6667

$\tau_{c1}$  1,971

$\sigma_c$  -3,728 N/mm<sup>2</sup>

Vertici: 52

Verifica

N\* iterazioni: 0

Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 3,72$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = -$  N/mm<sup>2</sup> (sezione interamente compressa)

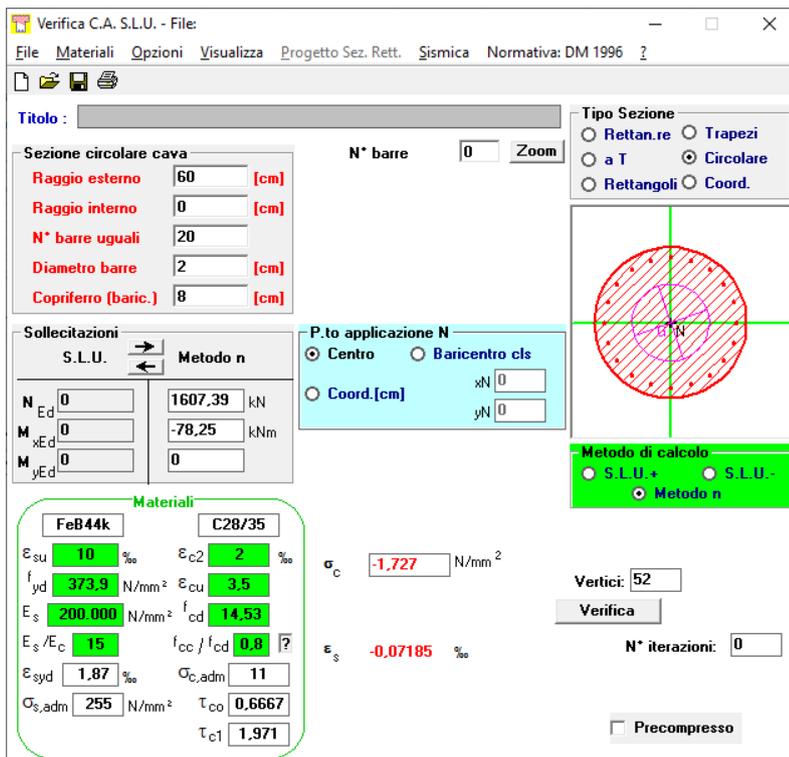
La verifica a fessurazione risulta implicitamente soddisfatta.

<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 30%;">Foglio 86 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 86 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 86 di 136		

**Seconda gabbia – Condizione  $N_{min}$**

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 1.607,39 \text{ kN}$ .

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -78,25 \text{ kNm}$ .



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays the following data:

- Sezione circolare cava:**
  - Raggio esterno: 60 [cm]
  - Raggio interno: 0 [cm]
  - N° barre uguali: 20
  - Diametro barre: 2 [cm]
  - Copriferro (baric.): 8 [cm]
- Sollecitazioni:**
  - $N_{Ed}$ : 0
  - $M_{xEd}$ : 0
  - $M_{yEd}$ : 0
  - Calculated  $N$ : 1607,39 kN
  - Calculated  $M$ : -78,25 kNm
- Materiali:**
  - FeB44k:  $\epsilon_{su} = 10$  ‰,  $f_{yd} = 373,9 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_{s}/E_c = 15$  ‰,  $\epsilon_{syd} = 1,87$  ‰,  $\sigma_{s,adm} = 255 \text{ N/mm}^2$
  - C28/35:  $\epsilon_{c2} = 2$  ‰,  $\epsilon_{cu} = 3,5$  ‰,  $f_{cd} = 14,53$  ‰,  $\sigma_{c,adm} = 11$  ‰,  $\tau_{co} = 0,6667$ ,  $\tau_{c1} = 1,971$
- Calcolo:**
  - $\sigma_c = -1,727 \text{ N/mm}^2$
  - $\epsilon_s = -0,07185$  ‰
  - Verticali: 52
  - N° iterazioni: 0
  - Precompresso:

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 1,72 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = - \text{N/mm}^2$  (sezione interamente compressa)

La verifica a fessurazione risulta implicitamente soddisfatta.

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 87 di 136

## 9 PILE 45 E 46 – VERIFICHE STRUTTURALI

### 9.1 Richiami teorici

#### 9.1.1 Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il carico ammissibile del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, il carico ammissibile del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- $Q_T$  Portanza totale del palo;
- $Q_P$  Portanza di base del palo;
- $Q_L$  Portanza per attrito laterale del palo;
- $W_P$  Peso proprio del palo.

Le due componenti  $Q_P$  e  $Q_L$  sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente  $\eta_p$  e  $\eta_l$ .

I coefficienti  $\eta_p$  e  $\eta_l$  rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P / \eta_p + Q_L / \eta_l - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L / \eta_l + W_P$$

#### Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove  $A_P$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q_b$  è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti  $N_c$  e  $N_q$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

$N_c$  ed  $N_q$  dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ( $\phi$  e  $c$ ).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di  $N_c$  ed  $N_q$ .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ( $\phi=0$ ,  $c=c_u$ ) si assume in genere per  $N_c$  il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre  $N_q=1$ . Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore  $N_c$  ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore  $N_q$  per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare, da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare, si assume che la pressione verticale  $\sigma_v$  cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità  $z_c$  ( $\sigma_v = \sigma_c$ ); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a  $\sigma_c$ : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di  $z_c$  (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo,  $D$ , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno  $\phi$ .

Nella determinazione di  $z_c$  il valore di  $\phi$  da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo,  $\phi'$ , secondo le seguenti relazioni:

Per pali infissi  $\phi = 3/4 \phi' + 10$

Per pali trivellati  $\phi = \phi' - 3$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa  $D_r$ ) e la resistenza alla punta cresce con il crescere

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 88 di 136

della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di  $N_c$  ed  $N_q$ .

### Capacità portante per attrito laterale

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \text{Int}(\tau_a) dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \text{tg } \delta$$

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno, e  $\sigma_h$  è la tensione orizzontale alla generica profondità  $z$ . La tensione orizzontale  $\sigma_h$  è legata alla pressione verticale  $\sigma_v$  tramite il coefficiente di spinta  $K_s$

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con  $C$  il perimetro e con  $L$  la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L (C(c_a + K_s \sigma_v \text{tg } \delta) dz)$$

## 9.2 Dati

### 9.2.1 Geometria della fondazione

*Simbologia adottata*

<i>Descr</i>	Descrizione del palo
<i>Frm</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	[m]	[m]	[m]
PALO	(C)	0,00	0,00	120,00	37,00

### 9.2.2 Materiali palo

*Calcestruzzo*

Tipo	C28/35	
Resistenza caratteristica a compressione $R_{bk}$	35000	[kPa]
Peso specifico	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico	33348040	[kPa]
Coeff. di omogeneizzazione	15,00	

*Acciaio*

Tipo	FeB44K	
Tensione caratteristica di snervamento	431499	[kPa]

### 9.2.3 Caratteristiche pali

Pali in c.a.

Armatura con ferri longitudinali e spirale

Vincolo in testa di tipo INCASTRO

Tipo di palo TRIVELLATO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 89 di 136

## 9.2.4 Descrizione terreni e falda

### Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_{sat}$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
$\delta$	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
$c$	Coesione del terreno espressa in [kPa]
$ca$	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descrizione	$\gamma$ [kN/mc]	$\gamma_{sat}$ [kN/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	$c$ [kPa]	$ca$ [kPa]
Terreno 1	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 2	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 3	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 4	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 5	19,000	20,000	25,00	25,00	10,0	10,0
Terreno 6	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 7	20,000	21,000	25,00	25,00	15,0	15,0
Rilevato	20,000	20,000	35,00	0,00	0,0	0,0

### Falda

Profondità dal piano di posa 3,00 [m]

## 9.2.5 Descrizione stratigrafia

### Simbologia adottata

$N$	Identificativo strato
$Z1$	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
$Z2$	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
$Z3$	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno dello strato
$Kw$	Costante di Winkler espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
$Ks$	Coefficiente di spinta
$\alpha$	Coefficiente di espansione laterale

n°	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	Kw [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	Ks	$\alpha$
1	-3,0	-3,0	-3,0	Rilevato	0.27	0.43	1.00
2	-11,4	-11,4	-11,4	Terreno 1	0.27	0.56	1.00
3	-14,4	-14,4	-14,4	Terreno 2	3.88	0.40	1.00
4	-19,9	-19,9	-19,9	Terreno 3	0.62	0.56	1.00
5	-27,9	-27,9	-27,9	Terreno 4	9.50	0.40	1.00
6	-37,9	-37,9	-37,9	Terreno 5	1.37	0.58	1.00
7	-43,9	-43,9	-43,9	Terreno 6	16.17	0.40	1.00
8	-45,0	-45,0	-45,0	Terreno 7	1.62	0.58	1.00

## 9.2.6 Normativa

### Calcolo e verifiche secondo :

- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

### **PALI DI FONDAZIONE**

CARICHI VERTICALI. Coefficienti di sicurezza.

Portanza alla punta 2,50

Portanza per attrito laterale 2,50

<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 25%;">Lotto 00</td> <td style="width: 25%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 25%;">Rev. C</td> <td style="width: 20%;">Foglio 90 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 90 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 90 di 136		

## 9.2.7 Condizioni di carico

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.  
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.  
Momento positivo senso antiorario.

$fnd$  Indice della fondazione  
 $N_{TOT}$  Sforzo normale totale espressa in [kN]  
 $M_{TOT}$  Momento in direzione Y espresso in [kNm]  
 $T_{TOT}$  Forza di taglio espressa in [kN]

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 -  $N_{max}$

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{TOT}$	$T_{TOT}$
	[kN]	[kNm]	[kN]
PALO	4772,090	0,000	408,590

Condizione n° 2 - Condizione n° 2 -  $N_{min}$

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{TOT}$	$T_{TOT}$
	[kN]	[kNm]	[kN]
PALO	906,660	0,000	408,590

Condizione n° 3 - Condizione n° 3 -  $N_{max}$  (fessurazione)

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{TOT}$	$T_{TOT}$
	[kN]	[kNm]	[kN]
PALO	3894,320	0,000	292,600

Condizione n° 4 - Condizione n° 4 -  $N_{min}$  (fessurazione)

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{TOT}$	$T_{TOT}$
	[kN]	[kNm]	[kN]
PALO	1061,130	0,000	292,600

## 9.2.8 Descrizione combinazioni di carico

*Simbologia adottata*

$C$  Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 1	1.00

Combinazione n° 2 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 2	1.00

Combinazione n° 3 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 3	1.00

Combinazione n° 4 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 4	1.00



### 9.3 Verifica dei pali di fondazione

#### 9.3.1 Sezioni ed armatura di verifica.

##### Sezione 1-1 (quota 0,00 = quota di getto utile)

La sezione di verifica è circolare con diametro pari a 120 cm.

L'armatura verticale (armatura di forza) è prevista come segue:

- 20Ø30 disposti a raggiera (Pos. 1A)
- 20Ø30 disposti a raggiera (Pos. 1B)

L'armatura a taglio è costituita da una spirale Ø10/10.

##### Sezione 2-2 (quota -12,65 rispetto alla quota di getto utile)

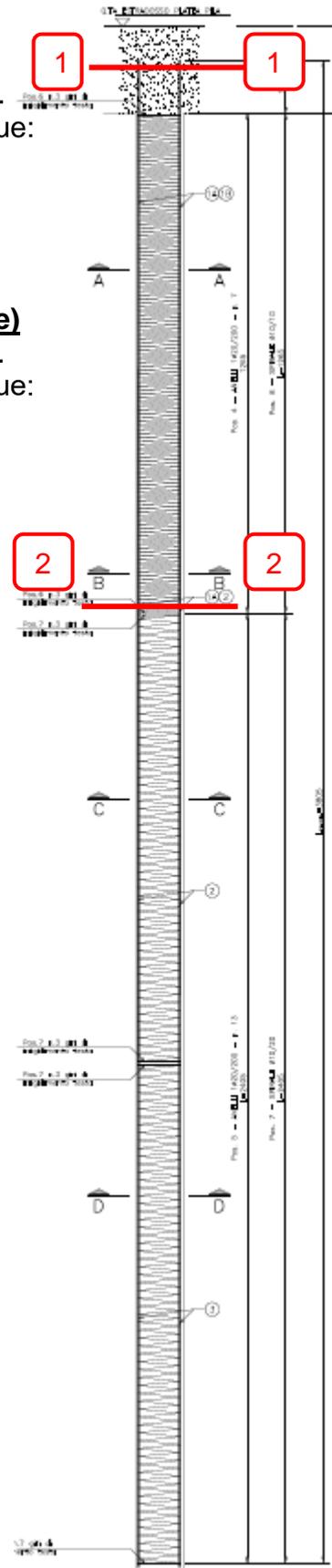
La sezione di verifica è circolare con diametro pari a 120 cm.

L'armatura verticale (armatura di forza) è prevista come segue:

- 20Ø20 disposti a raggiera

L'armatura a taglio è costituita da una spirale Ø10/20.

L'armatura è stata definita in relazione alle dime di montaggio delle barre previste in cantiere.

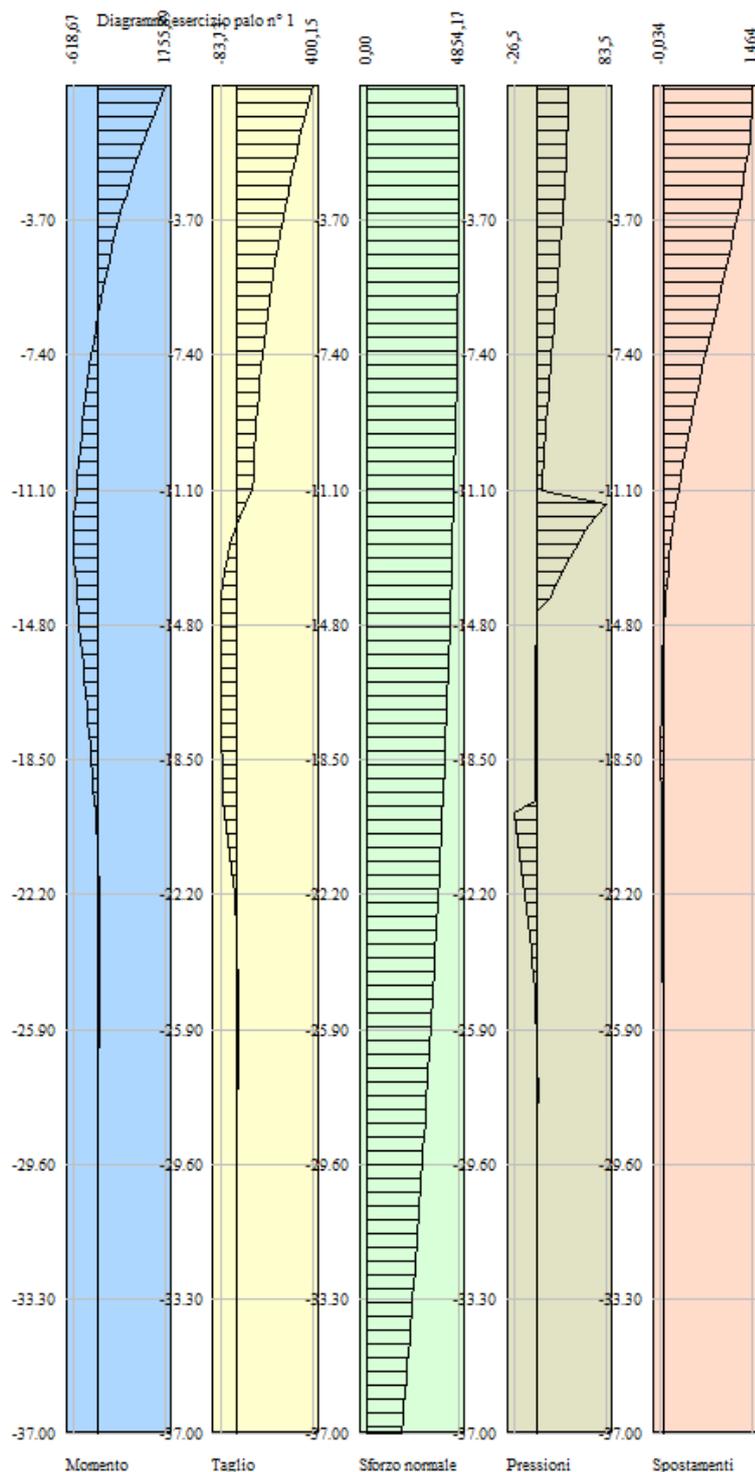




### 9.3.2 Verifiche di resistenza - Diagrammi delle azioni sollecitanti

Di seguito sono riportati i diagrammi delle azioni sollecitanti lungo il palo, desunte dal programma di calcolo:

Condizione n° 1 -  $N_{max}$



APPALTATORE



**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



**ITALFERR**

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00

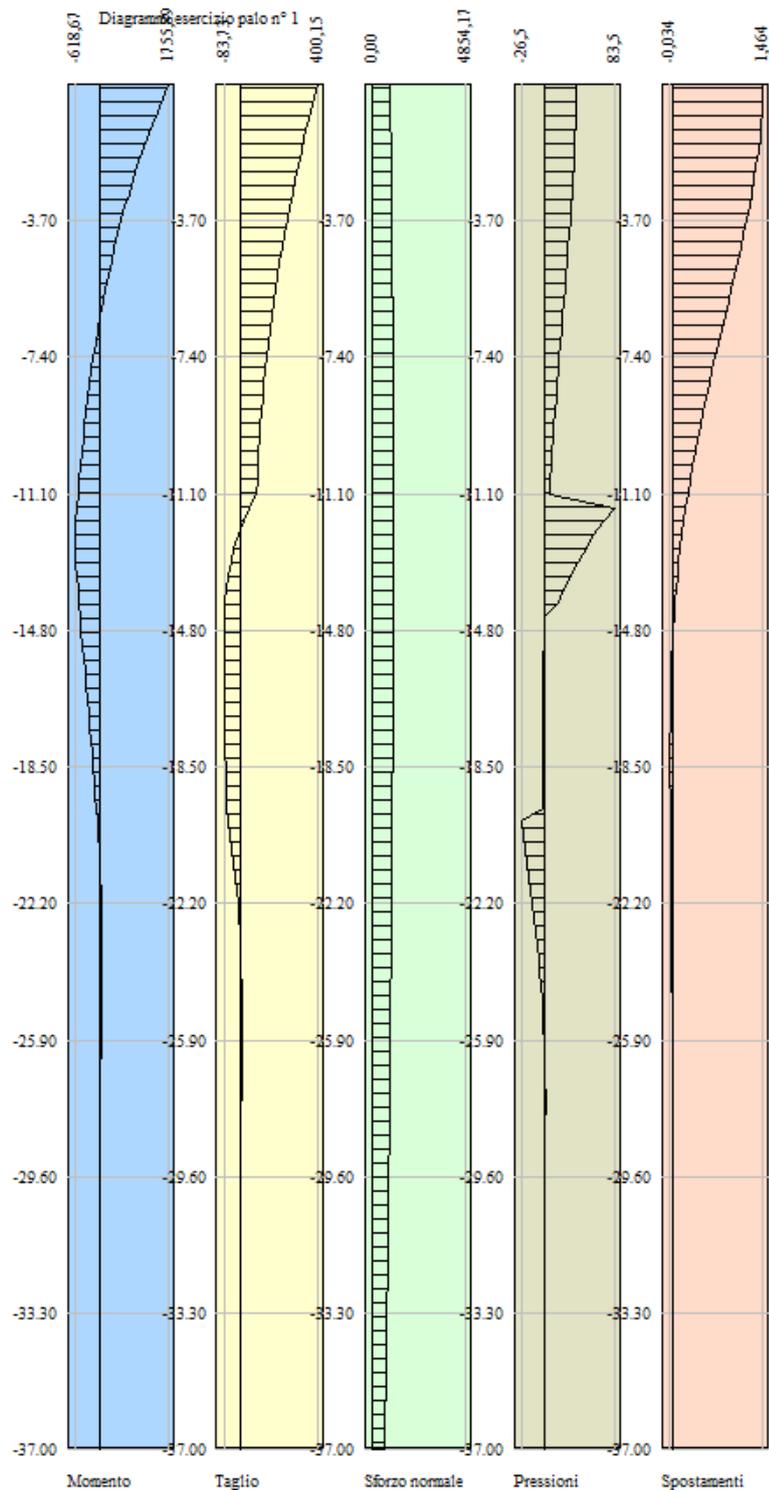
Lotto  
00

Codifica Documento  
CLVI2100001

Rev.  
C

Foglio  
93 di 136

Condizione n° 2 - N<sub>min</sub>



<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento CLV12100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 20%;">Foglio 94 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 94 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 94 di 136		

### 9.3.3 Verifiche di resistenza - Riepilogo delle azioni sollecitanti lungo il palo

#### Simbologia adottata

Nr.	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
N	sforzio normale espresso in [kN]
T	taglio espresso in [kN]
M	momento espresso in [kNm]

#### Combinazione n° 1 - N<sub>max</sub>

n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]	n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]
1	0,00	1755,8875	400,1451	4772,0900	2	0,00	1607,8338	383,2951	4782,3494
3	0,74	1466,0146	366,5597	4792,6088	4	0,74	1330,3875	350,0071	4802,8682
5	1,48	1200,8849	333,6994	4813,1276	6	1,48	1077,4161	317,6924	4823,3870
7	2,22	959,8699	302,0363	4833,6464	8	2,22	848,1165	286,7758	4843,9058
9	2,96	742,0095	271,9505	4854,1651	10	2,96	641,3878	257,5950	4848,8336
11	3,70	546,0776	243,7390	4841,1011	12	3,70	455,8942	230,4081	4832,8281
13	4,44	370,6432	217,6235	4824,0146	14	4,44	290,1225	205,4026	4814,6607
15	5,18	214,1235	193,7588	4804,7664	16	5,18	142,4328	182,7021	4794,3316
17	5,92	74,8330	172,2392	4783,3563	18	5,92	11,1045	162,3737	4771,8406
19	6,66	-48,9738	153,1060	4759,7845	20	6,66	-105,6230	144,4339	4747,1879
21	7,40	-159,0635	136,3525	4734,0509	22	7,40	-209,5140	128,8545	4720,3734
23	8,14	-257,1902	121,9301	4706,1555	24	8,14	-302,3043	115,5673	4691,3971
25	8,88	-345,0642	109,7522	4676,0982	26	8,88	-385,6725	104,4686	4660,2590
27	9,62	-424,3259	99,6986	4643,8793	28	9,62	-461,2144	95,4226	4626,9591
29	10,36	-496,5207	91,6190	4609,4985	30	10,36	-530,4197	88,2647	4591,4974
31	11,10	-563,0777	85,3352	4572,9559	32	11,10	-594,6517	82,2765	4553,8424
33	11,84	-612,5140	16,6487	4534,0197	34	11,84	-618,6740	-9,9643	4513,6007
35	12,58	-614,9872	-31,9829	4492,5852	36	12,58	-603,1536	-49,8253	4470,9732
37	13,32	-584,7182	-63,9016	4448,7649	38	13,32	-561,0746	-74,6096	4425,9601
39	14,06	-533,4691	-82,3313	4402,5589	40	14,06	-503,0065	-83,1460	4378,6114
41	14,80	-472,2425	-83,5962	4354,6654	42	14,80	-441,3119	-83,7335	4330,1789
43	15,54	-410,3305	-83,6058	4305,1521	44	15,54	-379,3963	-83,2579	4279,5847
45	16,28	-348,5909	-82,7309	4253,4769	46	16,28	-317,9805	-82,0630	4226,8287
47	17,02	-287,6171	-81,2887	4199,6401	48	17,02	-257,5403	-80,4393	4171,9109
49	17,76	-227,7778	-79,5429	4143,6414	50	17,76	-198,3469	-78,6243	4114,8313
51	18,50	-169,2559	-77,7051	4085,4809	52	18,50	-140,5050	-76,8037	4055,5900
53	19,24	-112,0877	-75,9354	4025,1586	54	19,24	-83,9915	-75,1125	3994,1868
55	19,98	-56,1999	-63,3381	3962,3602	56	19,98	-32,7648	-52,4936	3928,8197
57	20,72	-13,3422	-42,6347	3894,6828	58	20,72	2,4326	-33,7848	3859,9495
59	21,46	14,9330	-25,9406	3824,6197	60	21,46	24,5310	-19,0781	3788,6935
61	22,20	31,5899	-13,1571	3752,1709	62	22,20	36,4581	-8,1255	3715,0518
63	22,94	39,4645	-3,9229	3677,3364	64	22,94	40,9160	-0,4840	3639,0244
65	23,68	41,0950	2,2592	3600,1161	66	23,68	40,2591	4,3749	3560,6113
67	24,42	38,6404	5,9301	3520,5101	68	24,42	36,4463	6,9890	3479,8125
69	25,16	33,8603	7,6124	3438,5185	70	25,16	31,0437	7,8567	3396,6280
71	25,90	28,1367	7,7737	3354,1411	72	25,90	25,2605	7,4103	3311,0577
73	26,64	22,5187	6,8086	3267,3780	74	26,64	19,9995	6,0064	3223,1018
75	27,38	17,7771	5,0371	3178,2291	76	27,38	15,9134	3,9303	3132,7601
77	28,12	14,4592	3,7547	3087,0227	78	28,12	13,0699	3,5667	3040,9614
79	28,86	11,7502	3,3693	2994,3650	80	28,86	10,5036	3,1654	2947,2334
81	29,60	9,3324	2,9575	2899,5667	82	29,60	8,2381	2,7479	2851,3648
83	30,34	7,2214	2,5386	2802,6277	84	30,34	6,2821	2,3312	2753,3555
85	31,08	5,4196	2,1274	2703,5481	86	31,08	4,6325	1,9283	2653,2056
87	31,82	3,9190	1,7352	2602,3279	88	31,82	3,2769	1,5490	2550,9150
89	32,56	2,7038	1,3705	2498,9670	90	32,56	2,1967	1,2002	2446,4838
91	33,30	1,7527	1,0389	2393,4654	92	33,30	1,3683	0,8868	2339,9119
93	34,04	1,0402	0,7443	2285,8232	94	34,04	0,7648	0,6117	2231,1994
95	34,78	0,5384	0,4891	2176,0404	96	34,78	0,3574	0,3768	2120,3463
97	35,52	0,2180	0,2747	2064,1169	98	35,52	0,1164	0,1829	2007,3525
99	36,26	0,0488	0,1014	1950,0528	100	36,26	0,0112	0,0304	1892,2180
101	37,00	0,0000	0,0304	1833,8481	102				

<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento CLV12100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 20%;">Foglio 95 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 95 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 95 di 136		

Combinazione n° 2 - N<sub>min</sub>

n°	Y	M	T	N	n°	Y	M	T	N
	[m]	[kNm]	[kN]	[kN]		[m]	[kNm]	[kN]	[kN]
<b>1</b>	<b>0,00</b>	<b>1718,7105</b>	<b>399,9054</b>	<b>906,6600</b>	2	0,00	1570,7455	382,5782	916,9194
3	0,74	1429,1915	365,3720	927,1788	4	0,74	1294,0039	348,3586	937,4382
5	1,48	1165,1112	331,6031	947,6976	6	1,48	1042,4181	315,1643	957,9570
7	2,22	925,8073	299,0944	968,2164	8	2,22	815,1424	283,4402	978,4758
9	2,96	710,2695	268,2425	988,7351	10	2,96	611,0198	253,5373	993,7978
11	3,70	517,2110	239,3552	998,0601	12	3,70	428,6496	225,7222	1002,1423
13	4,44	345,1324	212,6600	1006,0443	14	4,44	266,4481	200,1860	1009,7662
15	5,18	192,3793	188,3135	1013,3079	16	5,18	122,7033	177,0524	1016,6695
17	5,92	57,1939	166,4087	1019,8510	18	5,92	-4,3773	156,3855	1022,8523
19	6,66	-62,2399	146,9824	1025,6735	20	6,66	-116,6234	138,1964	1028,3145
21	7,40	-167,7561	130,0218	1030,7754	22	7,40	-215,8641	122,4500	1033,0562
23	8,14	-261,1706	115,4702	1035,1568	24	8,14	-303,8946	109,0694	1037,0773
25	8,88	-344,2503	103,2323	1038,8176	26	8,88	-382,4462	97,9415	1040,3778
27	9,62	-418,6846	93,1780	1041,7578	28	9,62	-453,1605	88,9206	1042,9577
29	10,36	-486,0611	85,1466	1043,9775	30	10,36	-517,5653	81,8316	1044,8171
31	11,10	-547,8430	78,9495	1045,4766	32	11,10	-577,0543	42,6880	1045,9454
33	11,84	-592,8489	11,9397	1046,1778	34	11,84	-597,2665	-13,7304	1046,2115
<b>35</b>	<b>12,58</b>	<b>-592,1863</b>	<b>-34,7606</b>	<b>1046,0463</b>	36	12,58	-579,3249	-51,5857	1045,6824
37	13,32	-560,2382	-64,6315	1045,1196	38	13,32	-536,3245	-74,3096	1044,3581
39	14,06	-508,8299	-81,0143	1043,3977	40	14,06	-478,8547	-81,6703	1042,2552
41	14,80	-448,6367	-81,9673	1041,1133	42	14,80	-418,3088	-81,9580	1039,7912
43	15,54	-387,9843	-81,6916	1038,2890	44	15,54	-357,7584	-81,2138	1036,6066
45	16,28	-327,7093	-80,5666	1034,7441	46	16,28	-297,8996	-79,7886	1032,7014
47	17,02	-268,3778	-78,9148	1030,4786	48	17,02	-239,1793	-77,9768	1028,0757
49	17,76	-210,3279	-77,0026	1025,4926	50	17,76	-181,8370	-76,0172	1022,7294
51	18,50	-153,7106	-75,0418	1019,7860	52	18,50	-125,9452	-74,0945	1016,6625
53	19,24	-98,5302	-73,1901	1013,3589	54	19,24	-71,4499	-72,3403	1009,8751
55	19,98	-44,6839	-60,2836	1006,1064	56	19,98	-22,3790	-49,2733	1001,7664
57	20,72	-4,1479	-39,3509	997,2276	58	20,72	10,4119	-30,5251	992,4900
59	21,46	21,7062	-22,7781	987,5536	60	21,46	30,1341	-16,0715	982,4184
61	22,20	36,0806	-10,3519	977,0845	62	22,20	39,9108	-5,5548	971,5517
63	22,94	41,9661	-1,6090	965,8201	64	22,94	42,5614	1,5609	959,8897
65	23,68	41,9839	4,0311	953,7605	66	23,68	40,4923	5,8771	947,4325
67	24,42	38,3178	7,1715	940,9057	68	24,42	35,6644	7,9833	934,1801
69	25,16	32,7106	8,3767	927,2557	70	25,16	29,6112	8,4105	920,1325
71	25,90	26,4993	8,1381	912,8105	72	25,90	23,4882	7,6074	905,2896
73	26,64	20,6735	6,8606	897,5700	74	26,64	18,1350	5,9352	889,6516
75	27,38	15,9390	4,8638	881,5344	76	27,38	14,1394	3,6754	873,2184
77	28,12	12,7795	3,4908	864,8129	78	28,12	11,4879	3,2964	856,2995
79	28,86	10,2682	3,0951	847,6078	80	28,86	9,1230	2,8896	838,7376
81	29,60	8,0539	2,6822	829,6890	82	29,60	7,0615	2,4752	820,4621
83	30,34	6,1457	2,2702	811,0568	84	30,34	5,3057	2,0689	801,4731
85	31,08	4,5402	1,8727	791,7110	86	31,08	3,8473	1,6828	781,7706
87	31,82	3,2246	1,5002	771,6518	88	31,82	2,6696	1,3257	761,3546
89	32,56	2,1791	1,1599	750,8790	90	32,56	1,7499	1,0036	740,2250
91	33,30	1,3786	0,8571	729,3927	92	33,30	1,0614	0,7208	718,3819
93	34,04	0,7947	0,5950	707,1928	94	34,04	0,5746	0,4798	695,8253
95	34,78	0,3971	0,3755	684,2795	96	34,78	0,2581	0,2821	672,5552
97	35,52	0,1537	0,1998	660,6526	98	35,52	0,0798	0,1285	648,5716
99	36,26	0,0323	0,0682	636,3122	100	36,26	0,0070	0,0190	623,8744
101	37,00	0,0000	0,0190	611,2583	102				

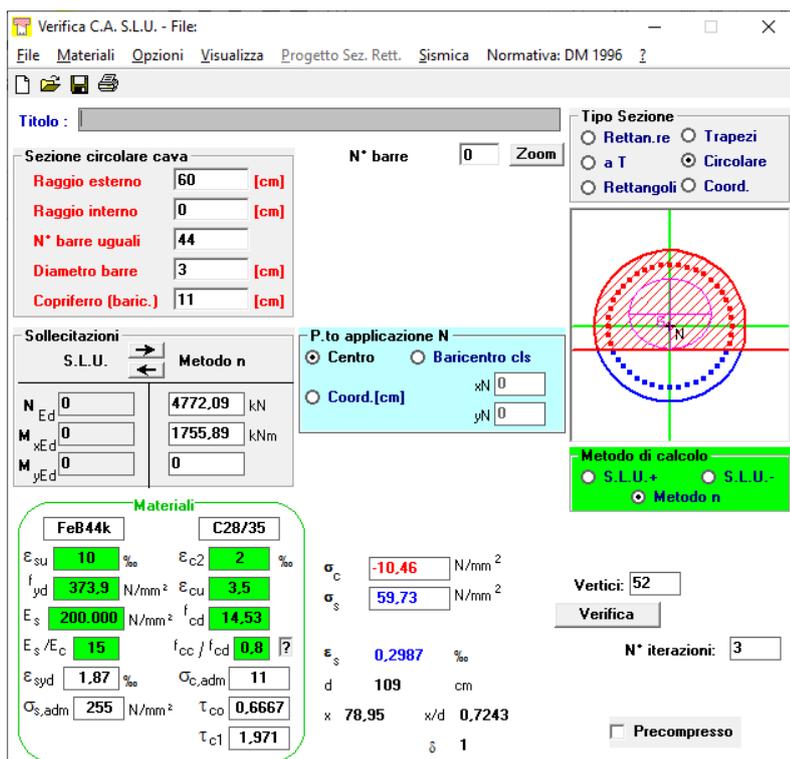
<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 96 di 136

### 9.3.4 Verifiche a pressoflessione

#### Prima gabbia – Condizione $N_{max}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 4.772,09$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 1.755,89$  kNm.



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key parameters and results are as follows:

- Sezione circolare cava:**
  - Raggio esterno: 60 [cm]
  - Raggio interno: 0 [cm]
  - N° barre uguali: 44
  - Diametro barre: 3 [cm]
  - Copriferro (baric.): 11 [cm]
- Sollecitazioni (S.L.U. Metodo n):**
  - $N_{Ed}$ : 0
  - $M_{xEd}$ : 0
  - $M_{yEd}$ : 0
  - Calculated  $N$ : 4772,09 kN
  - Calculated  $M$ : 1755,89 kNm
- Materiali:**
  - FeB44k:  $E_{su} = 10$  ‰,  $f_{yd} = 373,9$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_s = 200.000$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_s/E_c = 15$ ,  $\epsilon_{syd} = 1,87$  ‰,  $\sigma_{s,adm} = 255$  N/mm<sup>2</sup>
  - C28/35:  $\epsilon_{c2} = 2$  ‰,  $\epsilon_{cu} = 3,5$ ,  $f_{cd} = 14,53$ ,  $\sigma_{c,adm} = 11$
- Stress Results:**
  - $\sigma_c = -10,46$  N/mm<sup>2</sup>
  - $\sigma_s = 59,73$  N/mm<sup>2</sup>
- Other Parameters:**
  - Vertici: 52
  - N° iterazioni: 3
  - Precompresso:

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 10,46$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 59,73$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm<sup>2</sup>

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE



**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
97 di 136

### Prima gabbia – Condizione $N_{min}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 906,66$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 1.718,71$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]

Raggio interno 0 [cm]

N° barre uguali 44

Diametro barre 3 [cm]

Coprifero (baric.) 11 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 906,66 kN

M<sub>xEd</sub> 0 1718,71 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Materiali

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$  10 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰

$E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14,53

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8

$\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6667

$\tau_{c1}$  1,971

$\sigma_c$  -9,303 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  162,9 N/mm<sup>2</sup>

Vertici: 52

Verifica

N° iterazioni: 3

Precompresso

$\epsilon_s$  0,8147 ‰

d 109 cm

x 50,29 x/d 0,4613

$\delta$  1

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 9,30$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 162,90$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm<sup>2</sup>

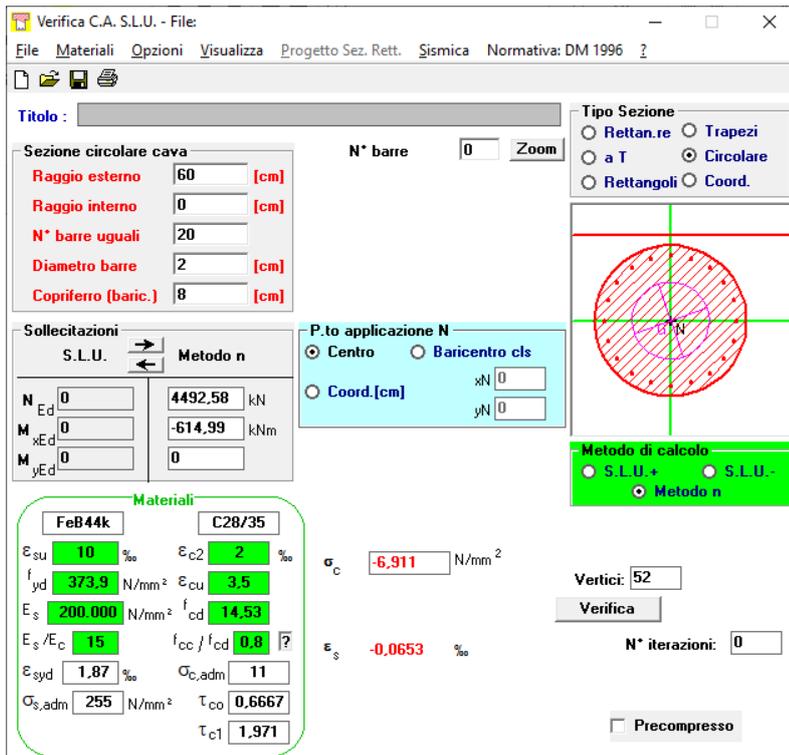
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 25%;">Foglio 98 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 98 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 98 di 136		

**Seconda gabbia – Condizione  $N_{max}$**

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 4.492,58 \text{ kN}$ .

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -614,99 \text{ kNm}$ .



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Sezione circolare cava:** Raggio esterno: 60 [cm], Raggio interno: 0 [cm], N° barre uguali: 20, Diametro barre: 2 [cm], Coprifero (baric.): 8 [cm].
- Sollecitazioni:** Metodo n,  $N_{Ed} = 4492,58 \text{ kN}$ ,  $M_{xEd} = -614,99 \text{ kNm}$ ,  $M_{yEd} = 0$ .
- Materiali:** FeB44k and C28/35. Properties include  $\epsilon_{su} = 10\%$ ,  $f_{yd} = 373,9 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_{s}/E_c = 15$ ,  $\sigma_{c,adm} = 11$ , and  $\tau_{c1} = 1,971$ .
- Calcolo Results:**  $\sigma_c = -6,911 \text{ N/mm}^2$ ,  $\epsilon_s = -0,0653\%$ .
- Other parameters:** Vertici: 52, N° iterazioni: 0, Precompresso: .

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 6,91 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c,amm} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = - \text{N/mm}^2$  (sezione interamente compressa)

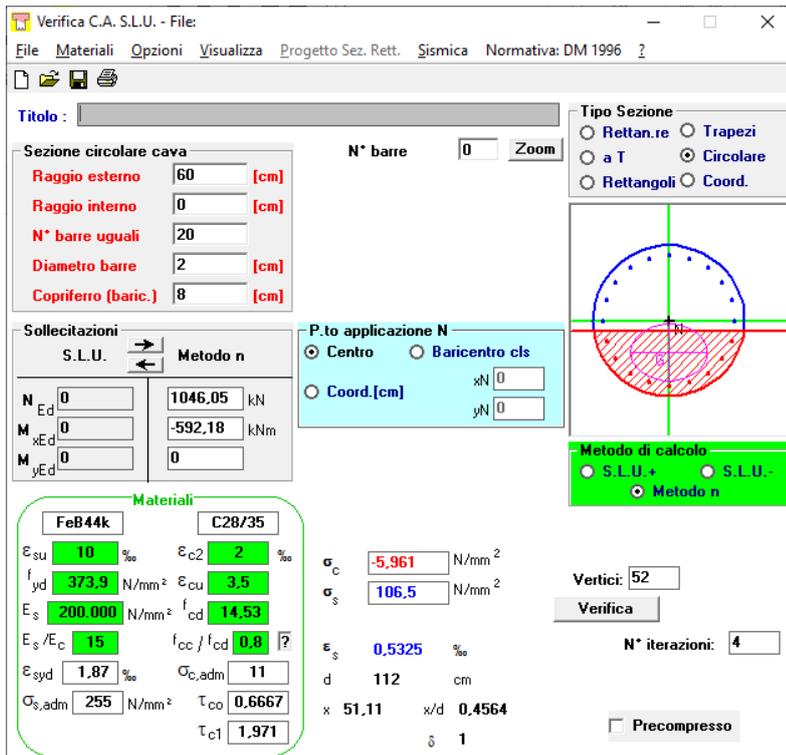
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 99 di 136

### Seconda gabbia – Condizione $N_{min}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 1.046,05$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -592,18$  kN.



**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 20  
 Diametro barre: 2 [cm]  
 Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$ : 0  $1046,05$  kN  
 $M_{xEd}$ : 0  $-592,18$  kNm  
 $M_{yEd}$ : 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$ : 10 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14,53  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6667  
 $\tau_{cl}$ : 1,971

$\sigma_c$ : -5,961 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 106,5 N/mm<sup>2</sup>

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

$\epsilon_s$ : 0,5325 ‰  
 d: 112 cm  
 x: 51,11 x/d: 0,4564  
 $\delta$ : 1

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 5,96$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,amm} = 11,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 106,50$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,amm} = 255,00$  N/mm<sup>2</sup>

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 100 di 136

### 9.3.5 Verifica a taglio

#### Prima gabbia

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a  $V_{sd} = 400,14 \text{ kN}$ .

#### Verifica a taglio di sezioni circolari

(ai sensi del D.M. del 14/02/1992)

Dimensioni della sezione		
$\varnothing$	1,20 m	
A	1130973 mm <sup>2</sup>	
J	1,02E+11 mm <sup>4</sup>	
$l_{eq}$	1,05 m	larghezza sezione di verifica
d	0,95 m	altezza utile (0.9*h) della sezione
$A_c$	1105193 mm <sup>2</sup>	area di calcestruzzo
$b_w * 0,9 d$	895206 mm <sup>2</sup>	area di scorrimento a taglio

Cls di classe :

$R_{ck}$  35

Materiali		
$\sigma_c$	11,00 Mpa	tensione normale ammissibile
$\tau_{c0}$	0,67 Mpa	tensione tangenziale ammissibile - lim. 1
$\tau_{c1}$	1,97 Mpa	tensione tangenziale ammissibile - lim. 2

Sollecitazioni nella sezione		
V	400,1 kN	forza di taglio di progetto
$\tau$	0,45 Mpa	tensione tangenziale sull'area di scorrimento

Controllo tensioni tang.		
$\tau$	<	$\tau_{c0}$ ; $V_{c0}$ 596,8 kN
<b>E' sufficiente l'armatura minima a taglio prevista da N.I. e non è necessario verificarla.</b>		
$\tau$	<	$\tau_{c1}$ ; $V_{c1}$ 1764,8 kN
<b>Le dimensioni della sezione di verifica sono accettabili.</b>		

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 101 di 136

### Seconda gabbia

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a  $V_{sd} = -34,76 \text{ kN}$ .

#### Verifica a taglio di sezioni circolari

(ai sensi del D.M. del 14/02/1992)

Dimensioni della sezione		
$\varnothing$	1,20 m	
A	1130973 mm <sup>2</sup>	
J	1,02E+11 mm <sup>4</sup>	
$I_{eq}$	1,05 m	larghezza sezione di verifica
d	0,95 m	altezza utile (0.9*h) della sezione
$A_c$	1105193 mm <sup>2</sup>	area di calcestruzzo
$b_w * 0,9 d$	895206 mm <sup>2</sup>	area di scorrimento a taglio

Cls di classe :

Materiali		
$R_{ck}$ 35	$\sigma_c$	11,00 Mpa tensione normale ammissibile
	$\tau_{c0}$	0,67 Mpa tensione tangenziale ammissibile - lim. 1
	$\tau_{c1}$	1,97 Mpa tensione tangenziale ammissibile - lim. 2

Sollecitazioni nella sezione		
V	34,8 kN	forza di taglio di progetto
$\tau$	0,04 Mpa	tensione tangenziale sull'area di scorrimento

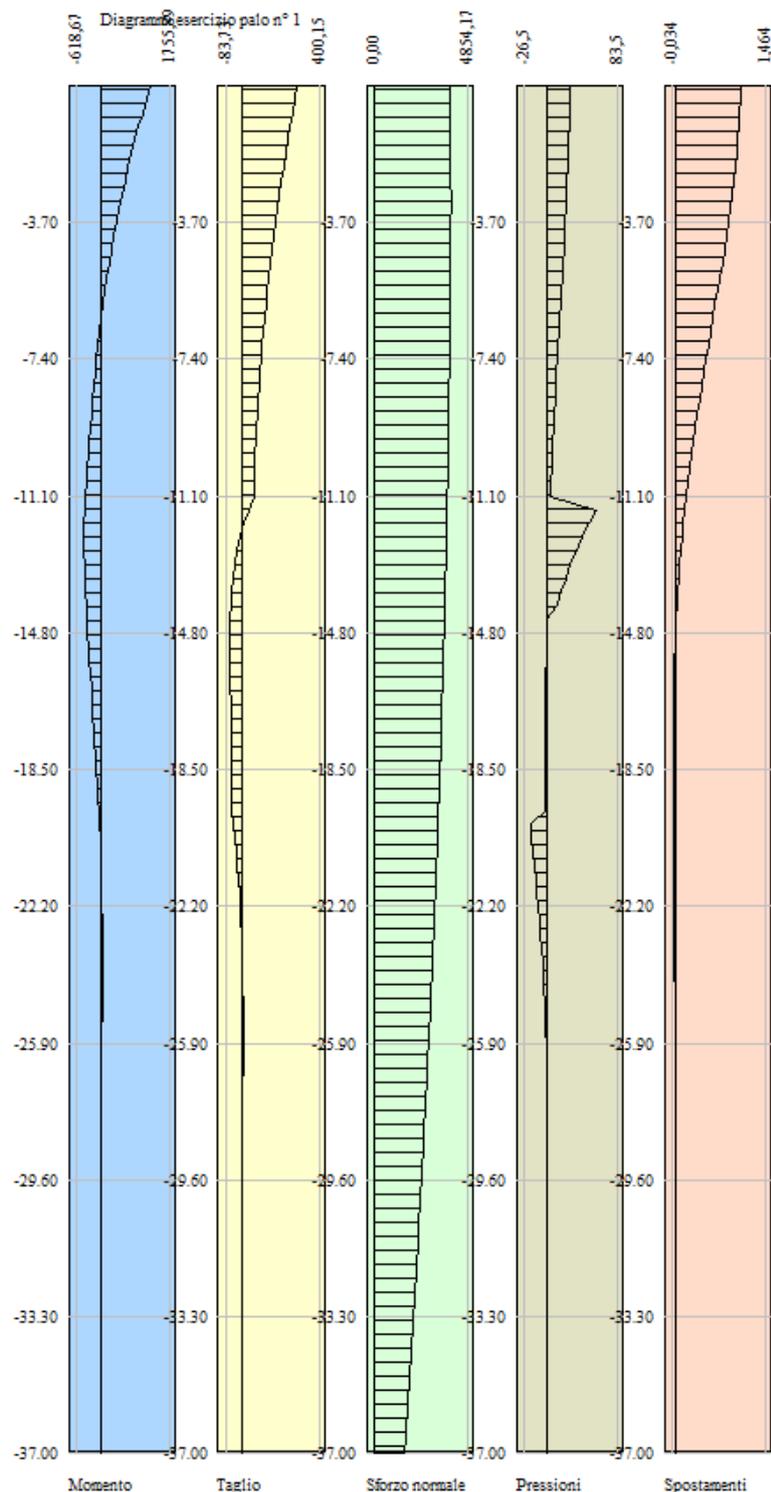
Controllo tensioni tang.		
$\tau$	<	$\tau_{c0}$ ; $V_{c0}$ 596,8 kN
<b>E' sufficiente l'armatura minima a taglio prevista da N.I. e non è necessario verificarla.</b>		
$\tau$	<	$\tau_{c1}$ ; $V_{c1}$ 1764,8 kN
<b>Le dimensioni della sezione di verifica sono accettabili.</b>		



### 9.3.6 Verifica a fessurazione - Diagrammi delle azioni sollecitanti

Di seguito sono riportati i diagrammi delle azioni sollecitanti lungo il palo, desunte dal programma di calcolo:

Condizione n° 1 -  $N_{max}$  (fessurazione)





<p>APPALTATORE</p> 	<p>DIREZIONE LAVORI</p> 					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 35%;">Codifica Documento CLV12100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 15%;">Foglio 104 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 104 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 104 di 136		

### 9.3.7 Verifica a fessurazione - Riepilogo delle azioni sollecitanti lungo il palo

#### Simbologia adottata

Nr.	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
N	sforzo normale espresso in [kN]
T	taglio espresso in [kN]
M	momento espresso in [kNm]

#### Combinazione n° 1 - N<sub>max</sub> (fessurazione)

n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]	n°	Y [m]	M [kNm]	T [kN]	N [kN]
1	0,00	1257,4284	286,5525	3894,3200	2	0,00	1151,4040	274,4858	3904,5794
3	0,74	1049,8443	262,5012	3914,8388	4	0,74	952,7188	250,6476	3925,0982
5	1,48	859,9792	238,9692	3935,3576	6	1,48	771,5606	227,5063	3945,6170
7	2,22	687,3833	216,2946	3955,8764	8	2,22	607,3543	205,3663	3966,1358
9	2,96	531,3688	194,7496	3976,3951	10	2,96	459,3114	184,4692	3973,4240
11	3,70	391,0578	174,5467	3968,4152	12	3,70	326,4755	165,0002	3962,9479
13	4,44	265,4255	155,8449	3957,0219	14	4,44	207,7629	147,0932	3950,6372
15	5,18	153,3384	138,7548	3943,7940	16	5,18	101,9991	130,8369	3936,4921
17	5,92	53,5895	123,3442	3928,7316	18	5,92	7,9522	116,2793	3920,5125
19	6,66	-35,0712	109,6425	3911,8347	20	6,66	-75,6389	103,4322	3902,6983
21	7,40	-113,9088	97,6450	3893,1033	22	7,40	-150,0374	92,2755	3883,0496
23	8,14	-184,1793	87,3167	3872,5373	24	8,14	-216,4865	82,7602	3861,5664
25	8,88	-247,1078	78,5959	3850,1369	26	8,88	-276,1883	74,8122	3838,2487
27	9,62	-303,8688	71,3963	3825,9019	28	9,62	-330,2854	68,3341	3813,0965
29	10,36	-355,5691	65,6103	3799,8324	30	10,36	-379,8449	63,2083	3786,1098
31	11,10	-403,2319	61,1103	3771,9284	32	11,10	-425,8428	34,5719	3757,2617
33	11,84	-438,6343	11,9225	3741,9932	34	11,84	-443,0457	-7,1357	3726,2186
35	12,58	-440,4055	-22,9037	3709,9378	36	12,58	-431,9311	-35,6810	3693,1510
37	13,32	-418,7292	-45,7613	3675,8579	38	13,32	-401,7975	-53,4295	3658,0588
39	14,06	-382,0285	-58,9592	3639,7535	40	14,06	-360,2137	-59,5426	3620,9846
41	14,80	-338,1829	-59,8650	3602,2170	42	14,80	-316,0328	-59,9633	3582,9908
43	15,54	-293,8464	-59,8719	3563,3059	44	15,54	-271,6938	-59,6227	3543,1624
45	16,28	-249,6334	-59,2454	3522,5603	46	16,28	-227,7126	-58,7671	3501,4996
47	17,02	-205,9688	-58,2126	3479,9802	48	17,02	-184,4301	-57,6043	3458,0022
49	17,76	-163,1165	-56,9624	3435,5656	50	17,76	-142,0404	-56,3045	3412,6703
51	18,50	-121,2078	-55,6463	3389,3164	52	18,50	-100,6186	-55,0008	3365,5039
53	19,24	-80,2684	-54,3790	3341,2328	54	19,24	-60,1481	-53,7897	3316,5030
55	19,98	-40,2460	-45,3578	3291,0479	56	19,98	-23,4636	-37,5918	3264,1383
57	20,72	-9,5546	-30,5316	3236,7226	58	20,72	1,7421	-24,1940	3208,8007
59	21,46	10,6938	-18,5766	3180,3728	60	21,46	17,5672	-13,6623	3151,4387
61	22,20	22,6222	-9,4221	3121,9984	62	22,20	26,1084	-5,8188	3092,0520
63	22,94	28,2614	-2,8093	3061,5995	64	22,94	29,3008	-0,3466	3030,6409
65	23,68	29,4290	1,6179	2999,1761	66	23,68	28,8304	3,1330	2967,2052
67	24,42	27,6712	4,2467	2934,7281	68	24,42	26,1000	5,0050	2901,7449
69	25,16	24,2481	5,4514	2868,2556	70	25,16	22,2311	5,6264	2834,2601
71	25,90	20,1493	5,5669	2799,7586	72	25,90	18,0896	5,3067	2764,7508
73	26,64	16,1261	4,8758	2729,2370	74	26,64	14,3220	4,3013	2693,2170
75	27,38	12,7306	3,6071	2656,6909	76	27,38	11,3959	2,8146	2619,6586
77	28,12	10,3545	2,6889	2582,3986	78	28,12	9,3596	2,5542	2544,8638
79	28,86	8,4146	2,4128	2506,8749	80	28,86	7,5218	2,2668	2468,4318
81	29,60	6,6831	2,1179	2429,5345	82	29,60	5,8995	1,9678	2390,1831
83	30,34	5,1714	1,8179	2350,3776	84	30,34	4,4988	1,6694	2310,1179
85	31,08	3,8811	1,5234	2269,4041	86	31,08	3,3174	1,3809	2228,2362
87	31,82	2,8065	1,2426	2186,6141	88	31,82	2,3467	1,1093	2144,5378
89	32,56	1,9363	0,9814	2102,0075	90	32,56	1,5731	0,8595	2059,0229
91	33,30	1,2551	0,7440	2015,5843	92	33,30	0,9798	0,6351	1971,6915
93	34,04	0,7449	0,5330	1927,3445	94	34,04	0,5477	0,4381	1882,5434
95	34,78	0,3856	0,3503	1837,2882	96	34,78	0,2560	0,2698	1791,5788
97	35,52	0,1561	0,1967	1745,4153	98	35,52	0,0834	0,1310	1698,7976
99	36,26	0,0349	0,0726	1651,7258	100	36,26	0,0080	0,0217	1604,1999
101	37,00	0,0000	0,0217	1556,2198	102				

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 105 di 136

Combinazione n° 2 - N<sub>min</sub> (fessurazione)

n°	Y	M	T	N	n°	Y	M	T	N
	[m]	[kNm]	[kN]	[kN]		[m]	[kNm]	[kN]	[kN]
1	0,00	1257,4284	286,5525	1061,1300	2	0,00	1151,4040	274,4858	1071,3894
3	0,74	1049,8443	262,5012	1081,6488	4	0,74	952,7188	250,6476	1091,9082
5	1,48	859,9792	238,9692	1102,1676	6	1,48	771,5606	227,5063	1112,4270
7	2,22	687,3833	216,2946	1122,6864	8	2,22	607,3543	205,3663	1132,9458
9	2,96	531,3688	194,7496	1143,2051	10	2,96	459,3114	184,4692	1147,8524
11	3,70	391,0578	174,5467	1151,6354	12	3,70	326,4755	165,0002	1155,2238
13	4,44	265,4255	155,8449	1158,6177	14	4,44	207,7629	147,0932	1161,8171
15	5,18	153,3384	138,7548	1164,8219	16	5,18	101,9991	130,8369	1167,6322
17	5,92	53,5895	123,3442	1170,2479	18	5,92	7,9522	116,2793	1172,6691
19	6,66	-35,0712	109,6425	1174,8957	20	6,66	-75,6389	103,4322	1176,9279
21	7,40	-113,9088	97,6450	1178,7654	22	7,40	-150,0374	92,2755	1180,4085
23	8,14	-184,1793	87,3167	1181,8570	24	8,14	-216,4865	82,7602	1183,1109
25	8,88	-247,1078	78,5959	1184,1703	26	8,88	-276,1883	74,8122	1185,0352
27	9,62	-303,8688	71,3963	1185,7055	28	9,62	-330,2854	68,3341	1186,1813
29	10,36	-355,5691	65,6103	1186,4625	30	10,36	-379,8449	63,2083	1186,5493
31	11,10	-403,2319	61,1103	1186,4414	32	11,10	-425,8428	34,5719	1186,1277
33	11,84	-438,6343	11,9225	1185,5587	34	11,84	-443,0457	-7,1357	1184,7750
35	12,58	-440,4055	-22,9037	1183,7766	36	12,58	-431,9311	-35,6810	1182,5636
37	13,32	-418,7292	-45,7613	1181,1358	38	13,32	-401,7975	-53,4295	1179,4934
39	14,06	-382,0285	-58,9592	1177,6362	40	14,06	-360,2137	-59,5426	1175,5824
41	14,80	-338,1829	-59,8650	1173,5292	42	14,80	-316,0328	-59,9633	1171,2814
43	15,54	-293,8464	-59,8719	1168,8391	44	15,54	-271,6938	-59,6227	1166,2022
45	16,28	-249,6334	-59,2454	1163,3708	46	16,28	-227,7126	-58,7671	1160,3449
47	17,02	-205,9688	-58,2126	1157,1244	48	17,02	-184,4301	-57,6043	1153,7094
49	17,76	-163,1165	-56,9624	1150,0998	50	17,76	-142,0404	-56,3045	1146,2957
51	18,50	-121,2078	-55,6463	1142,2971	52	18,50	-100,6186	-55,0008	1138,1039
53	19,24	-80,2684	-54,3790	1133,7162	54	19,24	-60,1481	-53,7897	1129,1339
55	19,98	-40,2460	-45,3578	1124,2440	56	19,98	-23,4636	-37,5918	1118,7371
57	20,72	-9,5546	-30,5316	1113,0155	58	20,72	1,7421	-24,1940	1107,0792
59	21,46	10,6938	-18,5766	1100,9282	60	21,46	17,5672	-13,6623	1094,5626
61	22,20	22,6222	-9,4221	1087,9822	62	22,20	26,1084	-5,8188	1081,1872
63	22,94	28,2614	-2,8093	1074,1775	64	22,94	29,3008	-0,3466	1066,9530
65	23,68	29,4290	1,6179	1059,5139	66	23,68	28,8304	3,1330	1051,8601
67	24,42	27,6712	4,2467	1043,9916	68	24,42	26,1000	5,0050	1035,9084
69	25,16	24,2481	5,4514	1027,6105	70	25,16	22,2311	5,6264	1019,0980
71	25,90	20,1493	5,5669	1010,3707	72	25,90	18,0896	5,3067	1001,4288
73	26,64	16,1261	4,8758	992,2721	74	26,64	14,3220	4,3013	982,9008
75	27,38	12,7306	3,6071	973,3147	76	27,38	11,3959	2,8146	963,5140
77	28,12	10,3545	2,6889	953,6167	78	28,12	9,3596	2,5542	943,6028
79	28,86	8,4146	2,4128	933,3963	80	28,86	7,5218	2,2668	922,9971
81	29,60	6,6831	2,1179	912,4053	82	29,60	5,8995	1,9678	901,6209
83	30,34	5,1714	1,8179	890,6438	84	30,34	4,4988	1,6694	879,4741
85	31,08	3,8811	1,5234	868,1117	86	31,08	3,3174	1,3809	856,5567
87	31,82	2,8065	1,2426	844,8091	88	31,82	2,3467	1,1093	832,8688
89	32,56	1,9363	0,9814	820,7359	90	32,56	1,5731	0,8595	808,4104
91	33,30	1,2551	0,7440	795,8922	92	33,30	0,9798	0,6351	783,1814
93	34,04	0,7449	0,5330	770,2779	94	34,04	0,5477	0,4381	757,1818
95	34,78	0,3856	0,3503	743,8931	96	34,78	0,2560	0,2698	730,4117
97	35,52	0,1561	0,1967	716,7377	98	35,52	0,0834	0,1310	702,8711
99	36,26	0,0349	0,0726	688,8118	100	36,26	0,0080	0,0217	674,5599
101	37,00	0,0000	0,0217	660,1153	102				

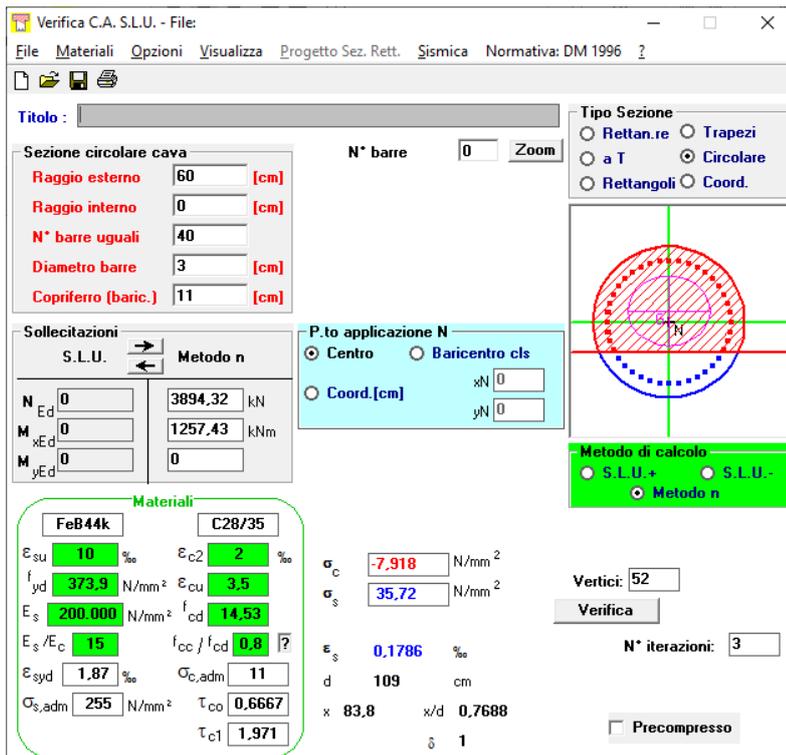
<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 			
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 106 di 136

### 9.3.8 Verifiche a fessurazione

#### Prima gabbia – Condizione $N_{max}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{Sd} = 3.894,32$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{Sd} = 1.257,43$  kNm.



**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File | Materiali | Opzioni | Visualizza | Progetto Sez. Rett. | Sismica | Normativa: DM 1996

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 60 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 40
- Diametro barre: 3 [cm]
- Copriferro [baric.]: 11 [cm]

**N° barre:** 0 Zoom

**Tipo Sezione:**

- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. | Metodo n

$N_{Ed}$ : 0 | 3894,32 kN

$M_{xEd}$ : 0 | 1257,43 kNm

$M_{yEd}$ : 0 | 0

**P.to applicazione N**

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

$xN$ : 0

$yN$ : 0

**Metodo di calcolo**

- S.L.U. +
- S.L.U. -
- Metodo n

**Materiali**

FeB44k | C28/35

$\epsilon_{su}$ : 10 ‰ |  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰

$f_{yd}$ : 373,9 N/mm<sup>2</sup> |  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰

$E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup> |  $f_{cd}$ : 14,53

$E_s/E_c$ : 15 |  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8

$\epsilon_{syd}$ : 1,87 ‰ |  $\sigma_{c,adm}$ : 11

$\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup> |  $\tau_{co}$ : 0,6667

$\tau_{cl}$ : 1,971

$\sigma_c$ : -7,918 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$ : 35,72 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$ : 0,1786 ‰

$d$ : 109 cm

$x$ : 83,8 |  $x/d$ : 0,7688

$\delta$ : 1

Vertici: 52

Verifica

N° iterazioni: 3

Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 7,91$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 35,72$  N/mm<sup>2</sup>

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 107 di 136

$\sigma_s$	35,72 N/mm <sup>2</sup>	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R <sub>ck</sub>	35,0 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica cls
$\phi_l$	30 mm	Diametro barre longitudinali
$\phi_s$	10 mm	Diametro staffe o spirale
n	40	Numero ferri longitudinali
c	60 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	1200 mm	Diametro
k <sub>t</sub>	0,4	kt=0,6 ; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k <sub>2</sub>	0,5	k2=0,5 ; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k <sub>1</sub>	0,8	k1=0,8 ; 1,6 barre aderenza migliorata/lisce
w	0,15 mm	Valore limite apertura fessure
<b>Dati</b>		
f <sub>ck</sub>	29,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	162 mm	Interasse ferri longitudinali
A <sub>φ</sub>	707 mm <sup>2</sup>	Area barra longitudinale
E <sub>s</sub>	210000,0 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico acciaio da c.a
f <sub>ctm</sub>	2,8 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a trazione media cls
E <sub>cm</sub>	32588,1 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico medio cls
α <sub>e</sub>	6,44	Rapporto Es/Ecm
f <sub>cm</sub>	37,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media cls
ρ <sub>eff</sub>	0,0291	Rapporto area acciaio/area efficace
ε <sub>sm1</sub>	-0,000050	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ε <sub>sm2</sub>	0,000102	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ε <sub>sm</sub>	0,000102	Deformazione unitaria media
k <sub>3</sub>	3,4	Coefficiente
k <sub>4</sub>	0,4	Coefficiente
Δs <sub>max</sub>	379,1 mm	Distanza massima tra le fessure
w <sub>d</sub>	✓ 0,039 mm	Valore di calcolo apertura fessure

APPALTATORE



**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
108 di 136

### Prima gabbia – Condizione $N_{min}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 1.061,13$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = 1.257,43$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]

Raggio interno 0 [cm]

N° barre uguali 40

Diametro barre 3 [cm]

Coprifero (baric.) 11 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 1061,13 kN

M<sub>xEd</sub> 0 1257,43 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Materiali

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$  10 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰

$E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14,53

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8

$\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6667

$\tau_{c1}$  1,971

$\sigma_c$  -7,277 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  115,3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  0,5765 ‰

d 109 cm

x 53,01 x/d 0,4863

$\delta$  1

Vertici: 52

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 7,27$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 115,30$  N/mm<sup>2</sup>

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 109 di 136

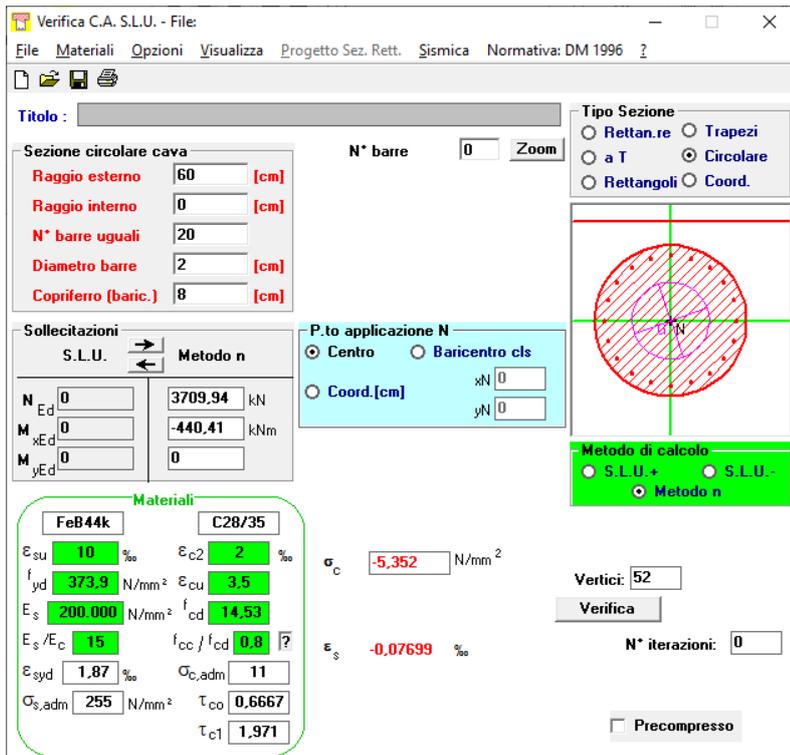
$\sigma_s$	115,30 N/mm <sup>2</sup>	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R <sub>ck</sub>	35,0 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica cls
$\phi_l$	30 mm	Diametro barre longitudinali
$\phi_s$	10 mm	Diametro staffe o spirale
n	40	Numero ferri longitudinali
c	60 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	1200 mm	Diametro
k <sub>t</sub>	0,4	kt=0,6 ; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k <sub>2</sub>	0,5	k2=0,5 ; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k <sub>1</sub>	0,8	k1=0,8 ; 1,6 barre aderenza migliorata/lisce
w	0,15 mm	Valore limite apertura fessure
<b>Dati</b>		
f <sub>ck</sub>	29,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	162 mm	Interasse ferri longitudinali
A <sub>φ</sub>	707 mm <sup>2</sup>	Area barra longitudinale
E <sub>s</sub>	210000,0 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico acciaio da c.a
f <sub>ctm</sub>	2,8 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a trazione media cls
E <sub>cm</sub>	32588,1 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico medio cls
α <sub>e</sub>	6,44	Rapporto Es/Ecm
f <sub>cm</sub>	37,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media cls
ρ <sub>eff</sub>	0,0291	Rapporto area acciaio/area efficace
ε <sub>sm1</sub>	0,000329	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ε <sub>sm2</sub>	0,000329	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ε <sub>sm</sub>	0,000329	Deformazione unitaria media
k <sub>3</sub>	3,4	Coefficiente
k <sub>4</sub>	0,4	Coefficiente
Δs <sub>max</sub>	379,1 mm	Distanza massima tra le fessure
w <sub>d</sub>	✓ 0,125 mm	Valore di calcolo apertura fessure

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 110 di 136

### Seconda gabbia – Condizione $N_{max}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 3.709,94$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -440,41$  kNm.



**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 20  
 Diametro barre: 2 [cm]  
 Coprifero (baric.): 8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 3709,94 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 -440,41 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$ : 10 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14,53  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 11  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6667  
 $\tau_{c1}$ : 1,971

$\sigma_c$ : -5,352 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : -0,07699 ‰

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 5,35$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = -$  N/mm<sup>2</sup> (sezione interamente compressa)

La verifica a fessurazione risulta implicitamente soddisfatta.

APPALTATORE



DIREZIONE LAVORI



RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
111 di 136

### Seconda gabbia – Condizione $N_{min}$

L'azione normale di calcolo è assunta pari a  $N_{sd} = 1.183,78$  kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a  $M_{sd} = -440,41$  kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]

Raggio interno 0 [cm]

N° barre uguali 20

Diametro barre 2 [cm]

Copriferro (baric.) 8 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 1183,78 kN

M<sub>xEd</sub> 0 -440,41 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Materiali

FeB44k C28/35

$\epsilon_{su}$  10 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  373,9 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰

$E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14,53

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8

$\epsilon_{syd}$  1,87 ‰  $\sigma_{c,adm}$  11

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6667

$\tau_{cl}$  1,971

$\sigma_c$  -4,002 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  38,46 N/mm<sup>2</sup>

Vertici: 52

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

$\epsilon_s$  0,1923 ‰

d 112 cm

x 68,26 x/d 0,6095

$\delta$  1

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

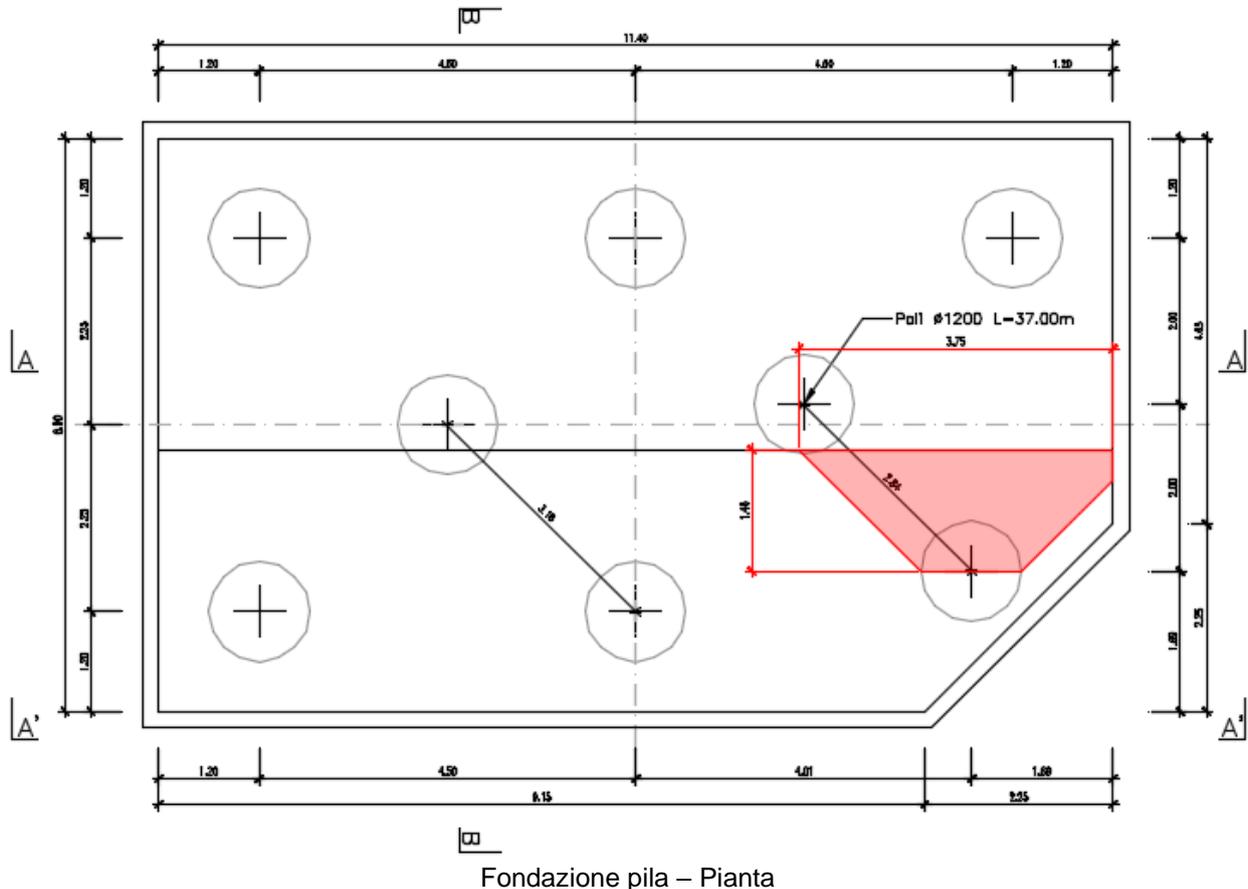
- $\sigma_c = 4,00$  N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s = 38,46$  N/mm<sup>2</sup>

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 112 di 136

$\sigma_s$	38,46 N/mm <sup>2</sup>	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R <sub>ck</sub>	35,0 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica cls
$\phi_l$	20 mm	Diametro barre longitudinali
$\phi_s$	10 mm	Diametro staffe o spirale
n	20	Numero ferri longitudinali
c	60 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	1200 mm	Diametro
k <sub>t</sub>	0,4	kt=0,6 ; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k <sub>2</sub>	0,5	k2=0,5 ; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k <sub>1</sub>	0,8	k1=0,8 ; 1,6 barre aderenza migliorata/lisce
w	0,15 mm	Valore limite apertura fessure
<b>Dati</b>		
f <sub>ck</sub>	29,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	163 mm	Interasse ferri longitudinali
A <sub>φ</sub>	314 mm <sup>2</sup>	Area barra longitudinale
E <sub>s</sub>	210000,0 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico acciaio da c.a
f <sub>ctm</sub>	2,8 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a trazione media cls
E <sub>cm</sub>	32588,1 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico medio cls
α <sub>e</sub>	6,44	Rapporto Es/Ecm
f <sub>cm</sub>	37,1 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media cls
ρ <sub>eff</sub>	0,0137	Rapporto area acciaio/area efficace
ε <sub>sm1</sub>	-0,000245	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ε <sub>sm2</sub>	0,000110	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ε <sub>sm</sub>	0,000110	Deformazione unitaria media
k <sub>3</sub>	3,4	Coefficiente
k <sub>4</sub>	0,4	Coefficiente
Δs <sub>max</sub>	451,5 mm	Distanza massima tra le fessure
w <sub>d</sub>	✓ 0,050 mm	Valore di calcolo apertura fessure



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 114 di 136



È necessario osservare che, dato il valore dei rapporti altezza – oggetto dalla pila nelle diverse situazioni presenti nel progetto, le mensole da verificare sono di tipo “tozzo”. Pertanto, non può essere impiegata la “teoria della trave”, ma è più opportuno adottare una schematizzazione a traliccio basata sull’ipotesi di un meccanismo di trasferimento degli sforzi a “tirante di acciaio” – “puntone di cls” che meglio rappresenta il reale andamento delle tensioni all’interno dei materiali costituenti l’elemento.

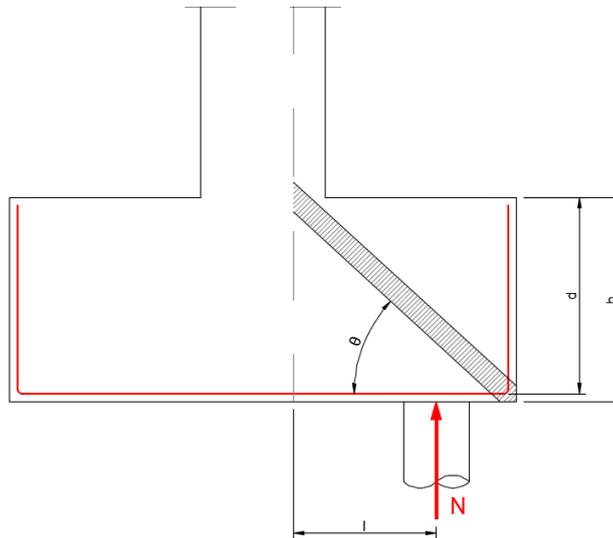
Per la verifica della fondazione è necessario per prima cosa stabilire la larghezza di zattera di fondazione competente al singolo palo, da assumere per il meccanismo resistente a tirante-puntone. Si ottiene diffondendo il carico trasmesso dal palo secondo delle isostatiche a 45°, ed è pari a **b = 3,75 m**.

Di seguito si assume quindi un sistema a tirante-puntone isolato dal resto del plinto e di larghezza pari a **b = 3,75 m**.

Detta **d = 1,423 m** la distanza del baricentro del tirante inferiore dal lembo compreso superiore ed assumendo quale braccio **l** della mensola tozza, quello che va dal centro dei pali alla sezione di passaggio dello spessore della zattera da 150 cm a 210 cm, e pertanto **l = 1,46 m**, si calcola la risultante ultima resistente sull’insieme dei pali di bordo in direzione trasversale.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 115 di 136

Lo schema di calcolo a “tirante – puntone” è di seguito esplicitato:



Indicando con  $N_C$  l'azione normale di compressione sulla biella in calcestruzzo e con  $N_T$  l'azione normale di trazione sul tirante inferiore in acciaio, per l'equilibrio verticale si ottiene:

$$N_C \cdot \sin\theta + N = 0 \rightarrow N_C = -\frac{N}{\sin\theta}$$

Per l'equilibrio orizzontale si ottiene:

$$N_C \cdot \cos\theta + N_T = 0 \rightarrow N_T = \frac{N}{\cot\theta}$$

La resistenza dell'armatura costituente il tirante teso si ottiene come:

$$N_{T,Rd} = \frac{N_T}{\cot\theta} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \frac{1}{\cot\theta} \geq N$$

Essendo:

$$\cot\theta = \frac{l}{z} = \frac{l}{0,90 \cdot d}$$

Si ottiene pertanto:

$$N_{T,Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \frac{0,90 \cdot d}{l} \geq N$$

La resistenza della biella compressa in calcestruzzo si ottiene come:

$$N_{C,Rd} = N_C \cdot \sin\theta = 0,20 \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \sin\theta \geq N$$

APPALTATORE 	DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 116 di 136

Essendo:

$$\text{sen}\theta = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l}{0,90 \cdot d}\right)^2\right]^{0,5}}$$

Si ottiene pertanto:

$$N_{C,Rd} = N_C \cdot \text{sen}\theta = 0,20 \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l}{0,90 \cdot d}\right)^2\right]^{0,5}} \geq N$$

Si assume uno sforzo normale massimo trasmesso dal palo pari a  **$N_{\max} = 4.772,09 \text{ kN}$** .

Si adotta una armatura inferiore disposta su due strati:

- Ø26/10 (I strato) →  $c' = 5,30 \text{ cm}$
- Ø26/15 (II strato) →  $c' = 11,30 \text{ cm}$

L'area del tirante (armatura tesa) è pertanto costituito da:

$$A_{\text{tirante}} = 3,75 / 0,10 \times 531 + 3,75 / 15 \times 531 = 33.187,50 \text{ mm}^2$$

Il baricentro del tirante risulta disposto a una distanza pari a **142,3 cm** dal lembo superiore compresso.

Si considerano i seguenti limiti tensionali per i materiali:

- Calcestruzzo →  $f_{cd} = \sigma_{c,amm} = 11,00 \text{ N/mm}^2$
- Acciaio →  $f_{yd} = \sigma_{s,amm} = 255,00 \text{ N/mm}^2$

Si ottiene dunque:

- Tirante in acciaio

$$N_{T,Rd} = 33.187,50 \cdot 255,00 \cdot \frac{0,90 \cdot 1.423,00}{1.460,00} = 7.423,51 \text{ kN} > N_{Sd} = 4.772,09 \text{ kN}$$

- Puntone in c.a.

$$N_{C,Rd} = 0,20 \cdot 1.423,00 \cdot 3.750,00 \cdot 11,00 \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{1.460,00}{0,90 \cdot 1.423,00}\right)^2\right]} = 5.485,86 \text{ kN} > N_{Sd} = 4.772,09 \text{ kN}$$

La tensione tangenziale massima risulta pari a:

$$\tau_{c,max} = \frac{4.772,09 \cdot 10^3}{3.750,00 \cdot 0,90 \cdot 1.423,00} = 0,99 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \tau_{c0} = 0,667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Poiché la tensione tangenziale massima sul cls risulta superiore al valore limite  $\tau_{c0}$ , risulta necessario l'inserimento di apposite armature a taglio costituite da cavallotti **Ø26/50x60**.

Per la verifica delle armature a taglio si considera l'aliquota di azione tagliante non assorbita dal calcestruzzo.

$$V_{\text{cavallotti}} = 4.772,09 - [(3.750,00 \times 0,90 \times 1.423,00) \times 0,667] \times 10^{-3} = 4.772,09 - 3.203,35 = 1.568,74 \text{ kN}$$

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 117 di 136

### Verifica a taglio di sezioni rettangolari

(ai sensi del D.M. del 14/02/1992)

Dimensioni della sezione		
$b_w$	3,75	m
$h$	1,50	m
$d$	1,35	m
$A_c$	5625000	mm <sup>2</sup>
$b_w * 0,9 d$	4556250	mm <sup>2</sup>

larghezza sezione di verifica  
 altezza sezione di verifica  
 altezza utile (0,9\*h) della sezione  
 area di calcestruzzo  
 area di scorrimento a taglio

Cls di classe :

$R_{ck}$  35

Materiali		
$\sigma_c$	11,00	Mpa
$\tau_{c0}$	0,67	Mpa
$\tau_{c1}$	1,97	Mpa

tensione normale ammissibile  
 tensione tangenziale ammissibile - lim. 1  
 tensione tangenziale ammissibile - lim. 2

Acciaio di classe :

FeB 44k

Armatura trasversale a taglio		
$\sigma_s$	255	Mpa
$\Phi_{st}$	26	mm
$A_{st}$	530,9	mm <sup>2</sup>
$s_{st}$	0,60	m
n° bracci	6	
$\alpha$	90	°
$A_{sw} / s_w$	53,09	cm <sup>2</sup> /m
	5309	mm <sup>2</sup> /m

tensione normale ammissibile  
 diametro delle staffe  
 area della sezione della staffa  
 passo delle staffe  
 numero di bracci delle staffe  
 inclinazione delle staffe rispetto all'asse (tra 45° e 90°)  
 armatura a taglio a metro lineare

Taglio resistente per armatura		
$V_{st}$	1644951	N
	1645,0	kN

inserito il termine per tenere conto della inclinazione

$$V_{st} > V$$

**Armatura a taglio sufficiente**

Le verifiche di resistenza risultano pertanto soddisfatte.



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 119 di 136

Si ha:

- sforzo tagliante:  **$V = 4.772,09 \text{ kN}$**
- diametro palo:  **$d = 1,20 \text{ m}$**
- altezza del plinto:  **$h = 1,50 \text{ m}$**
- diametro della superficie di distacco:  **$d = 1,20 + 2 \times 0,75 = 2,70 \text{ m}$**
- distanza dal bordo asse palo:  **$t = 0,53 \text{ m}$**
- perimetro di distacco:  **$p = 4,89 \text{ m}$**

La resistenza a punzonamento della zattera di fondazione risulta dunque pari a:

$$F = 0,50 \cdot 4.890,00 \cdot 1.500,00 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} = 4.841,10 \text{ kN} > N_{Sd} = 4.772,09 \text{ kN}$$

La verifica a punzonamento risulta pertanto soddisfatta.

APPALTATORE  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 120 di 136

## 10 VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE FONDAZIONI DELLE PILE P44, P45 E P46

La configurazione del Canale della Liscia prevista nella perizia di variante (Febbraio 2020) comporta una riorganizzazione delle pile P44, P45 e P46 e delle relative fondazioni del Viadotto Esino. Di fatto la pila P44 prevista nel presente progetto risulta analoga alla pila P43, ovvero alla pila P46, del progetto esecutivo in termini geometrici e assimilabile alle medesime pile in termini di azioni trasmesse dall'impalcato. Le stesse considerazioni valgono per le pile P45 e P46 del presente progetto di variante nei confronti, rispettivamente, delle pile P44 e P45 del Progetto Esecutivo approvato.

Per la pila 44 si fa riferimento all'analisi delle azioni sollecitanti sui pali di fondazione di cui al paragrafo 7.1 della presente relazione.

Per le pile 45 e 46 si fa riferimento all'analisi delle azioni sollecitanti sui pali di fondazione di cui al paragrafo 7.2 della presente relazione.

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 121 di 136

## 10.1 Verifica dei pali alle azioni assiali

### 10.1.1 Pila 44

#### Richiami teorici

##### Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il carico ammissibile del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, il carico ammissibile del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- $Q_T$  Portanza totale del palo;
- $Q_P$  Portanza di base del palo;
- $Q_L$  Portanza per attrito laterale del palo;
- $W_P$  Peso proprio del palo.

Le due componenti  $Q_P$  e  $Q_L$  sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente  $\eta_p$  e  $\eta_l$ .

I coefficienti  $\eta_p$  e  $\eta_l$  rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/\eta_p + Q_L/\eta_l - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/\eta_l + W_P$$

#### *Capacità portante di punta*

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove  $A_P$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q_b$  è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti  $N_c$  e  $N_q$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

$N_c$  ed  $N_q$  dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ( $\phi$  e  $c$ ).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di  $N_c$  ed  $N_q$ .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ( $\phi=0$ ,  $c=c_u$ ) si assume in genere per  $N_c$  il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre  $N_q=1$ . Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore  $N_c$  ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore  $N_q$  per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare, da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare, si assume che la pressione verticale  $\sigma_v$  cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità  $z_c$  ( $\sigma_v=\sigma_c$ ); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a  $\sigma_c$ : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di  $z_c$  (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo,  $D$ , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno  $\phi$ .

Nella determinazione di  $z_c$  il valore di  $\phi$  da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo,  $\phi'$ , secondo le seguenti relazioni:

Per pali infissi  $\phi = 3/4 \phi' + 10$

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto IA00</td> <td style="width: 15%;">Lotto 00</td> <td style="width: 40%;">Codifica Documento CLVI2100001</td> <td style="width: 10%;">Rev. C</td> <td style="width: 10%;">Foglio 122 di 136</td> </tr> </table>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 122 di 136
Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 122 di 136		

Per pali trivellati  $\phi = \phi' - 3$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa  $D_r$ ) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di  $N_c$  ed  $N_q$ .

### Capacità portante per attrito laterale

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \text{Int}(\tau_a) dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \text{tg } \delta$$

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno, e  $\sigma_h$  è la tensione orizzontale alla generica profondità  $z$ . La tensione orizzontale  $\sigma_h$  è legata alla pressione verticale  $\sigma_v$  tramite il coefficiente di spinta  $K_s$

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con  $C$  il perimetro e con  $L$  la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L (C(c_a + K_s \sigma_v \text{tg } \delta) dz)$$

## Dati

### Geometria della fondazione

#### Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione del palo
<i>Frm</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	[m]	[m]	[m]
PALO	(C)	0,00	0,00	120,00	35,00

### Materiali palo

#### Calcestruzzo

Tipo	C28/35	
Resistenza caratteristica a compressione $R_{bk}$	35000	[kPa]
Peso specifico	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico	33348040	[kPa]
Coeff. di omogeneizzazione	15,00	

#### Acciaio

Tipo	FeB44K	
Tensione caratteristica di snervamento	431499	[kPa]

### Caratteristiche pali

Pali in c.a.

Armatura con ferri longitudinali e spirale

Vincolo in testa di tipo INCASTRO

Tipo di palo TRIVELLATO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 123 di 136

## Descrizione terreni e falda

### Simbologia adottata

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_{sat}$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
$\delta$	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
$c$	Coesione del terreno espressa in [kPa]
$ca$	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descrizione	$\gamma$ [kN/mc]	$\gamma_{sat}$ [kN/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	$c$ [kPa]	$ca$ [kPa]
Terreno 1	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 2	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 3	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 4	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 5	19,000	20,000	25,00	25,00	10,0	10,0
Terreno 6	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 7	20,000	21,000	25,00	25,00	15,0	15,0

### Falda

Profondità dal piano di posa 0,00 [m]

## Descrizione stratigrafia

### Simbologia adottata

$N$	Identificativo strato
$Z1$	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
$Z2$	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
$Z3$	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno dello strato
$K_w$	Costante di Winkler espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
$K_s$	Coefficiente di spinta
$\alpha$	Coefficiente di espansione laterale

n°	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	$K_w$ [kg/cm <sup>2</sup> /cm]	$K_s$	$\alpha$
1	-3,8	-3,8	-3,8	Terreno 1	0.26	0.56	1.00
2	-6,8	-6,8	-6,8	Terreno 2	3.88	0.40	1.00
3	-12,3	-12,3	-12,3	Terreno 3	0.62	0.56	1.00
4	-20,3	-20,3	-20,3	Terreno 4	9.50	0.40	1.00
5	-30,3	-30,3	-30,3	Terreno 5	1.37	0.58	1.00
6	-36,3	-36,3	-36,3	Terreno 6	16.17	0.40	1.00
7	-40,0	-40,0	-40,0	Terreno 7	1.62	0.58	1.00

## Normativa

### Calcolo e verifiche secondo :

- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

## **PALI DI FONDAZIONE**

CARICHI VERTICALI. Coefficienti di sicurezza.

Portanza alla punta 2,50  
 Portanza per attrito laterale 2,50

APPALTATORE 	DIREZIONE LAVORI 			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 124 di 136

## Condizioni di carico

### Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.  
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.  
Momento positivo senso antiorario.

*fnd*           Indice della fondazione  
*N<sub>TOT</sub>*        Sforzo normale totale espressa in [kN]  
*M<sub>YTOT</sub>*       Momento in direzione Y espresso in [kNm]  
*T<sub>TOT</sub>*        Forza di taglio espressa in [kN]

### Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - PERMANENTE

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>YTOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	5014,670	0,000	288,960

### Condizione n° 2 - Condizione n° 2 - PERMANENTE

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>YTOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	1181,630	0,000	288,960

### Condizione n° 3 - Condizione n° 3 - PERMANENTE

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>YTOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	4097,390	0,000	211,870

### Condizione n° 4 - Condizione n° 4 - PERMANENTE

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>YTOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	1444,910	0,000	211,870

## Descrizione combinazioni di carico

### Simbologia adottata

*C*            Coefficiente totale di partecipazione della condizione

### Combinazione n° 1 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 1	1.00

### Combinazione n° 2 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 2	1.00

### Combinazione n° 3 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 3	1.00

### Combinazione n° 4 - TAMM

Cond	C
Condizione n° 4	1.00

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 125 di 136

## Opzioni di calcolo

### Analisi in condizioni drenate

#### Verifica della portanza assiale

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Vesic.

E' stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).

E' stata impostata una pressione a piano campagna pari a 42 [kPa]

L'andamento della pressione verticale  $\sigma_v$  con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

### Risultati

#### Verifica della portanza assiale

##### Simbologia adottata

cmb	Identificativo della combinazione
Nc, Nq	Fattori di capacità portante
$N'c = f(Nc, sc, dc)$	
$N'q = f(Nq, sq, dq)$	
dove:	
sc, sq	Fattori di forma
dc, dq	Fattori di profondità
Pl	Portanza laterale espressa in [kN]
Pp	Portanza di punta espressa in [kN]
Pa	Portanza ammissibile espressa in [kN]
N	Scarico verticale in testa al palo espresso in [kN]
$\eta$	Coeff. di sicurezza per carichi verticali

cmb	Nc	Nq	N'c	N'q
1	42.16	29.44	115.61	25.90
2	42.16	29.44	115.61	25.90
3	42.16	29.44	115.61	25.90
4	42.16	29.44	115.61	25.90

cmb	Pl [kN]	Pp [kN]	Pa [kN]	Wp [kN]	N [kN]	$\eta$
1	8860,54	11681,42	970,48	7246,30	5014,67	1.445
2	8860,54	11681,42	970,48	7246,30	1181,63	6.132
3	8860,54	11681,42	970,48	7246,30	4097,39	1.769
4	8860,54	11681,42	970,48	7246,30	1444,91	5.015

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.</b>	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 126 di 136

## 10.1.2 Pile 45 E 46

### Richiami teorici

#### Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il carico ammissibile del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, il carico ammissibile del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- $Q_T$  Portanza totale del palo;
- $Q_P$  Portanza di base del palo;
- $Q_L$  Portanza per attrito laterale del palo;
- $W_P$  Peso proprio del palo.

Le due componenti  $Q_P$  e  $Q_L$  sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente  $\eta_P$  e  $\eta_L$ .

I coefficienti  $\eta_P$  e  $\eta_L$  rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/\eta_P + Q_L/\eta_L - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/\eta_L + W_P$$

#### *Capacità portante di punta*

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove  $A_P$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q_b$  è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti  $N_c$  e  $N_q$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

$N_c$  ed  $N_q$  dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ( $\phi$  e  $c$ ).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di  $N_c$  ed  $N_q$ .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ( $\phi=0$ ,  $c=c_u$ ) si assume in genere per  $N_c$  il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre  $N_q=1$ . Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore  $N_c$  ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore  $N_q$  per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare, da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare, si assume che la pressione verticale  $\sigma_v$  cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità  $z_c$  ( $\sigma_v = \sigma_c$ ); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a  $\sigma_c$ : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di  $z_c$  (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo,  $D$ , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno  $\phi$ .

Nella determinazione di  $z_c$  il valore di  $\phi$  da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo,  $\phi'$ , secondo le seguenti relazioni:

Per pali infissi  $\phi = 3/4 \phi' + 10$

Per pali trivellati  $\phi = \phi' - 3$

<b>APPALTATORE</b>  <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.	<b>DIREZIONE LAVORI</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLVI2100001    Rev. C    Foglio 127 di 136

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa  $D_r$ ) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di  $N_c$  ed  $N_q$ .

### Capacità portante per attrito laterale

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \text{Int}(\tau_a) dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \text{tg } \delta$$

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno, e  $\sigma_h$  è la tensione orizzontale alla generica profondità  $z$ . La tensione orizzontale  $\sigma_h$  è legata alla pressione verticale  $\sigma_v$  tramite il coefficiente di spinta  $K_s$

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con  $C$  il perimetro e con  $L$  la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L (C(c_a + K_s \sigma_v \text{tg } \delta) dz)$$

## Dati

### Geometria della fondazione

#### Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione del palo
<i>Frm</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	[m]	[m]	[m]
PALO	(C)	0,00	0,00	120,00	37,00

## Materiali palo

### Calcestruzzo

Tipo	C25/30	
Resistenza caratteristica a compressione $R_{bk}$	30000	[kPa]
Peso specifico	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico	30874286	[kPa]
Coeff. di omogeneizzazione	15,00	

### Acciaio

Tipo	FeB44K	
Tensione caratteristica di snervamento	431499	[kPa]

## Caratteristiche pali

Pali in c.a.

Armatura con ferri longitudinali e spirale

Vincolo in testa di tipo INCASTRO

Tipo di palo TRIVELLATO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

## Descrizione terreni e falda

### Simbologia adottata

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_{sat}$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
$\delta$	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
$c$	Coesione del terreno espressa in [kPa]
$c_a$	Adesione del terreno espressa in [kPa]

<b>APPALTATORE</b> 	<b>DIREZIONE LAVORI</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLVI2100001    Rev. C    Foglio 128 di 136

Descrizione	$\gamma$ [kN/mc]	$\gamma_{sat}$ [kN/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kPa]	ca [kPa]
Terreno 1	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 2	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 3	19,000	20,000	26,00	26,00	5,0	5,0
Terreno 4	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 5	19,000	20,000	25,00	25,00	10,0	10,0
Terreno 6	19,000	20,000	37,00	37,00	0,0	0,0
Terreno 7	20,000	21,000	25,00	25,00	15,0	15,0
Rilevato	20,000	20,000	35,00	0,00	0,0	0,0

### Falda

Profondità dal piano di posa 3,00 [m]

### Descrizione stratigrafia

#### Simbologia adottata

*N* Identificativo strato  
*Z1* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]  
*Z2* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]  
*Z3* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]  
*Terreno* Terreno dello strato  
*Kw* Costante di Winkler espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm  
*Ks* Coefficiente di spinta  
 *$\alpha$*  Coefficiente di espansione laterale

n°	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	Kw [kg/cmq/cm]	Ks	$\alpha$
1	-3,0	-3,0	-3,0	Rilevato	0.27	0.43	1.00
2	-11,4	-11,4	-11,4	Terreno 1	0.27	0.56	1.00
3	-14,4	-14,4	-14,4	Terreno 2	3.88	0.40	1.00
4	-19,9	-19,9	-19,9	Terreno 3	0.62	0.56	1.00
5	-27,9	-27,9	-27,9	Terreno 4	9.50	0.40	1.00
6	-37,9	-37,9	-37,9	Terreno 5	1.37	0.58	1.00
7	-43,9	-43,9	-43,9	Terreno 6	16.17	0.40	1.00
8	-45,0	-45,0	-45,0	Terreno 7	1.62	0.58	1.00

### Normativa

#### Calcolo e verifiche secondo :

- D.M. 11/03/1988
- D.M. 16/01/1996

### PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti di sicurezza.

Portanza alla punta 2,50  
 Portanza per attrito laterale 2,50

### Condizioni di carico

#### Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.  
 Carichi orizzontali positivi verso sinistra.  
 Momento positivo senso antiorario.  
*fnd* Indice della fondazione  
*Ntot* Sforzo normale totale espressa in [kN]  
*Mytot* Momento in direzione Y espresso in [kNm]  
*Ttot* Forza di taglio espressa in [kN]

<b>APPALTATORE</b> 	<b>DIREZIONE LAVORI</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>	Progetto IA00    Lotto 00    Codifica Documento CLVI2100001    Rev. C    Foglio 129 di 136

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - N<sub>max</sub>

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>TOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	4772,090	0,000	408,590

Condizione n° 2 - Condizione n° 2 - N<sub>min</sub>

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>TOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	906,660	0,000	408,590

Condizione n° 3 - Condizione n° 3 - N<sub>max</sub> (fessurazione)

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>TOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	3894,320	0,000	292,600

Condizione n° 4 - Condizione n° 4 - N<sub>min</sub> (fessurazione)

Fondazione	N <sub>TOT</sub> [kN]	M <sub>TOT</sub> [kNm]	T <sub>TOT</sub> [kN]
PALO	1061,130	0,000	292,600

### Descrizione combinazioni di carico

#### Simbologia adottata

C    Coefficiente totale di partecipazione della condizione

#### Combinazione n° 1 - TMM

Cond	C
Condizione n° 1	1.00

#### Combinazione n° 2 - TMM

Cond	C
Condizione n° 2	1.00

#### Combinazione n° 3 - TMM

Cond	C
Condizione n° 3	1.00

#### Combinazione n° 4 - TMM

Cond	C
Condizione n° 4	1.00

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C	Foglio 130 di 136

## Opzioni di calcolo

### Analisi in condizioni drenate

#### Verifica della portanza assiale

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Vesic.

E' stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).

E' stata impostata una pressione a piano campagna pari a 42 [kPa]

L'andamento della pressione verticale  $\sigma_v$  con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

### Risultati

#### Verifica della portanza assiale

##### Simbologia adottata

cmb	Identificativo della combinazione
Nc, Nq	Fattori di capacità portante
N'c = f(Nc, sc, dc)	
N'q = f(Nq, sq, dq)	
	dove:
sc, sq	Fattori di forma
dc, dq	Fattori di profondità
Pl	Portanza laterale espressa in [kN]
Pp	Portanza di punta espressa in [kN]
Pa	Portanza ammissibile espressa in [kN]
N	Scarico verticale in testa al palo espresso in [kN]
$\eta$	Coeff. di sicurezza per carichi verticali

cmb	Nc	Nq	N'c	N'q
1	16.88	7.82	39.91	8.72
2	16.88	7.82	39.91	8.72
3	16.88	7.82	39.91	8.72
4	16.88	7.82	39.91	8.72

cmb	Pl	Pp	Pa	Wp	N	$\eta$
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
1	10539,37	4875,56	1025,94	5140,03	4772,09	<b>1.077</b>
2	10539,37	4875,56	1025,94	5140,03	906,66	<b>5.669</b>
3	10539,37	4875,56	1025,94	5140,03	3894,32	<b>1.320</b>
4	10539,37	4875,56	1025,94	5140,03	1061,13	<b>4.844</b>

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 131 di 136

## 10.2 Verifica dei pali alle azioni orizzontali

La verifica dei pali soggetti ad azioni orizzontali è stata effettuata facendo riferimento alla teoria di Broms (1964) per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali è stato applicato il fattore di sicurezza globale  $FS=2.5$ . Inoltre, si è tenuto conto dell'effetto di gruppo adottando una efficienza paria a 0.8 nei confronti delle azioni orizzontali. La verifica risulta soddisfatta se:

$$T_{max} < 0.8 \frac{H}{FS}$$

dove:

$T_{max}$  = massima azione orizzontale agente sul palo;

$H$  = carico limite orizzontale del palo;

La teoria di Broms (1964) si basa su tre ipotesi fondamentali:

- Comportamento rigido-plastico dell'interfaccia palo-terreno, cioè la resistenza del terreno si mobilita completamente per qualsiasi valore non nullo dello spostamento  $\delta$ ;
- La forma della sezione trasversale del palo risulta ininfluenza, ciò che conta è la dimensione della sezione del palo misurata normalmente alla direzione dello spostamento;
- Comportamento flessionale del palo di tipo rigido-plastico perfetto.

Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

In terreni coesivi si ha:

Palo corto: 
$$H = 9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

Palo intermedio: 
$$H = -9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3}} + 4.5$$

Palo lungo: 
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$



dove:

$H$  = carico limite orizzontale del palo;

$c_u$  = resistenza non drenata del terreno;

$M_y$  = momento di plasticizzazione del palo;

$L$  = lunghezza del palo;

$d$  = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha:

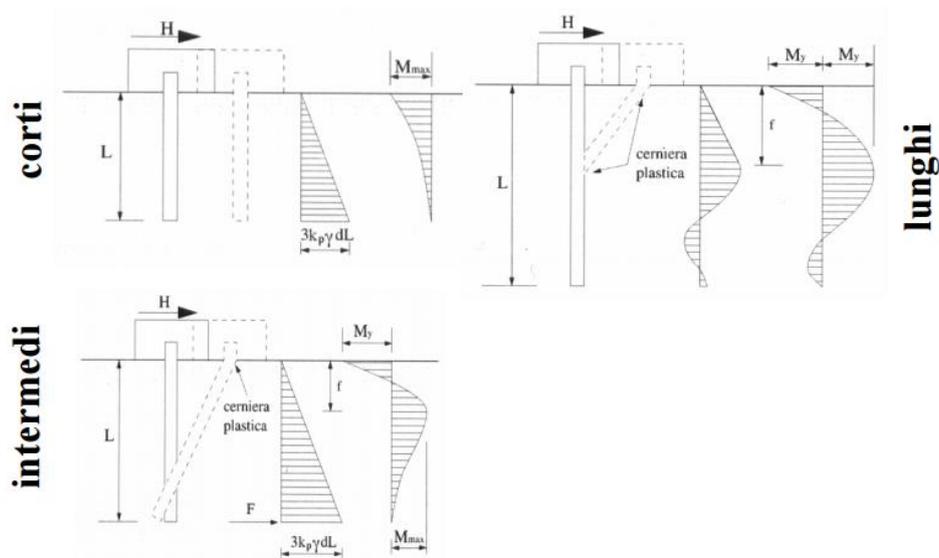
Palo corto: 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

Dove, oltre ai termini già definiti,

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva.



**Figura 10.1 – Meccanismi di collasso per pali impediti di ruotare in testa soggetti a carichi orizzontali in terreni incoerenti.**

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 <b>RICCIARDELLO COSTRUZIONI</b> S.r.l.		 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLVI2100001	Rev. C Foglio 133 di 136

In via cautelativa si è supposto lo strato di terreno interessato dal meccanismo di collasso come omogeneo con i parametri meccanici più scadenti tra quelli di Tabella 5.1 ( $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3 - \varphi = 25^\circ$ ) e si è assunto uno sforzo normale nullo per la determinazione del momento di plasticizzazione della sezione del palo  $M_y$ .

#### 10.2.1 Pila 44

L'armatura longitudinale utilizzata per la determinazione del momento di plasticizzazione è costituita da 24  $\varnothing 26$ .

Il momento plastico limite del palo, valutato, a favore di sicurezza, in condizioni di azione normale nulla, risulta pari a **2.129,00 kNm**.

Il carico limite orizzontale ottenuto è **H = 1.509,69 kN**, per cui essendo:

$$V_{max} = 286,80 \text{ kN} < 0,80 \cdot \frac{H}{FS} = 0,80 \cdot \frac{1.509,69}{2,50} = 483,10 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

#### 10.2.2 Pile 45 e 46

L'armatura longitudinale utilizzata per la determinazione del momento di plasticizzazione è costituita da 40  $\varnothing 30$ .

Il momento plastico limite del palo, valutato, a favore di sicurezza, in condizioni di azione normale nulla, risulta pari a **4.162,00 kNm**.

Il carico limite orizzontale ottenuto è **H = 2.360,33 kN**, per cui essendo:

$$V_{max} = 400,14 \text{ kN} < 0,80 \cdot \frac{H}{FS} = 0,80 \cdot \frac{2.360,33}{2,50} = 755,31 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
134 di 136

## 11 INCIDENZA ARMATURE

### 11.1 Zattere di fondazione

#### 11.1.1 Pila 44

INCIDENZA ZATTERA DI FONDAZIONE PILA 44																		
POS.	Ø [mm]	N <sub>BARRE</sub>	L [cm]	LUNGHEZZA PER DIAMETRO [m]														
				6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30	32		
1A	22	57	1.140,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	649,80	-	-	-	-	
1B	22	57	900,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	513,00	-	-	-	-	
2	16	29	880,00	-	-	-	-	-	-	255,20	-	-	-	-	-	-	-	
3	16	29	880,00	-	-	-	-	-	-	255,20	-	-	-	-	-	-	-	
4A	26	76	880,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	668,80	-	-	
4B	26	38	880,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	334,40	-	-	
5	26	76	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	912,00	-	-	
6A	20	94	830,00	-	-	-	-	-	-	-	-	780,20	-	-	-	-	-	
6B	20	72	660,00	-	-	-	-	-	-	-	-	475,20	-	-	-	-	-	
6C	20	38	830,00	-	-	-	-	-	-	-	-	315,40	-	-	-	-	-	
6D	20	16	665,00	-	-	-	-	-	-	-	-	106,40	-	-	-	-	-	
6E	20	36	655,00	-	-	-	-	-	-	-	-	235,80	-	-	-	-	-	
7A	26	42	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	504,00	-	-	
7B	26	42	390,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163,80	-	-	
7C	26	42	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	504,00	-	-	
8	16	21	1.180,00	-	-	-	-	-	-	247,80	-	-	-	-	-	-	-	
9	16	21	1.180,00	-	-	-	-	-	-	247,80	-	-	-	-	-	-	-	
10A	26	42	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	504,00	-	-	
10B	26	42	450,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	189,00	-	-	
10C	26	42	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	504,00	-	-	
11	26	112	494,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	553,28	-	-	
12A	16	5	1.200,00	-	-	-	-	-	-	60,00	-	-	-	-	-	-	-	
12B	16	5	1.200,00	-	-	-	-	-	-	60,00	-	-	-	-	-	-	-	
13A	16	5	1.120,00	-	-	-	-	-	-	56,00	-	-	-	-	-	-	-	
13B	16	5	1.120,00	-	-	-	-	-	-	56,00	-	-	-	-	-	-	-	
LUNGHEZZA TOTALE (per diametro)				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.238,00	0,00	1.913,00	1.162,80	0,00	4.837,28	0,00	0,00	
PESO BARRE (per metro lineare)				0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	1,998	2,466	2,984	3,551	4,168	5,549	6,313		
PESO BARRE (per diametro)				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,953,56	0,00	4,717,46	3,469,80	0,00	20,161,78	0,00	0,00		
<b>PESO TOTALE</b>				<b>30.302,60</b>														

VOLUME PLINTO (11,40x8,40x2,20)	<b>210,67</b>	[mc]
INCIDENZA	<b>143,84</b>	[kg/mc]

#### 11.1.2 Pile 45 e 46

INCIDENZA PLINTO PILA 45 - 46																		
POS.	Ø [mm]	N <sub>BARRE</sub>	L [cm]	LUNGHEZZA PER DIAMETRO [m]														
				6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30	32		
1	26	113	759,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	857,67	-	-	-	
2A	26	91	940,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	855,40	-	-	-	
2B	26	91	830,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	755,30	-	-	-	
3A	16	23	730,00	-	-	-	-	-	-	167,90	-	-	-	-	-	-	-	
3B	16	6	620,00	-	-	-	-	-	-	37,20	-	-	-	-	-	-	-	
4A	26	61	730,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	445,30	-	-	-	
4B	26	14	620,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	86,80	-	-	-	
5A	26	91	940,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	855,40	-	-	-	
5B	26	22	830,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	182,60	-	-	-	
6	26	88	364,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	320,32	-	-	-	
7A	26	37	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	444,00	-	-	-	
7B	26	37	450,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166,50	-	-	-	
7C	26	9	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108,00	-	-	-	
7D	26	9	330,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,70	-	-	-	
7E	26	22	1.000,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220,00	-	-	-	
7F	26	22	420,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,40	-	-	-	
8	16	9	1.180,00	-	-	-	-	-	-	106,20	-	-	-	-	-	-	-	
9A	16	11	1.180,00	-	-	-	-	-	-	129,80	-	-	-	-	-	-	-	
9B	16	6	1.070,00	-	-	-	-	-	-	64,20	-	-	-	-	-	-	-	
10A	26	37	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	444,00	-	-	-	
10B	26	37	450,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166,50	-	-	-	
10C	26	9	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108,00	-	-	-	
10D	26	9	330,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,70	-	-	-	
10E	26	22	1.000,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220,00	-	-	-	
10F	26	22	420,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,40	-	-	-	
11	26	88	484,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	425,92	-	-	-	
12A	16	4	840,00	-	-	-	-	-	-	33,60	-	-	-	-	-	-	-	
12B	16	2	525,00	-	-	-	-	-	-	10,50	-	-	-	-	-	-	-	
12C	16	4	860,00	-	-	-	-	-	-	34,40	-	-	-	-	-	-	-	
13A	16	6	1.120,00	-	-	-	-	-	-	67,20	-	-	-	-	-	-	-	
13B	16	4	1.000,00	-	-	-	-	-	-	40,00	-	-	-	-	-	-	-	
LUNGHEZZA TOTALE (per diametro)				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	691,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.905,91	0,00	0,00		
PESO BARRE (per metro lineare)				0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	1,998	2,466	2,984	3,551	4,168	5,549	6,313		
PESO BARRE (per diametro)				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,090,40	0,00	0,00	0,00	0,00	28,783,83	0,00	0,00		
<b>PESO TOTALE</b>				<b>29.874,23</b>														

VOLUME PLINTO PILA 44	<b>139,84</b>	[mc]
INCIDENZA	<b>213,63</b>	[kg/mc]

APPALTATORE


**RICCIARDELLO  
COSTRUZIONI**  
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI


**ITALFERR**  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE

Progetto  
IA00Lotto  
00Codifica Documento  
CLVI2100001Rev.  
CFoglio  
135 di 136

## 11.2 Elevazioni

### 11.2.1 Pila 44

POS.	Ø [mm]	N <sub>BARRE</sub>	L [cm]	INCIDENZA FUSTO PILA 44 H 5.00 m														
				LUNGHEZZA PER DIAMETRO [m]														
				6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30	32		
18	20	88	240,00	-	-	-	-	-	-	-	-	211,20	-	-	-	-	-	
19	20	13	250,00	-	-	-	-	-	-	-	-	32,50	-	-	-	-	-	
20	20	13	250,00	-	-	-	-	-	-	-	-	32,50	-	-	-	-	-	
21	20	14	1.107,00	-	-	-	-	-	-	-	-	154,98	-	-	-	-	-	
22	16	8	977,00	-	-	-	-	-	-	78,16	-	-	-	-	-	-	-	
23	20	14	1.097,00	-	-	-	-	-	-	-	-	153,58	-	-	-	-	-	
25	20	10	233,00	-	-	-	-	-	-	-	-	23,30	-	-	-	-	-	
26	20	5	1.077,00	-	-	-	-	-	-	-	-	53,85	-	-	-	-	-	
27	16	2	947,00	-	-	-	-	-	-	18,94	-	-	-	-	-	-	-	
28	20	5	1.067,00	-	-	-	-	-	-	-	-	53,35	-	-	-	-	-	
30	20	42	555,00	-	-	-	-	-	-	-	-	233,10	-	-	-	-	-	
31	16	22	427,00	-	-	-	-	-	-	93,94	-	-	-	-	-	-	-	
32	20	42	545,00	-	-	-	-	-	-	-	-	228,90	-	-	-	-	-	
33	20	5	525,00	-	-	-	-	-	-	-	-	26,25	-	-	-	-	-	
34	16	2	397,00	-	-	-	-	-	-	7,94	-	-	-	-	-	-	-	
35	20	5	515,00	-	-	-	-	-	-	-	-	25,75	-	-	-	-	-	
36	16	400	280,00	-	-	-	-	-	-	1.120,00	-	-	-	-	-	-	-	
37	12	40	65,00	-	-	-	26,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
38	16	80	284,00	-	-	-	-	-	-	227,20	-	-	-	-	-	-	-	
39	12	500	70,00	-	-	-	350,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
40	16	80	156,00	-	-	-	-	-	-	124,80	-	-	-	-	-	-	-	
41	16	80	200,00	-	-	-	-	-	-	160,00	-	-	-	-	-	-	-	
42	16	40	280,00	-	-	-	-	-	-	112,00	-	-	-	-	-	-	-	
43	16	40	483,00	-	-	-	-	-	-	193,20	-	-	-	-	-	-	-	
44	16	40	470,00	-	-	-	-	-	-	188,00	-	-	-	-	-	-	-	
45	16	80	200,00	-	-	-	-	-	-	160,00	-	-	-	-	-	-	-	
46	16	80	250,00	-	-	-	-	-	-	200,00	-	-	-	-	-	-	-	
47	16	60	280,00	-	-	-	-	-	-	168,00	-	-	-	-	-	-	-	
49	16	10	530,00	-	-	-	-	-	-	53,00	-	-	-	-	-	-	-	
50	16	10	530,00	-	-	-	-	-	-	53,00	-	-	-	-	-	-	-	
51	16	10	284,00	-	-	-	-	-	-	28,40	-	-	-	-	-	-	-	
52	16	10	265,00	-	-	-	-	-	-	26,50	-	-	-	-	-	-	-	
53	16	10	265,00	-	-	-	-	-	-	26,50	-	-	-	-	-	-	-	
54	16	10	284,00	-	-	-	-	-	-	28,40	-	-	-	-	-	-	-	
LUNGHEZZA TOTALE (per diametro)				0,00	0,00	0,00	376,00	0,00	3.067,98	0,00	1.229,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PESO BARRE (per metro lineare)				0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	1,998	2,466	2,984	3,551	4,168	5,549	6,313		
PESO BARRE (per diametro)				0,00	0,00	0,00	333,89	0,00	4.841,27	0,00	3.031,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>PESO TOTALE</b>				<b>8.206,52</b>														

VOLUME FUSTO PILA	87,62	[mc]
INCIDENZA	93,66	[kg/mc]

<b>APPALTATORE</b> 		<b>DIREZIONE LAVORI</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO DI VARIANTE</b>		Progetto IA00	Lotto 00	Codifica Documento CLV12100001	Rev. C	Foglio 136 di 136

## 11.3 Pali di fondazione

### 11.3.1 Pila P44

**DISTINTA ARMATURA PALI PILA P44**

POS.	Ø [mm]	N <sub>BARRE</sub>	L [cm]	LUNGHEZZA PER DIAMETRO [m]														
				6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30	32		
1A	26	20	1.400,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280,00	-	-	
1B	26	4	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48,00	-	-	
2	20	20	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	240,00	-	-	-	-	-	
3	20	20	1.300,00	-	-	-	-	-	-	-	-	260,00	-	-	-	-	-	
4	20	7	334,25	-	-	-	-	-	-	-	-	23,40	-	-	-	-	-	
5	20	12	338,02	-	-	-	-	-	-	-	-	40,56	-	-	-	-	-	
POS.	Ø [mm]	L <sub>SPIRALE</sub> [m]	SVILUPPO <sub>SPIRALE</sub> [cm/m]															
6	10	12,65	3.330,09	-	-	421,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	10	22,05	1.665,04	-	-	367,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LUNGHEZZA TOTALE (per diametro)				0,00	0,00	788,40	0,00	0,00	0,00	0,00	563,96	0,00	0,00	328,00	0,00	0,00	-	
PESO BARRE (per metro lineare)				0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	1,998	2,466	2,984	3,551	4,168	5,549	6,313	-	-
PESO BARRE (per diametro)				0,00	0,00	486,44	0,00	0,00	0,00	0,00	1.390,72	0,00	0,00	1.367,10	0,00	0,00	-	-
<b>PESO TOTALE</b>				<b>3.244,27</b>														

LUNGHEZZA PALO	35,00	[m]
INCIDENZA (per palo)	92,69	[kg/m]

### 11.3.2 Pile P45 e P46

**DISTINTA ARMATURA PALI PILE P45-P46**

POS.	Ø [mm]	N <sub>BARRE</sub>	L [cm]	LUNGHEZZA PER DIAMETRO [m]														
				6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30	32		
1A	30	20	1.400,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280,00	-	-	
1B	30	20	1.200,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	240,00	-	-	
2	20	20	1.300,00	-	-	-	-	-	-	-	-	260,00	-	-	-	-	-	
3	20	20	1.400,00	-	-	-	-	-	-	-	-	280,00	-	-	-	-	-	
4	20	7	331,73	-	-	-	-	-	-	-	-	23,22	-	-	-	-	-	
5	20	13	338,02	-	-	-	-	-	-	-	-	43,94	-	-	-	-	-	
POS.	Ø [mm]	L <sub>SPIRALE</sub> [m]	SVILUPPO <sub>SPIRALE</sub> [cm/m]															
6	10	12,65	3.330,09	-	-	421,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	10	24,05	1.665,04	-	-	400,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LUNGHEZZA TOTALE (per diametro)				0,00	0,00	821,70	0,00	0,00	0,00	0,00	607,16	0,00	0,00	0,00	520,00	0,00	0,00	-
PESO BARRE (per metro lineare)				0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	1,998	2,466	2,984	3,551	4,168	5,549	6,313	-	-
PESO BARRE (per diametro)				0,00	0,00	506,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1.497,27	0,00	0,00	0,00	2.885,48	0,00	0,00	-
<b>PESO TOTALE</b>				<b>4.889,73</b>														

LUNGHEZZA PALO	37,00	[m]
INCIDENZA (per palo)	132,15	[kg/m]