

COMMITTENTE



DIREZIONE INVESTIMENTI

PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA

VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA

VIADOTTO VI02 STRUTTURA MISTA

Relazione di Calcolo Pile e Fondazioni

SCALA:

-

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

RR0H 04 D 13 CL VI0205 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
B	Emissione a seguito parere CSLPP	P.Tortolini	Novembre 2018	A. Ciavarella	Novembre 2018	T.Paoletti	Novembre 2018	L. Berardi
A	Emissione Esecutiva	P.Tortolini	Marzo 2018	A. Ciavarella	Marzo 2018	T.Paoletti	Marzo 2018	Novembre 2018



File: RR0H04D13CLVI0205001B.docx

n. Elab.:

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3	MATERIALI	9
3.1	Calcestruzzo	9
3.2	Acciaio da armatura ordinaria.....	10
3.3	Acciaio armonico stabilizzato per trefoli	10
4	CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	11
5	ANALISI DEI CARICHI	12
5.1	Carichi da impalcato	12
5.1.1	Pesi strutturali impalcato (G1).....	12
5.1.2	Carichi permanenti portati impalcato (G2).....	12
5.1.3	Azioni variabili da traffico ferroviario.....	13
5.1.4	Vento impalcato.....	16
5.1.5	Resistenze parassite appoggi impalcato (RES).....	18
5.2	Pesi propri delle sottostrutture (G1).....	18
5.3	Vento su pila	18
5.4	Azione sismica (E).....	19
6	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL FUSTO PILA.....	21
6.1	Calcolo dell'azione sismica.....	21
6.2	Sollecitazioni elementari da impalcato	23
6.3	Sollecitazioni elementari base pila.....	24
6.4	Combinazioni dei carichi	24
6.5	Sollecitazioni combinate base pila.....	26

6.6	Verifiche strutturali del fusto pila	27
6.6.1	Calcolo dell'armatura minima	27
6.6.2	Verifica a flessione SLU e SLV	29
6.6.3	Verifica a taglio SLU e SLV.....	32
6.7	Verifica a fessurazione.....	34
7	VERIFICHE DELLE FONDAZIONI	35
7.1	Sollecitazioni elementari intradosso fondazione.....	35
7.2	Combinazioni di carico	36
7.3	Sollecitazioni combinate intradosso fondazione.....	38
7.4	Verifiche strutturali del plinto.....	39
7.5	Verifiche geotecniche	51
7.5.1	Verifica nei confronti della capacità portante.....	52
7.5.2	Verifica a scorrimento	54
7.6	Verifica a ribaltamento.....	55
8	INCIDENZA ARMATURE	59

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	4 di 59

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riporta le analisi e verifiche che hanno condotto al dimensionamento delle pile del viadotto VI02 della variante di Bonorva - Torralba nell'ambito del progetto definitivo relativo alla "Velocizzazione linea San Gavino - Sassari - Olbia".

L'opera è funzionale ad una linea ferroviaria di categoria D4, con velocità di progetto di 140 km/h.

Il viadotto in oggetto è caratterizzato da travi poggiate con struttura mista in acciaio-calcestruzzo, di luce 30m e 40m. L'opera presenta 2 pile con fondazione diretta, essendo il sottosuolo caratterizzato da una matrice rocciosa ad elevate caratteristiche geomeccaniche. Le pile sono omogenee per altezza (13.5 e 13.6m) e sono caratterizzate da una sezione scatolare cava, con geometria pseudorettangolare di dimensione esterne pari a 6x3.2m, lo spessore delle pareti è pari a 0.40m. Le fondazioni hanno dimensioni in pianta di 10x10 m e spessore 2.5m.

VI02 - Viadotto struttura mista
Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	7 di 59

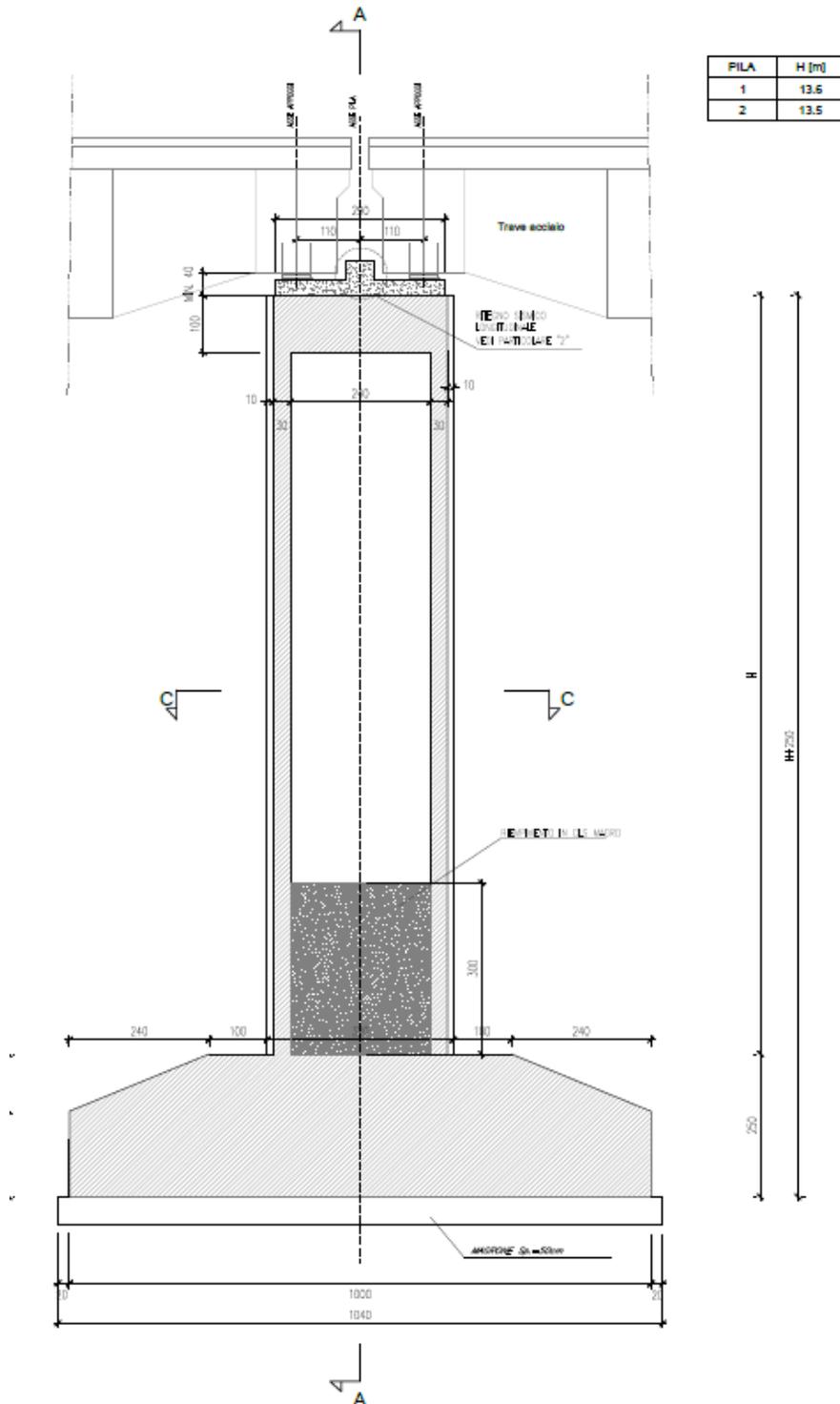


Figura 3: Sezione longitudinale pila.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- D.P.R. n. 380/2001 – Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;
- D.M. del 14.01.2008 “*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*” (G.U. n.29 del 04.02.2008);
- Circolare del 02.02.2009 contenente le istruzioni per le l’applicazione delle “*Nuove norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. del 14.01.2008 (G.U. n.47 del 26.02.2009).
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A: “*Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.2 : Ponti e strutture* “ del 30/12/2016.
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 A: *Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.3. : Corpo stradale*” del 30/12/2016.
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “*infrastruttura*” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.
- EN 1991-2 “*Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2 : carichi da traffico sui ponti*”
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1 : Regole generali e regole per edifici*”
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi.*”
- EN 1993-1 “*Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1 : Regole generali e regole per edifici*”
- EN 1993-1-8 “*Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti*”
- EN 1993-1-9 “*Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Fatica*”
- EN 1993-2 “*Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 2 : Ponti di acciaio*”
- EN 1994-2 “*Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio- calcestruzzo - Parte 2 : Ponti*”
- EN 1997-1 “*Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1 : Regole generali.*”
- UNI EN 1337 – *Appoggi strutturali.*

3 MATERIALI

3.1 Calcestruzzo

- *Travi prefabbricate*

Classe C45/55

Resistenza a compressione di progetto $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 25.5$ Mpa

Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 36$ Gpa

Classe di esposizione = XC3

Classe di consistenza min = S4

Rapporto $a/c_{max} = 0.45$

Copriferro minimo armatura ordinaria = 35 mm

Copriferro minimo armatura pretesa = 50 mm

- *Soletta d'impalcato*

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.1$ Mpa

Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 33$ Gpa

Classe di esposizione = XC3

Classe di consistenza min = S4

Rapporto $a/c_{max} = 0.55$

Copriferro minimo armatura ordinaria = 40 mm

- *Getti in elevazione di pile e spalle (compresi baggioli e ritegni)*

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.1$ Mpa

Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 33$ Gpa

Classe di esposizione = XC4

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	10 di 59

Classe di consistenza min = S3

Rapporto $a/c_{\max} = 0.50$

Copriferro minimo armatura ordinaria = 40 mm

- *Getti di fondazione*

Classe C25/30

Resistenza a compressione di progetto $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.2$ Mpa

Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 31$ Gpa

Classe di esposizione = XC2

Classe di consistenza min = S3

Rapporto $a/c_{\max} = 0.60$

Copriferro minimo armatura ordinaria = 40 mm

- *Magrone*

Classe C12/15

Classe di esposizione = X0

3.2 Acciaio da armatura ordinaria

Acciaio tipo B450 C ($f_{yk} = 450$ MPa)

Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 391$ Mpa

Modulo elastico $E_s = 200$ Gpa

3.3 Acciaio armonico stabilizzato per trefoli

Tensione caratteristica di rottura $f_{ptk} = 1860$ Mpa

Tensione di snervamento di calcolo $f_{p(1)k} = 1670$ Mpa

Modulo elastico $E_s = 195$ Gpa

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	11 di 59

4 CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Con riferimento alla relazione geotecnica e al profilo geotecnico allegati al presente progetto, sono state assunti i seguenti parametri di calcolo relativi allo strato di terreno su cui sono state intestate le fondazioni delle sottostrutture.

Tratta Geotecnica 3

Strato: Ignimbriti riolitiche alterate (IGRalt)

$$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$$

$$\varphi' = 58^\circ$$

$$c' = 571 \text{ Kpa}$$

$$E_m = 4900 \text{ Mpa}$$

Ai fini delle verifiche geotecniche, a vantaggio di sicurezza, il contributo della coesione del terreno di fondazione viene trascurato.

5 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le corrispondenti verifiche degli elementi strutturali dell'opera.

Sono stati adottati i seguenti pesi specifici dei materiali da costruzione:

Cemento armato: $\gamma_c = 25.00 \text{ KN/m}^3$

Acciaio strutturale: $\gamma_s = 78.50 \text{ KN/m}^3$

5.1 Carichi da impalcato

5.1.1 Pesi strutturali impalcato (G1)

Considerata la geometria dell'impalcato in oggetto per la singola campata si hanno i seguenti carichi strutturali:

Travi acciaio-clc L=30m (15.05 kN/m / trave*) = $2 * 15.05 \text{ KN/m} = \mathbf{30.1 \text{ KN/m}}$

Soletta in ca (spessore medio 41 cm) = $0.41 \text{ m} * 8.60 \text{ m} * 25 \text{ KN/m} = \mathbf{88.15 \text{ KN/m}}$
118.25 KN/m

Travi acciaio-clc L=40m (17.2 kN/m / trave*) = $2 * 17.2 \text{ KN/m} = \mathbf{34.40 \text{ KN/m}}$

Soletta in ca (spessore medio 41 cm) = $0.41 \text{ m} * 8.60 \text{ m} * 25 \text{ KN/m} = \mathbf{88.15 \text{ KN/m}}$
122.55 KN/m

* compresi traversi, controventi e giunzioni e piattame vario

Il peso totale G1 per l'impalcato da 30m è dunque 3550 KN.

Il peso totale G1 per l'impalcato da 40m è dunque 4900 KN.

5.1.2 Carichi permanenti portati impalcato (G2)

Il peso proprio della sovrastruttura ferroviaria (armamento, ballast, impermeabilizzazione, etc..) viene valutato tramite un peso di volume a pari a 20 kN/m^3 (ponte in curva) applicato ad un'altezza convenzionale di 0.8m.

Sovrastruttura ferroviaria $0.8 \text{ m} * 3.7 \text{ m} * 20 \text{ KN/m}^3 = \mathbf{59.2 \text{ KN/m}}$

Muretti per marciapiedi FFP $2 * 0.3 \text{ m} * 1.4 \text{ m} * 25 \text{ KN/m}^3 = \mathbf{21 \text{ KN/m}}$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	13 di 59

Grigliato marciapiede FFP (50 kg/m² compresi i profili di supporto) $2 * 2.0 \text{ m} * 0.5 \text{ KN/m}^2 = 2.0 \text{ KN/m}$

Barriere parapetto $2 * 2.5 \text{ KN/m} = 5.0 \text{ KN/m}$

Canalette portacavi (2.0 KN/m) 2.0 KN/m

89.20 KN/m

Il peso totale G2 per l'impalcato da 30m è dunque 2680 KN.

Il peso totale G2 per l'impalcato da 40m è dunque 3570 KN.

5.1.3 Azioni variabili da traffico ferroviario

Ai fini del calcolo delle sollecitazioni più sfavorevoli prodotte dalle azioni variabili da traffico per le sottostrutture sono state prese in considerazione due configurazioni di carico delle campate afferenti la pila.

Schema 1: Carichi da traffico presenti su entrambe le campate

Schema 2 : Carichi da traffico presenti solo sulla campata lato appoggio fisso

Di seguito sono illustrati i modelli di traffico adottati per il calcolo delle sollecitazioni.

Traffico normale: Treno LM71

Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e risulta articolato come da figura seguente:

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	14 di 59

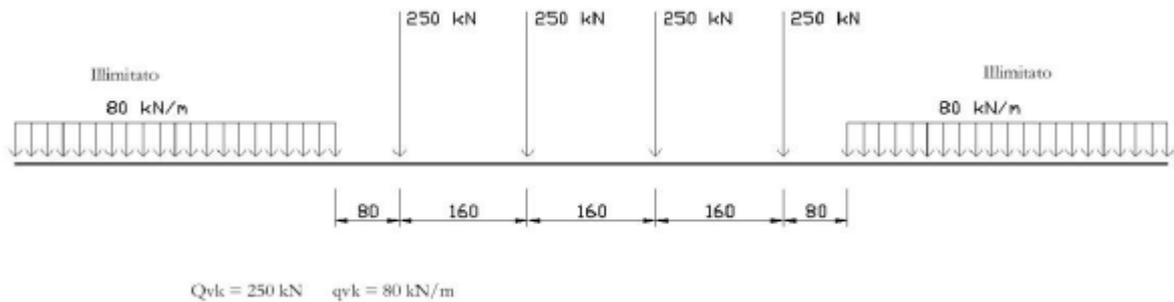


Figura 5.2.1 - Treno di carico LM71

Per questo modello è prevista un'eccentricità di applicazione del carico rispetto all'asse teorico del binario pari a $s/18$ ($s = 1435 \text{ mm}$, scartamento):

$$e_{LM71} = 80 \text{ mm}$$

I valori caratteristici del carico LM71 summenzionati devono essere incrementati per il coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$

Traffico pesante: Treno SW/2

Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante e risulta articolato come da figura seguente:

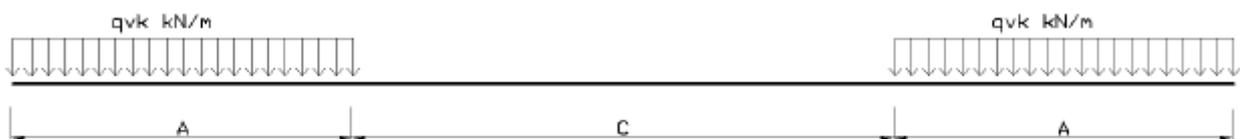


Fig. 5.2.2 Treno di carico SW

	Qvk (KN/m)	A (m)	C(m)
SW/2	150	25.00	7.00

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	15 di 59

Traffico scarico

Il “treno scarico” è rappresentato da un carico uniformemente distribuito pari a 10 KN/m.

Effetti dinamici

Si considera una linea con manutenzione standard

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.73 \quad \text{con la limitazione} \quad 1.0 \leq \Phi_3 \leq 2.0$$

con la lunghezza L_Φ valutata secondo la Tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 del manuale di progettazione Ponti RFI

- Travi principali - campata da 40m $L_\Phi = L_c = 38.0$ m **$\Phi_3 = 1.09$**
- Travi principali - campata da 30m $L_\Phi = L_c = 28.0$ m **$\Phi_3 = 1.15$**
- Soletta impalcato - luce netta 2.7m $L_\Phi = 3 * L_c = 8.10$ m **$\Phi_3 = 1.55$**

Frenatura/ avviamento

I valori caratteristici considerati sono calcolati secondo :

Avviamento $Q_{1a,k} = 33 \text{ KN/m} * L \leq 1000 \text{ KN}$ (modelli LM71 SW/0 SW/2)

Frenatura $Q_{1b,k} = 20 \text{ KN/m} * L \leq 6000 \text{ KN}$ (modelli LM71 SW/0)

Frenatura $Q_{1b,k} = 35 \text{ KN/m} * L$ (modelli SW/2)

I valori caratteristici devono essere moltiplicati al coefficiente α .

- LM71 ($\alpha=1.1$):

Campata [m]	Avviamento $Q_{1a,k}$ [KN]	Frenatura $Q_{1b,k}$ [KN]
40	1100	880
30	1089	660

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	16 di 59

- SW/2 ($\alpha=1.0$):

Campata (m)	Avviamento Q1a,k [KN]	Frenatura Q1b,k [KN]
40	1000	1155
30	990	875

Forza centrifuga

L'azione non è presente essendo il viadotto in rettilineo.

Serpeggio

Si considera una forza orizzontale concentrata agente sulla sommità della rotaia più alta di intensità pari a $Q_{sk}=100KN$. A tale carico si applica il coefficiente di adattamento α , menzionato in precedenza.

[KN]	LM71 ($\alpha=1.1$)	SW2 ($\alpha=1.0$)
Azione serpeggio	110	100

Ai fini della massimizzazione degli effetti dei carichi ferroviari sulle strutture oggetto di studio, sono stati presi in esame i seguenti gruppi di carico:

	Carco verticale	Frenatura/avviamento*	Serpeggio
LM71 gr1	1	0.5	1
LM71 gr3	1	1	0.5
SW/2 gr1	1	0.5	1
SW/2 gr3	1	1	0.5
treno scarico gr2	1	0	1

* Si considera l'azione (frenatura/avviamento) con intensità più alta.

5.1.4 *Vento impalcato*

L'azione del vento è schematizzata come una pressione statica la cui intensità è data da:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove

q_b pressione cinetica di riferimento

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	17 di 59

ce coefficiente di esposizione

cp coefficiente di forma (1.4 prima trave 0.2 travi successive)

cd coefficiente dinamico (=1)

Per l'opera in studio si ha:

- Velocità di riferimento del vento:

$$v_b = 28 \text{ m/s (Sardegna orientale con altitudine } <750 \text{ m slm)}$$

- Pressione cinetica di riferimento ($\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$):

$$q_b = 0.5 * \rho * v_b^2 = 490 \text{ N/m}^2 = 0.49 \text{ KN/m}^2$$

- Coefficiente di esposizione :

$$c_e = k_r^2 * c_t * \ln(z/z_0) * [7 + c_t \ln(z/z_0)] = 2.57$$

$k_r = 0.19$ e $z_0 = 0.05 \text{ m}$ (II cat. esposizione del sito, Zona 6, Rugosità D)

$c_t = 1$ (coefficiente di topografia)

$z = 14 \text{ m}$ (quota media impalcato dal pc)

In definitiva la pressione del vento vale:

$$p = 0.49 \text{ KN/m}^2 * 2.57 * 1.4 * 1 = 1.76 \text{ KN/m}^2 \quad \text{(trave direttamente investita)}$$

$$p = 0.49 \text{ KN/m}^2 * 2.57 * 0.2 * 1 = 0.25 \text{ KN/m}^2 \quad \text{(travi successive)}$$

La pressione del vento si applica ad una superficie convenzionale del treno caratterizzata da un'altezza di 4m a partire dal piano del ferro oltre alla superficie dell'impalcato direttamente investita.

Nel caso in esame si ha:

H impalcato	3.8 m
H treno	4 m
H trave	2.6 m

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	18 di 59

La forza orizzontale al metro lineare applicata sull'impalcato è dunque pari a:

$$F_{\text{vento}} = 1.76 \text{ KN/m} * (4+3.8)\text{m} + 0.25\text{KN/m} * 2.6\text{m} = 14.38 \text{ KN/m} \quad \text{Ponte carico}$$

$$F_{\text{vento}^*} = 1.76 \text{ KN/m} * 3.8\text{m} + 0.25\text{KN/m} * 2.6\text{m} = 7.34 \text{ KN/m} \quad \text{Ponte scarico}$$

Si fa notare che nel calcolo delle sollecitazioni sull'impalcato si tiene conto del fatto che è presente un'eccentricità verticale tra il centro di applicazione della forza orizzontale dovuta al vento e l'impalcato, pertanto nel modello di calcolo all'azione orizzontale viene associato un momento torcente corrispondente alla summenzionata eccentricità.

5.1.5 *Resistenze parassite appoggi impalcato (RES)*

L'entità di tale forza (F_a), diretta secondo l'asse del viadotto, vale per travi in semplice appoggio:

$$\text{Spalle} \quad F_a = f (V_g + V_q)$$

$$\text{Pile} \quad F_a = f (0.2 * V_g + V_q)$$

dove

V_g Reazione verticale massima associata ai carichi permanenti,

V_q Reazione verticale massima associata ai carichi mobili dinamicizzati.

5.2 **Pesi propri delle sottostrutture (G1)**

Per la pila oggetto del presente studio ($H=13.6\text{m}$) si hanno i seguenti pesi strutturali:

$$\text{Pulvino (sp=1m)} \quad = 18.8\text{m}^2 * 1\text{m} * 25 \text{ KN/m}^3 = 470 \text{ KN}$$

$$\text{Fusto pila} \quad = 6.45 \text{ m}^2 * 12.6 \text{ m} * 25 \text{ KN/m}^3 = 2032 \text{ KN}$$

$$\text{Fondazione} \quad = (10\text{m} * 10\text{m} * 2.5\text{m} - 2.4\text{m} * 1\text{m} * 10\text{m}) * 25 \text{ KN/m}^3 = 5650 \text{ KN}$$

5.3 **Vento su pila**

Con riferimento alla pressione cinetica del vento del sito calcolata nell'analisi dell'impalcato ($q_b = 0.49\text{KN/m}^2$):

Coefficiente di esposizione:

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	19 di 59

$$ce = kr^2 * ct * \ln(z/zo) * [7 + ct \ln(z/zo)] = 2.13$$

$kr = 0.19$ e $zo = 0.05m$ (II cat. esposizione del sito, Zona 6, Rugosità D)

$ct = 1$ (coefficiente di topografia)

$z = 7 m$ (quota baricentro pila)

$$p = qb * ce * cp * cd = 0.49 * 2.13 * 1 * 1.2 = 1.25 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Vento longitudinale pila} = 1.25 \text{ KN/m}^2 * 13.6 m * 6 m = 102 \text{ KN}$$

$$\text{Vento trasversale pila} = 1.25 \text{ KN/m}^2 * 13.6 * 3.2 m = 54.4 \text{ KN}$$

5.4 Azione sismica (E)

La regione Sardegna ricade in zona sismica di IV categoria, i dati definitivi dello spettro sismico sono riportati nella tabella 2 relativa alla pericolosità sismica del territorio nazionale contenuta nelle NTC2008.

TABELLA 2: Valori di a_g, F_o, T_c^* per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401

Per i viadotti in esame si assumono le seguenti caratteristiche dell'opera :

Vita utile $V_u = 75$ anni

Classe d'uso II ($C_u = 1.0$)

Pertanto l'azione sismica allo stato limite ultimo (salvaguardia della vita SLV) è caratterizzata da un tempo di ritorno di **$T_r = 712$ anni**.

I parametri ottenuti per interpolazione da quelli della tabella 2 sono i seguenti:

SLV	$T_r = 712$ anni
a_g [g]	0.057
F_o	2.936
T_c^* [s]	0.358

VI02 - Viadotto struttura mista

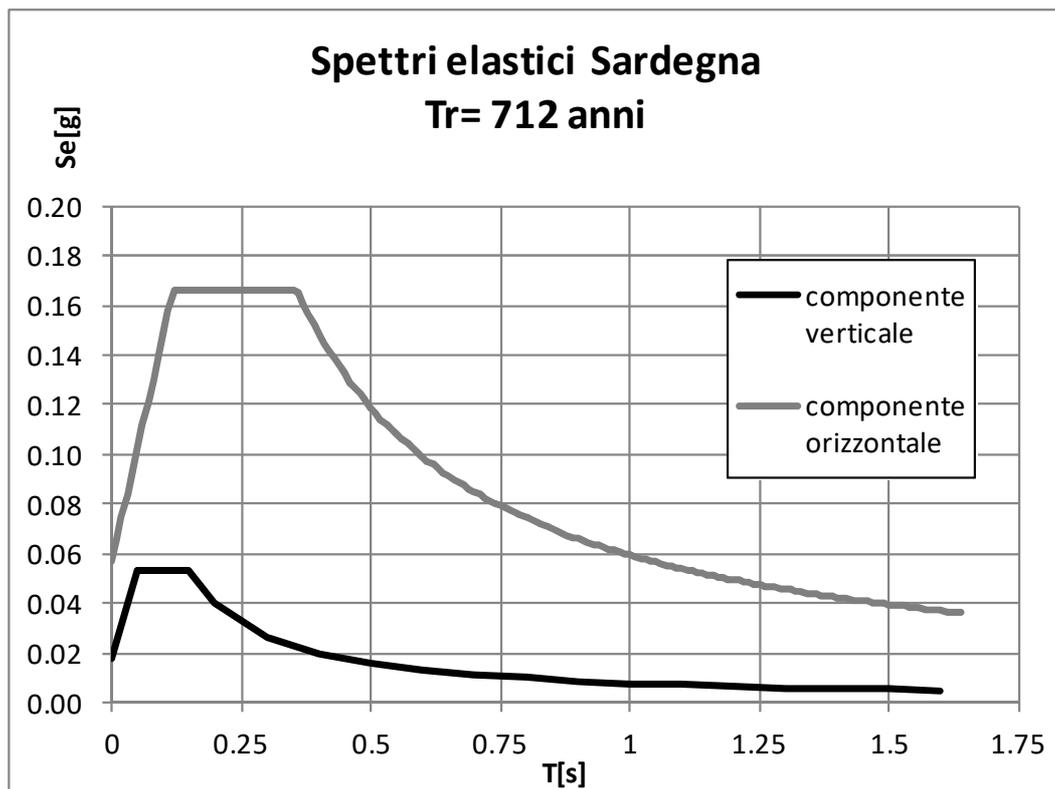
Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	20 di 59

Considerate le caratteristiche dei terreni di fondazione (vedasi relazione geotecnica) e quelle topografiche si assume una categoria di sottosuolo "A" ($S_s = 1.0$) ed un coefficiente topografico T1 ($S_T = 1.0$).

In definitiva dunque le due componenti degli spettri sismici per lo SLV sono i seguenti :

SLV	componente Orizz.	Componente Vert.
ag [g]	0.057	0.018
F _{0,v}	2.936	0.943
T _B [s]	0.119	0.05
T _C [s]	0.358	0.15
T _D [s]	10.827	1.00
η	1	1



 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA												
VI02 - Viadotto struttura mista Relazione di calcolo pile e fondazioni	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RR0H</td> <td>04</td> <td>D13CL</td> <td>VI0205001</td> <td>B</td> <td>21 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	21 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	21 di 59								

6 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL FUSTO PILA

6.1 Calcolo dell'azione sismica

Considerata la bassa pericolosità sismica del territorio in cui il ponte verrà realizzato, si adotta quale spettro di progetto quello elastico ($q=1$).

L'azione sismica trasmessa dall'impalcato alla sottostruttura nonché l'azione sismica della pila stessa viene valutata impiegando uno schema di calcolo ad 1GL (mensola), secondo l'analisi statica lineare.

Considerato che in direzione longitudinale ciascuna campata è collegata rigidamente ad un'unica pila, mentre trasversalmente ciascun appoggio dell'impalcato è fisso, ciascuna pila sopporta la medesima massa sismica dell'impalcato pari ad un'unica campata.

Per la pila in esame la massa efficace che determina l'azione sismica è data da:

$$M \text{ sismica longitudinale} = (M \text{ impalcato } 40\text{m} + M \text{ pulvino} + 0.5M \text{ pila}) = \mathbf{1000 \text{ ton}}$$

$$M \text{ sismica trasversale} = (1/2 M \text{ impalcato } 30\text{m} + 1/2 M \text{ impalcato } 40\text{m} + M \text{ pulvino} + 0.5M \text{ pila}) = \mathbf{890 \text{ ton}}$$

Ai fini del calcolo dei periodi propri e delle relative forze sismiche della pila si distinguono le due direzioni di applicazione dell'azione sismica.

- DIREZIONE LONGITUDINALE

$$H \text{ long} = H_{\text{pila}} + H_{\text{appoggi}} = 13.6 \text{ m} + 0.4 \text{ m} = 14.0 \text{ m}$$

$$J \text{ long} = 10.4 \text{ m}^4$$

$$E_c = 22000 * (f_{cm}/10)^{0.3} = 33.3 \text{ Gpa (cls C32/40, si assume una rigidezza del cls non fessurata)}$$

Da cui discende la seguente rigidezza orizzontale della pila:

$$K \text{ long} = 3 E_c * J \text{ long} / H \text{ long}^3 = \mathbf{3.79 \text{ E5 kN/m}}$$

Dunque il periodo longitudinale del sistema pila + impalcato vale:

$$T \text{ long} = 2\pi (M \text{ sismica} / K \text{ long})^{0.5} = \mathbf{0.323 \text{ s}}$$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	22 di 59

che risulta un periodo compreso tra T_B (inizio tratto ad accelerazione costante dello spettro) e T_C , quindi si adotta il valore massimo dello spettro:

$$S_e(\text{plateau}) = 0.166 \text{ g}$$

L'azione sismica che agisce in testa alla pila vale dunque:

$$F_{SLV \text{ long}} = 1000 \text{ Ton} * 0.166 * 9.81 \text{ m/s}^2 = 1631 \text{ KN}$$

- DIREZIONE TRASVERSALE

$$H_{\text{trav}} = H_{\text{pila}} + H_{\text{appoggi}} + Y_g \text{ impalcato} = 10.6 \text{ m} + 0.4 \text{ m} + 1.8 \text{ m} = 15.6 \text{ m}$$

$$J_{\text{trav}} = 29.5 \text{ m}^4$$

$$E_c = 22000 * (f_{cm}/10)^{0.3} = 33.3 \text{ Gpa (cls C32/40, si assume una rigidezza del cls non fessurata)}$$

Da cui discende la seguente rigidezza orizzontale della pila:

$$K_{\text{trav}} = 3 E_c * J_{\text{trav}} / H_{\text{trav}}^3 = 7.77 \text{ E5 kN/m}$$

Dunque il periodo trasversale del sistema pila + impalcato vale:

$$T_{\text{trav}} = 2\pi (M_{\text{sismica}} / K_{\text{trav}})^{0.5} = 0.213 \text{ s}$$

che risulta un periodo compreso tra T_B (inizio tratto ad accelerazione costante dello spettro) e T_C , quindi si adotta il valore massimo dello spettro:

$$S_e(\text{plateau}) = 0.166 \text{ g}$$

L'azione sismica che agisce in testa alla pila vale dunque:

$$F_{SLV \text{ tra}} = 890 \text{ Ton} * 0.166 * 9.81 \text{ m/s}^2 = 1452 \text{ KN}$$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	23 di 59

6.2 Sollecitazioni elementari da impalcato

Le tabelle seguenti riportano le sollecitazioni elementari trasmesse dagli appoggi dell'impalcato riportate alla base del fusto pila.

	APPOGGI FISSI (1-2) L=40m				
	N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]
G1	2452	2452	0	0	0
G2	1784	1784	0	0	0
Vento	0	0	-4295	0	-342
LM 71	2448	2448	-194	0	0
SW/2	2820	2820	0	0	0
serpeggio LM71	0	0	-1100	0	-64
serpeggio SW/2	0	0	-996	0	-58
centrifuga LM71	0	0	0	0	0
centrifuga SW/2	0	0	0	0	0
frenatura LM71	0	14000	0	1000	0
frenatura SW2	0	16170	0	1155	0

	APPOGGI MOBILI (3-4) L=30m				
	N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]
G1	1832	-1832	0	0	0
G2	1382	-1382	0	0	0
Vento	0	0	-2618	0	-214
LM 71	2116	-2116	-169	0	0
SW/2	2454	-2454	0	0	0
serpeggio LM71	0	0	-825	0	-48
serpeggio SW/2	0	0	-756	0	-44
centrifuga LM71	0	0	0	0	0
centrifuga SW/2	0	0	0	0	0
frenatura LM71	0	0	0	0	0
frenatura SW2	0	0	0	0	0

VI02 - Viadotto struttura mista

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo pile e fondazioni

RR0H 04 D13CL VI0205001 B 24 di 59

6.3 Sollecitazioni elementari base pila

La tabella seguente riporta le sollecitazioni elementari alla base della pila di tutte le azioni considerate nel calcolo della pila.

	SOLLECITAZIONI BASE PILA				
	N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]
Peso pila + pulvino	2502	0	0	0	0
Sisma pila + impalcato long	0	22836	0	1631	0
Sisma pila + impalcato tra	0	0	-22647	0	-1452
Sisma pila + impalcato vert*	178	0	0	0	0
Azioni da impalcato					
G1	4284	620	0	0	0
G2	3166	402	0	0	0
Vento impalcato	0	0	-6913	0	-556
Traffico schema 1					
LM71 GR.1	4564	7332	-1630	500	-112
LM71 GR.3	4564	14332	-633	1000	-56
SW/2 GR.1	5274	8451	-1816	578	-102
SW/2 GR.3	5274	16536	-908	1155	-51
treno scarico GR. 2	350	0	-1780	0	-100
Res. parassite vincoli	0	5682	0	406	0
Traffico schema 2					
LM71 GR.1	2448	9448	-945	500	-64
LM71 GR.3	2448	16448	-375	1000	-32
SW/2 GR.1	2820	10905	-1032	578	-58
SW/2 GR.3	2820	18990	-516	1155	-29
treno scarico GR. 2	200	0	-890	0	-50
Res. parassite vincoli	0	3620	0	259	0

* L'azione sismica verticale è stata ottenuta moltiplicando la accelerazione spettrale di ancoraggio (PGAv) per la massa del sistema impalcato-pila.

6.4 Combinazioni dei carichi

Ai fini delle verifiche strutturali sono stati presi in esame i seguenti gruppi di combinazioni.

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	25 di 59

		AZIONI IMPALCATO																			
									TRAFFICO SCHEMA 1						TRAFFICO SCHEMA 2						
		Peso pila + pulvino	Sisma pila + impalcato long	Sisma pila + impalcato tra	Sisma pila + impalcato vert	G1	G2	Vento impalcato	Traffico schema 1	LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli	LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli
SLE RARA	SLE1	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE2	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE3	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE4	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE5	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	SLE7	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	SLE8	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
	SLE9	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	SLE10	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

		AZIONI IMPALCATO																			
									TRAFFICO SCHEMA 1						TRAFFICO SCHEMA 2						
		Peso pila + pulvino	Sisma pila + impalcato long	Sisma pila + impalcato tra	Sisma pila + impalcato vert	G1	G2	Vento impalcato	Traffico schema 1	LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli	LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli
SLU A1	SLU1	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90	1.00	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU2	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90	1.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU3	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90	1.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU4	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU5	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20
	SLU7	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	1.20
	SLU8	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	1.20
	SLU9	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	1.20
	SLU10	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.20

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	27 di 59

6.6 Verifiche strutturali del fusto pila

Di seguito si riportano le verifiche strutturali del fusto della pila; i domini di resistenza sono stati calcolati con il programma VcaSLU by Prof. Piero Gelfi.

6.6.1 Calcolo dell'armatura minima

- **Armatura verticale**

L'armatura verticale minima da disporre è pari a 0.6% dell'area della sezione (cfr. Manuale Progettazione Opere Civili RFI).

Area sezione di base $A_c = 6.4 \text{ m}^2$

Area minima $A_{l,min} = 0.6\% * A_c = 384 \text{ cm}^2$

Si dispone un'armatura articolata come segue:

Strato esterno: $\phi 24$ passo 20 cm

Strato interno: $\phi 24$ passo 20 cm

Complessivamente si contano 161 ferri $\phi 24$ per un'area di armatura complessiva di $728 \text{ cm}^2 > A_{l,min}$.

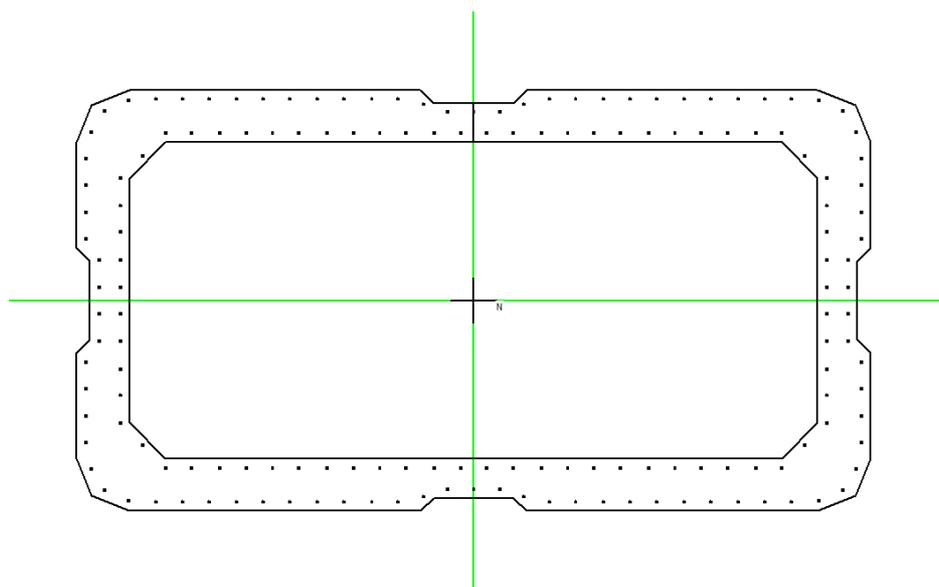


Figura 4: Armatura pila

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	28 di 59

- **Armatura di confinamento**

Essendo stato impiegato un fattore di struttura “q” < 1,5, l’armatura di confinamento deve soddisfare la seguente limitazione:

$$\omega_{wd,r} = \frac{A_{sw}}{s \cdot b} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \geq \zeta$$

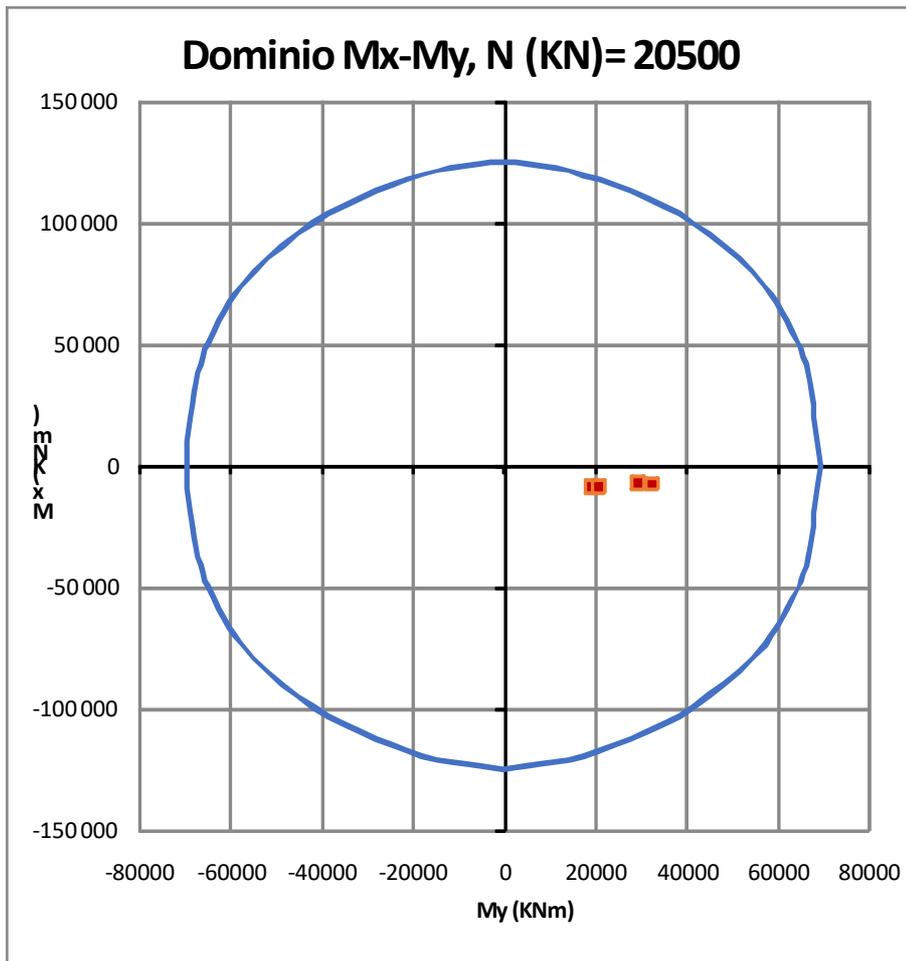
dove $\zeta = 0.03$, in quanto l’accelerazione sismica ($a_{g,SLV}$) del sito è minore di 0.15g.

Su ogni parete della pila si dispongono spille $\phi 14$ nel numero di 9 al mq ($13.85 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$), pertanto:

$$\omega_{wd,r} = 13.851 \text{ E-4} * 391 \text{MPa} / 18.1 \text{MPa} = 0.03$$

6.6.2 Verifica a flessione SLU e SLV

Si riportano i diagrammi resistenti Mx-My della sezione di base pila, confrontati con le rispettive sollecitazioni agenti.



	NEd (KN)	MEd,x (KNm)	MEd,y (KNm)
SLU1	20528	18890	-8585
SLU2	20528	29040	-7140
SLU3	21557	20512	-8854
SLU4	21557	32235	-7538

Tutte le sollecitazioni risultano interne al dominio di rottura, pertanto la verifica è soddisfatta.

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RR0H

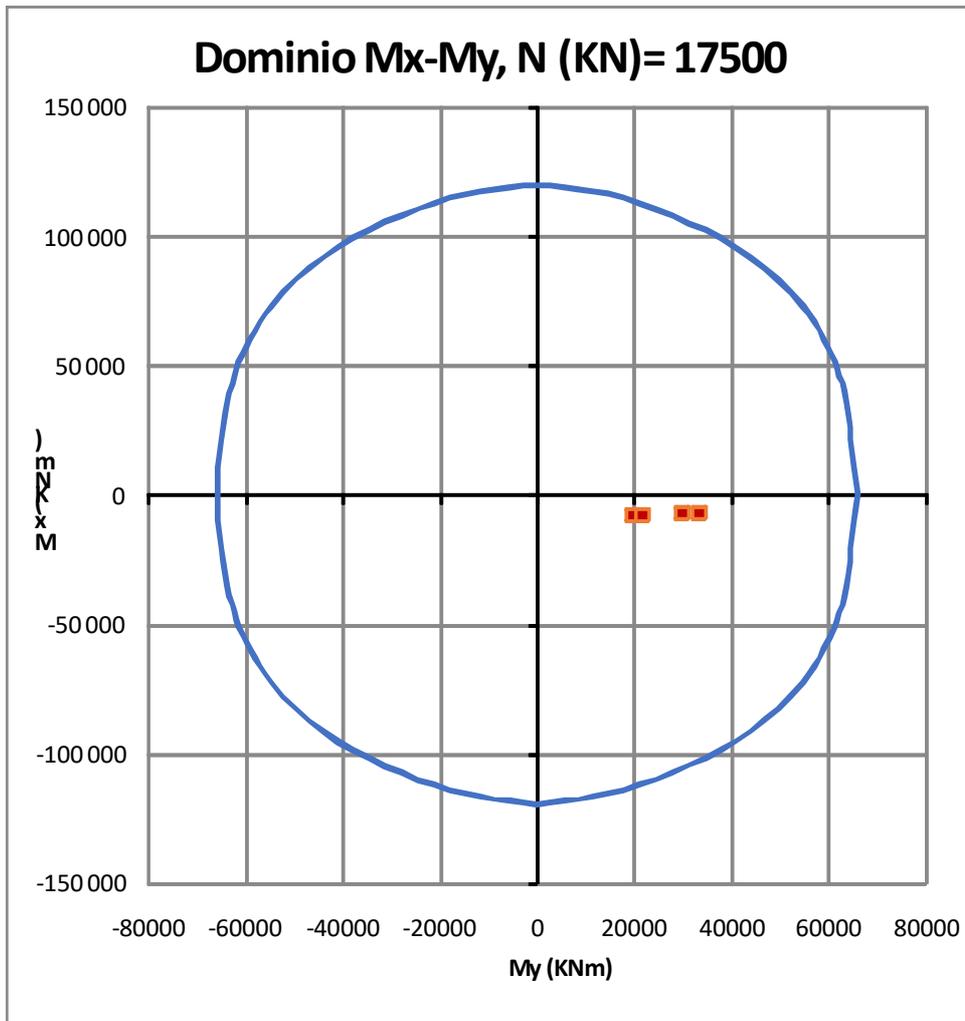
04

D13CL

VI0205001

B

30 di 59



	NEd (KN)	MEd,x (KNm)	MEd,y (KNm)
SLU6	17459	19484	-7591
SLU7	17459	29634	-6766
SLU8	17999	21597	-7719
SLU9	17999	33320	-6970

Tutte le sollecitazioni risultano interne al dominio di rottura, pertanto la verifica è soddisfatta.

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RR0H

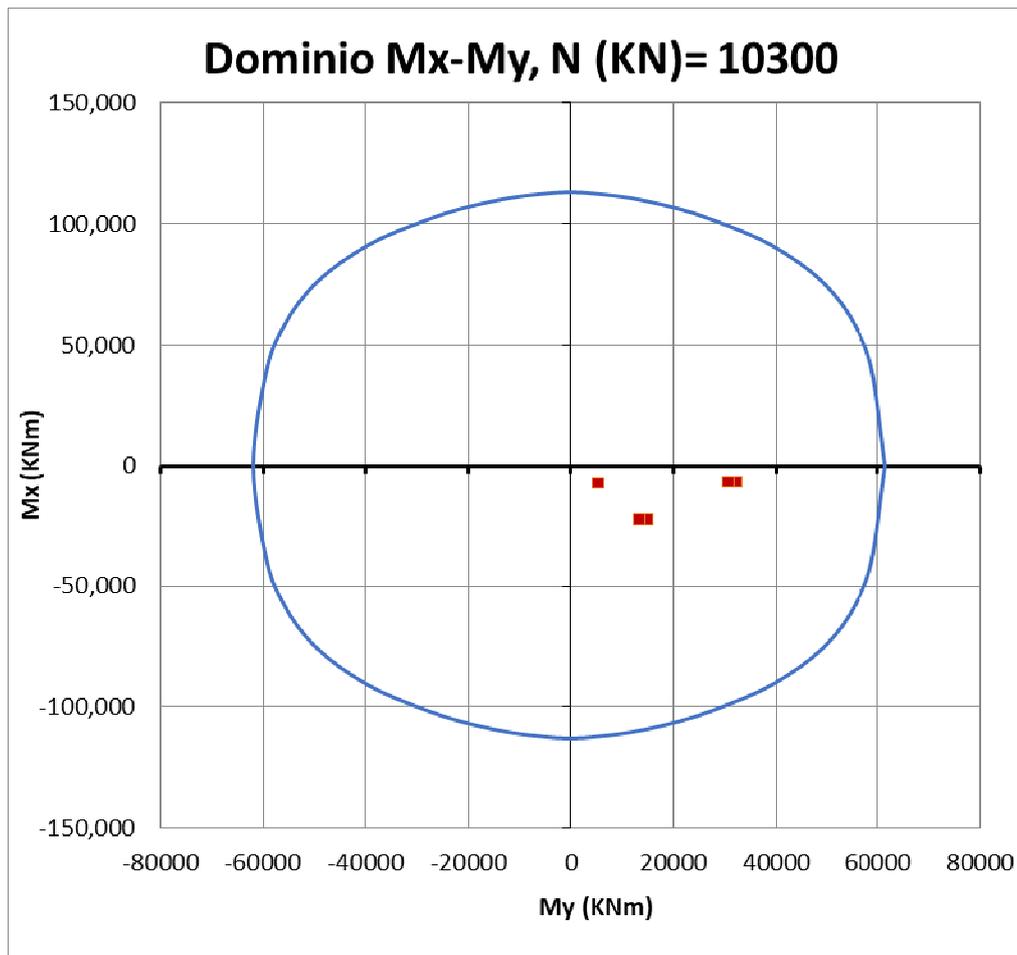
04

D13CL

VI0205001

B

31 di 59



	NEd (KN)	MEd,x (KNm)	MEd,y (KNm)
SLV1	10918	32406	-6921
SLV2	10388	30768	-6869
SLV3	10918	15021	-22973
SLV4	10388	13383	-22836
SLU5	10459	7840	-8803
SLU10	10242	5366	-7512

Tutte le sollecitazioni risultano interne al dominio di rottura, pertanto la verifica è soddisfatta.

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	32 di 59

6.6.3 Verifica a taglio SLU e SLV

Direzione longitudinale:

Il massimo taglio longitudinale è pari a:

$$V_{Ed,x} = 2237 \text{ KN (SLV1)}$$

Si considerano resistenti al taglio le due pareti laterali assimilate ad una sezione rettangolare di dimensioni:

$$B \times H = 80 \times 320 \text{ cm}$$

Ciascuna parete ospita barre orizzontali pari a ferri $\phi 14$ passo 20 cm a 2 braccia.

Resistenza dell'armatura:

$$V_{Rds} = A_{sw} / s * f_{yd} * 0.9d \cotg \theta = 4 * 153 \text{ mm}^2 / 200 \text{ mm} * 391 \text{ MPa} * (0.9 * 3140 \text{ mm}) = 3381 \text{ KN}$$

con

$$\cotg \theta = 1$$

Resistenza della biella compressa:

$$V_{Rdc} = 0.9 d * b_w * \alpha_c * f'_{cd} * (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta) = 0.9 * 3140 \text{ mm} * 800 \text{ mm} * (0.5 * 18.1 \text{ MPa}) * 1 =$$

$$20460 \text{ KN}$$

con

$\alpha_c = 1$ (assunzione a favore di sicurezza)

$$\cotg \alpha = 1$$

$$\cotg \theta = 1$$

$$V_{Rd,x} = \min (V_{Rds}; V_{Rdc}) = 3381 > V_{Ed,x}$$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	33 di 59

Direzione trasversale:

Il massimo taglio trasversale è pari a:

$$V_{Ed,y} = 1474 \text{ KN (SLV3)}$$

Si considerano resistenti al taglio le due pareti laterali assimilate ad una sezione rettangolare di dimensioni:

$$B \times H = 80 \times 600 \text{ cm}$$

Ciascuna parete ospita barre orizzontali pari a ferri $\phi 14$ passo 20 cm a 2 braccia.

Resistenza dell'armatura:

$$V_{Rds} = A_{sw} / s * f_{yd} * 0.9d \cotg \theta = 4 * 153 \text{ mm}^2 / 200 \text{ mm} * 391 \text{ MPa} * (0.9 * 5940 \text{ mm}) = 6396 \text{ KN}$$

con

$$\cotg \theta = 1$$

Resistenza della biella compressa:

$$V_{Rdc} = 0.9 d * b_w * \alpha_c * f'_{cd} * (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta) = 0.9 * 5940 \text{ mm} * 800 \text{ mm} * (0.5 * 18.1 \text{ MPa}) * 1 =$$

$$38705 \text{ KN}$$

con

$\alpha_c = 1$ (assunzione a favore di sicurezza)

$$\cotg \alpha = 1$$

$$\cotg \theta = 1$$

$$V_{Rd,y} = \min (V_{Rds}; V_{Rdc}) = 6396 > V_{Ed,y}$$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	34 di 59

6.7 Verifica a fessurazione

Per le opere sotto binario deve risultare in combinazione di carico SLE rara che l'ampiezza massima delle fessure sia inferiore a (strutture a contatto con il terreno):

$$w_1 = 0.20 \text{ mm.}$$

Si procede al calcolo dell'apertura delle fessure prendendo in esame la combinazione SLE che fornisce la massima tensione di trazione sull'armatura:

$$\sigma_s = 104 \text{ MPa (SLE 4)}$$

Commenti:	INPUT			OUTPUT	
interasse barre	interasse	200	mm	diff. def. armature-cls	
diametro medio barre	Φ (barre)	24	mm	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	3.03E-04 -
baricentro della barra dal lembo sezione	x barra	70	mm	distanza max fessure	
altezza efficace	hc,eff	175	-	s r, max	5.13E+02 mm
classe cls	cls C	32	MPa	ampiezza fessure:	
tensione max barra	σ_s	104	MPa	wk	0.16 mm
(0.6 carichi brevi; 0.4 lunga durata)	kt	0.6	-	w_LIMITE	0.20 mm
(0.8 barre ad. migliorata; 1.6 liscie)	k1	0.8	-	Sez. verificata	
(0.5 per flessione; 1 trazione)	k2	0.5	-		
(fisso)	k3	3.4	-		
(fisso)	k4	0.425	-		

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	35 di 59

7 VERIFICHE DELLE FONDAZIONI

7.1 Sollecitazioni elementari intradosso fondazione

La tabella seguente riassume le sollecitazioni elementari agenti sul piano di posa delle fondazioni.

	N [KN]	MI [KNm]	Mt [KNm]	FI [KN]	Ft [KN]
Peso Fondazione	5650	0	0	0	0
Inerzia Fondazione long	0	400	0	320	0
Inerzia Fondazione tra	0	0	-400	0	-320
Inerzia Fondazione vert	103	0	0	0	0
Peso pila + pulvino	2502	0	0	0	0
Sisma pila + impalcato long	0	26914	0	1631	0
Sisma pila + impalcato tra	0	0	-26276	0	-1452
Sisma pila + impalcato vert	178	0	0	0	0
Azioni da impalcato					
G1	4284	620	0	0	0
G2	3166	402	0	0	0
Vento impalcato	0	0	-8303	0	-556
Traffico schema 1					
LM71 GR.1	4564	8582	-1910	500	-112
LM71 GR.3	4564	16832	-773	1000	-56
SW/2 GR.1	5274	9895	-2071	578	-102
SW/2 GR.3	5274	19424	-1035	1155	-51
treno scarico GR. 2	350	0	-2030	0	-100
Res. parassite vincoli	0	6696	0	406	0
Traffico schema 2					
LM71 GR.1	2448	10698	-1105	500	-64
LM71 GR.3	2448	18948	-455	1000	-32
SW/2 GR.1	2820	12349	-1177	578	-58
SW/2 GR.3	2820	21878	-589	1155	-29
treno scarico GR. 2	200	0	-1015	0	-50
Res. parassite vincoli	0	4267	0	259	0

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	36 di 59

7.2 Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche condotte sull'opera sono state prese in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

		Peso Fondazione	Inerzia Fondazione long	Inerzia Fondazione tra	Inerzia Fondazione vert	Peso pila + pulvino	Sisma pila + impalcato long	Sisma pila + impalcato tra	Sisma pila + impalcato vert	G1 impalcato	G2 I impalcato	Vento impalcato
SLE rara	SLE1	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE2	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE3	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE4	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE5	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE7	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE8	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE9	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
	SLE10	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.60
SLU A1	SLU1	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90
	SLU2	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90
	SLU3	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90
	SLU4	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	1.35	1.50	0.90
	SLU5	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90
	SLU6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90
	SLU7	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90
	SLU8	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90
	SLU9	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90
	SLU10	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.90
SISMA	SLV1	1.00	1.00	0.30	0.30	1.00	1.00	0.30	0.30	0.00	0.20	0.00
	SLV2	1.00	1.00	0.30	-0.30	1.00	1.00	0.30	-0.30	0.00	0.20	0.00
	SLV3	1.00	0.30	1.00	0.30	1.00	0.30	1.00	0.30	0.00	0.20	0.00
	SLV4	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00	0.30	1.00	-0.30	0.00	0.20	0.00

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	37 di 59

		TRAFFICO SCHEMA 1							TRAFFICO SCHEMA 2					
		LM71 GR.1	LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli	LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli
SLE rara	SLE1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE3	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE4	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	SLE7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	SLE8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
	SLE9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	SLE10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
SLU A1	SLU1	1.45	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU2	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU3	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU4	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20
	SLU7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	1.20
	SLU8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	1.20
	SLU9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	1.20
	SLU10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.20
SISMA	SLV1	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLV2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00
	SLV3	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLV4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	38 di 59

7.3 Sollecitazioni combinate intradosso fondazione

La tabella seguente riporta i carichi combinati agenti sul piano di fondazione.

		N [KN]	MI [KNm]	Mt [KNm]	FI [KN]	Ft [KN]
SLE rara	SLE1	20166	16300	-6892	906	-446
	SLE2	20166	24550	-5755	1406	-390
	SLE3	20876	17613	-7052	983	-436
	SLE4	20876	27142	-6017	1561	-385
	SLE5	15952	7718	-7012	406	-434
	SLE6	18050	15987	-6086	759	-398
	SLE7	18050	24237	-5437	1259	-366
	SLE8	18422	17638	-6159	836	-392
	SLE9	18422	27166	-5570	1414	-363
	SLE10	15802	5289	-5997	259	-384
SLU A1	SLU1	28155	21920	-10242	1212	-663
	SLU2	28155	33882	-8594	1937	-582
	SLU3	29185	23823	-10475	1324	-648
	SLU4	29185	37640	-8974	2162	-574
	SLU5	22045	9476	-10416	487	-645
	SLU6	19151	21654	-9074	1035	-593
	SLU7	19151	33617	-8133	1760	-547
	SLU8	19691	24048	-9180	1148	-585
	SLU9	19691	37865	-8326	1985	-542
	SLU10	15892	6142	-8944	310	-573
SISMICA	SLV1	16599	38399	-8157	2557	-543
	SLV2	16007	36392	-8094	2410	-538
	SLV3	16599	17629	-27058	1091	-1794
	SLV4	16007	15623	-26897	944	-1785

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	39 di 59

7.4 Verifiche strutturali del plinto

Nelle tabelle seguenti sono riportate le pressioni del terreno esercitate dal plinto di fondazione nelle combinazioni prese in esame (SLE_rara, SLU e SLV), riportate separatamente per le due direzioni principali.

Si indicano i seguenti termini:

$$e_{long} = \frac{M_{long}}{N}$$

Se $e_{long} < B_{long} / 6$

$$q_{max} = \frac{N}{B_{long} * B_{trasv} * \left(1 + \frac{6 * e_{long}}{B_{long}}\right)}$$

$$q_{min} = \frac{N}{B_{long} * B_{trasv} * \left(1 - \frac{6 * e_{long}}{B_{long}}\right)}$$

Se $e_{long} \geq B_{long} / 6$

$$q_{min} = \frac{2 * N}{3 * u * B_{trasv}}$$

$$q_{min} = 0$$

$$u = \frac{B_{long}}{2} - e_{long}$$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	40 di 59

		e_1on [m]	qmax [KPa]	qmin [Kpa]
SLE rara	SLE1	0.81	299	104
	SLE2	1.22	349	54
	SLE3	0.84	314	103
	SLE4	1.30	372	46
	SLE5	0.48	206	113
	SLE6	0.89	276	85
	SLE7	1.34	326	35
	SLE8	0.96	290	78
	SLE9	1.47	347	21
	SLE10	0.33	190	126
SLU A1	SLU1	0.78	413	150
	SLU2	1.20	485	78
	SLU3	0.82	435	149
	SLU4	1.29	518	66
	SLU5	0.43	277	164
	SLU6	1.13	321	62
	SLU7	1.76	393	0
	SLU8	1.22	341	53
	SLU9	1.92	427	0
	SLU10	0.39	196	122
SISMICA	SLV1	2.31	412	0
	SLV2	2.27	391	0
	SLV3	1.06	272	60
	SLV4	0.98	254	66

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	41 di 59

		e_tra [m]	qmax [KPa]	qmin [Kpa]
SLE rara	SLE1	0.34	299	160
	SLE2	0.29	349	167
	SLE3	0.34	314	166
	SLE4	0.29	372	173
	SLE5	0.44	206	117
	SLE6	0.34	276	144
	SLE7	0.30	326	148
	SLE8	0.33	290	147
	SLE9	0.30	347	151
	SLE10	0.38	190	122
SLU A1	SLU1	0.36	413	220
	SLU2	0.31	485	230
	SLU3	0.36	435	229
	SLU4	0.31	518	238
	SLU5	0.47	277	158
	SLU6	0.47	321	137
	SLU7	0.42	393	143
	SLU8	0.47	341	142
	SLU9	0.42	424	147
	SLU10	0.56	196	105
SISMICA	SLV1	0.49	396	117
	SLV2	0.51	378	112
	SLV3	1.63	272	4
	SLV4	1.68	321	0

Il plinto viene armato con una maglia inferiore costituita da barre $\phi 32$ passo 10cm (longitudinale) e barre $\phi 26$ passo 15 cm (trasversale); mentre la maglia superiore è costituita da barre $\phi 20$ passo 20cm in entrambe le direzioni.

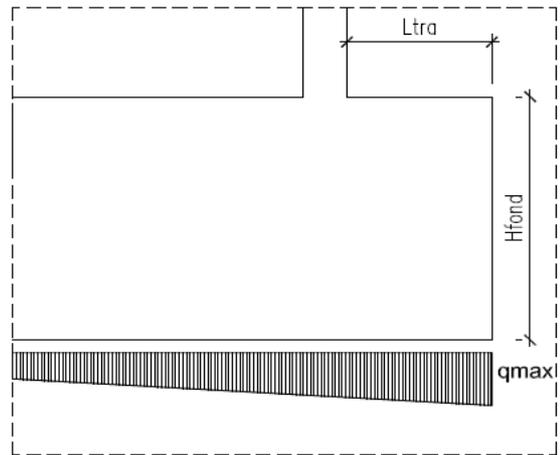
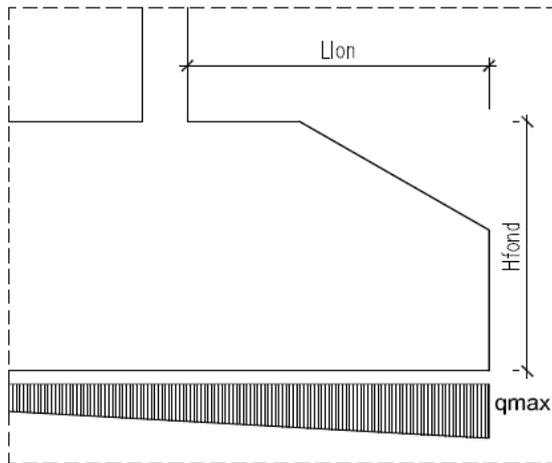
VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	42 di 59

Si procede alla verifica dell'armatura inferiore del plinto seguendo uno schema statico di mensola come mostrato nelle figure seguenti.

All'azione della pressione del terreno si sottrae quella legata al peso della fondazione, ignorando, a vantaggio di sicurezza, il contributo del peso del terreno di ricoprimento.



VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	43 di 59

- Direzione Longitudinale

Considerato che la lunghezza di carico è $L_{long} = 3.40$ m, ricaviamo le massime sollecitazioni nella sezione d'incastro del plinto con il fusto pila.

		Med Ion [KNm/m]	VEd, Ion [KN/m]
SLE rara	SLE1	1498	693
	SLE2	1849	804
	SLE3	1595	734
	SLE4	2000	863
	SLE5	889	434
	SLE6	1362	616
	SLE7	1713	728
	SLE8	1454	651
	SLE9	1859	780
	SLE10	777	396
SLU A1	SLU1	2199	1040
	SLU2	2707	1201
	SLU3	2339	1101
	SLU4	2927	1287
	SLU5	1316	665
	SLU6	1667	730
	SLU7	2708	424
	SLU8	1800	781
	SLU9	3013	437
	SLU10	819	411
SISMICA	SLV1	3024	302
	SLV2	2841	289
	SLV3	1348	589
	SLV4	1229	542

I valori massimi risultano:

max	Med [kNm/m]	V ed [KN]
SLE	2000	863
SLU-SLV	2927	1287

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	44 di 59

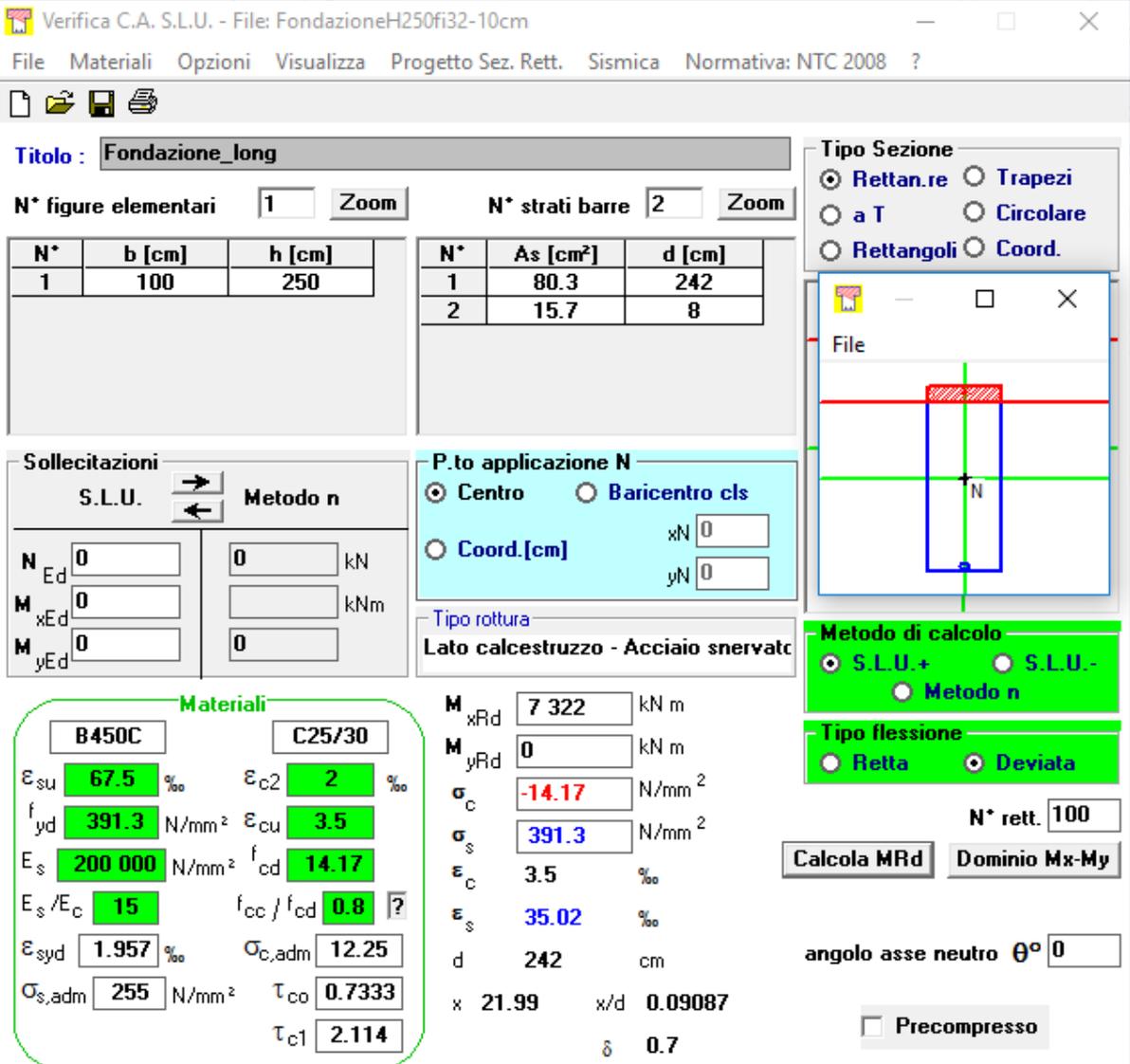
Verifica a flessione SLU - SLE

Si procede alla verifica a flessione dell'armatura di flessione della mensola di lunghezza $L=3.40m$.

Il momento resistente della sezione vale:

$$M_{rd} = 7322 \text{ KNm/m} > M_{ed}$$

La verifica è soddisfatta



Titolo : Fondazione_long

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	250	1	80.3	242
			2	15.7	8

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ° 0

Precompresso

Output:
M_{xRd} 7 322 kN m
M_{yRd} 0 kN m
 σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 35.02 ‰
d 242 cm
x 21.99 x/d 0.09087
 δ 0.7

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	45 di 59

Verifica a taglio SLU

L'armatura a taglio del plinto è costituita da spille/cavallotti chiusi ϕ 16 passo 20x50cm.

Resistenza dell'armatura:

$$VR_{ds} = A_{sw} / s * f_{yd} * 0.9d \cotg \theta = 2 * 200 \text{ mm}^2 / 200\text{mm} * 391 \text{ MPa} * (0.9 * 2420 \text{ mm}) = 1712 \text{ KN/m}$$

con

$$\cotg \theta = 1$$

Resistenza della biella compressa:

$$VR_{dc} = 0.9 d * b_w * \alpha_c * f'_{cd} * (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta) = 0.9 * 2420\text{mm} * 1000\text{mm} * (0.5 * 14.2\text{MPa}) * 1 =$$

$$15428 \text{ KN/m}$$

con

$$\alpha_c = 1$$

$$\cotg \alpha = 1$$

$$\cotg \theta = 1$$

$$VR_d = \min (VR_{ds}; VR_{dc}) = 1712 > VEd$$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	46 di 59

Verifica a fessurazione SLE

Per le opere sotto binario deve risultare in combinazione di carico SLE rara che l'ampiezza massima delle fessure sia inferiore a (strutture a contatto con il terreno):

$$w_1 = 0.20 \text{ mm.}$$

Si procede al calcolo dell'apertura delle fessure prendendo in esame la combinazione SLE che fornisce la massima tensione di trazione sull'armatura:

$$\sigma_s = 112 \text{ MPa}$$

Commenti:	INPUT	
interasse barre	interasse	100 mm
diametro medio barre	Φ (barre)	32 mm
baricentro della barra dal lembo sezione	x barra	90 mm
altezza efficace	hc,eff	225 -
classe cls	cls C	25 MPa
tensione max barra	σ_s	112 MPa
(0.6 carichi brevi; 0.4 lunga durata)	kt	0.6 -
(0.8 barre ad. migliorata; 1.6 liscie)	k1	0.8 -
(0.5 per flessione; 1 trazione)	k2	0.5 -
(fisso)	k3	3.4 -
(fisso)	k4	0.425 -

OUTPUT	
diff. def. armature-cls	
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	3.26E-04 -
distanza max fessure	
s r, max	4.04E+02 mm
ampiezza fessure:	
wk	0.13 mm
w_LIMITE	0.20 mm
Sez. verificata	

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	47 di 59

- Direzione Trasversale

Considerato che la lunghezza di carico è $L_{trav} = 2.00$ m, ricaviamo le massime sollecitazioni nella sezione d'incastro del plinto con il fusto pila.

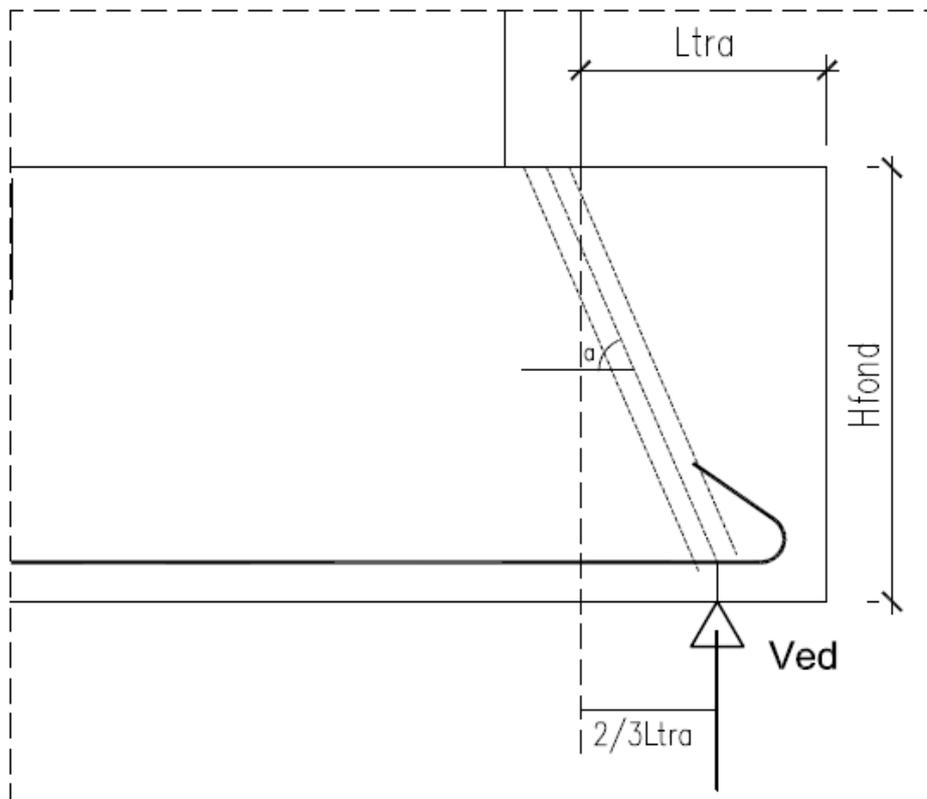
		Med_tra [KNm/m]	VEd, tra [KN/m]
SLE rara	SLE1	492	446
	SLE2	597	537
	SLE3	524	474
	SLE4	645	578
	SLE5	298	269
	SLE6	445	401
	SLE7	551	491
	SLE8	474	427
	SLE9	596	530
	SLE10	264	241
SLU A1	SLU1	727	663
	SLU2	879	794
	SLU3	772	704
	SLU4	948	854
	SLU5	445	406
	SLU6	542	481
	SLU7	695	611
	SLU8	584	518
	SLU9	760	668
	SLU10	279	248
SISMICA	SLV1	705	612
	SLV2	667	578
	SLV3	454	365
	SLV4	647	324

I valori massimi risultano:

max	M ed [kNm/m]	V ed [KN]
SLE	645	578
SLU-SLV	948	854

Verifica a flessione SLU - SLE

Essendo la mensola molto tozza (luce / spessore <1), si procede alla verifica dell'armatura di flessione mediante un modello tirante puntone, schematizzando la forza sollecitante applicata a 2/3 della lunghezza della mensola del plinto.



$$\text{tg } a = (H_{\text{fond}} - c) / (2/3 * L_{\text{trasv}} + sp/2) = 2.42 \text{ m} / (2/3 * 2.0 + 0.4/2) = 1.58$$

$$a = 57.6^\circ \text{ (angolo di inclinazione puntone compresso)}$$

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	49 di 59

- Verifica dell'armatura tesa

Il tiro sull'armatura vale:

$$T_{slu} = V_{ed,slu} / \tan \alpha = 542 \text{ KN/m}$$

$$T_{sle} = V_{ed,sle} / \tan \alpha = 367 \text{ KN/m}$$

La tensione massima sull'armatura è (barre ϕ 26 /15cm):

$$\sigma_{slu} = T_{slu} / A_{sl} = 542 \text{ KN/m} / (6.67 * 5.3E-4) \text{ m}^2 = 153 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{sle} = T_{sle} / A_{sl} = 367 \text{ KN/m} / (6.67 * 5.3E-4) \text{ m}^2 = 104 \text{ Mpa}$$

La tensione sulla barra allo SLU è minore di quella di calcolo dell'acciaio pertanto la verifica è soddisfatta; allo SLE si procede alla verifica a fessurazione:

Commenti:	INPUT		
interasse barre	interasse	150	mm
diametro medio barre	Φ (barre)	26	mm
baricentro della barra dal lembo sezione	x barra	70	mm
altezza efficace	hc,eff	175	-
classe cls	cls C	25	MPa
tensione max barra	σ_s	104	MPa
(0.6 carichi brevi; 0.4 lunga durata)	kt	0.6	-
(0.8 barre ad. migliorata; 1.6 liscie)	k1	0.8	-
(0.5 per flessione; 1 trazione)	k2	0.5	-
(fisso)	k3	3.4	-
(fisso)	k4	0.425	-

OUTPUT	
diff. def. armature-cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ 3.03E-04 -
distanza max fessure	s r, max 4.12E+02 mm
ampiezza fessure:	wk 0.12 mm
w_LIMITE	0.20 mm
Sez. verificata	

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	50 di 59

- Verifica del puntone di calcestruzzo

Lo sforzo nella biella compressa vale:

$$P_{slu} = V_{ed,slu} / \sin \alpha = 1012 \text{ KN/m}$$

La resistenza della biella compressa vale:

$$P_{rd} = 0.4 b d f_{cd} = 0.4 * 1000\text{mm} * 2420\text{mm} * (14.1\text{MPa}) = 13649 \text{ KN/m} > P_{slu}$$

La verifica è soddisfatta.

Verifica a taglio SLU

Si rimanda alla verifica effettuata per la direzione longitudinale essendo l'armatura la medesima e la sollecitazione inferiore.

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	51 di 59

7.5 Verifiche geotecniche

La tabella seguente riassume le sollecitazioni combinate all'intradosso della fondazione e le dimensioni "efficaci" della fondazione.

	N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]	B' [m]	L' [m]
SLU1	28155	21920	-10242	1212	-663	8,44	9,27
SLU2	28155	33882	-8594	1937	-582	7,59	9,39
SLU3	29185	23823	-10475	1324	-648	8,37	9,28
SLU4	29185	37640	-8974	2162	-574	7,42	9,39
SLU5	22045	9476	-10416	487	-645	9,14	9,06
SLU6	19151	21654	-9074	1035	-593	7,74	9,05
SLU7	19151	33617	-8133	1760	-547	6,49	9,15
SLU8	19691	24048	-9180	1148	-585	7,56	9,07
SLU9	19691	37865	-8326	1985	-542	6,15	9,15
SLU10	15892	6142	-8944	310	-573	9,23	8,87
SLV1	16599	38399	-8157	2557	-543	5,37	9,02
SLV2	16007	36392	-8094	2410	-538	5,45	8,99
SLV3	16599	17629	-27058	1091	-1794	7,88	6,74
SLV4	16007	15623	-26897	944	-1785	8,05	6,64

Le verifiche sono state condotte secondo l'approccio 2 (A1-M1-R3), a cui corrispondono i seguenti fattori di sicurezza sulle resistenze e caratteristiche dei terreni di fondazione:

(R3)	Capacità portante	Scorrimento
γ_r	2.3	1.1

Parametri geotecnici (M1)	
c (MPa)	0
ϕ (°)	58

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	52 di 59

7.5.1 *Verifica nei confronti della capacità portante*

La verifica a capacità portante è definita dalla relazione:

$$q_{Rd} = q_{lim}/\gamma_r \geq q_{es}$$

Il valore del carico limite del terreno di fondazione è stato determinato con la formula di Terzaghi, opportunamente modificata tramite fattori correttivi:

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

c' = coesione efficace;

γ = peso per unità di volume del terreno di fondazione;

B' = larghezza fondazione equivalente con carico centrato;

$N_c N_q N_\gamma$ = Fattori di capacità portante;

$s_c s_q s_\gamma$ = fattori di forma;

$i_c i_q i_\gamma$ = fattori di inclinazione del carico;

$d_c d_q d_\gamma$ = fattori di profondità del piano d'appoggio;

$b_c b_q b_\gamma$ = fattori di inclinazione base della fondazione;

$g_c g_q g_\gamma$ = fattori di inclinazione del piano di campagna;

$z_c z_q z_\gamma$ = fattori in fase sismica (Paolucci-Pecker 1977).

La pressione massima agente è stata determinata come segue:

$$q_{Ed} = N_{Ed}/B'L'$$

N_{Ed} = carico verticale di calcolo

B', L' = dimensioni della fondazione equivalente con carico centrato.

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	53 di 59

La tabella seguente esplicita i parametri impiegati per il calcolo della capacità portante della fondazione.

	q [kPa]	Nq [kPa]	s q	i q	d q	b q	g q	γ [kN/m ³]	N γ [kPa]	s γ	i γ	d γ	b γ	g γ
SLU1	22.50	1856	2.11	0.93	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	2.11	0.88	1.00	1.00	1.00
SLU2	22.50	1856	1.98	0.89	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	1.98	0.83	1.00	1.00	1.00
SLU3	22.50	1856	2.10	0.92	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	2.10	0.88	1.00	1.00	1.00
SLU4	22.50	1856	1.96	0.88	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	1.96	0.82	1.00	1.00	1.00
SLU5	22.50	1856	2.20	0.95	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	2.20	0.91	1.00	1.00	1.00
SLU6	22.50	1856	2.04	0.91	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	2.04	0.85	1.00	1.00	1.00
SLU7	22.50	1856	1.86	0.85	1.03	1.00	1.00	19.00	5942	1.86	0.77	1.00	1.00	1.00
SLU8	22.50	1856	2.01	0.90	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	2.01	0.84	1.00	1.00	1.00
SLU9	22.50	1856	1.82	0.84	1.03	1.00	1.00	19.00	5942	1.82	0.75	1.00	1.00	1.00
SLU10	22.50	1856	2.17	0.94	1.02	1.00	1.00	19.00	5942	2.17	0.90	1.00	1.00	1.00
SLV1	22.50	1856	1.72	0.76	1.03	1.00	1.00	19.00	5942	1.72	0.64	1.00	1.00	1.00
SLV2	22.50	1856	1.74	0.76	1.03	1.00	1.00	19.00	5942	1.74	0.65	1.00	1.00	1.00
SLV3	22.50	1856	2.04	0.82	1.03	1.00	1.00	19.00	5942	2.04	0.71	1.00	1.00	1.00
SLV4	22.50	1856	2.00	0.82	1.03	1.00	1.00	19.00	5942	2.00	0.72	1.00	1.00	1.00

A vantaggio di sicurezza si trascura il contributo del terreno di ricoprimento, l'affondamento della fondazione è dunque pari al suo spessore.

La falda è stata posta a livello del piano campagna.

La tabella riassume i risultati delle verifiche:

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	54 di 59

	Capacità portante		
	qrd [kPa]	qed [kPa]	FS= qrd/qed [-]
SLU1	218519	360	>100
SLU2	177723	395	>100
SLU3	214945	376	>100
SLU4	170335	419	>100
SLU5	250028	266	>100
SLU6	190425	273	>100
SLU7	137995	323	>100
SLU8	182897	287	>100
SLU9	126299	350	>100
SLU10	239422	194	>100
SLV1	93377	343	>100
SLV2	96038	327	>100
SLV3	145450	313	>100
SLV4	141437	300	>100

7.5.2 Verifica a scorrimento

La verifica a scorrimento è definita dalla relazione:

$$S_{Rd} = S_d / \gamma_r \geq S_{Ed}$$

L'azione resistente è stata calcolata tramite la relazione:

$$S_d = N_{Ed} \tan(\varphi') + c' B' L'$$

N_{Ed} = carico verticale di calcolo agente sulla fondazione

c' = coesione efficace;

φ' = angolo d'attrito efficace del terreno;

B', L' = dimensioni della fondazione equivalente con carico centrato

S_{Ed} = Forza di scorrimento di calcolo agente sulla fondazione;

I risultati delle verifiche sono riportati nella tabella seguente:

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	55 di 59

	Scorrimento		
	Srd [kN]	Sed [kN]	FS=Srd/Sed [-]
SLU1	40961	1381	29,7
SLU2	40961	2022	20,3
SLU3	42459	1475	28,8
SLU4	42459	2237	19,0
SLU5	32072	809	39,7
SLU6	27862	1193	23,4
SLU7	27862	1843	15,1
SLU8	28647	1288	22,2
SLU9	28647	2058	13,9
SLU10	23120	652	35,5
SLV1	24149	2614	9,2
SLV2	23288	2469	9,4
SLV3	24149	2100	11,5
SLV4	23288	2019	11,5

7.6 Verifica a ribaltamento

Considerato che si è in presenza di fondazione diretta si procede alla verifica del sistema pila-fondazione nei confronti del ribaltamento.

Sono stati prese in esame le seguenti combinazioni dei carichi (statica e sismica):

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	56 di 59

		Peso Fondazione	Inerzia Fondazione long	Inerzia Fondazione tra	Inerzia Fondazione vert	Peso pila + pulvino	Sisma pila + impalcato long	Sisma pila + impalcato tra	Sisma pila + impalcato vert	G1 impalcato	G2 impalcato	Vento impalcato
EQU_statica	EQU1	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU2	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU3	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU4	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU5	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU6	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU7	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU8	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU9	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
	EQU10	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.60
EQU_sismica	EQU11	1.00	1.00	0.30	-0.30	1.00	1.00	0.30	-0.30	1.00	1.00	0.00
	EQU12	1.00	1.00	0.30	-0.30	1.00	1.00	0.30	-0.30	1.00	1.00	0.00
	EQU13	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00	1.00	0.00
	EQU14	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00	1.00	0.00

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	57 di 59

		TRAFFICO SCHEMA 1						TRAFFICO SCHEMA 2					
		LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli	LM71 GR.1	LM71 GR.3	SW/2 GR.1	SW/2 GR.3	treno scarico GR. 2	Res. parassite vincoli
EQU_statica	EQU1	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	EQU2	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	EQU3	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	EQU4	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	EQU5	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	EQU6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10
	EQU7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	1.10
	EQU8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	1.10
	EQU9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	1.10
	EQU10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.10
EQU_sismica	EQU11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00
	EQU12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.00
	EQU13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	EQU14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.00

Le tabelle seguenti riepilogano le verifiche a ribaltamento condotte, riportando momento stabilizzante e momento ribaltante calcolati rispetto alle estremità delle fondazioni separatamente per le due direzioni principali.

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	58 di 59

DIREZIONE LONGITUDINALE			
	Mstab [KNm]	Mdest [KNm]	FS= Mstab/Mdest [-]
EQU1	206594	-20730	9.97
EQU2	206594	-32692	6.32
EQU3	216889	-22633	9.58
EQU4	216889	-36450	5.95
EQU5	145491	-8286	17.56
EQU6	175912	-21125	8.33
EQU7	175912	-33088	5.32
EQU8	181306	-23519	7.71
EQU9	181306	-37336	4.86
EQU10	143316	-5613	25.53
EQU11	160070	-36392	4.40
EQU12	155574	-32603	4.77
EQU13	160070	-15623	10.25
EQU14	155574	-13483	11.54
		MIN	4.40

DIREZIONE TRASVERSALE			
	Mstab [KNm]	Mdest [KNm]	FS= Mstab/Mdest [-]
EQU1	206594	-7751	26.65
EQU2	206594	-6103	33.85
EQU3	216889	-7984	27.17
EQU4	216889	-6483	33.46
EQU5	145491	-7925	18.36
EQU6	175912	-6584	26.72
EQU7	175912	-5642	31.18
EQU8	181306	-6689	27.11
EQU9	181306	-5835	31.07
EQU10	143316	-6453	22.21
EQU11	160070	-8094	19.78
EQU12	155574	-8206	18.96
EQU13	160070	-26897	5.95
EQU14	155574	-26879	5.79
		MIN	5.79

VI02 - Viadotto struttura mista

Relazione di calcolo pile e fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13CL	VI0205001	B	59 di 59

8 INCIDENZA ARMATURE

- Elevazione pila: 150 Kg/m³
- Plinto di fondazione: 100 Kg/m³