

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01**

LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA

Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

VIADOTTI E PONTI

VIADOTTO 'SU RIO GUA' AV/AC DAL Km 34+047,75 AL Km 34+125,75

PILE, PULVINI E ELEVAZIONI

Relazione di calcolo - Pila 14

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consortio Iricav Due ing. Paolo Carmona Data: Luglio 2022			
Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Luglio 2022				

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 2	E	I 2	C L	V I 0 9 B 4	0 0 3	C	- - - p - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Ing. Alberto Levorato 	

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
B	REVISIONE PER RdV116	D. Bacigalupo	Marzo 2022	M. Vaccarezza	Marzo 2022	P. Maestrelli	Marzo 2022	Paolo Maestrelli Data: Luglio 2022
C	REVISIONE PER RdV257	D. Bacigalupo	Luglio 2022	M. Vaccarezza	Luglio 2022	P. Maestrelli	Luglio 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12CLVI09B4003C.DOC
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA	5
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
4.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
4.1.	CALCESTRUZZO	8
4.1.1.	Strutture di elevazione, pulvino, baggioli e ritegni	8
4.1.2.	Plinto di fondazione	8
4.1.3.	Predalles	9
4.2.	ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE	10
4.3.	COPRIFERRI	10
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	11
6.	CONVENZIONI DI SEGNO E UNITÀ DI MISURA	11
6.1.	SEGNI	11
6.2.	UNITÀ DI MISURA	11
7.	ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO	12
7.1.	CARICHI TRASMESSI DALL'IMPALCATO	12
7.2.	CARICHI SULLA PILA	12
7.2.1.	Carichi permanenti strutturali G_1	12
7.2.2.	Carichi permanenti sul plinto di fondazione G_3	12
7.2.3.	Azione del vento sulla pila Q_6	12
7.2.1.	Variazione termiche ε_3	12
7.3.	AZIONI SISMICHE	13
7.3.1.	Spettri di risposta elastici	19
7.3.1.	Spettri di risposta di progetto	22
7.4.	AZIONI ECCEZIONALI Q_8	26
7.4.1.	Rottura della catenaria	26
7.4.2.	Urto da traffico ferroviario	26
8.	COMBINAZIONE DELLE AZIONI	27
9.	CRITERI DI VERIFICA	33
9.1.	VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	33
9.1.1.	Verifica a fessurazione	33
9.1.2.	Verifica delle tensioni in esercizio	34
9.2.	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI	35
9.2.1.	Sollecitazioni flettenti	35
9.2.2.	Sollecitazioni taglianti	35

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

10. CRITERI DI MODELLAZIONE	37
11. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DELLE STRUTTURE DI ELEVAZIONE	41
11.1. SOLLECITAZIONI AGENTI	41
11.2. VERIFICHE STRUTTURALI DEL FUSTO	43
11.3. SOLLECITAZIONI E VERIFICHE PER AZIONI ECCEZIONALI	70
12. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL PLINTO DI FONDAZIONE DELLA PILA	72
12.1. SOLLECITAZIONI AGENTI E VERIFICHE STRUTTURALI	72
12.1.1. Plinto di fondazione s=2.50m - Verifiche a flessione – Armatura Dir. X Longitudinale	74
12.1.2. Plinto di fondazione s=2.50m - Verifiche a flessione – Armatura Dir. Y Trasversale	75
12.1.1. Plinto di fondazione s=2.50m - Verifiche a taglio e punzonamento	76
13. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEI BAGGIOLI E DEI RITEGNI SISMICI LATO IMPALCATO METALLICO	80
13.1. SCHEMA DI VINCOLO E REAZIONI SUGLI APPOGGI	80
13.2. BAGGIOLI E RITEGNI	82
13.2.1. Armatura a tranciamento	83
13.2.2. Armatura trasversale	84
13.2.3. Pressioni localizzate	87
13.2.4. Ritegni trasversali	88
13.2.1. Ritegni longitudinali	90
14. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL PULVINO	92
15. PREDALLES PER GETTATA PULVINO	102
16. ANALISI TERMICA DELLE PILE CAVE TIPO 'C'	110
16.1. VARIAZIONE TERMICA INTERNO-ESTERNO PILA	111
16.2. VARIAZIONE TERMICA UNIFORME EQUIVALENTE AL RITIRO	113
16.3. VARIAZIONE TERMICA UNIFORME FUSTO-FONDAZIONE	116
16.4. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE	117
16.4.1. Sollecitazioni indotte	117
16.4.2. Verifica dell'armatura orizzontale della pila	120
16.4.3. Incrementi tensionali dovuti ai momenti nel piano verticale prodotti dalle azioni termiche	132
16.5. RITIRO DIFFERENZIALE CONNESSO ALLE FASI DI GETTO DEL PULVINO	133
17. VALIDAZIONE DEI CODICI DI CALCOLO (§10.2 – DM 14.1.2008)	135
17.1. TIPO DI ANALISI SVOLTA	135
17.2. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	136
17.2.1. Midas Gen	136
17.2.2. RC-SEC	136
17.3. DESCRIZIONE DEL SOFTWARE	136
17.4. AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO	137
17.5. MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	137
17.6. INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE	137

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

17.7. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

137

1. PREMESSA

La presente relazione afferisce ai calcoli e alle verifiche strutturali dell'elevazione e del plinto di fondazione della pila P14 del viadotto VI09 - Viadotto su Rio Guà Linea AV/AC dal km 33+722,16 al km 34+800,16, nell'ambito della redazione dei documenti tecnici relativi alla progettazione esecutiva della Linea AV/AC Verona-Padova, Sub tratta Verona-Vicenza, 1° Sub Lotto Verona-Montebello Vicentino.

Le strutture sono state progettate coerentemente con quanto previsto dalla normativa "Norme Tecniche per le Costruzioni"- DM 14.1.2008 e Circolare n .617 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni".

Si rimanda al capitolo successivo per la descrizione di dettaglio delle strutture oggetto di verifica nel presente documento.

Si individua nello stralcio planimetrico riportato a seguire l'ubicazione delle strutture oggetto di analisi.

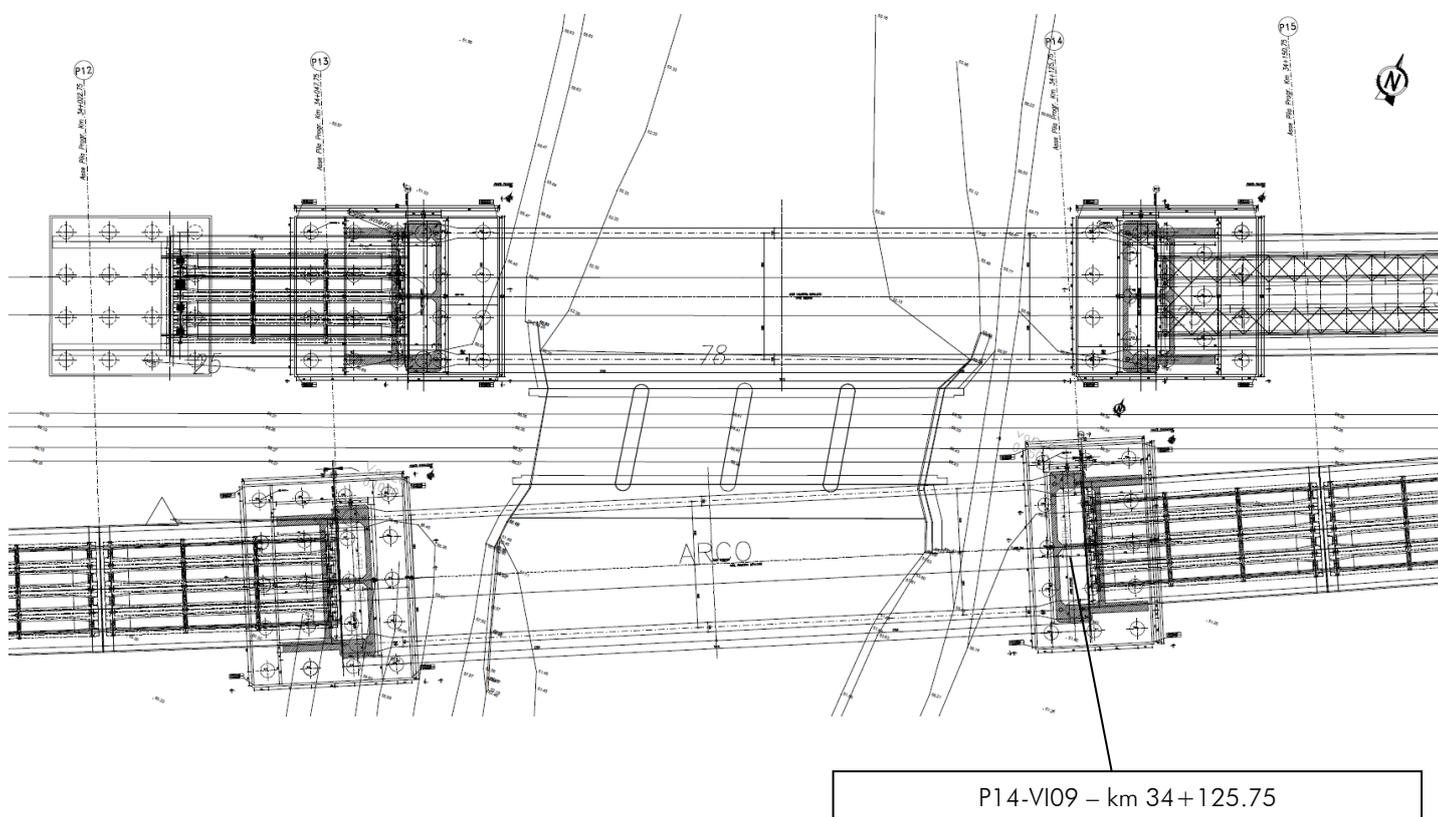


Figura 1: Stralcio planimetrico – Ubicazione Pila P14 Viadotto VI09

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

2. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La pila oggetto di analisi nel presente documento (P14 – km 34+125.75), è posta a sostegno dell'impalcato metallico ad arco di luce 78m in semplice appoggio, previsto tra le progressive km 34+047.75 - 34+125.75 del viadotto ferroviario VI09, e di una campata di luce 25m, costituita da travi a cassoncino in c.a.p. preteso, prevista tra le progressive km 34+125.75 - 34+150.75.

L'appoggio dell'arco metallico sulla pila in oggetto si realizza sul lato mobile dell'impalcato, viceversa quello della campata in c.a.p. sul lato fisso dell'impalcato da 25m.

La piattaforma ferroviaria ospita due binari posti ad interasse di 4.2 m.

La geometria della pila in esame, realizzata in c.a. gettato in opera, è caratterizzata da una sezione configurata a 'C', cava pluriconnessa, con larghezza complessiva pari a 9.60m in direzione longitudinale e 15.92m in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto; la configurazione a 'C' si realizza per la presenza di due archi posteriori in c.a., annessi a una sezione cava pseudorettangolare. I setti esterni disposti trasversalmente e il setto centrale della pila hanno uno spessore di 0.50m, i setti laterali longitudinali di 1.80m, gli archi posteriori di 1.00m.

L'altezza del fusto della pila, fino ad intradosso pulvino, è pari a 5.50m; il pulvino, a sezione piena per realizzare il piano utile per l'alloggiamento dei baggioli, presenta spessori differenti sui due lati degli impalcati, pari a 1.90m lato impalcato da 25m, e a 3.15m lato impalcato ad arco metallico.

Le fondazioni della pila sono del tipo indiretto, con plinto su n.15 pali ϕ 1500, di dimensioni in pianta pari a 12.00 x 21.0m e spessore pari a 2.5m. Gli interassi dei pali sono pari a 4.50m (3 ϕ) sia in direzione longitudinale che in direzione trasversale.

Di seguito si riportano alcune immagini delle sottostrutture in esame. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

Per quanto riguarda la descrizione delle tipologie degli impalcati afferenti alla pila in esame e i dettagli sulle caratteristiche del sistema di vincolo adottato tra l'impalcato e le sottostrutture, si faccia riferimento alle rispettive relazioni tecniche e di calcolo degli impalcati.

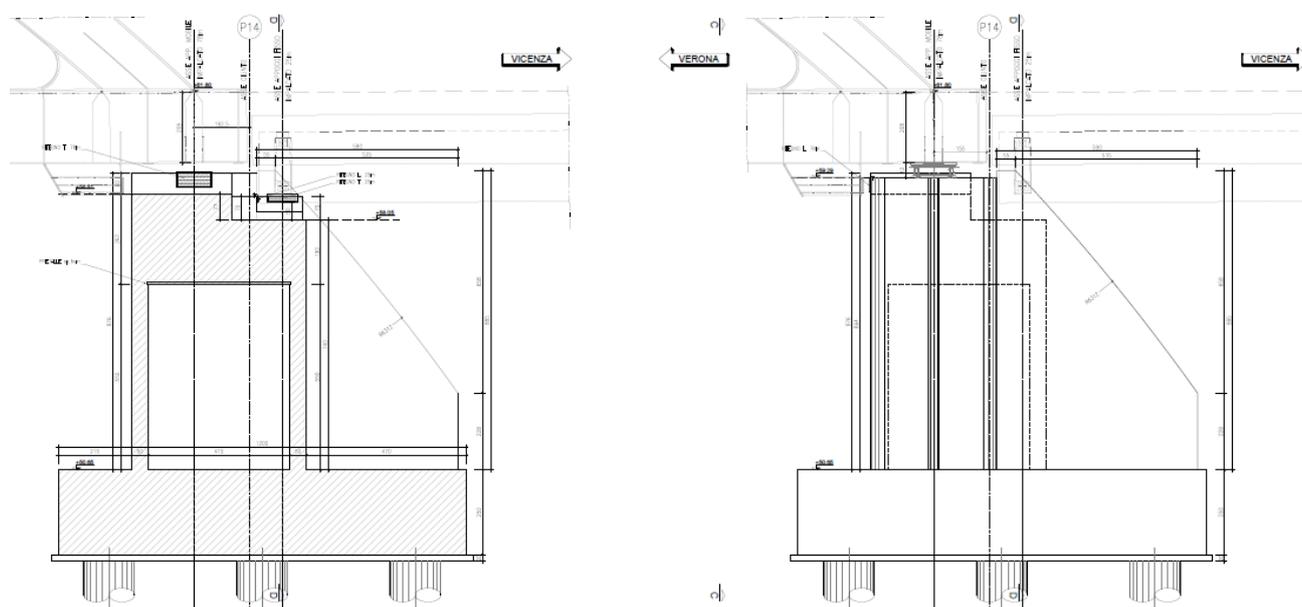


Figura 2: Sezione (a sinistra) e prospetto (a destra) longitudinali rispetto all'asse del viadotto

Progetto	Lotto	Codifica	
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

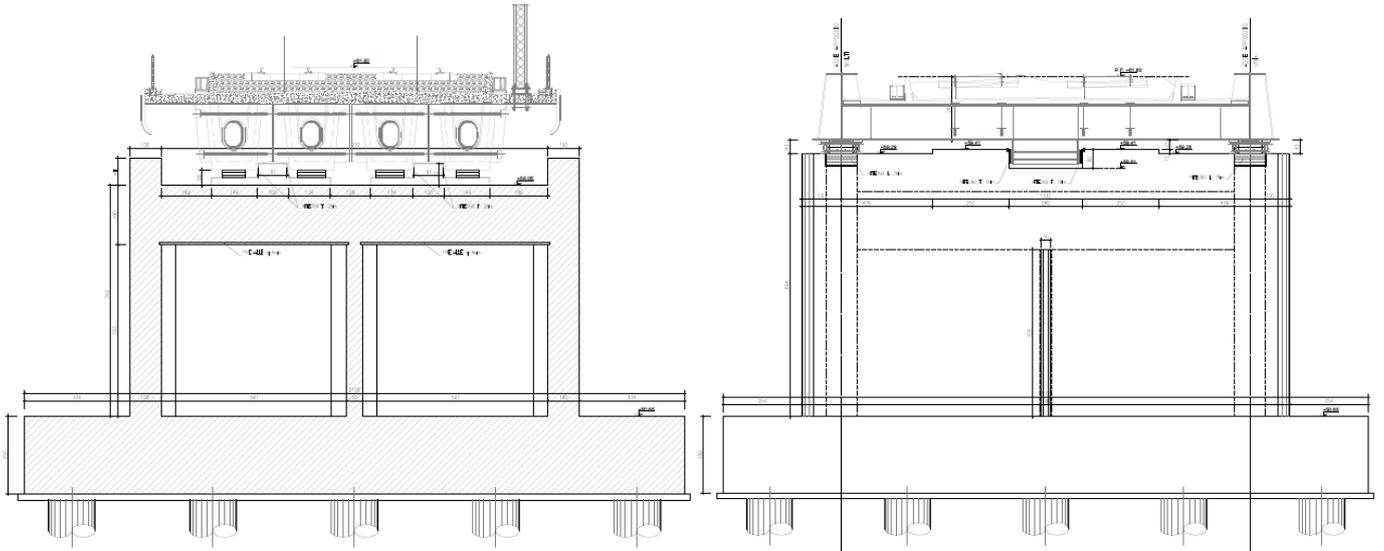


Figura 3: Sezione trasversale lato impalcato L=25m (a sinistra) e lato impalcato metallico L=78m (a destra)

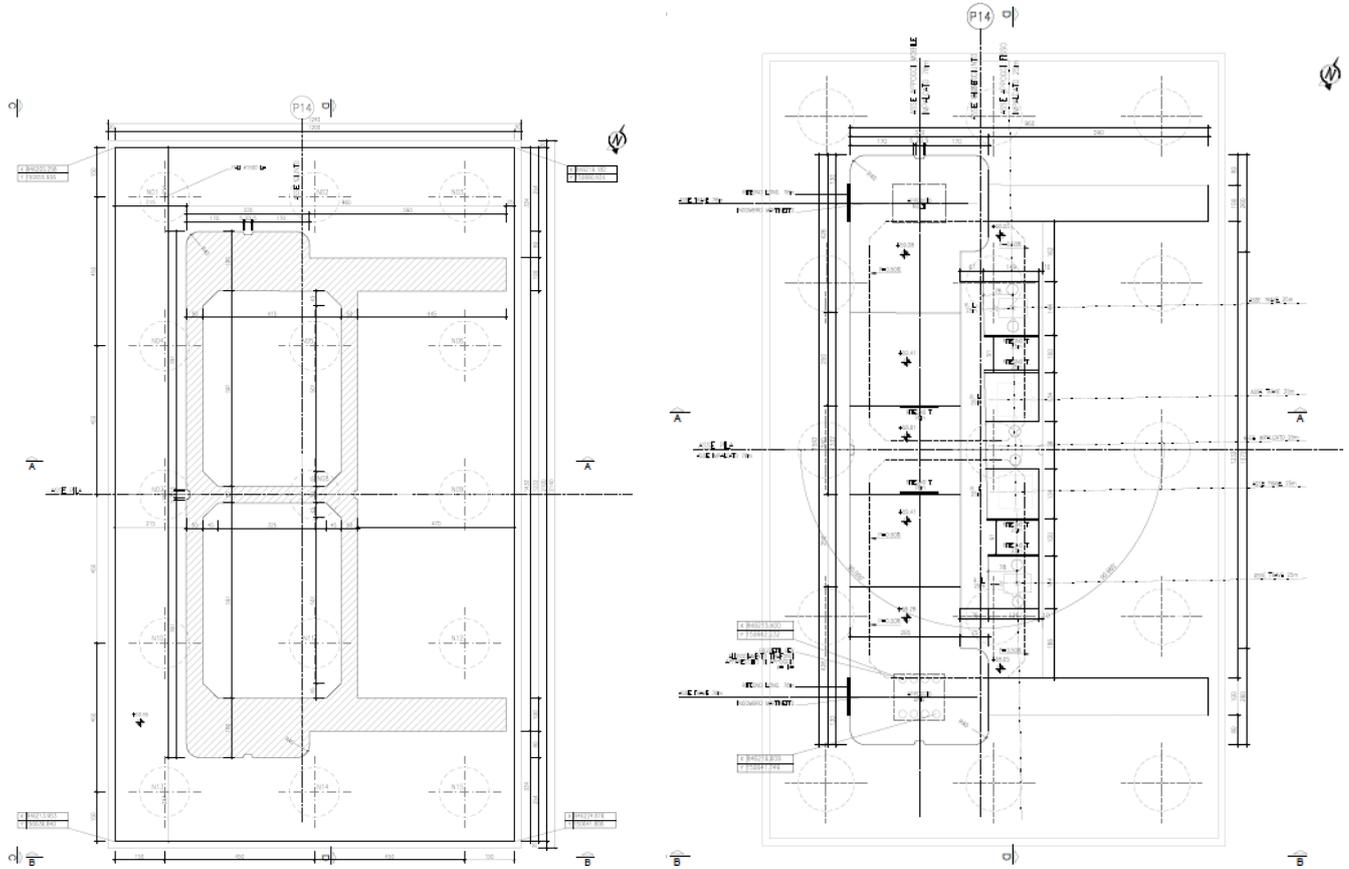


Figura 4: Pianta fondazioni (a sinistra) e pianta pulvino (a destra)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

3. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

L'analisi dell'opera e le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte in accordo con le disposizioni legislative in elenco e in particolare con le seguenti norme e circolari:

- Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare M.LL.PP. n. 617 del 2 febbraio 2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale del 14/01/2008".

Si è tenuto inoltre conto dei seguenti documenti:

- UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi variabili.
- UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-2 – Gennaio 2006: Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi.
- UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- UNI-EN 1998-1 – Marzo 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- Legge 5-11-1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64.: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. "Specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- UNI 11104:2016 "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206".
- RFI DTC SI MA IFS 001 B – Dicembre 2017: Manuale di progettazione delle opere civili.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali impiegati per le pile, ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nel DM 14.1.2008.

4.1. CALCESTRUZZO

4.1.1. Strutture di elevazione, pulvino, baggioli e ritegni

Per il getto in opera del fusto della pila, del pulvino e dei baggioli si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

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

Classe d'esposizione: XC4+XF1

Classe di consistenza: S4

Diametro massimo inerti: 25mm

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

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

4.1.2. Plinto di fondazione

Per il getto in opera del plinto di fondazione delle pile si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

C25/30 $f_{ck} \geq 25$ MPa $R_{ck} \geq 30$ MPa

Classe d'esposizione: XC2

Classe di consistenza: S4

Diametro massimo inerti: 32mm

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

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	30	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	24.90	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32.90	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	16.60	N/mm ²
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	14.11	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	2.56	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	1.79	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3.07	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.19	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	31447	N/mm ²

4.1.3. Predalles

Per le predalles prefabbricate per il getto del pulvino si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC3

C35/45 $f_{ck} \geq 35 \text{ MPa}$ $R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$

Classe minima di consistenza: S4

Diametro massimo inerti: 20mm

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

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	45	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	37.35	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	45.35	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	24.90	N/mm ²
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	21.17	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	3.35	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2.35	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	4.02	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.56	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	34625	N/mm ²

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

4.2. ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

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

4.3. COPRIFERRI

Si riportano di seguito i copriferri nominali adottati per la progettazione e le verifiche delle strutture in calcestruzzo armato oggetto di analisi:

Strutture di elevazione	5.0 cm
Plinto di fondazione	4.0 cm
Predalles	3.5 cm

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per le caratteristiche geotecniche relative ai terreni di fondazione della pila oggetto di analisi, si faccia riferimento ai documenti di progetto relativi al calcolo dei pali di fondazione e alla geotecnica del viadotto di appartenenza della pila.

6. CONVENZIONI DI SEGNO E UNITÀ DI MISURA

6.1. SEGNI

Compressione - (negativa)

Trazione + (positiva)

La convenzione dei segni sopra riportata è applicabile a tutti i dati del documento, ad eccezione di quelli riportati negli output del software RC-SEC per le verifiche delle sezioni in c.a., in cui i segni sono invertiti per la compressione e la trazione.

6.2. UNITÀ DI MISURA

Lunghezza m oppure mm

Angoli °(sessagesimali)

Forze kN

Tensioni MPa (=N/mm²)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

7. ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO

Il presente paragrafo descrive i criteri per la valutazione delle azioni sulla struttura.

L'analisi dei carichi che interessano la pila è stata effettuata considerando le azioni provenienti dagli impalcati afferenti e quelle direttamente applicate sulla pila.

I carichi trasmessi dagli impalcati sono relativi alle condizioni di carico elementari, opportunamente combinate secondo le normative seguite, analizzate nel dettaglio nelle rispettive relazioni di calcolo degli impalcati che afferiscono alla pila in esame.

Si riporta di seguito la sintesi delle azioni provenienti dagli impalcati e l'analisi dei carichi elementari che interessano direttamente la pila.

7.1. CARICHI TRASMESSI DALL'IMPALCATO

Per la sintesi degli scarichi espletati dall'impalcato sulla pila, per ciascuna delle condizioni di carico elementari analizzate, e per il dettaglio dell'analisi dei carichi agenti sull'impalcato, si faccia riferimento alle rispettive relazioni di calcolo degli impalcati afferenti la pila in esame.

7.2. CARICHI SULLA PILA

7.2.1. Carichi permanenti strutturali G_1

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

7.2.2. Carichi permanenti sul plinto di fondazione G_3

Per il calcolo del peso del terreno di ricoprimento sul plinto della pila, si assume un peso specifico $\gamma=20\text{kN/m}^3$. Si considera uno spessore di ricoprimento variabile da circa 4.40m a 5.20m, considerando l'effettiva distribuzione del terreno sul plinto.

7.2.3. Azione del vento sulla pila Q_6

Per il calcolo dell'azione del vento sul fusto della pila in direzione trasversale e longitudinale rispetto all'asse del viadotto, si assume cautelativamente una pressione di progetto pari a $2,5\text{kN/m}^2$ sulle pareti della pila investite, nelle due direzioni.

7.2.1. Variazione termiche ϵ_3

Per l'analisi termica delle pile cave, eseguita in accordo con quanto previsto nel par. 5.2.2.5.2 del DM 14.1.2008, si rimanda al capitolo 16.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

7.3. AZIONI SISMICHE

Nel presente paragrafo si riportano la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del DM 14.1.2008.

L'azione sismica è descritta mediante spettri di risposta elastici e di progetto. In particolare nel DM 14.1.2008, vengono presentati gli spettri di risposta in termini di accelerazioni orizzontali e verticali.

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

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

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

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

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

In cui:

$$S = S_s \cdot S_T;$$

S_s : coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_T : coefficiente di amplificazione topografica;

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

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

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

a_g : accelerazione massima al suolo;

T: periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

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

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

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

$$T_D = 4.0 + \frac{a_g}{g} + 1.6$$

In cui :

C_C : coefficiente che tiene conto della categoria del terreno;

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

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

$$T_B \leq T \leq T_C \longrightarrow S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

nelle quali:

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

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

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

T : periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

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

$$T_C = 0.05$$

$$T_B = 0.15$$

$$T_D = 1.0$$

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

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

Di seguito si riporta il calcolo dei parametri per la valutazione degli spettri in accelerazione orizzontale e verticale.

Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale (V_N), è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato nella seguente tabella.

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale (VN)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale **VN = 100 anni**.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Classe d'uso

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 prevede quattro categorie di classi d'uso riportate nel prospetto di seguito:

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

Per l'opera in oggetto si considera una **Classe d'uso III**.

Periodo di Riferimento dell'Azione Sismica

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

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1	1.5	2

Pertanto per l'opera in oggetto il periodo di riferimento è pari a $100 \times 1.5 = 150$ anni.

Stati limite e relative probabilità di superamento

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Stati Limite		P _{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V _R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

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

Ai fini del D.M. 14.1.2008 le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima sul sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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

Latitudine: 45.45500

Longitudine: 11.40100

SLATO LIMITE	T _R [anni]	a _g [g]	F ₀ [-]	T _C [*] [s]
SLO	90	0.068	2.493	0.267
SLD	151	0.086	2.467	0.271
SLV	1424	0.212	2.435	0.288
SLC	2475	0.260	2.386	0.294

Tabella 1: Valutazione dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i periodi di ritorno associati a ciascuno stato limite

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

Si riportano al termine dell'analisi, i parametri ed i punti dello spettro di risposta per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Classificazione dei terreni

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, la valutazione dell'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, deve essere basata su studi specifici di risposta sismica locale esistenti nell'area di intervento. In mancanza di tali studi la normativa prevede la classificazione, riportata nella tabella seguente, basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio V_{s30}, ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica (per

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

terreni prevalentemente granulari), ovvero sulla coesione non drenata media c_u (per terreni prevalentemente coesivi).

Categoria di suolo di fondazione	Descrizione
Cat. A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
Cat. B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)
Cat. S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
Cat. S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Si considera una **categoria C** di suolo di fondazione.

Amplificazione stratigrafica

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

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

$$S_s = 1.397$$

$$C_c = 1.587$$

Amplificazione topografica

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

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

Nel caso in esame risulta $S_T = 1$

7.3.1. Spettri di risposta elastici

Stato limite di salvaguardia della vita

Di seguito si forniscono gli spettri di risposta elastici per lo stato limite di salvaguardia della vita, per le componenti orizzontali e verticale e le tabelle dei parametri rispettivi.

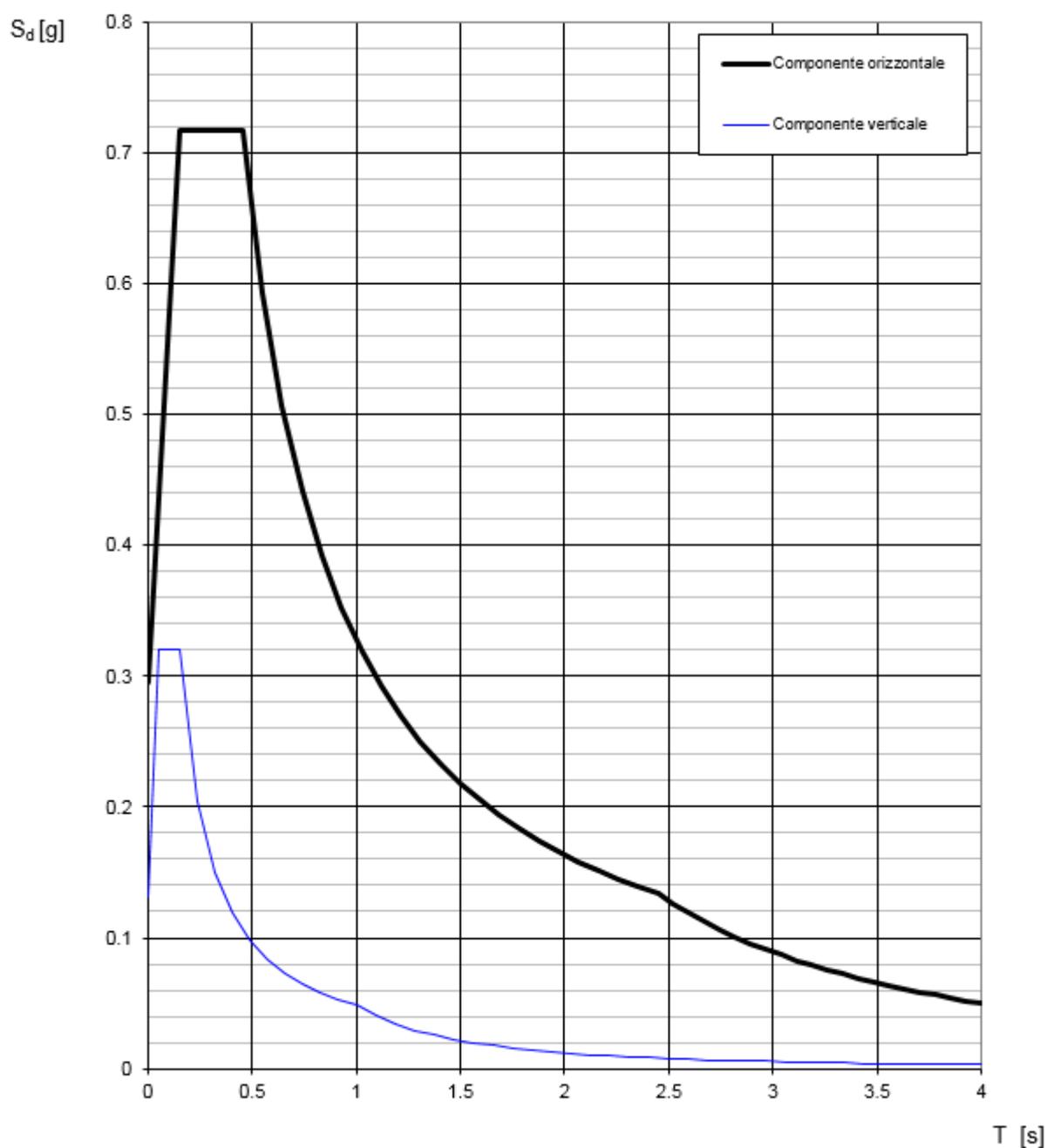


Figura 5: Spettri di risposta elastici_SLV (Componente orizzontale e verticale)

Progetto

Lotto

Codifica

IN17

12

EI2CLVI09B4003

C

Si riportano di seguito le Tabelle relative agli Spettri di risposta elastici, per le componenti orizzontali.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.212 g
F_0	2.435
T_C	0.288 s
S_s	1.390
C_C	1.583
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.390
η	1.000
T_B	0.152 s
T_C	0.456 s
T_D	2.448 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = \sqrt{1.0/(5 + \xi)} \geq 0.55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

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

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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.295
T_B	0.152	0.717
T_C	0.456	0.717
	0.551	0.594
	0.646	0.507
	0.741	0.442
	0.836	0.392
	0.930	0.352
	1.025	0.319
	1.120	0.292
	1.215	0.269
	1.310	0.250
	1.405	0.233
	1.499	0.218
	1.594	0.205
	1.689	0.194
	1.784	0.183
	1.879	0.174
	1.974	0.166
	2.068	0.158
	2.163	0.151
	2.258	0.145
	2.353	0.139
T_D	2.448	0.134
	2.522	0.126
	2.596	0.119
	2.670	0.112
	2.743	0.106
	2.817	0.101
	2.891	0.096
	2.965	0.091
	3.039	0.087
	3.113	0.083
	3.187	0.079
	3.261	0.075
	3.335	0.072
	3.409	0.069
	3.483	0.066
	3.557	0.063
	3.630	0.061
	3.704	0.058
	3.778	0.056
	3.852	0.054
	3.926	0.052
	4.000	0.050

Progetto

Lotto

Codifica

IN17

12

EI2CLVI09B4003

C

Si riportano di seguito le Tabelle relative agli Spettri di risposta elastici, per la componente verticale.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0.132 g
S_s	1.000
S_T	1.000
q	1.000
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.513
S	1.000
η	1.000

Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad \left| \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_c} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \right.$$

$$T_B \leq T < T_C \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \right.$$

$$T_C \leq T < T_D \quad \left| \quad S_o(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \right.$$

$$T_D \leq T \quad \left| \quad S_o(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \right.$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.132
T_B	0.050	0.321
T_C	0.150	0.321
	0.235	0.205
	0.320	0.150
	0.405	0.119
	0.490	0.098
	0.575	0.084
	0.660	0.073
	0.745	0.065
	0.830	0.058
	0.915	0.053
T_D	1.000	0.048
	1.094	0.040
	1.188	0.034
	1.281	0.029
	1.375	0.025
	1.469	0.022
	1.563	0.020
	1.656	0.018
	1.750	0.016
	1.844	0.014
	1.938	0.013
	2.031	0.012
	2.125	0.011
	2.219	0.010
	2.313	0.009
	2.406	0.008
	2.500	0.008
	2.594	0.007
	2.688	0.007
	2.781	0.006
	2.875	0.006
	2.969	0.005
	3.063	0.005
	3.156	0.005
	3.250	0.005
	3.344	0.004
	3.438	0.004
	3.531	0.004
	3.625	0.004
	3.719	0.003
	3.813	0.003
	3.906	0.003
	4.000	0.003

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

7.3.1. Spettri di risposta di progetto

In accordo con il par. 3.2.3.5 del DM 14.1.2008 le capacità dissipative delle strutture possono essere prese in considerazione attraverso una riduzione delle forze elastiche. Tale riduzione tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. Lo spettro di progetto $S_d(T)$ che ne risulta, sia per le componenti orizzontali, che per la componente verticale, deriva dunque dallo spettro elastico con le ordinate ridotte e lo si ottiene sostituendo, nelle espressioni che lo definiscono, il termine η con il termine $1/q$, dove q è il cosiddetto fattore di struttura.

Il fattore di struttura è definito in accordo con il par. 7.3.1 del DM 14.1.2008:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_v / α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Nel caso di pile da ponte in c.a. in **classe di duttilità "B" (CD "B")**, in accordo con il par. 7.9.2.1 (Tabella 7.9.I) DM 14.1.2008 (Tabella 7.9.I), il valore di q_0 è pari ad 1.5 mentre il valore di K_R è pari ad 1, per cui, in definitiva, per le componenti orizzontali dell'azione sismica si adotta:

$$q = 1.5$$

Per la componente verticale, il fattore di struttura per i ponti è unitario ($q = 1$), quindi si utilizza lo spettro elastico.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Stato limite di salvaguardia della vita

Secondo quanto riportato nel DM 14/01/2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, cap. 3.2.3.5, lo spettro di progetto delle componenti orizzontali per lo SLV è stato determinato secondo le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\frac{1}{q} \cdot F_o} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_o \\
T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{15}{q} \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
\end{aligned}$$

In cui:

$$S = S_s \cdot S_T;$$

S_s : coefficiente di amplificazione stratigrafico;

S_T : coefficiente di amplificazione topografica;

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

T_C : periodo corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante dello spettro ed è ottenuto mediante la seguente relazione:

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

In cui :

C_C : coefficiente che tiene conto della categoria del terreno;

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

T_B : periodo corrispondente all’inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante ed è ottenuto mediante la seguente relazione:

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

T_D : periodo corrispondente all’inizio del tratto dello spettro a spostamento costante ed è ottenuto mediante la seguente relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

q : fattore di struttura.

Sulla base delle coordinate geografiche del sito su cui sorge l'opera in esame, sono stati determinati gli spettri di risposta di progetto ed i parametri per lo SLV, riportati di seguito:

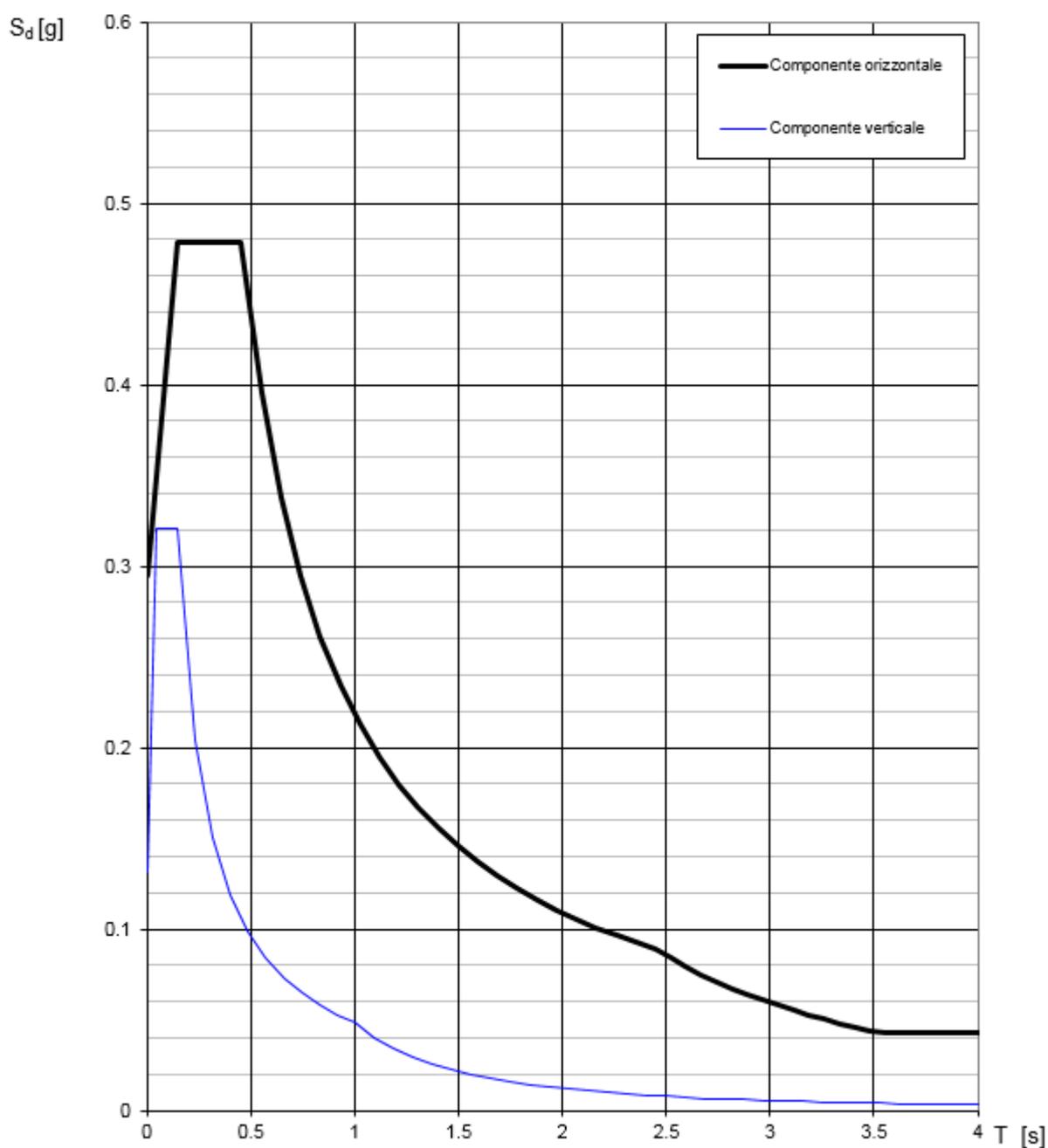


Figura 6: Spettri di risposta di progetto – $q=1.5$ _SLV (Componente orizzontale e verticale)

Progetto

Lotto

Codifica

IN17

12

E12CLVI09B4003

C

Si riportano di seguito le Tabelle relative agli Spettri di risposta elastici, per le componenti orizzontali.
Per quella verticale si faccia riferimento al paragrafo precedente dei spettri elastici ($q=1$).

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.212 g
F_0	2.435
T_C	0.288 s
S_s	1.390
C_C	1.583
S_T	1.000
q	1.500

Parametri dipendenti

S	1.390
η	0.667
T_B	0.152 s
T_C	0.456 s
T_D	2.448 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.295
T_B	0.152	0.478
T_C	0.456	0.478
	0.551	0.396
	0.646	0.338
	0.741	0.295
	0.836	0.261
	0.930	0.235
	1.025	0.213
	1.120	0.195
	1.215	0.180
	1.310	0.167
	1.405	0.155
	1.499	0.146
	1.594	0.137
	1.689	0.129
	1.784	0.122
	1.879	0.116
	1.974	0.111
	2.068	0.105
	2.163	0.101
	2.258	0.097
	2.353	0.093
T_D	2.448	0.089
	2.522	0.084
	2.596	0.079
	2.670	0.075
	2.743	0.071
	2.817	0.067
	2.891	0.064
	2.965	0.061
	3.039	0.058
	3.113	0.055
	3.187	0.053
	3.261	0.050
	3.335	0.048
	3.409	0.046
	3.483	0.044
	3.557	0.042
	3.630	0.042
	3.704	0.042
	3.778	0.042
	3.852	0.042
	3.926	0.042
	4.000	0.042

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

7.4. AZIONI ECCEZIONALI Q₈

Nel presente paragrafo si riporta la descrizione delle azioni eccezionali, derivanti dall'esercizio ferroviario e dal traffico veicolare sotto il ponte, che inducono uno stato di sollecitazione aggiuntivo sulle pile.

7.4.1. Rottura della catenaria

In accordo con il par. 5.2.2.9.1 del DM 14.1.2008, si considera l'eventualità che si verifichi la rottura della catenaria nel punto più sfavorevole del ponte. Essendo presenti due binari, la forza statica equivalente, agente in direzione parallela all'asse dei binari, è stata assunta pari a 40 kN e applicata sui sostegni alla quota del filo.

7.4.2. Urto da traffico ferroviario

In accordo con il par. 3.6.3.4 del DM 14.1.2008, l'urto sulle strutture adiacenti la ferrovia, legato al deragliamento del treno, è stato simulato mediante l'applicazione, a 1.80m dal piano del ferro, delle seguenti azioni statiche equivalenti, considerate agenti non simultaneamente:

- 4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

8. COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Le combinazioni delle azioni sono state definite in accordo con quanto riportato al par. 2.5.3 del DM 14.1.2008:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qi} e quelli dei coefficienti di combinazione Ψ_{ij} sono stati desunti dal par. 5.2.3.3.1 del DM 14.1.2008, relativo al capitolo sui 'Ponti ferroviari'. Di seguito si riportano le Tabelle di riferimento.

Per quanto riguarda il coefficiente di combinazione Ψ_{2i} relativo ai carichi dovuti al transito dei treni, come anticipato in precedenza, questo si assume pari a 0,2 nelle combinazioni sismiche, conformemente a quanto prescritto nel par. 3.2.4 del DM 14.1.2008.

 GENERAL CONTRACTOR	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

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

Figura 7: Valori dei coefficienti parziali di sicurezza – Tabella 5.2.V del D.M. 14 gennaio 2008

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

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

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Figura 8: Valori dei coefficienti di combinazione – Tabella 5.2.VI del D.M. 14 gennaio 2008

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	E12CLVI09B4003	C

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	(1)	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,0 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	(2) ⁽³⁾	(2)	(2)
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

- (1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.
 (2) Si usano gli stessi coefficienti Ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.
 (3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Figura 9: Valori dei coefficienti di combinazione – Tabella 5.2.VII del D.M. 14 gennaio 2008

Conformemente con quanto prescritto al par.5.2.3.1.3 del D.M. 14 gennaio 2008, gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella Tabella 5.2.IV del D.M. 14 gennaio 2008, riportata di seguito.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ, α , ecc...)
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Figura 10: Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico – Tabella 5.2.IV del D.M. 14 gennaio 2008

Sulla base dei criteri esposti sopra, si riportano nel prospetto di seguito i coefficienti dedotti per ciascuna delle combinazioni di carico adottate nell'analisi strutturale, per i diversi stati limite.

Progetto

Lotto

Codifica

IN17

12

EI2CLVIO9B4003

A

Combinazione	Gruppo	Traffico	G1-G3	G2	Q3,a B1- SW2	Q3,a B1- LM71	Q3,a B2- LM71	Q3,f B1- SW2	Q3,f B1- LM71	Q3,f B2- LM71	Q4 B1- SW2	Q4 B1- LM71	Q4 B2- SW2	Q4 B2- LM71	Q5 B1- LM71	Q5 B2- LM71	Q6	LM71 B1	LM71 B2	SW2 B1	A_Gk	A_Qk
SLU-Gr.1(N)	Gr.1	(N)	1.35	1.5	0	0.725	0	0	0	0.725	0	1.45	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.45	1.45	0	-1.35	-1.45
SLU-Gr.3(N)	Gr.3	(N)	1.35	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0.725	0.725	0	0.725	0.725	0.9	1.45	1.45	0	-1.35	-1.45
SLU-Gr.1(P)	Gr.1	(P)	1.35	1.5	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	-1.35	-1.45
SLU-Gr.3(P)	Gr.3	(P)	1.35	1.5	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	-1.35	-1.45
SLU-Gr.1-1SW/2	Gr.1	1SW/2	1.35	1.5	0	0	0	0.725	0	0	1.45	0	0	1.45	0	0	0.9	0	0	1.45	-1.35	-0.725
SLU-Gr.3-1SW/2	Gr.3	1SW/2	1.35	1.5	0	0	0	1.45	0	0	0.725	0	0	0.725	0	0	0.9	0	0	1.45	-1.35	-0.725
SLU-Gr.1-MaxML(P)	Gr.1	MaxML	1.35	1.5	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	-1.35	-0.725
SLU-Gr.3-MaxML(P)	Gr.3	MaxML	1.35	1.5	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	-1.35	-0.725
SLU-Gr.1(N)-Gk=1.00	Gr.1	(N)	1	1	0	0.725	0	0	0	0.725	0	1.45	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.45	1.45	0	-1	-1.45
SLU-Gr.3(N)-Gk=1.00	Gr.3	(N)	1	1	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0.725	0.725	0	0.725	0.725	0.9	1.45	1.45	0	-1	-1.45
SLU-Gr.1(P)-Gk=1.00	Gr.1	(P)	1	1	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45
SLU-Gr.3(P)-Gk=1.00	Gr.3	(P)	1	1	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45
SLU-Gr.1-1SW/2-Gk=1.00	Gr.1	1SW/2	1	1	0	0	0	0.725	0	0	1.45	0	0	1.45	0	0	0.9	0	0	1.45	-1	-0.725
SLU-Gr.3-1SW/2-Gk=1.00	Gr.3	1SW/2	1	1	0	0	0	1.45	0	0	0.725	0	0	0.725	0	0	0.9	0	0	1.45	-1	-0.725
SLU-Gr.1-MaxML(P)-Gk=1.00	Gr.1	MaxML	1	1	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45
SLU-Gr.3-MaxML(P)-Gk=1.00	Gr.3	MaxML	1	1	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45
SLV-EL+0.3ET	\	\	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
SLV-0.3EL+ET	\	\	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
SLE-C-Gr.1(N)	Gr.1	(N)	1	1	0	0.5	0	0	0	0.5	0	1	1	0	1	1	0.6	1	1	0	-1	-1
SLE-C-Gr.3(N)	Gr.3	(N)	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0.5	0.5	0	0.5	0.6	1	1	0	-1	-1	-1
SLE-C-Gr.1(P)	Gr.1	(P)	1	1	0	0	0.5	0.5	0	0	1	0	1	1	0	1	0.6	0	1	1	-1	-1
SLE-C-Gr.3(P)	Gr.3	(P)	1	1	0	0	1	1	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.6	0	1	1	-1	-1
SLE-C-Gr.1-1SW/2	Gr.1	1SW/2	1	1	0	0	0	0.5	0	0	1	0	0	1	0	0	0.6	0	0	1	-1	-0.5
SLE-C-Gr.3-1SW/2	Gr.3	1SW/2	1	1	0	0	0	1	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.6	0	0	1	-1	-0.5
SLE-C-Gr.1-MaxML(P)	Gr.1	MaxML	1	1	0	0	0.5	0.5	0	0	1	0	1	1	0	1	0.6	0	1	1	-1	-1
SLE-C-Gr.3-MaxML(P)	Gr.3	MaxML	1	1	0	0	1	1	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.6	0	1	1	-1	-1
SLE-F-Gr.1(N)	Gr.1	(N)	1	1	0	0.4	0	0	0	0.4	0	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0	-1	-0.8
SLE-F-Gr.3(N)	Gr.3	(N)	1	1	0	0.8	0	0	0	0.8	0	0.4	0.4	0	0.4	0.4	0	0.8	0.8	0	-1	-0.8
SLE-F-Gr.1(P)	Gr.1	(P)	1	1	0	0	0.4	0.4	0	0	0.8	0	0.8	0.8	0	0.8	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8
SLE-F-Gr.3(P)	Gr.3	(P)	1	1	0	0	0.8	0.8	0	0	0.4	0	0.4	0.4	0	0.4	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8
SLE-F-Gr.1-1SW/2	Gr.1	1SW/2	1	1	0	0	0	0.4	0	0	0.8	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0.8	-1	-0.4
SLE-F-Gr.3-1SW/2	Gr.3	1SW/2	1	1	0	0	0	0.8	0	0	0.4	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0.8	-1	-0.4
SLE-F-Gr.1-MaxML(P)	Gr.1	MaxML	1	1	0	0	0.4	0.4	0	0	0.8	0	0.8	0.8	0	0.8	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8
SLE-F-Gr.3-MaxML(P)	Gr.3	MaxML	1	1	0	0	0.8	0.8	0	0	0.4	0	0.4	0.4	0	0.4	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8
SLE-QP	\	\	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLE-QP-ECC.1	\	MaxML	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0
SLE-QP-ECC.2	\	1SW/2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0

Tabella 2: Combinazioni di carico

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	E12CLVI09B4003	A

I casi di carico che figurano nelle combinazioni sopra riportate, fanno riferimento alle seguenti azioni.

CASI DI CARICO		
Sigla	Tipologia	Descrizione
-	-	-
G1	Carichi permanenti strutturali	Peso proprio travi+soletta
G2 (G2,1+G2,2+G2,3+G2,4)	Carichi permanenti non strutturali	Ballast e armamento-velette-paraballast-canalette e impianti-barriere antirumore
G3	Spinta delle terre	Peso proprio del terreno di ricoprimento sul plinto della pila
Q3,a B1-SW2	Avviamento treno	Azione di avviamento per treno SW/2 su binario 1
Q3,a B1-LM71	Avviamento treno	Azione di avviamento per treno LM71 su binario 1
Q3,a B2-LM71	Avviamento treno	Azione di avviamento per treno LM71 su binario 2
Q3,f B1-SW2	Frenatura treno	Azione di frenatura per treno SW/2 su binario 1
Q3,f B1-LM71	Frenatura treno	Azione di frenatura per treno LM71 su binario 1
Q3,f B2-LM71	Frenatura treno	Azione di frenatura per treno LM71 su binario 2
Q4 B1-SW2	Azione centrifuga	Azione centrifuga per treno SW/2 su binario 1
Q4 B1-LM71	Azione centrifuga	Azione centrifuga per treno LM71 su binario 1
Q4 B2-LM71	Azione centrifuga	Azione centrifuga per treno LM71 su binario 2
Q5 B1-SW2	Serpeggio	Azione di serpeggio per treno SW/2 su binario 1
Q5 B1-LM71	Serpeggio	Azione di serpeggio per treno LM71 su binario 1
Q5 B2-LM71	Serpeggio	Azione di serpeggio per treno LM71 su binario 2
Q6	Vento	Azione del vento
LM71_B1	Traffico ferroviario	Carico verticale per treno LM71 su binario 1
LM71_B2	Traffico ferroviario	Carico verticale per treno LM71 su binario 2
SW2_B1	Traffico ferroviario	Carico verticale per treno SW/2 su binario 1
A_Gk	Resistenze parassite	Resistenze parassite dei vincoli (aliquota dovuta ai carichi permanenti)
A_Qk	Resistenze parassite	Resistenze parassite dei vincoli (aliquota dovuta ai carichi variabili)

Tabella 3 – Casi di carico

Per quanto riguarda le condizioni di traffico indicate nel prospetto dei coefficienti di combinazioni adottati, queste fanno riferimento rispettivamente a:

- (N): Condizioni di traffico normale (modello di carico LM71 su binario 1 e 2) su entrambe le campate afferenti;
- (P): Condizioni di traffico pesante (modello di carico SW/2 su binario 1 e LM71 su binario 2) su entrambe le campate afferenti;
- 1SW/2: Condizioni di traffico pesante con un solo binario carico (SW/2 su binario 1) su entrambe le campate afferenti;
- Max ML: Condizioni di traffico pesante (SW/2 su binario 1, LM71 su binario 2) solo sulla campata lato appoggi fissi.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Per quanto riguarda i gruppi di carico analizzati, come visibile nel prospetto dei coefficienti di combinazioni adottati, le azioni agenti sull'impalcato sono state combinate secondo i gruppi 1 e 3 (Gr.1-3), che danno luogo a sollecitazioni maggiori per le strutture in elevazione e in fondazione.

Inoltre, in accordo con la Tabella 5.2.V del DM 14.1.2008, le combinazioni allo SLU sono state duplicate considerando sia il possibile effetto sfavorevole che quello favorevole dei carichi permanenti strutturali e non. Nel secondo caso si sono quindi assunti valori unitari per i coefficienti γ_{Gk} .

L'azione eccezionale più gravosa risulta quella legata all'urto da traffico ferroviario. Per quanto riguarda il coefficiente di combinazione Ψ_{2i} relativo ai carichi dovuti al transito dei treni, questo si assume pari a 0,2 conformemente a quanto prescritto nel par. 5.2.3.1.5 del DM 14.1.2008.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

9. CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate sulla base dei criteri definiti nelle vigenti norme tecniche - "Norme tecniche per le costruzioni"- DM 14.1.2008 -, tenendo inoltre conto delle integrazioni riportate nel "Manuale di progettazione delle opere civili".

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

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

9.1. VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

9.1.1. Verifica a fessurazione

Le verifiche a fessurazione sono eseguite adottando i criteri definiti nel paragrafo 4.1.2.2.4.5 del DM 14.1.2008, tenendo inoltre conto delle ulteriori prescrizioni riportate nel "Manuale di progettazione delle opere civili RFI".

Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati), alle corrispondenti condizioni ambientali ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (armature sensibili per gli acciai da precompresso; poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture, in accordo con il DM 14.1.2008:

Le verifiche a fessurazione sono eseguite adottando i criteri definiti nel paragrafo 4.1.2.2.4.5 del DM 14.1.2008. Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati), alle corrispondenti condizioni ambientali ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (armature sensibili per gli acciai da precompresso; poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture, in accordo con il DM 14.1.2008:

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

Figura 11: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione - Tabella 4.1.IV del DM 14.1.2008

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Più restrittivi risultano i limiti di apertura delle fessure riportati nel “Manuale di progettazione delle opere civili”. L’apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, deve risultare:

- a) $\delta_f \leq w_1$ per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- b) $\delta_f \leq w_2$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 14.1.2008.

Si assume pertanto per tutti gli elementi strutturali analizzati nel presente documento:

- *Stato limite di fessurazione:* $w_d \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$ - combinazione di carico rara

In accordo con la normativa seguita, il valore di calcolo di apertura delle fessure w_d è dato da:

$$w_d = 1,7 w_m$$

dove w_m rappresenta l’ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d’armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati i criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

9.1.2. Verifica delle tensioni in esercizio

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

Le prescrizioni riportate di seguito fanno riferimento al par. 2.5.1.8.3.2.1 del “Manuale di progettazione delle opere civili”.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,55 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0,40 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.}$$

Per l’acciaio ordinario, la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk}$$

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

9.2. VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

9.2.1. Sollecitazioni flettenti

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

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

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

9.2.2. Sollecitazioni taglianti

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

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

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

con:

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

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

e dove:

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

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \times d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$);

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

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

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

$$1 \leq ctg \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

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

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

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

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

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

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

In cui:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

10. CRITERI DI MODELLAZIONE

Le sollecitazioni di verifica della pila sono state determinate a partire dai valori delle risultanti delle azioni trasmesse dagli impalcati alla quota degli apparecchi di appoggio. Per il calcolo di tali sollecitazioni ci si è serviti di un modello di calcolo tridimensionale implementato nel software Midas Gen e schematizzante la geometria della pila: il fusto della pila è stato schematizzato mediante un elemento frame monodimensionale (beam), cui si è assegnata la sezione corrispondente, distinguendo tra quelle cave del fusto e quella piena in corrispondenza della zona pulvino; il plinto di fondazione è stato modellato mediante elementi bidimensionali a piastra (shell), cui si è assegnato lo spessore corrispondente; la palificata di sostegno è stata simulata con elementi monodimensionali a trave (beam). Per quanto riguarda le condizioni di vincolo, l'interazione tra il terreno e i pali di fondazione è stata modellata tramite l'applicazione di molle non lineari orizzontali e molle lineari verticali.

Nelle figure di seguito si riporta il modello tridimensionale implementato nel software di calcolo Midas Gen.

Gli assi di riferimento adottati sono:

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

I carichi esterni sono stati assegnati nei vari punti della struttura secondo quanto definito nel capitolo 7.

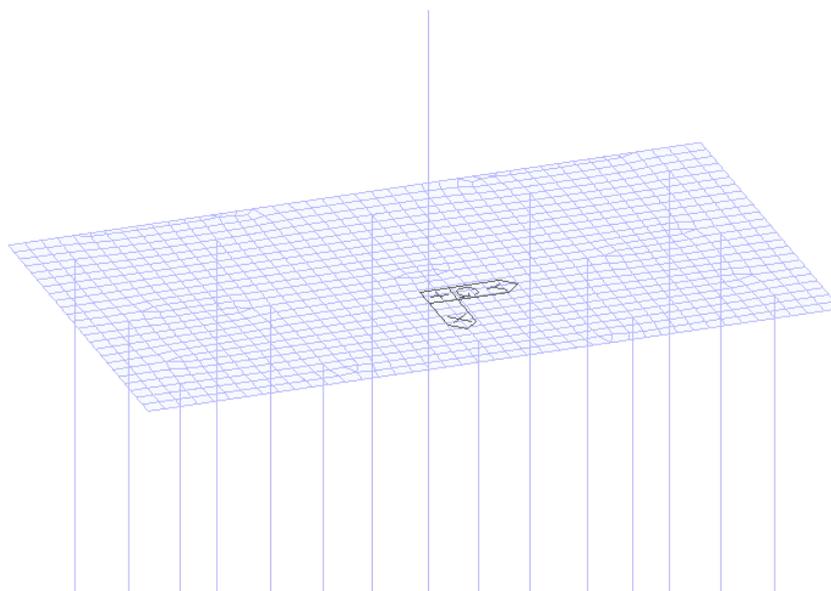


Figura 12: Modellazione tridimensionale agli Elementi Finiti – Vista 3D Wireframe

Si individua nella Figura di seguito la modalità di trasmissione delle azioni trasferite dagli impalcati, sull'elemento monodimensionale che schematizza la pila.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

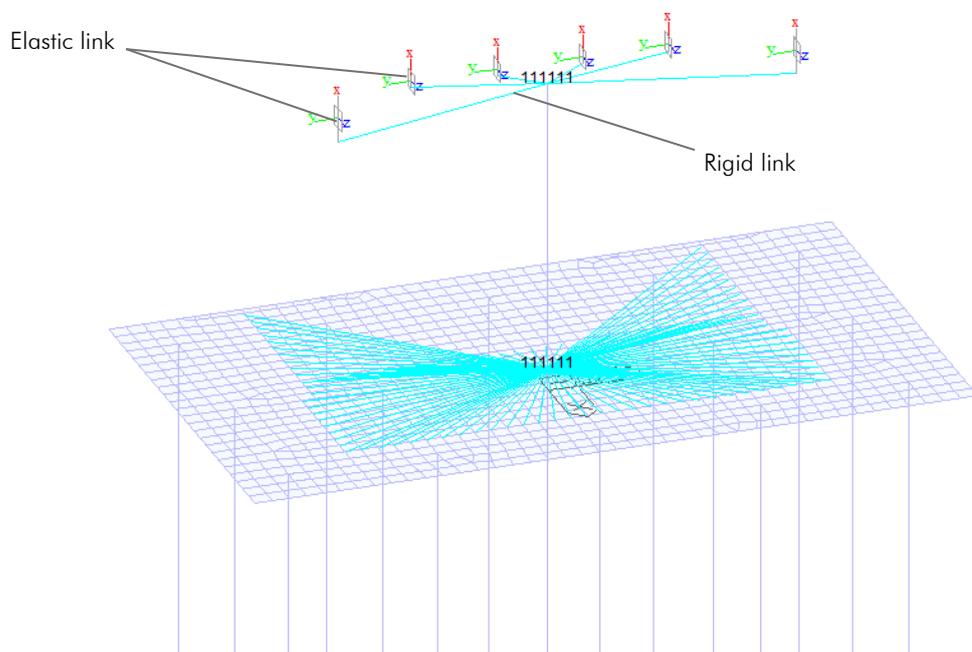


Figura 13: Modellazione tridimensionale agli Elementi Finiti – Vista 3D Wireframe – Sistema dei vincoli interni

Per la valutazione degli effetti dovuti ai fenomeni termici e di ritiro differenziale riscontrabili nelle tipologie di pila cava, è stato eseguito un apposito modello di calcolo FEM tridimensionale, mediante il software di calcolo agli elementi finiti Midas-Gen, caratterizzato da elementi bidimensionali a piastra dotati di spessore, del tipo “Shell” quadrangolari con dimensioni dell’ordine di 0.5m, che modellano il fusto della pila oltre alla platea di fondazione. La palificata è modellata con elementi beam monodimensionali a trave, cui si assegna la sezione corrispondente. I vincoli del sistema sono costituiti da molle che limitano la libertà di movimento dei nodi relativi alla palificata; in particolare, l'interazione tra il terreno e i pali di fondazione è stata modellata tramite l'applicazione di molle non lineari orizzontali e molle lineari verticali.

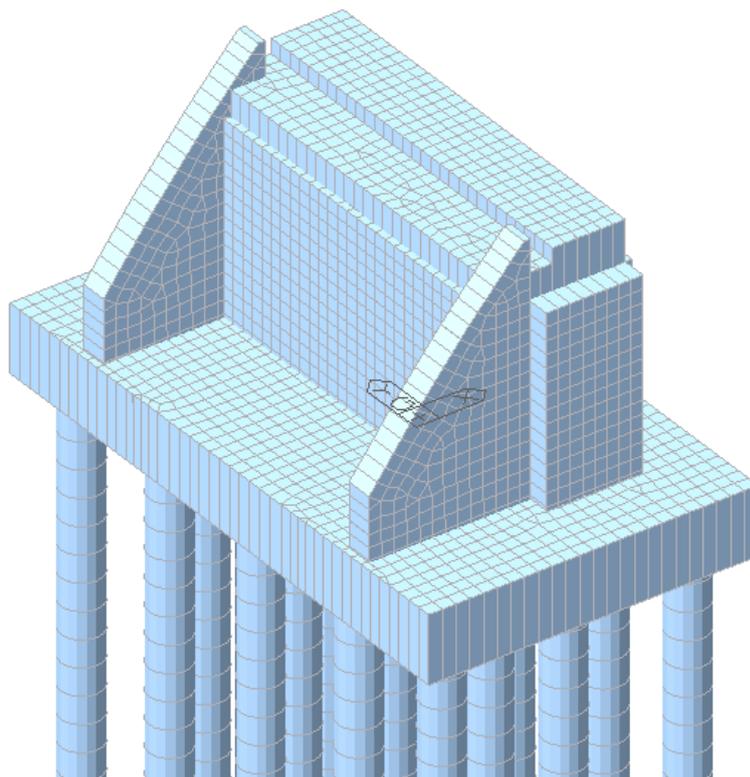
Nelle figure di seguito si riporta il modello tridimensionale implementato nel software di calcolo Midas Gen.

Gli assi di riferimento adottati sono:

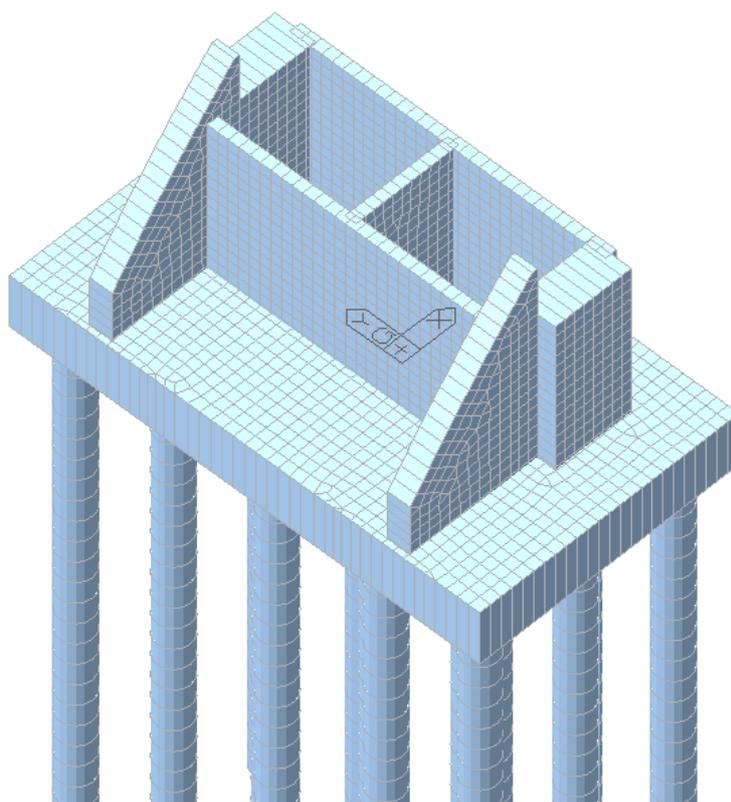
- x = asse longitudinale rispetto all’asse del viadotto
- y = asse trasversale rispetto all’asse del viadotto
- z = asse verticale

I carichi esterni sono stati assegnati nei vari punti della struttura secondo quanto definito nel capitolo 7.

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C



a)



b)

Figura 14: Modellazione tridimensionale agli Elementi Finiti – a) Vista 3D b) Spaccato

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

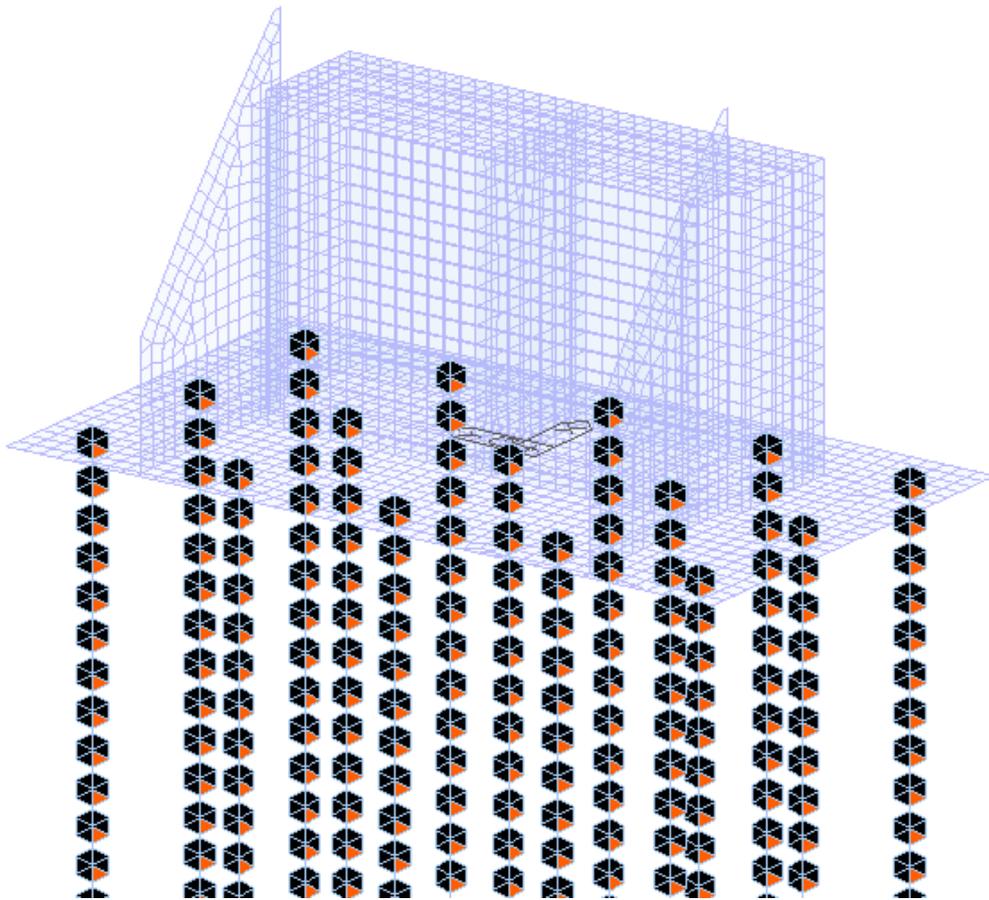


Figura 15: Modellazione tridimensionale agli Elementi Finiti – Vista wireframe – Sistema di vincolo

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

11. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DELLE STRUTTURE DI ELEVAZIONE

Nei paragrafi successivi si esibiscono le sollecitazioni, dedotte secondo quanto indicato in precedenza, e le verifiche strutturali relative al fusto della pila in esame.

11.1. SOLLECITAZIONI AGENTI

Si riporta nel prospetto di seguito la sintesi delle sollecitazioni indotte nella sezione di spiccato della pila, per ciascuna delle combinazioni di carico analizzate. Tali sollecitazioni sono state desunte dal modello di calcolo globale agli elementi finiti.

Le grandezze che figurano nelle Tabelle riportate di seguito fanno riferimento al seguente gruppo di sollecitazioni:

N: Sforzo normale (negativo, se di compressione)

Ht: Taglio in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto

Hl: Taglio in direzione parallela all'asse del viadotto

Mt: Momento flettente che produce flessione nel piano ortogonale all'asse del viadotto

MI: Momento flettente che produce flessione nel piano parallelo all'asse del viadotto

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Combinazioni di carico		SOLLECITAZIONI BASE PILA				
-		N (kN)	Ht (kN)	HI (kN)	Mt (kNm)	MI (kNm)
SLU/SLV	1 SLU-Gr.1(N)	-70478	1741	-700	26958	60288
	2 SLU-Gr.3(N)	-70935	859	255	13401	67880
	3 SLU-Gr.1(P)	-72010	1778	-762	20605	61333
	4 SLU-Gr.3(P)	-72543	878	600	8117	72040
	5 SLU-Gr.1-1SW/2	-62581	968	-1227	-10297	49194
	6 SLU-Gr.3-1SW/2	-62886	587	-557	-15386	54522
	7 SLU-Gr.1-MaxML(P)	-66696	2006	-534	21678	68582
	8 SLU-Gr.3-MaxML(P)	-67229	1106	829	9189	79288
	9 SLU-Gr.1(N)-Gk=1.00	-57437	2138	-303	30202	51493
	10 SLU-Gr.3(N)-Gk=1.00	-57894	1256	651	16646	59085
	11 SLU-Gr.1(P)-Gk=1.00	-58969	2174	-366	23850	52539
	12 SLU-Gr.3(P)-Gk=1.00	-59502	1275	997	11361	63245
	13 SLU-Gr.1-1SW/2-Gk=1.00	-49540	1364	-830	-7053	40399
	14 SLU-Gr.3-1SW/2-Gk=1.00	-49845	984	-160	-12141	45727
	15 SLU-Gr.1-MaxML(P)-Gk=1.00	-53656	2174	-366	22913	57777
	16 SLU-Gr.3-MaxML(P)-Gk=1.00	-54188	1275	997	10424	68484
	17 SLV-0.3EL+ET+0.3EZ	-40244	11829	2555	102147	52878
	18 SLV-EL+ET0.3+0.3EZ	-43882	3108	11342	26814	113150
	19 SLV-EZ-0.3EL-0.3ET	-39377	3011	2473	26017	52030
	20 SLV-0.3EL+ET+0.3EZ-2	-40236	-13442	2566	-116346	52754
	21 SLV-0.3EL+ET+0.3EZ-3	-39011	-13548	-4897	-117321	1910
	22 SLV-0.3EL+ET+0.3EZ-4	-39752	-13572	-4823	-117625	2600
	23 SLV-EL+ET0.3+0.3EZ-2	-37587	2753	-13614	23548	-57352
	24 SLV-EL+ET0.3+0.3EZ-3	-36114	-4851	-13610	-42292	-57672
	25 SLV-EL+ET0.3+0.3EZ-4	-38325	-4850	-13537	-42280	-56700
	26 SLV-EZ-0.3EL-0.3ET-2	-41846	2931	2719	25005	54329
	27 SLV-EZ-0.3EL-0.3ET-3	-40622	2825	-4744	24029	3485
	28 SLV-EZ-0.3EL-0.3ET-4	-40619	-4754	-4741	-41495	3448
SLE	1 SLE-C-Gr.1(N)	-51145	1077	-558	17545	43271
	2 SLE-C-Gr.3(N)	-51460	469	100	8196	48507
	3 SLE-C-Gr.1(P)	-52201	1102	-601	13164	43992
	4 SLE-C-Gr.3(P)	-52569	482	339	4551	51376
	5 SLE-C-Gr.1-1SW/2	-45699	544	-921	-8148	35620
	6 SLE-C-Gr.3-1SW/2	-45909	281	-459	-11657	39295
	7 SLE-C-Gr.1-MaxML	-48537	1102	-601	12518	47605
	8 SLE-C-Gr.3-MaxML	-48904	482	339	3905	54989
	9 SLE-F-Gr.1(N)	-47662	-151	-600	5049	38729
	10 SLE-F-Gr.3(N)	-47914	-637	-73	-2430	42918
	11 SLE-F-Gr.1(P)	-48507	-131	-634	1545	39306
	12 SLE-F-Gr.3(P)	-48801	-627	118	-5346	45213
	13 SLE-F-Gr.1-1SW/2(all)	-14049	-1134	-1134	-13080	16388
	14 SLE-F-Gr.3-1SW/2(all)	-14049	-1134	-1134	-13080	16388
	15 SLE-F-Gr.1-MaxML(all)	-14049	-1134	-1134	-10627	16388
	16 SLE-F-Gr.3-MaxML	-45870	-627	118	-5863	48103
	17 SLE-QP	-37260	263	0	3019	35107

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

11.2. VERIFICHE STRUTTURALI DEL FUSTO

Le verifiche strutturali sono state svolte, seguendo i criteri esposti in precedenza, con il codice di calcolo RC-SEC, per le combinazioni di carico considerate allo stato limite ultimo (combinazioni statiche), allo stato limite di salvaguardia della vita ($q=1.5$ – combinazioni sismiche) e allo stato limite di esercizio.

La sezione di verifica è quella relativa allo spiccato della pila (quota estradosso plinto). In favore di sicurezza, si trascura, per la valutazione dei momenti/tagli resistenti, la presenza degli archi posteriori.

L'armatura longitudinale del fusto della pila prevede ferri distribuiti lungo il perimetro, sia lungo il lato interno che quello esterno.

Una sintesi delle caratteristiche dell'armatura longitudinale considerata nelle verifiche è esibita nel prospetto di seguito. Il valore del copriferro c che figura è valutato in asse barra.

ARMATURA LONGITUDINALE FUSTO								
n°strati	c (cm)	ϕ (mm)	s _{ext} (cm)	s _{int} (cm)	n°tot	A _s (cm ²)	A _s /A _{cls} (%)	A _{min} /A _{cls} (%)
1	8.7	26	20	20	454	2409.2	0.77	0.6

Le grandezze che figurano nelle verifiche riportate di seguito fanno riferimento al seguente gruppo di sollecitazioni:

N: Sforzo normale (positivo, se di compressione)

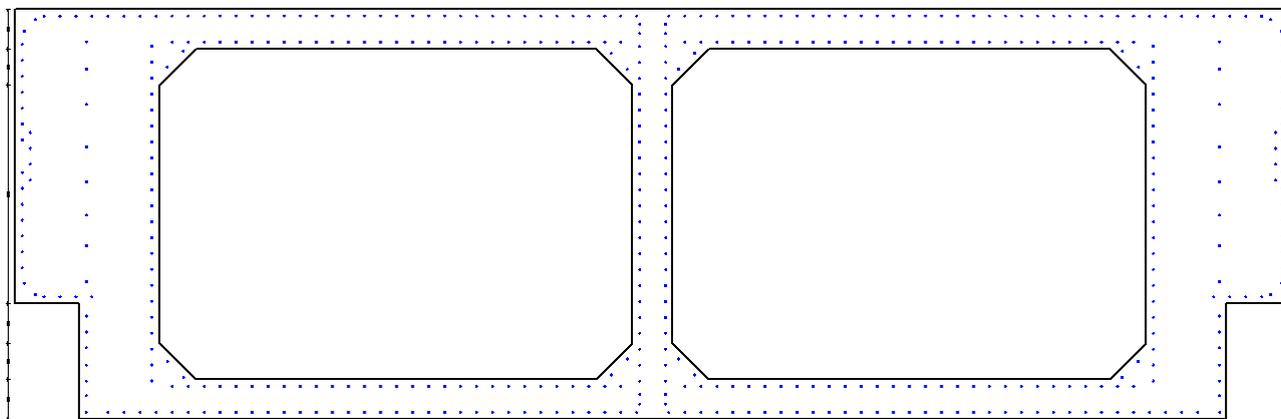
V_x: Taglio in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto

V_y: Taglio in direzione parallela all'asse del viadotto

M_y: Momento flettente che produce flessione nel piano ortogonale all'asse del viadotto

M_x: Momento flettente che produce flessione nel piano parallelo all'asse del viadotto

Di seguito le verifiche strutturali relative alla sezione di spiccato della pila.



Legenda barre	
	454 Ø 26
A _{f tot} = 2410.42 (0.77 %)	

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C32/40
ACCIAIO - Tipo: B450C

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-716.0	-112.5
2	-796.0	-112.5
3	-796.0	257.5
4	796.0	257.5
5	796.0	-112.5
6	716.0	-112.5
7	716.0	-257.5
8	-716.0	-257.5

DOMINIO N° 2

Forma del Dominio: Poligonale vuoto
Classe Conglomerato: C20/25

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-616.0	-162.3
2	-616.0	162.3
3	-570.8	207.5
4	-70.2	207.5
5	-25.0	162.3
6	-25.0	-162.3
7	-70.2	-207.5
8	-570.8	-207.5

DOMINIO N° 3

Forma del Dominio: Poligonale vuoto
Classe Conglomerato: C20/25

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	25.0	-162.3
2	25.0	162.3
3	70.2	207.5
4	570.8	207.5
5	616.0	162.3
6	616.0	-162.3
7	570.8	-207.5
8	70.2	-207.5

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-32.0	-181.7	26.0
2	-52.0	-201.7	26.0
3	32.0	-181.7	26.0
4	52.1	-201.7	26.0

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

5	-32.2	181.8	26.0
6	-52.2	201.8	26.0
7	32.3	182.0	26.0
8	52.4	202.0	26.0
9	-605.8	-184.9	26.0
10	-585.7	-204.9	26.0
11	-606.2	184.4	26.0
12	-586.2	204.4	26.0
13	-784.6	-86.5	26.0
14	-770.7	-100.8	26.0
15	-784.6	230.0	26.0
16	-770.7	244.2	26.0
17	-787.3	-67.5	26.0
18	-787.3	-47.5	26.0
19	-787.3	-27.5	26.0
20	-787.3	-7.5	26.0
21	-787.2	12.5	26.0
22	-787.2	32.5	26.0
23	-787.2	52.5	26.0
24	-787.3	213.0	26.0
25	-787.3	193.0	26.0
26	-787.3	173.0	26.0
27	-787.3	153.0	26.0
28	-787.2	133.0	26.0
29	-787.2	113.0	26.0
30	-787.2	93.0	26.0
31	-777.4	42.6	26.0
32	-777.4	62.6	26.0
33	-777.4	82.6	26.0
34	-777.4	102.6	26.0
35	-40.0	-216.1	26.0
36	-60.0	-216.1	26.0
37	-80.0	-216.1	26.0
38	-560.0	-216.2	26.0
39	-580.0	-216.2	26.0
40	-600.0	-216.2	26.0
41	-40.0	216.1	26.0
42	-60.0	216.1	26.0
43	-80.0	216.1	26.0
44	-560.0	216.2	26.0
45	-580.0	216.2	26.0
46	-600.0	216.2	26.0
47	-20.0	249.0	26.0
48	-40.0	249.0	26.0
49	-60.0	249.0	26.0
50	-700.0	248.8	26.0
51	-720.0	248.8	26.0
52	-740.0	248.8	26.0
53	-760.0	248.8	26.0
54	-707.3	-248.8	26.0
55	-707.3	-227.8	26.0
56	-707.3	-209.3	26.0
57	-707.2	-189.3	26.0
58	-707.2	-167.8	26.0
59	-706.9	-147.8	26.0
60	-706.9	-127.8	26.0
61	-625.5	-209.2	26.0
62	-625.5	-189.2	26.0
63	-625.5	-169.2	26.0
64	-625.4	-149.2	26.0
65	-625.4	-129.2	26.0
66	-625.4	-109.2	26.0

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Progetto	Lotto	Codifica	
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

67	-625.4	-89.2	26.0
68	-625.4	-69.2	26.0
69	-625.4	-49.2	26.0
70	-625.4	-29.2	26.0
71	-625.3	-9.2	26.0
72	-625.3	10.8	26.0
73	-625.3	30.8	26.0
74	-625.3	50.8	26.0
75	-625.3	70.8	26.0
76	-625.3	90.8	26.0
77	-625.2	110.8	26.0
78	-625.2	130.8	26.0
79	-625.2	150.8	26.0
80	-625.2	170.8	26.0
81	-625.2	190.8	26.0
82	-625.2	210.8	26.0
83	16.0	-209.4	26.0
84	16.0	-189.4	26.0
85	16.0	-169.4	26.0
86	16.1	-149.4	26.0
87	16.1	-129.4	26.0
88	16.1	-109.4	26.0
89	16.1	-89.4	26.0
90	16.1	-69.4	26.0
91	16.1	-49.4	26.0
92	16.2	-29.4	26.0
93	16.2	-9.4	26.0
94	16.2	10.6	26.0
95	16.2	30.6	26.0
96	16.2	50.6	26.0
97	16.2	70.6	26.0
98	16.2	90.6	26.0
99	16.3	110.6	26.0
100	16.3	130.6	26.0
101	16.3	150.6	26.0
102	16.3	170.6	26.0
103	16.3	190.6	26.0
104	16.3	210.6	26.0
105	-16.2	-209.4	26.0
106	-16.3	-189.4	26.0
107	-16.3	-169.4	26.0
108	-16.3	-149.4	26.0
109	-16.3	-129.4	26.0
110	-16.3	-109.4	26.0
111	-16.3	-89.4	26.0
112	-16.3	-69.4	26.0
113	-16.4	-49.4	26.0
114	-16.4	-29.4	26.0
115	-16.4	-9.4	26.0
116	-16.4	10.6	26.0
117	-16.4	30.6	26.0
118	-16.4	50.6	26.0
119	-16.5	70.6	26.0
120	-16.5	90.6	26.0
121	-16.5	110.6	26.0
122	-16.5	130.6	26.0
123	-16.5	150.6	26.0
124	-16.5	170.6	26.0
125	-16.5	190.6	26.0
126	-16.6	210.6	26.0
127	-16.2	226.7	26.0
128	-16.3	238.7	26.0

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Progetto	Lotto	Codifica	
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

129	16.0	226.7	26.0
130	16.0	238.7	26.0
131	-16.2	-226.2	26.0
132	-16.3	-238.2	26.0
133	16.0	-226.2	26.0
134	16.0	-238.2	26.0
135	-700.0	-103.8	26.0
136	-720.0	-103.8	26.0
137	-740.0	-103.8	26.0
138	-760.0	-103.8	26.0
139	-20.0	-249.0	26.0
140	-40.0	-248.9	26.0
141	-60.0	-248.9	26.0
142	-80.0	-248.9	26.0
143	-100.0	-248.9	26.0
144	-120.0	-248.9	26.0
145	-140.0	-248.9	26.0
146	-160.0	-248.9	26.0
147	-180.0	-248.9	26.0
148	-200.0	-248.9	26.0
149	-220.0	-248.9	26.0
150	-240.0	-248.9	26.0
151	-260.0	-248.9	26.0
152	-280.0	-248.9	26.0
153	-300.0	-248.9	26.0
154	-320.0	-248.9	26.0
155	-340.0	-248.9	26.0
156	-360.0	-248.9	26.0
157	-380.0	-248.9	26.0
158	-400.0	-248.9	26.0
159	-420.0	-248.9	26.0
160	-440.0	-248.9	26.0
161	-460.0	-248.9	26.0
162	-480.0	-248.8	26.0
163	-500.0	-248.8	26.0
164	-520.0	-248.8	26.0
165	-540.0	-248.8	26.0
166	-560.0	-248.8	26.0
167	-580.0	-248.8	26.0
168	-600.0	-248.8	26.0
169	-620.0	-248.8	26.0
170	-640.0	-248.8	26.0
171	-660.0	-248.8	26.0
172	-680.0	-248.8	26.0
173	-707.0	-84.4	26.0
174	-707.0	-39.4	26.0
175	-707.0	-1.2	26.0
176	-707.0	40.7	26.0
177	-706.9	84.6	26.0
178	-706.9	138.0	26.0
179	-706.9	182.4	26.0
180	-706.9	216.4	26.0
181	707.4	-248.8	26.0
182	707.4	-227.8	26.0
183	707.4	-209.3	26.0
184	707.4	-189.3	26.0
185	707.3	-167.8	26.0
186	707.3	-147.8	26.0
187	707.3	-127.8	26.0
188	20.0	-249.0	26.0
189	40.0	-248.9	26.0
190	60.0	-248.9	26.0

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

191	80.0	-248.9	26.0
192	100.0	-248.9	26.0
193	120.0	-248.9	26.0
194	140.0	-248.9	26.0
195	160.0	-248.9	26.0
196	180.0	-248.9	26.0
197	200.0	-248.9	26.0
198	220.0	-248.9	26.0
199	240.0	-248.9	26.0
200	260.0	-248.9	26.0
201	280.0	-248.9	26.0
202	300.0	-248.9	26.0
203	320.0	-248.9	26.0
204	340.0	-248.9	26.0
205	360.0	-248.9	26.0
206	380.0	-248.9	26.0
207	400.0	-248.9	26.0
208	420.0	-248.9	26.0
209	440.0	-248.9	26.0
210	460.0	-248.9	26.0
211	480.0	-248.8	26.0
212	500.0	-248.8	26.0
213	520.0	-248.8	26.0
214	540.0	-248.8	26.0
215	560.0	-248.8	26.0
216	580.0	-248.8	26.0
217	600.0	-248.8	26.0
218	620.0	-248.8	26.0
219	640.0	-248.8	26.0
220	660.0	-248.8	26.0
221	680.0	-248.8	26.0
222	625.0	-209.2	26.0
223	625.0	-189.2	26.0
224	624.9	-169.2	26.0
225	624.9	-149.2	26.0
226	624.9	-129.2	26.0
227	624.9	-109.2	26.0
228	624.9	-89.2	26.0
229	624.9	-69.2	26.0
230	624.8	-49.2	26.0
231	624.8	-29.2	26.0
232	624.8	-9.2	26.0
233	624.8	10.8	26.0
234	624.8	30.8	26.0
235	624.8	50.8	26.0
236	624.8	70.8	26.0
237	624.7	90.8	26.0
238	624.7	110.8	26.0
239	624.7	130.8	26.0
240	624.7	150.8	26.0
241	624.7	170.8	26.0
242	624.7	190.8	26.0
243	624.6	210.8	26.0
244	40.0	-216.1	26.0
245	60.0	-216.1	26.0
246	80.0	-216.1	26.0
247	560.0	-216.2	26.0
248	580.0	-216.2	26.0
249	600.0	-216.2	26.0
250	787.3	-67.5	26.0
251	787.3	-47.5	26.0
252	787.3	-27.5	26.0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

253	787.3	-7.5	26.0
254	787.2	12.5	26.0
255	787.2	32.5	26.0
256	787.2	52.5	26.0
257	787.3	213.0	26.0
258	787.3	193.0	26.0
259	787.3	173.0	26.0
260	787.3	153.0	26.0
261	787.2	133.0	26.0
262	787.2	113.0	26.0
263	787.2	93.0	26.0
264	777.5	42.6	26.0
265	777.5	62.6	26.0
266	777.5	82.6	26.0
267	777.5	102.6	26.0
268	700.0	-103.8	26.0
269	720.0	-103.8	26.0
270	740.0	-103.8	26.0
271	760.0	-103.8	26.0
272	20.0	249.0	26.0
273	40.0	249.0	26.0
274	60.0	249.0	26.0
275	700.0	248.8	26.0
276	720.0	248.8	26.0
277	740.0	248.8	26.0
278	760.0	248.8	26.0
279	40.0	216.1	26.0
280	60.0	216.1	26.0
281	80.0	216.1	26.0
282	560.0	216.2	26.0
283	580.0	216.2	26.0
284	600.0	216.2	26.0
285	605.8	-184.9	26.0
286	585.8	-204.9	26.0
287	606.2	184.4	26.0
288	586.2	204.4	26.0
289	784.6	-86.5	26.0
290	770.8	-100.8	26.0
291	784.6	230.0	26.0
292	770.8	244.2	26.0
293	707.1	-84.4	26.0
294	707.0	-39.4	26.0
295	707.0	-1.2	26.0
296	707.0	40.7	26.0
297	707.0	84.6	26.0
298	707.0	138.0	26.0
299	706.9	182.4	26.0
300	706.9	216.4	26.0

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

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

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	274	275	31	26
2	50	49	31	26
3	281	282	23	26

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2CLVI09B4003
				C

4	246	247	23	26
5	38	37	23	26
6	43	44	23	26

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	70478.00	60288.00	26958.00	0.00	0.00
2	70935.00	67880.00	13401.00	0.00	0.00
3	72010.00	61333.00	20605.00	0.00	0.00
4	72543.00	72040.00	8117.00	0.00	0.00
5	62581.00	49194.00	-10297.00	0.00	0.00
6	62886.00	54522.00	-15386.00	0.00	0.00
7	66696.00	68582.00	21678.00	0.00	0.00
8	67229.00	79288.00	9189.00	0.00	0.00
9	57437.00	51493.00	30202.00	0.00	0.00
10	57894.00	59085.00	16646.00	0.00	0.00
11	58969.00	52539.00	23850.00	0.00	0.00
12	59502.00	63245.00	11361.00	0.00	0.00
13	49540.00	40399.00	-7053.00	0.00	0.00
14	49845.00	45727.00	-12141.00	0.00	0.00
15	53656.00	57777.00	22913.00	0.00	0.00
16	54188.00	68484.00	10424.00	0.00	0.00
17	40244.00	52878.00	102147.00	0.00	0.00
18	43882.00	113150.00	26814.00	0.00	0.00
19	39377.00	52030.00	26017.00	0.00	0.00
20	40236.00	52754.00	-116346.00	0.00	0.00
21	39011.00	1910.00	-117321.00	0.00	0.00
22	39752.00	2600.00	-117625.00	0.00	0.00
23	37587.00	-57352.00	23548.00	0.00	0.00
24	36114.00	-57672.00	-42292.00	0.00	0.00
25	38325.00	-56700.00	-42280.00	0.00	0.00
26	41846.00	54329.00	25005.00	0.00	0.00
27	40622.00	3485.00	24029.00	0.00	0.00
28	40619.00	3448.00	-41495.00	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	51145.00	43271.00 (0.00)	17545.00 (0.00)
2	51460.00	48507.00 (0.00)	8196.00 (0.00)
3	52201.00	43992.00 (0.00)	13164.00 (0.00)
4	52569.00	51376.00 (0.00)	4551.00 (0.00)
5	45699.00	35620.00 (0.00)	-8148.00 (0.00)
6	45909.00	39295.00 (0.00)	-11657.00 (0.00)
7	48537.00	47605.00 (0.00)	12518.00 (0.00)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td>IN17</td> <td>12</td> <td>EI2CLVI09B4003</td> <td>C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C						

8	48904.00	54989.00 (0.00)	3905.00 (0.00)
9	47662.00	38729.00 (0.00)	5049.00 (0.00)
10	47914.00	42918.00 (0.00)	-2430.00 (0.00)
11	48507.00	39306.00 (0.00)	1545.00 (0.00)
12	48801.00	45213.00 (0.00)	-5346.00 (0.00)
13	14049.00	16388.00 (827806.86)	-13080.00 (-660709.89)
14	14049.00	16388.00 (827806.86)	-13080.00 (-660709.89)
15	14049.00	16388.00 (1136919.91)	-10627.00 (-737249.69)
16	45870.00	48103.00 (0.00)	-5863.00 (0.00)
17	37260.00	35107.00 (0.00)	3019.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	70478.00	306385.13	71497.83	70477.71	373409.59	159811.91	5.894	-----
2	S	70935.00	311437.93	29476.66	70935.01	376427.47	69595.30	5.301	-----
3	S	72010.00	310981.67	54474.37	72010.16	377562.77	122240.26	5.858	-----
4	S	72543.00	315843.00	14982.94	72542.83	380108.09	39464.95	5.055	-----
5	S	62581.00	295730.60	-35718.11	62581.30	359339.50	-70336.52	6.900	-----
6	S	62886.00	295186.25	-47012.49	62885.80	359510.07	-95833.50	6.266	-----
7	S	66696.00	301646.58	47843.14	66696.30	366979.73	111193.25	5.135	-----
8	S	67229.00	305800.67	15876.78	67229.15	369244.38	41532.14	4.498	-----
9	S	57437.00	280561.82	81324.36	57437.15	345563.99	194483.78	6.401	-----
10	S	57894.00	285849.23	38652.40	57894.08	349250.31	94208.17	5.666	-----
11	S	58969.00	285404.85	63143.40	58969.13	350044.78	151797.57	6.345	-----
12	S	59502.00	290382.25	23907.76	59502.24	353168.51	59751.19	5.361	-----
13	S	49540.00	271518.78	-26941.51	49540.01	332540.28	-55743.94	7.789	-----
14	S	49845.00	270928.71	-38553.61	49844.78	332715.41	-84046.44	6.930	-----
15	S	53656.00	276280.05	52750.91	53656.01	339605.09	130958.93	5.655	-----
16	S	54188.00	280601.83	20181.90	54188.14	342271.66	51981.65	4.839	-----
17	S	40244.00	219178.32	292421.43	40243.75	289160.61	536031.58	5.258	-----
18	S	43882.00	259874.62	28210.54	43881.81	320422.01	73537.03	2.792	-----
19	S	39377.00	248132.12	55979.04	39377.17	309169.77	149993.54	5.753	-----
20	S	40236.00	209253.04	-351332.44	40236.08	281958.19	-596818.18	5.138	-----
21	S	39011.00	12447.77	-676084.72	39010.73	33703.56	-959768.27	8.182	-----
22	S	39752.00	13336.39	-680899.08	39752.16	35594.34	-964628.81	8.201	-----
23	S	37587.00	-257274.12	54576.71	37587.02	-324789.50	138504.03	5.840	-----
24	S	36114.00	-246902.50	-103365.48	36113.75	-317254.20	-237520.11	5.642	-----
25	S	38325.00	-250292.09	-111618.76	38324.87	-321825.80	-249633.40	5.871	-----
26	S	41846.00	253270.77	53294.06	41845.82	314621.30	140909.89	5.607	-----
27	S	40622.00	128172.97	580292.54	40621.85	203072.90	871435.26	36.265	-----
28	S	40619.00	63786.75	-670316.14	40618.87	126233.00	-947124.38	22.826	-----

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00859	796.0	257.5	0.00301	760.0	248.8	-0.02426	-707.3	-248.8
2	0.00350	-0.01075	796.0	257.5	0.00293	760.0	248.8	-0.02919	-707.3	-248.8
3	0.00350	-0.00931	796.0	257.5	0.00298	760.0	248.8	-0.02589	-707.3	-248.8
4	0.00350	-0.01150	796.0	257.5	0.00290	760.0	248.8	-0.03091	-707.3	-248.8
5	0.00350	-0.01149	-796.0	257.5	0.00290	-760.0	248.8	-0.03090	707.4	-248.8
6	0.00350	-0.01073	-796.0	257.5	0.00293	-760.0	248.8	-0.02915	707.4	-248.8
7	0.00350	-0.01001	796.0	257.5	0.00296	760.0	248.8	-0.02750	-707.3	-248.8
8	0.00350	-0.01196	796.0	257.5	0.00289	760.0	248.8	-0.03197	-707.3	-248.8
9	0.00350	-0.00880	796.0	257.5	0.00300	760.0	248.8	-0.02475	-707.3	-248.8
10	0.00350	-0.01123	796.0	257.5	0.00291	760.0	248.8	-0.03030	-707.3	-248.8
11	0.00350	-0.00965	796.0	257.5	0.00297	760.0	248.8	-0.02669	-707.3	-248.8
12	0.00350	-0.01213	796.0	257.5	0.00288	760.0	248.8	-0.03236	-707.3	-248.8
13	0.00350	-0.01337	-796.0	257.5	0.00283	-760.0	248.8	-0.03521	707.4	-248.8
14	0.00350	-0.01233	-796.0	257.5	0.00287	-760.0	248.8	-0.03282	707.4	-248.8
15	0.00350	-0.01061	796.0	257.5	0.00293	760.0	248.8	-0.02888	-707.3	-248.8
16	0.00350	-0.01297	796.0	257.5	0.00284	760.0	248.8	-0.03430	-707.3	-248.8
17	0.00350	-0.00419	796.0	257.5	0.00317	760.0	248.8	-0.01419	-707.3	-248.8
18	0.00350	-0.01336	796.0	257.5	0.00283	760.0	248.8	-0.03518	-707.3	-248.8
19	0.00350	-0.01134	796.0	257.5	0.00290	760.0	248.8	-0.03057	-707.3	-248.8
20	0.00350	-0.00362	-796.0	257.5	0.00318	-760.0	248.8	-0.01290	707.4	-248.8
21	0.00350	-0.01096	-796.0	-112.5	0.00331	-787.3	-67.5	-0.03004	787.3	213.0
22	0.00350	-0.01090	-796.0	257.5	0.00332	-787.3	213.0	-0.02991	787.3	-67.5
23	0.00350	-0.00994	716.0	-257.5	0.00299	707.4	-248.8	-0.02731	-760.0	248.8
24	0.00350	-0.00746	-716.0	-257.5	0.00310	-707.3	-248.8	-0.02163	760.0	248.8
25	0.00350	-0.00705	-716.0	-257.5	0.00312	-707.3	-248.8	-0.02067	760.0	248.8
26	0.00350	-0.01138	796.0	257.5	0.00290	760.0	248.8	-0.03065	-707.3	-248.8
27	0.00350	-0.00309	796.0	257.5	0.00320	770.8	244.2	-0.01172	-707.3	-248.8
28	0.00350	-0.00525	-796.0	257.5	0.00321	-784.6	230.0	-0.01666	707.4	-248.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000001113	0.000051526	-0.010653796	----	----
2	0.000000588	0.000062824	-0.013145376	----	----
3	0.000000916	0.000055339	-0.011478888	----	----
4	0.000000353	0.000066911	-0.014010851	----	----
5	-0.000000622	0.000066092	-0.014013958	----	----
6	-0.000000794	0.000062121	-0.013128503	----	----
7	0.000000871	0.000058651	-0.012295753	----	----
8	0.000000379	0.000068939	-0.014553792	----	----
9	0.000001332	0.000051834	-0.010907625	----	----
10	0.000000802	0.000064383	-0.013716950	----	----
11	0.000001120	0.000056308	-0.011890940	----	----

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">E12CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	E12CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	E12CLVI09B4003	C						

12	0.00000555	0.000069173	-0.014753904	----	----
13	-0.00000556	0.000074799	-0.016203157	----	----
14	-0.00000769	0.000069445	-0.014994458	----	----
15	0.00001035	0.000060877	-0.012999933	----	----
16	0.00000509	0.000073146	-0.015740185	----	----
17	0.00002996	0.000026047	-0.005592001	----	----
18	0.00000719	0.000074258	-0.016193763	----	----
19	0.00001216	0.000063686	-0.013867001	----	----
20	-0.00003349	0.000022446	-0.004945406	----	----
21	-0.000021161	-0.00000110	-0.013357286	----	----
22	-0.000021098	0.000000019	-0.013299238	----	----
23	0.00001384	-0.000056826	-0.012123448	----	----
24	-0.00001987	-0.000043839	-0.009211376	----	----
25	-0.00002033	-0.000041823	-0.008724897	----	----
26	0.00001152	0.000064033	-0.013905794	----	----
27	0.00006753	0.000010013	-0.004453925	----	----
28	-0.00001538	0.00005557	-0.007115139	----	----

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	2.27	570.8	207.5	5.8	-707.3	-248.8	----	----	----	----
2	S	2.31	570.8	207.5	5.1	-707.3	-248.8	----	----	----	----
3	S	2.28	570.8	207.5	6.4	-707.3	-248.8	----	----	----	----
4	S	2.37	570.8	207.5	5.0	-707.3	-248.8	----	----	----	----
5	S	1.88	70.2	207.5	6.9	707.4	-248.8	----	----	----	----
6	S	1.95	70.2	207.5	5.5	707.4	-248.8	----	----	----	----
7	S	2.23	570.8	207.5	3.8	-707.3	-248.8	----	----	----	----
8	S	2.32	570.8	207.5	2.4	-707.3	-248.8	----	----	----	----
9	S	2.02	570.8	207.5	7.0	-707.3	-248.8	----	----	----	----
10	S	2.07	70.2	207.5	6.0	707.4	-248.8	----	----	----	----
11	S	2.04	570.8	207.5	7.6	-707.3	-248.8	----	----	----	----
12	S	2.13	70.2	207.5	5.4	707.4	-248.8	----	----	----	----
13	S	0.66	70.2	207.5	-0.8	707.4	-248.8	2667	42.5	21.0	1.00
14	S	0.66	70.2	207.5	-0.8	707.4	-248.8	2667	42.5	21.0	1.00
15	S	0.66	70.2	207.5	-0.5	707.4	-248.8	1426	26.5	21.0	1.00
16	S	2.09	70.2	207.5	3.1	707.4	-248.8	----	----	----	----
17	S	1.66	570.8	207.5	4.0	-707.3	-248.8	----	----	----	----

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	$= 1 - \text{Beta}12 * (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{fctm}/\text{S2})^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
srm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
	Distanza media tra le fessure [mm]

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e_{sm} * s_{rm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.4	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
2	S	0.3	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
3	S	0.4	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
4	S	0.3	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
5	S	0.4	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
6	S	0.3	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
7	S	0.2	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
8	S	0.1	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
9	S	0.4	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
10	S	0.4	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
11	S	0.5	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
12	S	0.3	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
13	S	-0.1	0	0.125	26	73-2550.5620.00000 (0.00000)		269	0.001 (0.20)	827806.86	-660709.89	
14	S	-0.1	0	0.125	26	73-2550.5620.00000 (0.00000)		269	0.001 (0.20)	827806.86	-660709.89	
15	S	0.0	0	0.125	26	73-4811.9110.00000 (0.00000)		257	0.000 (0.20)	1136919.91	-737249.69	
16	S	0.2	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00
17	S	0.2	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00

Si riportano di seguito le verifiche a taglio, eseguite nelle due direzioni principali, longitudinale e trasversale rispetto all'asse del viadotto.

Come anticipato, in favore di sicurezza, si trascura, per la valutazione dei tagli resistenti, la presenza degli archi posteriori.

L'armatura a taglio prevista è sintetizzata nel prospetto di seguito:

ARMATURA TRASVERSALE FUSTO (STAFFE)							
Direzione longitudinale				Direzione trasversale			
nb	φ (mm)	s (cm)	$A_{v,st}/s$ (cm ² /m)	nb	φ (mm)	s (cm)	$A_{v,st}/s$ (cm ² /m)
6	16	10	120.64	4	16	10	80.43

Si riporta a seguire il controllo dell'armatura minima di confinamento, nelle due direzioni, longitudinale e trasversale rispetto all'asse del viadotto, ai sensi del §2.5.2.2.6 del Manuale di Progettazione RFI. L'armatura prevista rispetta la prescrizione minima del Manuale.

Il calcolo fa riferimento alla singola parete della sezione cava e le armature trasversali considerate corrispondono all'area totale dei bracci delle staffe e delle spille nella direzione del confinamento, presenti in corrispondenza della parete confinata. La dimensione b del nucleo di calcestruzzo confinato, perpendicolare alla direzione del confinamento, è misurata fra i bracci delle armature più esterne della parete considerata, coerentemente con quanto indicato nel Manuale.

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

VALUTAZIONE MINIMO D'ARMATURA TRASVERSALE PER CONFINAMENTO - §2.5.2.2.6-Manuale RFI

Analisi direzione trasversale

Percentuale geometrica di armatura trasversale minima	ζ	0.04 0.15g < ag(SLV) < 0.25g
Resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo	fcd	18.81 N/mm ²
Resistenza di snervamento di progetto dell'acciaio	fyd	391.3 N/mm ²
Dimensione minima della pila	bl	5.15 m
Diametro delle barre di armatura trasversale	ϕ_{st}	16 mm
Numero minimo di bracci delle armature trasversali nella direzione di confinamento	nst	4.0 -
Area totale delle barre di armatura trasversale	Atrasv	8.04 cm ²
Passo tra le barre di armatura trasversale	strasv	10 cm
Area a metro lineare delle barre di armatura trasversale	Atrasv/strasv	80.38 cm ² /m
Diametro delle barre di armatura trasversale aggiuntive	ϕ_{st}	16.0 mm
Numero di bracci delle armature trasversali aggiuntive	nst	12.0 -
Area totale delle barre aggiuntive	Atrasv2	24.12 cm ²
Passo tra le barre di armatura trasversale aggiuntive	strasv	10 cm
Area a metro lineare delle barre di armatura trasversale aggiuntive	Atrasv2/strasv	241.15 cm ² /m
Diametro delle spille nella direzione di confinamento	ϕ_{sp}	8 mm
Numero delle spille nella direzione di confinamento	nsp	6 -
Area totale degli spilli	Asp	3.01 cm ²
Passo verticale degli spilli	ssp=strasv	40 cm
Area a metro lineare degli spilli	Asp/ssp	7.54 cm ² /m
Area totale delle staffe e delle spille nella direzione di confinamento al metro lineare	Asw/s	329.07 cm ² /m
Copriferro baricentrico delle armature trasversali	cst	6.60 cm
Dimensione del nucleo di cls perpendicolare alla direzione di confinamento	b*	5.02 m
Percentuale geometrica di armatura	$\omega_{wd,r}$	0.136 -
	$\omega_{wd,r} > \zeta$	Armatura minima garantita
Passo verticale massimo tra le staffe	imax	26.0 cm
Passo verticale di progetto tra le staffe	i	10.0 cm

Analisi direzione longitudinale

Coefficiente dipendente dalla zona sismica	ζ	0.04 0.15g < ag(SLV) < 0.25g
Resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo	fcd	18.81 N/mm ²
Resistenza di snervamento di progetto dell'acciaio	fyd	391.30 N/mm ²
Dimensione della parete della pila considerata	bt	6.0 m
Diametro delle barre di armatura trasversale	ϕ_{st}	16.0 mm
Numero di bracci delle armature trasversali nella direzione di confinamento	nst	3.0 -
Area totale delle barre di armatura trasversale	Atrasv	6.03 cm ²
Passo tra le barre di armatura trasversale	strasv	10 cm
Area a metro lineare delle barre di armatura trasversale	Atrasv/strasv	60.29 cm ² /m
Diametro delle barre di armatura trasversale aggiuntive	ϕ_{st}	16.0 mm
Numero di bracci delle armature trasversali aggiuntive	nst	2.0 -
Area totale delle barre aggiuntive corretta per tener conto dell'inclinazione	Atrasv2*	3.94 cm ²
Passo tra le barre di armatura trasversale aggiuntive	strasv	20 cm
Area a metro lineare delle barre di armatura trasversale aggiuntive	Atrasv2*/strasv	19.69 cm ² /m
Diametro delle spille nella direzione di confinamento	ϕ_{sp}	8 mm
Numero delle spille nella direzione di confinamento	nsp	30 -
Area totale degli spilli	Asp	15.07 cm ²
Passo verticale degli spilli	ssp=strasv	40 cm
Area a metro lineare degli spilli	Asp/ssp	37.68 cm ² /m
Area totale delle staffe e delle spille nella direzione di confinamento al metro lineare	Asw/s	117.66 cm ² /m
Copriferro baricentrico delle armature trasversali	cst	5.80 cm
Dimensione del nucleo di cls perpendicolare alla direzione di confinamento	b*	5.88 m
Percentuale geometrica di armatura	$\omega_{wd,r}$	0.042 -
	$\omega_{wd,r} > \zeta$	Armatura minima garantita
Passo verticale massimo tra le staffe	imax	26.0 cm
Passo verticale di progetto tra le staffe	i	10.0 cm

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

L'azione di taglio di verifica considerata è dedotta applicando il criterio della Gerarchia delle Resistenze, conformemente con quanto prescritto nel §7.9.5-DM 14.1.2008.

VALUTAZIONE TAGLIO DI PROGETTO PILA PER CRITERIO 'GR'

Analisi direzione longitudinale - Inv.Comb.SLV-EL+0.3ET+0.3EZ

Sforzo normale di calcolo base pila	NEd	37587 kN
Area della sezione trasversale della pila	Ac	40090200 mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del cls	fck	33.2 MPa
Sollecitazione di compressione normalizzata	vk	0.028 -
Fattore di struttura per analisi sismica pila	q	1.5 -
Fattore di sovrarresistenza (§7.9.5.1-NTC2008)	γ_{Rd}	1.00 -
Momento sollecitante alla base della pila (direzione di verifica del taglio)	MEd	57352 kNm
Momento resistente della sezione di base della pila	MRd	324789 kNm
Azione di taglio di calcolo base pila-Combinazione sismica di progetto	VEd	13614 kN
Azione di taglio valutata con GR (§7.9.5.5) $V_{gr1} = V_{Ed} \gamma_{Rd} M_{Rd}/M_{Ed}$	Vgr1	77097 kN
Limite superiore per l'azione di taglio ([7.9.12]-NTC2008) $V_{gr2} = V_{Ed} q$	Vgr2	20421 kN
Valore del taglio di progetto per la gerarchia delle resistenze $V_{gr0} = \min(V_{gr1}; V_{gr2})$	V_{gr0,long}	20421 kN

Analisi direzione trasversale - Inv.Comb.SLV-ET+0.3EL+0.3EZ

Sforzo normale di calcolo base pila	NEd	39752 kN
Area della sezione trasversale della pila	Ac	40090200 mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del cls	fck	33.2 MPa
Sollecitazione di compressione normalizzata	vk	0.030 -
Fattore di struttura per analisi sismica pila	q	1.5 -
Fattore di sovrarresistenza (§7.9.5.1-NTC2008)	γ_{Rd}	1.00 -
Momento sollecitante alla base della pila (direzione di verifica del taglio)	MEd	117625 kNm
Momento resistente della sezione di base della pila	MRd	964628 kNm
Azione di taglio di calcolo base pila-Combinazione sismica di progetto	VEd	13572 kN
Azione di taglio valutata con GR (§7.9.5.5) $V_{gr1} = V_{Ed} g_{Rd} M_{Rd}/M_{Ed}$	Vgr1	111302 kN
Limite superiore per l'azione di taglio ([7.9.12]-NTC2008) $V_{gr2} = V_{Ed} q$	Vgr2	20358 kN
Valore del taglio di progetto per la gerarchia delle resistenze $V_{gr0} = \min(V_{gr1}; V_{gr2})$	V_{gr0,trasv}	20358 kN

VALUTAZIONE FATTORI DI RIDUZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO PER CRITERIO 'GR'

Analisi direzione longitudinale - Comb.SLV-EL+0.3ET+0.3EZ

Fattore di riduzione di calcolo della resistenza a taglio GR (§7.9.5.2.2-[7.9.10])	$\gamma_{rd1,Res}$	1.25 -
Limite superiore del fattore di riduzione della resistenza a taglio GR	$\gamma_{rd2,Res} (lim.sup.)$	1.25 -
Fattore di riduzione della resistenza a taglio GR	$\gamma_{rd,Res,long}$	1.25 -

Analisi direzione trasversale - Comb.SLV-ET+0.3EL+0.3EZ

Fattore di riduzione di calcolo della resistenza a taglio GR (§7.9.5.2.2-[7.9.10])	$\gamma_{rd1,Res}$	1.25
Limite superiore del fattore di riduzione della resistenza a taglio GR	$\gamma_{rd2,Res} (lim.sup.)$	1.25
Fattore di riduzione della resistenza a taglio GR	$\gamma_{rd,Res,trasv}$	1.25

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Si riporta di seguito il calcolo dell'estensione della zona critica eventuale alla base della pila, secondo Eurocodice 8 - Parte 2 - Paragrafo §6.5.1.(2)P (~ §7.9.6.1.3-NTC18), pari alla distanza tra la sezione di spiccato della pila, di momento massimo, e la sezione ove risulti $MRd \leq 1,3 MEd$.

Qualora la lunghezza della zona critica, valutata secondo quanto indicato, risultasse diversa da zero, si assume quale taglio resistente per la verifica della sola zona critica, quello dedotto assumendo l'angolo di inclinazione della biella di calcestruzzo compressa pari a 45° . Qualora la lunghezza critica risultasse nulla, il valore del taglio resistente si determinerà assumendo l'angolo delle bielle compresse dedotto dal calcolo.

VALUTAZIONE ESTENSIONE ZONA CRITICA BASE PILA §6.5.1-EC8 (Parte 2)

Analisi direzione longitudinale - Inv.Comb.SLV-EL+0.3ET+0.3EZ

Massimo momento sollecitante alla base della pila	MEd	57352 kNm
Massimo momento resistente della sezione di base della pila	MRd	324789 kNm
Rapporto Momento resistente / Momento sollecitante	MRd/Med	5.66 -
Altezza pila	H	8.6 m
Lunghezza zona critica base pila	Lcrit	0.00 m

Analisi direzione trasversale - Inv.Comb.SLV-ET+0.3EL+0.3EZ

Massimo momento sollecitante alla base della pila	MEd	117625 kNm
Massimo momento resistente della sezione di base della pila	MRd	964628 kNm
Rapporto Momento resistente / Momento sollecitante	MRd/Med	8.20 -
Altezza pila	H	8.60 m
Lunghezza zona critica base pila	Lcrit	0.00 m

Si riportano di seguito le verifiche a taglio effettuate nelle due direzioni di verifica. Le verifiche strutturali a taglio risultano soddisfatte con l'armatura considerata.

Progetto

Lotto

Codifica

IN17

12

E12CLVI09B4003

C

VERIFICA A TAGLIO IN DIREZIONE LONGITUDINALE

SEZIONE				
b_w	=	250	cm	
h	=	494	cm	
c	=	6.6	cm	
d	=	$h-c$	=	487.4 cm
MATERIALI				
f_{ywd}	=	391.30	MPa	
R_{ck}	=	40	MPa	
γ_c	=	1.5		
f_{ck}	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	33.2 MPa
f_{cd}	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	18.81 MPa
ARMATURE A TAGLIO				
\varnothing_{st}	=	16		
braccia	=	6		
\varnothing_{st2}	=	0		
braccia	=	0		
passo	=	10	cm	
(A_{sw} / s)	=	120.637	cm^2 / m	
α	=	90	°	(90° staffe verticali)
ARMATURE LONGITUDINALI				
\varnothing_l	=			
Numero	=			
A_{sl}	=	0.000	cm^2	
TAGLIO AGENTE GR	$V_{Ed} =$	20421	(KN)	
SFORZO NORMALE	$N_{Ed} =$	37587	(KN)	

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di $\cot \theta$

$$\cot(\theta) = 2.19$$

$$\theta = 24.56^\circ$$

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

$$V_{Rsd} = 45308.98 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 45308.98 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 45309 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

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

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 51768.29 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 41326.34 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 41326 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

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

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 20707.32 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 59923.19 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 20707.32 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

LUNGHEZZA CRITICA BASE PILA			
Lcr	=	0.00	cm
TAGLIO RESISTENTE			
VRd,cal	=	45309	kN
$\gamma_{rd,Res}$	=	1.25	-
VRd/ $\gamma_{rd,res}$	=	36247	kN
CRITERIO DI VERIFICA A TAGLIO			
$V_{gr} < VRd / \gamma_{rd,res}$	SODDISFATTO		
FS	1.77		

Progetto

Lotto

Codifica

IN17

12

E12CLVI09B4003

C

VERIFICA A TAGLIO IN DIREZIONE TRASVERSALE

SEZIONE

b_w	=	100	cm		
h	=	1430	cm		
c	=	6.6	cm		
d	=	$h-c$	=	1423.4	cm

MATERIALI

f_{ywd}	=	391.30	MPa		
R_{ck}	=	40	MPa		
γ_c	=	1.5			
f_{ck}	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	33.2	MPa
f_{cd}	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	18.81	MPa

ARMATURE A TAGLIO

\varnothing_{st}	=	16			
braccia	=	4			
\varnothing_{st2}	=	0			
braccia	=	0			
passo	=	10	cm		
(A_{sw} / s)	=	80.425	cm^2 / m		
α	=	90	°		(90° staffe verticali)

ARMATURE LONGITUDINALI

\varnothing_l	=				
Numero	=				
A_{sl}	=	0.000	cm^2		
TAGLIO AGENTE GR	$V_{Ed} =$	20358	(KN)		
SFORZO NORMALE	$N_{Ed} =$	39752	(KN)		

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di $\cot \theta$

$$\cot(\theta) = 1.56$$

$$\theta = 32.68^\circ$$

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

$$V_{Rsd} = 62854.94 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 62854.94 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 62855 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

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

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 100789.20 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 47693.41 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 47693 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

IPOTESI 3 $\cot \theta = 1$ $\theta = 45^\circ$

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 40315.68 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 69155.44 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 40315.68 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

LUNGHEZZA CRITICA BASE PILA			
Lcr	=	0.00	cm
TAGLIO RESISTENTE			
VRd,cal	=	62855	kN
$\gamma_{rd,Res}$	=	1.25	-
VRd/ $\gamma_{rd,res}$	=	50284	kN
CRITERIO DI VERIFICA A TAGLIO			
Vgr < VRd / $\gamma_{rd,res}$		SODDISFATTO	
FS		2.47	

Le verifiche a taglio sopra esibite risultano soddisfatte con i margini di sicurezza esibiti.

Si riporta a seguire il calcolo dell'area strettamente necessaria a taglio per il soddisfacimento delle verifiche (condizione limite – FS=1) in condizioni sismiche e statiche, nelle due direzioni di verifica.

Le azioni considerate non tengono conto degli effetti indotti dalla temperatura e dal ritiro, analizzati nel prosieguo della trattazione.

Area a taglio strettamente necessaria - Direzione longitudinale

Condizioni sismiche

SEZIONE

bw	=	250	cm	
h	=	494	cm	
c	=	6.6	cm	
d	=	h-c	=	487.4 cm

MATERIALI

fywd	=	391.30	MPa	
Rck	=	40	MPa	
gc	=	1.5		
fck	=	0.83xRck	=	33.2 MPa
fcd	=	0.85xfck/gc	=	18.81 MPa

ARMATURE A TAGLIO

(Asw / s)	=	59.49	cm² / m
a	=	90	° (90° staffe verticali)

TAGLIO AGENTE	VEd =	20421	(KN)
SFORZO NORMALE	Ned =	37587	(KN)

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di cot q

$$\cot(q) = 3.28$$

$$q = 16.97^\circ$$

IPOTESI 1 $1 \leq \cot q \leq 2.5$ Rottura bilanciata VRsd=VRcd

$$VRsd = 33458.30 \text{ (KN)}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

$$VRcd = 33458.30 \text{ (KN)}$$

$$VRd = 33458 \text{ (KN)} \quad \min(VRsd, VRcd)$$

IPOSTESI 2 $\cot q > 2,5$ Si assume $q = 21,8^\circ$
Armatura trasversale

$$VRsd = 25526.77 \text{ (KN)}$$

$$VRcd = 41326.34 \text{ (KN)}$$

$$VRd = 25527 \text{ (KN)} \quad \min(VRsd, VRcd)$$

IPOSTESI 3 $\cot q = 1$ $q = 45^\circ$
Armatura trasversale

$$VRsd = 10210.71 \text{ (KN)}$$

$$VRcd = 59923.19 \text{ (KN)}$$

$$VRd = 10210.71 \text{ (KN)} \quad \min(VRsd, VRcd)$$

LUNGHEZZA CRITICA BASE PILA

$$Lcr = 0.00 \text{ cm}$$

TAGLIO RESISTENTE

$$VRd = 25527 \text{ kN}$$

$$grd,Res = 1.25 \text{ -}$$

$$VRd/grd,res = 20421 \text{ kN}$$

CRITERIO DI VERIFICA A TAGLIO

$$VEd < VRd \quad \text{SODDISFATTO}$$

$$FS = 1.000$$

L'area minima individuata fa riferimento all'armatura a taglio totale da garantire in corrispondenza della sezione, sui tre setti, i due perimetrali più quello centrale. Si assume che l'area venga ripartita equamente sui tre setti, pertanto sul singolo setto laterale l'area minima da garantire è pari a 1/3 dell'area minima totale individuata.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Condizioni statiche

SEZIONE

bw = 250 cm
h = 494 cm
c = 6.6 cm
d = h-c = 487.4 cm

MATERIALI

fywd = 391.30 MPa
Rck = 40 MPa
gc = 1.5
fck = 0.83xRck = 33.2 MPa
fcd = 0.85xfck/gc = 18.81 MPa

ARMATURE A TAGLIO

øst = 16
braccia = 6
øst2 = 0
braccia = 0
passo = 421.8 cm
(Asw / s) = **2.860** cm² / m
a = 90 ° (90° staffe verticali)

TAGLIO AGENTE VE_d = 1227 (KN)
SFORZO NORMALE Ne_d = 62581 (KN)

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di cot q

cot(q) = 16.18
q = 3.54 °

IPOPOTESI 1 $1 \leq \cot q \leq 2.5$ Rottura bilanciata VR_{sd}=VR_{cd}

VR_{sd} = 7941.22 (KN)

VR_{cd} = 7941.22 (KN)

VR_d = 7941 (KN) min(VR_{sd}, VR_{cd})

IPOPOTESI 2 cot q > 2,5 Si assume q = 21,8°

Armatura trasversale

VR_{sd} = 1227.32 (KN)

VR_{cd} = 44464.75 (KN)

VR_d = 1227 (KN) min(VR_{sd}, VR_{cd})

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

IPOTESI 3 Cot $q = 1$ $q = 45^\circ$

Armatura trasversale

$VR_{sd} = 490.93$ (KN)

$VR_{cd} = 64473.88$ (KN)

$VR_d = 490.93$ (KN) $\min(VR_{sd}, VR_{cd})$

TAGLIO RESISTENTE

$VR_d = 1227$ kN

CRITERIO DI VERIFICA A TAGLIO

$V_{ed} < VR_d$ SODDISFATTO

FS 1.00

L'area minima individuata fa riferimento all'armatura a taglio totale da garantire in corrispondenza della sezione, sui tre setti, i due perimetrali più quello centrale. Si assume che l'area venga ripartita equamente sui tre setti, pertanto sul singolo setto laterale l'area minima da garantire è pari a 1/3 dell'area minima totale individuata.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Area a taglio strettamente necessaria - Direzione trasversale

Condizioni sismiche

SEZIONE

bw = 100 cm
h = 1430 cm
c = 6.6 cm
d = h-c = 1423.4 cm

MATERIALI

fywd = 391.30 MPa
Rck = 40 MPa
gc = 1.5
fck = 0.83xRck = 33.2 MPa
fcd = 0.85xfck/gc = 18.81 MPa

ARMATURE A TAGLIO

(Asw / s) = 20.307 cm² / m
a = 90 °

TAGLIO AGENTE VEd = 20358 (KN)
SFORZO NORMALE Ned = 39752 (KN)

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di cot q

cot(q) = 3.55
q = 15.74 °

IPOTESI 1 $1 \leq \cot q \leq 2.5$ Rottura bilanciata VRsd=VRcd

VRsd = 36115.18 (KN)

VRcd = 36115.18 (KN)

VRd = 36115 (KN) $\min(\text{VRsd}, \text{VRcd})$

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

Armatura trasversale

VRsd = 25448.60 (KN)

VRcd = 47693.41 (KN)

VRd = 25449 (KN) $\min(\text{VRsd}, \text{VRcd})$

IPOTESI 3 $\text{Cot } q = 1$ $q = 45^\circ$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di cot q

$$\cot(q) = 12.85$$

$$q = 4.45 \quad ^\circ$$

IPOSTESI 1 $1 \leq \cot q \leq 2.5$ Rottura bilanciata $VR_{sd} = VR_{cd}$

$$VR_{sd} = 11177.56 \text{ (KN)}$$

$$VR_{cd} = 11177.56 \text{ (KN)}$$

$$VR_d = 11178 \text{ (KN)} \quad \min(VR_{sd}, VR_{cd})$$

IPOSTESI 2 $\cot q > 2.5$ Si assume $q = 21,8^\circ$

Armatura trasversale

$$VR_{sd} = 2174.06 \text{ (KN)}$$

$$VR_{cd} = 49840.97 \text{ (KN)}$$

$$VR_d = 2174 \text{ (KN)} \quad \min(VR_{sd}, VR_{cd})$$

IPOSTESI 3 $\cot q = 1$ $q = 45^\circ$

Armatura trasversale

$$VR_{sd} = 869.62 \text{ (KN)}$$

$$VR_{cd} = 72269.40 \text{ (KN)}$$

$$VR_d = 869.62 \text{ (KN)} \quad \min(VR_{sd}, VR_{cd})$$

TAGLIO RESISTENTE

$$VR_d = 2174 \text{ KN}$$

CRITERIO DI VERIFICA A TAGLIO

$V_{ed} < VR_d$ SODDISFATTO

$$FS = 1.00$$

L'area minima individuata fa riferimento all'armatura a taglio totale da garantire in corrispondenza della sezione, sui due setti, i due perimetrali, in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto. Si assume che l'area venga ripartita equamente sui due setti, pertanto sul singolo setto laterale l'area minima da garantire è pari a 1/2 dell'area minima totale individuata.

~

Le aree strettamente necessarie per il soddisfacimento delle verifiche a taglio nelle due direzioni e in entrambe le condizioni, statiche e sismiche, saranno sommate nel prosieguo della trattazione a quelle necessarie all'assorbimento delle sollecitazioni destinate dagli effetti termici/di ritiro sulla pila, dimostrando che la somma dei due contributi fornisce un'area inferiore all'area di armatura prevista.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Si presentano di seguito le verifiche a scorrimento della pila nelle due direzioni, trasversale e longitudinale rispetto all'asse del viadotto, per le combinazioni dimensionanti, eseguite in accordo alle formulazioni riportate nel §7.4.4.5.2.2- DM 14.1.2008.

Si fa presente che la verifica condotta è estremamente cautelativa poiché considera, nella sezione di spiccato, la presenza delle sole barre d'armatura verticale relative alla parte anteriore, escludendo quelle presenti negli archi posteriori. Il calcolo trascura inoltre la resistenza offerta dalle armature inclinate presenti alla base. La stima dell'area compressa della sezione, nella combinazione di verifica, conduce anch'essa a valori cautelativi.

Verifica del parametro $\alpha = L/H$ in direzione trasversale

Altezza della pila	L	8.6 m
Dimensione della sezione nel piano di inflessione della pila	H	14.3 m
	$\alpha = L/H$	0.60 -

VERIFICA SCORRIMENTO IN DIREZIONE TRASVERSALE

	Comb.sismica ET+0.3EL+0.3EZ	
Resistenza caratteristica cubica a compressione del cls	Rck	40 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del cls	fck	33.2 N/mm ²
Resistenza a compressione di progetto del cls	fcd	18.8 N/mm ²
Resistenza caratteristica di snervamento dell'acciaio	fyk	450 N/mm ²
Resistenza di snervamento di progetto dell'acciaio	fyd	391.3 N/mm ²
Area tot.barre verticali intersecanti la superficie di scorrimento (spiccato pila)	Asj	241074 mm ²
	Vdd1	26890 kN
	Vdd2	23583 kN
	Vdd = min(Vdd,1;Vdd,2)	23583 kN
Contributo dell'effetto spinotto delle armature verticali	μ_f	0.6 -
Coefficiente di attrito calcestruzzo-calcestruzzo	n.barre compresse	88 -
Numero barre compresse (RC-SEC)	n.tot barre sezione	454
Numero totale di barre sulla sezione	ξ_1	0.19 -
Percentuale di barre compresse rispetto al totale delle barre	Acompr	8.80 m ²
Area compressa	Atot.sez.cava	31.43 m ²
Sezione totale pila	ξ_2	0.28 -
Percentuale della sezione compressa rispetto alla sezione totale	z	11.44 m
Braccio delle forze interne	η	0.52 -
Coefficiente numerico [7.4.9]	lw	14.3 m
Altezza della sezione	bw	1.00 m
Spessore dell'anima	Ned	39752 kN
Sforzo normale sulla sezione	Med	117625 kNm
Momento flettente sulla sezione	Vfd1	23818 kN
	Vfd2	19597 kN
	Vfd = min(Vfd1;Vfd2)	19597 kN
Contributo della resistenza per attrito	VRd,S	43180 kN
Resistenza allo scorrimento di progetto	Vgr,max	20358 kN
Valore del taglio di progetto per la gerarchia delle resistenze Vgr0		

VERIFICA SODDISFATTA

Il contributo dell'effetto spinotto delle armature verticali Vdd, valutato sopra, assume lo stesso valore anche per l'analisi della direzione longitudinale, presentata di seguito.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Verifica del parametro $\alpha = L/H$ in direzione longitudinale

Altezza della pila	L	8.6 m
Dimensione della sezione nel piano di inflessione della pila	H	4.94 m
	$\alpha = L/H$	1.74 -

VERIFICA SCORRIMENTO IN DIREZIONE LONGITUDINALE

	Comb.sismica - EL+0.3ET+0.3EZ	
Coefficiente di attrito calcestruzzo-calcestruzzo	μ_f	0.6 -
Numero barre compresse (RC-SEC)	n.barre compresse	319 -
Numero totale di barre sulla sezione	n.tot barre sezione	454
Percentuale di barre compresse rispetto al totale delle barre	ξ_1	0.70 -
Area compressa	Acompr	25.52 m ²
Sezione totale pila	Atot.sez.cava	31.43 m ²
Percentuale della sezione compressa rispetto alla sezione totale	ξ_2	0.81 -
Braccio delle forze interne	z	3.952 m
Coefficiente numerico [7.4.9]	η	0.52 -
Altezza della sezione	lw	4.94 m
Spessore dell'anima	bw	2.50 m
Sforzo normale sulla sezione	Ned	37587 kN
Momento flettente sulla sezione	Med	57352 kNm
	Vfd1	66788 kN
	Vfd2	49081 kN
	Vfd = min(Vfd1;Vfd2)	49081 kN
	VRd,S	72664 kN
	Vgr,max	20421 kN

VERIFICA SODDISFATTA

Contributo della resistenza per attrito
Resistenza allo scorrimento di progetto
Valore del taglio di progetto per la gerarchia delle resistenze Vgr0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

11.3. SOLLECITAZIONI E VERIFICHE PER AZIONI ECCEZIONALI

La valutazione è stata effettuata in corrispondenza della sezione di spiccato della pila (quota estradosso plinto). I calcoli esibiti sono relativi alla pila di riferimento, di cui si sono mostrate in precedenza le verifiche strutturali.

L'azione eccezionale più gravosa risulta quella legata all'urto da traffico ferroviario, pertanto si riporta di seguito la valutazione delle sollecitazioni per la combinazione eccezionale che contempla tale azione.

Come anticipato in precedenza, in accordo con quanto riportato al par. 2.5.3 del DM 14.1.2008, si fa riferimento alla seguente combinazione eccezionale:

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

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

dove A_d , azione eccezionale di progetto, è rappresentata dall'urto da traffico ferroviario.

Per quanto riguarda il coefficiente di combinazione Ψ_{21} relativo ai carichi dovuti al transito dei treni, questo si assume pari a 0,2 conformemente a quanto prescritto nel par. 5.2.3.1.5 del DM 14.1.2008.

I due scenari considerati si riferiscono alla condizione di traffico pesante (SW/2 su binario 1, LM71 su binario 2) solo sulla campata lato appoggi fissi, che fornisce il massimo momento sulla pila in direzione parallela all'asse viadotto, e la condizione di traffico pesante su un solo binario (SW/2 su binario 1), su entrambe le campate afferenti, che fornisce il massimo momento sulla pila in direzione trasversale rispetto all'asse viadotto.

URTO DA TRAFFICO FERROVIARIO (NTC08-p.3.6.3.4)			
$F_{long-urto}$	4000 kN	Forza statica equivalente all'urto da traffico ferroviario in direz. parallela all'asse dei binari	
$F_{trasv-urto}$	1500 -	Forza statica equivalente all'urto da traffico ferroviario in direz. trasversale all'asse dei binari	
H_{urto}	1.80 m	Quota applicazione delle forze d'urto rispetto al P.F.	
D	11.15 m	Distanza spiccato pila da P.F.	
D_{tot}	12.95 m	Distanza quota applicazione delle forze d'urto da quota spiccato pila	
<i>Sollecitazioni indotte a quota spiccato pila</i>			
H_{I_uf}	4000 kN	Taglio in direz. longitudinale rispetto all'asse del viadotto destato dall'urto	
M_{I_uf}	51800 kNm	Momento in direz. longitudinale rispetto all'asse del viadotto destato dall'urto	
H_{t_uf}	1500 kN	Taglio in direz. trasversale rispetto all'asse del viadotto destato dall'urto	
M_{t_uf}	19425 kNm	Momento in direz. trasversale rispetto all'asse del viadotto destato dall'urto	
*Le forze d'urto in direz. longitudinale e trasversale non devono essere considerate agenti simultaneamente.			

Combinando l'azione eccezionale con le azioni concomitanti, nei due scenari, si ottengono le sollecitazioni totali di verifica, riportate nei prospetti di seguito.

SOLLECITAZIONI TOTALI SCENARIO 1 (max MI) - COMB. ECC.1			
N_{ecc}	-39170 kN	Sforzo normale a quota spiccato pila (negativo se di compressione)	
H_{I_ecc}	4000 kN	Taglio a quota spiccato pila in direzione parallela all'asse del viadotto	
M_{I_ecc}	90082 kNm	Momento a quota spiccato pila in direzione parallela all'asse del viadotto	
H_{t_ecc}	263 kN	Taglio a quota spiccato pila in direzione trasversale all'asse del viadotto	
M_{t_ecc}	3884 kNm	Momento a quota spiccato pila in direzione trasversale all'asse del viadotto	

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

SOLLECITAZIONI TOTALI SCENARIO 2 (max Mt) - COMB. ECC.2		
N_{ecc}	-38300 kN	Sforzo normale a quota spiccato pila (negativo se di compressione)
HI_{ecc}	0 kN	Taglio a quota spiccato pila in direzione parallela all'asse del viadotto
MI_{ecc}	36836 kNm	Momento a quota spiccato pila in direzione parallela all'asse del viadotto
Ht_{ecc}	1763 kN	Taglio a quota spiccato pila in direzione trasversale all'asse del viadotto
Mt_{ecc}	24975 kNm	Momento a quota spiccato pila in direzione trasversale all'asse del viadotto

Le sollecitazioni valutate per le due combinazioni eccezionali più gravose, risultano inferiori a quelle relative alle due combinazioni sismiche, dimensionanti per la pila, per le quali si sono esibite le verifiche strutturali nei precedenti capitoli.

Si rimanda al paragrafo precedente per le verifiche strutturali di riferimento per la pila in oggetto.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

12. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL PLINTO DI FONDAZIONE DELLA PILA

Nei paragrafi successivi si esibiscono le sollecitazioni e le verifiche strutturali relative al plinto di fondazione della pila in esame nelle due direzioni principali, parallela e ortogonale rispetto all'asse del viadotto.

12.1. SOLLECITAZIONI AGENTI E VERIFICHE STRUTTURALI

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi in termini di sollecitazioni degli elementi strutturali del plinto nelle due direzioni, longitudinale e trasversale rispetto all'asse del viadotto, estrapolati dal modello considerando l'involuppo delle combinazioni allo Stato Limite Ultimo (statiche/sismiche) e allo Stato Limite di Esercizio.

In particolare, nelle figure seguenti sono stati filtrati i diagrammi dei momenti flettenti, in modo da evidenziare, per ciascuna sezione di verifica, il campo dell'elemento strutturale coperto e quello che invece richiede una sezione maggiormente armata. Nelle figure la zona colorata è coperta dall'armatura considerata, mentre la zona in bianco, in continuità con il valore massimo visualizzato, necessita di un incremento di armatura.

Per la valutazione delle sollecitazioni sul plinto di fondazione, si sono applicate sul modello FEM descritto in precedenza, in corrispondenza dei pali, le reazioni da questi espletate, determinate a loro volta dal programma MAP (G. Guiducci), il quale permette di modellare il terreno come un continuo analizzandone l'interazione con un gruppo di pali anche di diversa geometria sotto condizioni di carico generalizzate.

Per ulteriori dettagli circa le modalità di determinazione delle azioni sui pali, si faccia riferimento alla Relazione di calcolo dei pali di fondazione della pila in oggetto.

Una sintesi delle caratteristiche dell'armatura longitudinale, trasversale e a taglio previste è esibita nei paragrafi seguenti. Il numero totale dei ferri fa riferimento ad una sezione di larghezza pari a 1 m.

I valori delle distanze δ segnalate per ciascuno strato di armatura sono valutati tra l'estremo inferiore/superiore della sezione e l'asse delle barre.

Si fa presente che i momenti di verifica sono i momenti m_x^* e m_y^* , calcolati sia al lembo inferiore che a quello superiore sulla base dei momenti flettenti (m_x , m_y) e torcenti (m_{xy}) forniti dall'analisi per ogni nodo della discretizzazione. Si ipotizza infatti che l'armatura tesa delle sezioni inflesse sviluppi solo momenti resistenti a flessione e non a torsione; pertanto la sollecitazione flettente va incrementata di un contributo che introduca gli effetti del momento torcente, in modo da dimensionare l'armatura necessaria a far fronte alla combinazione di flessione e torsione che sollecita gli elementi a piastra. Un procedimento per il calcolo dei momenti di verifica m^* è illustrato nell'appendice F all'Eurocodice2, di cui si riporta il diagramma di flusso.

I valori dei momenti di progetto risultano dal diagramma di flusso sotto riportato:

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

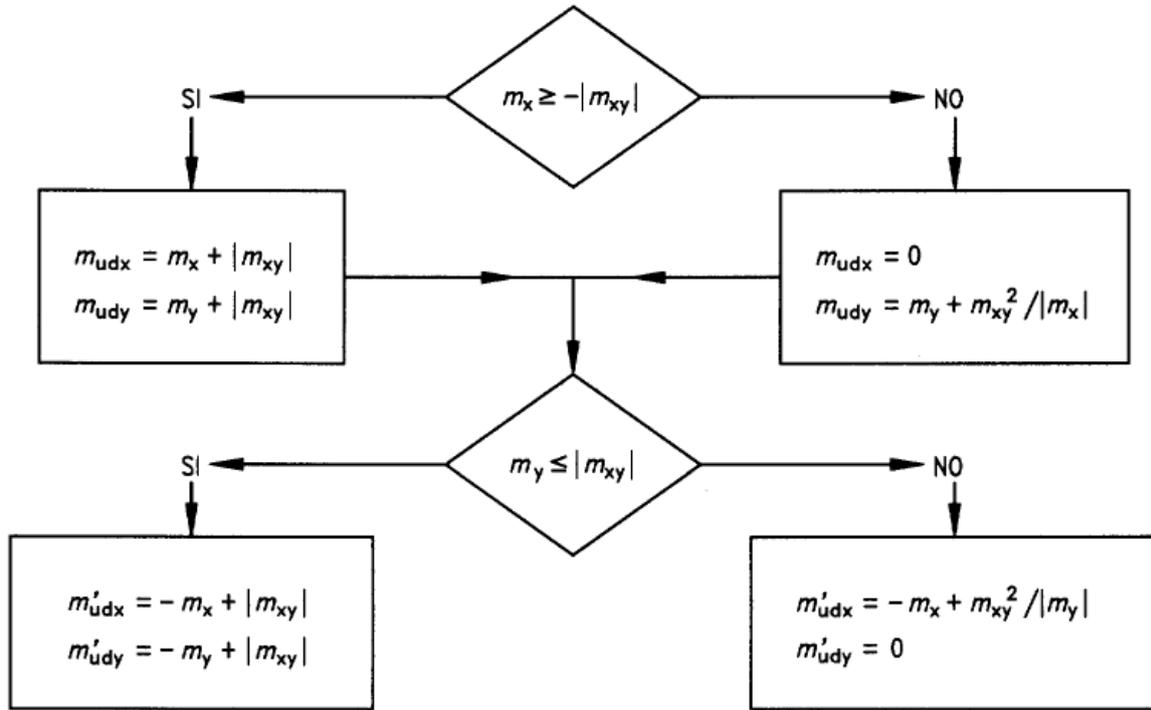


Figura 16: Diagramma di flusso per il calcolo dei momenti ultimi

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

12.1.1. Plinto di fondazione s=2.50m - Verifiche a flessione – Armatura Dir. X Longitudinale

SEZIONI PLINTO DI FONDAZIONE - ARMATURA LONGITUDINALE			N°	Ø	A	δ	Sforzo normale	MOMENTI LIMITE			
								SLE			SLU
								M _{SLE,0.2}	σ _{c,sle,0.2}	σ _{a,sle,0.2}	M _u
								kNm	MPa	MPa	kNm
X1=100x250	ESTRADOSSO	1° strato	10	24	45.24	6.8	0	3000	4.16	287.6	4230
		2° strato									
	INTRADOSSO	2° strato	5	26	26.55	12.1		4650	5.77	263.64	7328
		1° strato	10	26	53.09	6.9					

Il segno negativo dello sforzo normale riportato nei prospetti precedenti individua uno sforzo di trazione, viceversa il segno positivo individua uno sforzo di compressione.

I valori dei momenti limite sopra dichiarati sono stati dedotti dal codice di calcolo RC-SEC, considerando la geometria e l'armatura della sezione indicate.

Nei diagrammi di seguito, il momento positivo tende le fibre all'intradosso.

Filtro sollecitazioni con sezione X1

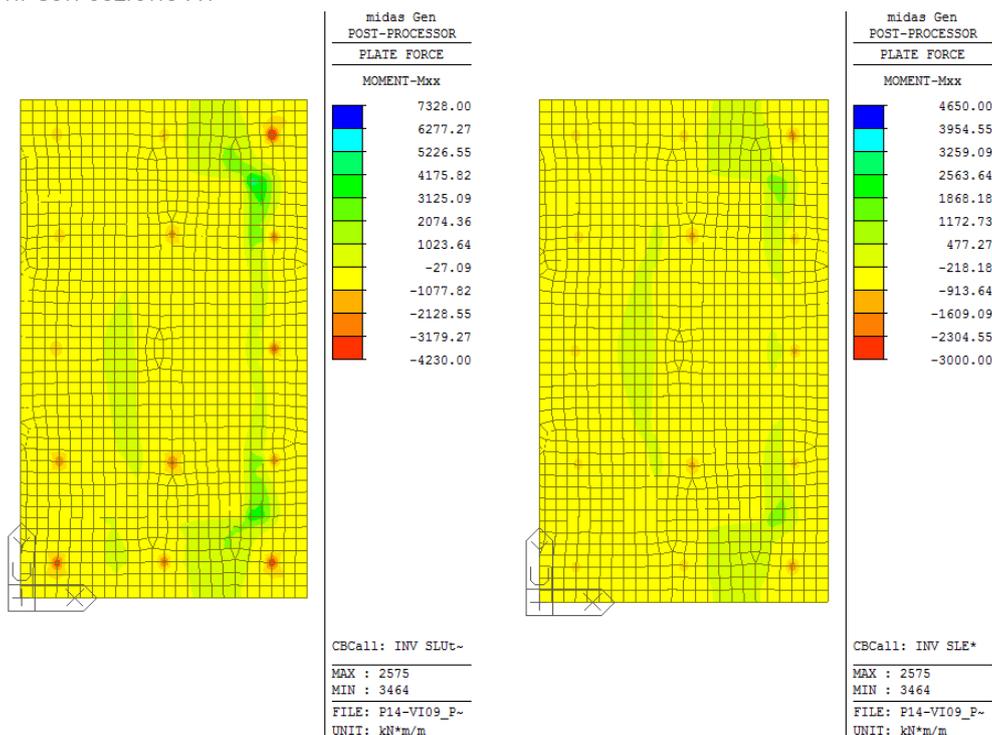


Figura 17: Momento flettente longitudinale - Inviluppo delle combinazioni SLU statiche/sismiche (a sinistra) e SLE (a destra)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

12.1.2. Plinto di fondazione s=2.50m - Verifiche a flessione – Armatura Dir. Y Trasversale

SEZIONI PLINTO DI FONDAZIONE - ARMATURA TRASVERSALE			N°	Ø	A	δ	Sforzo normale	MOMENTI LIMITE			
								SLE			SLU
								M _{SLE,0.2}	σ _{c,sle,0.2}	σ _{a,sle,0.2}	M _u
								kNm	MPa	MPa	kNm
Y1=100x250	ESTRADOSSO	1° strato	10	24	45.24	9.2	0	2400	3.44	233.43	4177
		2° strato									
	INTRADOSSO	2° strato	5	26	26.55	14.7		4200	5.34	241.41	7200
		1° strato	10	26	53.09	9.5					

Il segno negativo dello sforzo normale riportato nei prospetti precedenti individua uno sforzo di trazione, viceversa il segno positivo individua uno sforzo di compressione.

I valori dei momenti limite sopra dichiarati sono stati dedotti dal codice di calcolo RC-SEC, considerando la geometria e l'armatura della sezione indicate.

Nei diagrammi di seguito, il momento positivo tende le fibre all'intradosso.

Filtro sollecitazioni con sezione Y1

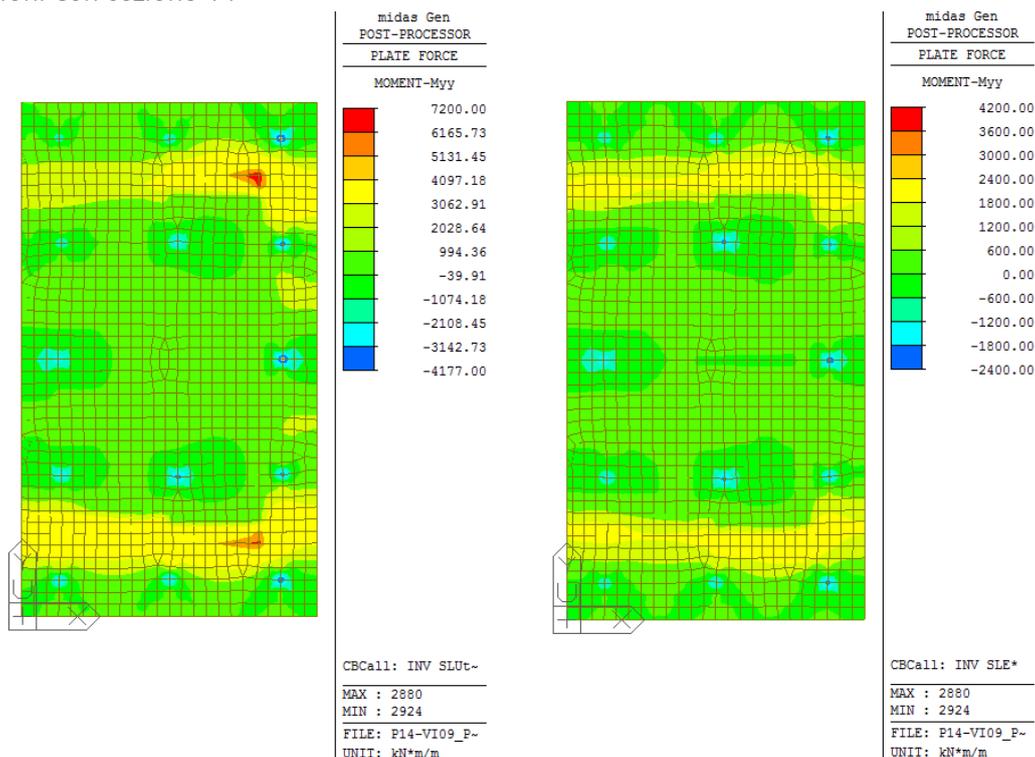


Figura 18: Momento flettente trasversale - Involuppo delle combinazioni SLU statiche/sismiche (a sinistra) e SLE (a destra)

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2CLVI09B4003
				C

12.1.1. Plinto di fondazione s=2.50m - Verifiche a taglio e punzonamento

Si riporta nel prospetto successivo il calcolo della resistenza a taglio del plinto in oggetto, armato secondo quanto sintetizzato a seguire. Il calcolo fa riferimento a una striscia di larghezza unitaria, pari dunque a 1m.

In favore di sicurezza il taglio resistente è valutato in entrambe le direzioni considerando il copriferro relativo all'asse baricentrico dei due strati di armatura a flessione più interna, che è quella prevista in direzione trasversale.

ARMATURA TRASVERSALE PLINTO			
Direzione longitudinale/trasversale			
nb	φ (mm)	s (cm)	A _{v,st} /s (cm ² /m)
5	16	40	25.12

VERIFICA A TAGLIO			
b _w	=	100	cm
h	=	250	cm
c	=	12.1	cm
d	=	h-c	= 237.9 cm
MATERIALI			
f _{ywd}	=	391.30	MPa
R _{ck}	=	30	MPa
γ _c	=	1.5	
f _{ck}	=	0.83xR _{ck}	= 24.9 MPa
f _{cd}	=	0.85xf _{ck} /γ _c	= 14.11 MPa
ARMATURE A TAGLIO			
φ _{st}	=	16	
braccia	=	5	
φ _{st2}	=		
braccia	=		
passo	=	40	cm
(A _{sw} /s)	=	25.133	cm ² /m
α	=	90	° (90° staffe verticali)
ARMATURE LONGITUDINALI			
φ _l	=		
Numero	=		
A _{sl}	=	0.000	cm ²
TAGLIO AGENTE	V _{Ed} =		(KN)
SFORZO NORMALE	N _{Ed} =		(KN)

IPOTESI 1		Cot ϑ = 2,5	ϑ = 21,8°
Armatura trasversale			
V _{Rsd} =	5264.19 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$	
V _{Rcd} =	5208.78 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$	
V _{Rd} =	5208.78 (KN)	min(V_{Rsd}, V_{Rcd})	
IPOTESI 2		Cot ϑ = 1	ϑ = 45°
Armatura trasversale			
V _{Rsd} =	2105.68 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$	
V _{Rcd} =	7552.73 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$	
V _{Rd} =	2105.68 (KN)	min(V_{Rsd}, V_{Rcd})	
IPOTESI 3		Cot ϑ in cui V _{Rsd} =V _{Rcd} : Rottura bilanciata	
cot(θ) =	2.48 (calcolato)	cot(θ) =	2.48 (limitato)
θ =	21.92 °		
V _{Rsd} =	5231.95 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$	
V _{Rcd} =	5231.95 (KN)	$0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$	
V _{Rd} =	5231.95 (KN)		
MASSIMO TAGLIO RESISTENTE			
V _{Rd} =	5232 (KN)		

Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni a taglio nelle due direzioni principali, filtrati secondo i valori di resistenza sopra valutati. La zona di plinto colorata è coperta dall'armatura considerata e non necessita pertanto di un'armatura aggiuntiva. Le verifiche a taglio risultano soddisfatte con l'armatura prevista, come evidente dalle mappe di colore riportate di seguito.

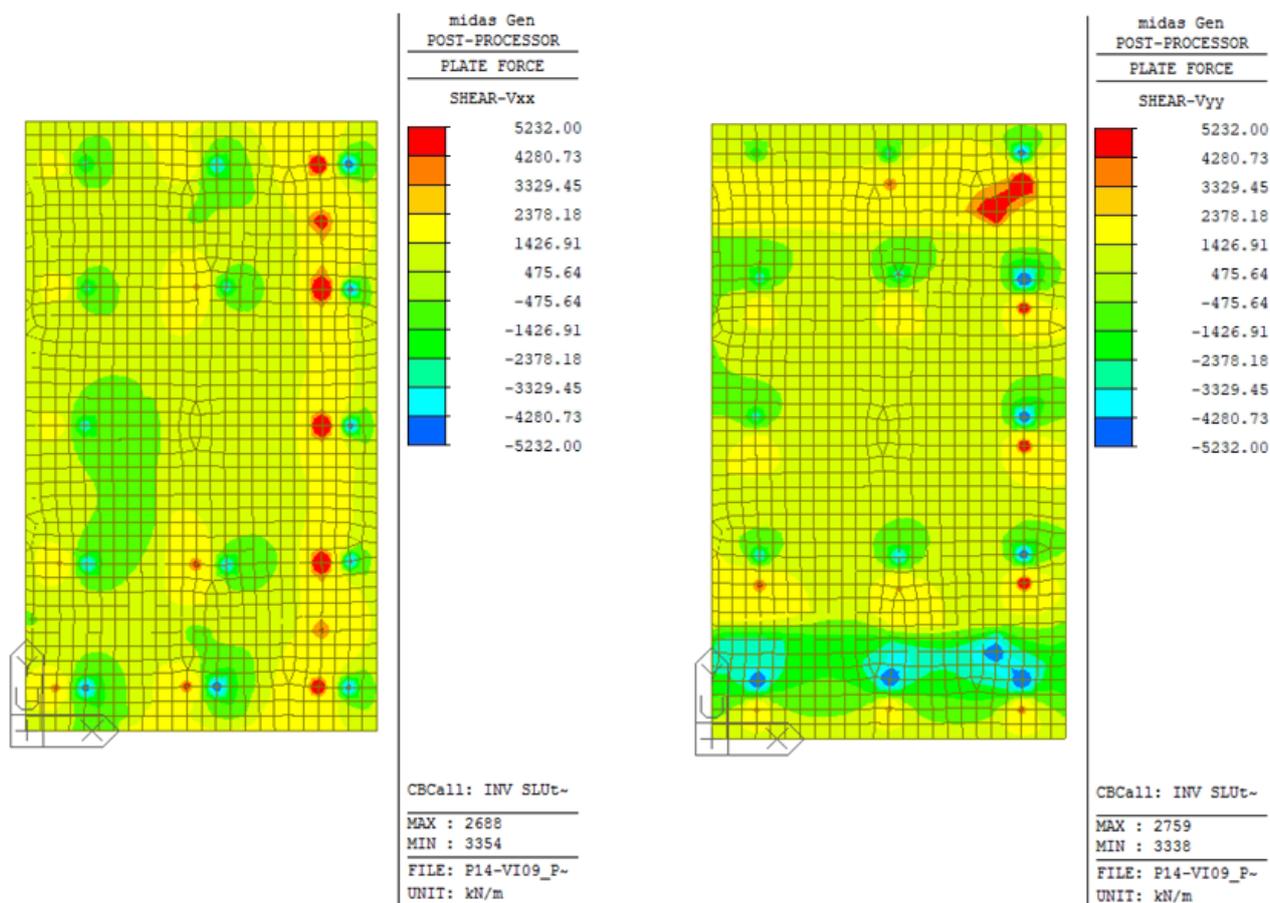


Figura 19: Involuppo delle combinazioni SLU statiche/sismiche – Taglio longitudinale (a sinistra) e trasversale (a destra)

Si riporta a seguire il calcolo del taglio combinato, considerando i due scenari più gravosi:

scenario 1) taglio longitudinale massimo associato al taglio trasversale concomitante per la combinazione più sfavorevole: in questo caso, trascurando le zone in corrispondenza dei pali di fondazione, per le quali si rimanda alle considerazioni riportate a seguire, data la configurazione geometrica del plinto rispetto all'elevazione, lo scenario non rappresenta condizione dimensionante.

scenario 2) taglio trasversale massimo associato al taglio longitudinale concomitante (zona a ridosso del paramento laterale).

I tagli risultanti dedotti dai due scenari risultano entrambi inferiori al valore del taglio resistente sopra valutato.

Vtrasv.max	4577.6 kN
Vlong.conc	1660.5 kN
Vris	4869 kN

Si fa presente che nelle zone in corrispondenza dei pali di fondazione, le verifiche a taglio sono poco significative in quanto il fenomeno è riconducibile al taglio-punzonamento; pertanto si faccia riferimento per queste zone alle verifiche a punzonamento riportate a seguire.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Di seguito la verifica del taglio-punzonamento del plinto, lato pali (caso palo d'angolo), eseguita in accordo a quanto prescritto nei paragrafi 6.4.3 – 6.4.4 – 6.4.5 della norma UNI EN1992-1-1 (Eurocodice 2). L'azione di taglio sul plinto, trasferita dal palo, presa in considerazione per la verifica, è stata dedotta sottraendo al massimo sforzo normale registrato in testa al palo d'angolo, il carico all'interno del perimetro di verifica, che contribuisce alla resistenza del sistema strutturale (par. 6.4.1 – UNI EN1992-1-1 – (5)).

Il perimetro di verifica di base u_1 è stato valutato secondo quanto prescritto per le aree caricate in prossimità di angoli (par. 6.4.2 – UNI EN1992-1-1 – (4)).

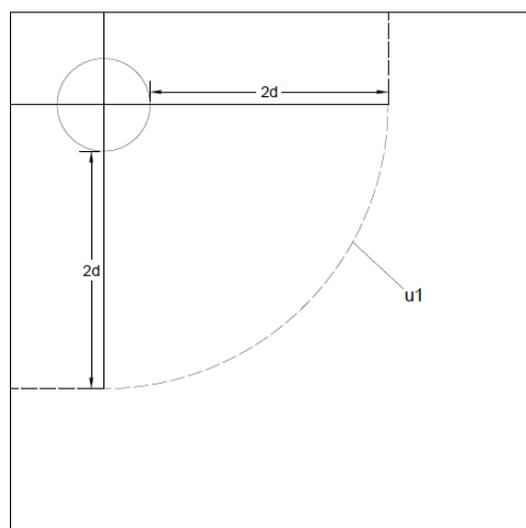


Figura 20: Perimetro di verifica di base per punzonamento nel caso di palo d'angolo

VERIFICA A PUNZONAMENTO PIASTRE EC2 -UNI EN 1992-1-1 - Caso colonna di bordo

DATI COLONNA

D	=	1500	mm		
Hp (piastra)	=	2500	mm		
cx (copriferro asse)	=	68	mm		
cy (copriferro asse)	=	116	mm		
dx	=	Hp-cx	=	2432	mm
dy	=	Hp-cy	=	2384	mm
deff (altezza utile media)	=	(dx+dy)/2	=	2408	mm
d1x (dist. asse colonna-bordo)	=	1500	mm		
d1y (dist. asse colonna-bordo)	=	1500	mm		
u1 (perimetro di verifica)	=	$((2\pi((D/2)+2deff))/4)+d1x+d1y$	=	11738.6	mm

TIPOLOGIA COLONNA

UBICAZIONE		A
β	=	1.5

MATERIALI

f_{ywd}	=	391.30	MPa	acciaio	
R_{ck}	=	30	MPa	cls	
γ_c	=	1.5			
f_{ck}	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	24.9	MPa
f_{cd}	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	14.11	MPa
f_{ctm}	=	$0.3 \times (f_{ck})^{2/3}$	=	2.56	MPa
f_{ctk}	=	$0.7 \times f_{ctm}$	=	1.79	MPa
f_{ctd}	=	f_{ctk} / γ_c	=	1.19	MPa

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2CLVI09B4003
				C

ARMATURE LONGITUDINALI PER FLESSIONE PRESENTI NELLA PIASTRA

ϕ_{lx}	=	24	mm	diametro barre X
Numero arm x	=	10	1/m	numero barre X a ml
A_{slix}	=	4523.89	mm ² /m	area barre X a ml
l_{effy}	=	15.95	m	larghezza efficace dir Y
A_{slix}	=	72147.05	mm ²	acciaio X nella largh. efficace
ϕ_{ly}	=	24	mm	diametro barre Y
Numero arm y	=	10	1/m	numero barre Y a ml
A_{sliy}	=	4523.89	mm ² /m	area barre Y a ml
l_{effx}	=	15.95	m	larghezza efficace dir X
A_{sliy}	=	72147.05	mm ²	acciaio Y nella largh. efficace

SOLLECITAZIONE DI CALCOLO

TAGLIO AGENTE	$V_{Ed} =$	8196	(KN)
SFORZO NORMALE PIASTRA	$N_{Ed} =$	0	(KN)

TENSIONE TANGENZIALE DI CALCOLO

tensione tangenziale	$v_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} / (u_1 \cdot d)$	0.43	MPa
----------------------	---	------	-----

ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO

C_{rdc}	=	0.12	0,18/‰
k	=	1.29	$1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$
v_{min}	=	0.255	$0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ct}^{1/2}$
ρ_{lx}	=	0.0019	percentuale armatura tesa X
ρ_{ly}	=	0.0019	percentuale armatura tesa Y
ρ_l	=	0.0019	percentuale media geometrica
α_{cp}	=	0.0000	(MPa) tensione di compressione cls

TENSIONE TANGENZIALE LIMITE SENZA ARMATURA

$V_{Rd,c}$	=	0.26	(MPa)	$V_{min+0.15 \cdot \alpha_{cp}} =$	0.26	(MPa)
$V_{Rd,c}$	=	0.26	(MPa)	resistenza a taglio cls non armato		
Esito verifica	=	Armatura necessaria a taglio				
Fattore di sicurezza	$FS = V_{Rd,c} / V_{Ed}$	0.59				

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

ϕ_{st}	=	16	mm	diametro spille		
nbr	=	53		numero di spille su un perimetro		
d	=	2408	mm	altezza utile media		
α	=	90	°	(spille verticali)		
$f_{yw,eff}$	=	391.3	Mpa	tensione limite acciaio		
A_{sw}	=	10655.3	mm ²	area di acciaio su un perimetro		
sr	=	400	mm	passo radiale		
$V_{Rd,CS}$	=	1.53	(MPa)	resistenza a taglio cls con armatura		
Esito verifica	=	Verifica positiva				
Fattore di sicurezza	$FS = V_{Rd,CS} / V_{Ed}$	3.51				

VERIFICA A RIDOSSO DELLA COLONNA

u_0	=	4712	mm	perimetro di verifica
v_0,ed	=	1.08	Mpa	tensione tang. a ridosso colonna
ν	=	0.54		coeff.di riduz. resist. cls fessurato
$v_{rd,max}$	=	3.81	Mpa	
Esito verifica	=	Verifica positiva		
Fattore di sicurezza	$FS = V_{Rd,max} / v_0,ed$	3.52		

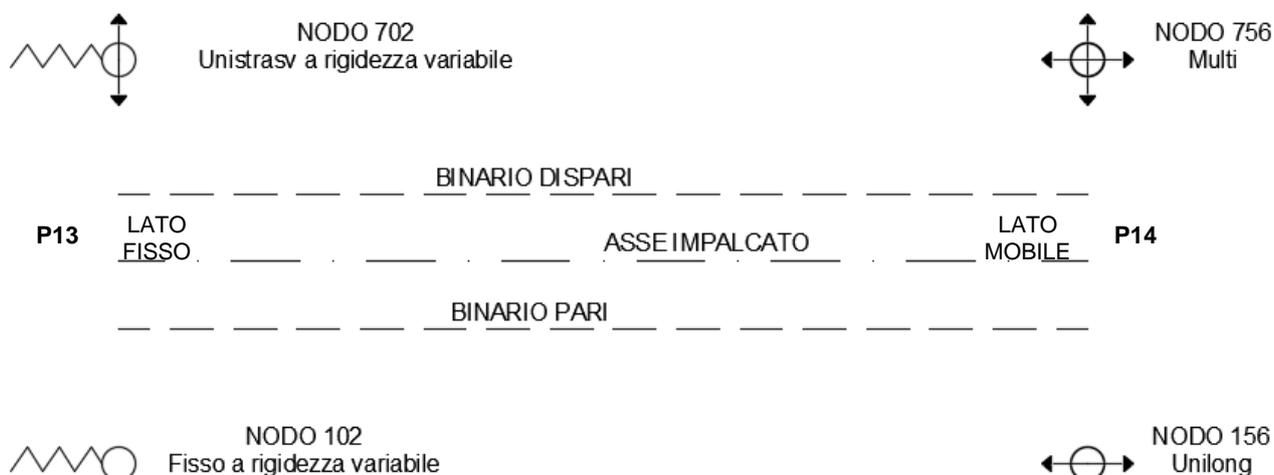
GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

13. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEI BAGGIOLI E DEI RITEGNI SISMICI LATO IMPALCATO METALLICO

Si riportano nei paragrafi a seguire le verifiche effettuate sui baggioli e sui ritegni sismici relativi all'impalcato metallico ad arco $L=78m$. Per quanto riguarda la verifica di baggioli e ritegni lato impalcato in c.a.p. $L=25m$, si faccia riferimento a quanto riportato nell'elaborato di progetto IN1712EI2CLVI0904007A – Relazione di calcolo dei baggioli e dei ritegni degli impalcati $L=25m$ del viadotto VI09.

13.1. SCHEMA DI VINCOLO E REAZIONI SUGLI APPOGGI

Nella Figura di seguito si riporta lo schema di vincolo della campata dell'impalcato ad arco metallico $L=78m$, che poggia sulla pila oggetto di analisi in corrispondenza del lato fisso.



LEGENDA APPOGGI

	F	APP. D'APPOG. FISSO -calotta sferica
	MD	APP. D'APPOG. MULTIDIREZIONALE -calotta sferica
	UL	APP. D'APPOG. UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE -calotta sferica
	UT	APP. D'APPOG. UNIDIREZIONALE TRASVERSALE -calotta sferica
	F-RV	APP. D'APPOG. FISSO A RIGIDEZZA VARIABILE -calotta sferica
	UT-RV	APP. D'APPOG. UNIDIREZIONALE A RIGIDEZZA VARIABILE -calotta sferica

Nei prospetti di seguito la sintesi degli scarichi espletati dall'impalcato in corrispondenza degli appoggi sul lato che interessa la pila oggetto di analisi, per l'involuppo delle combinazioni SLU statiche/sismiche.

Gli assi di riferimento adottati sono:

- x = asse longitudinale rispetto all'asse del viadotto
- y = asse trasversale rispetto all'asse del viadotto

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

- z = asse verticale

SLU			
Massimi e minimi SLU	NODO 156- UNILONG		
	Tx [kN]	Ty [kN]	Nz [kN]
Massimi	0	3796	22212
Minimi	0	-2984	6119

SISMA SLV			
Azioni sismiche (Spettri SLV- q=1 - regolarità in altezza)	NODO 156- UNILONG		
	Tx [kN]	Ty [kN]	Nz [kN]
100 % Ex + 30 % Ey + 30 % Ez	0	2460	11830
30 % Ex + 100 % Ey + 30 % Ez	0	6205	12110
30 % Ex + 30 % Ey + 100 % Ez	0	2355	11725
_-100 % Ex - 30 % Ey - 30 % Ez	0	-1460	8800
_-30 % Ex - 100 % Ey - 30 % Ez	0	-5205	8520
_-30 % Ex - 30 % Ey - 100 % Ez	0	-1355	8905

SLU			
Massimi e minimi SLU	NODO 756 - MULTIDIREZIONALE		
	Tx [kN]	Ty [kN]	Nz [kN]
Massimi	0	0	22405
Minimi	0	0	5851

SISMA SLV			
Azioni sismiche (Spettri SLV- q=1 - regolarità in altezza)	NODO 756 - MULTIDIREZIONALE		
	Tx [kN]	Ty [kN]	Nz [kN]
100 % Ex + 30 % Ey + 30 % Ez	0	0	11885
30 % Ex + 100 % Ey + 30 % Ez	0	0	12200
30 % Ex + 30 % Ey + 100 % Ez	0	0	11780
_-100 % Ex - 30 % Ey - 30 % Ez	0	0	8825
_-30 % Ex - 100 % Ey - 30 % Ez	0	0	8510
_-30 % Ex - 30 % Ey - 100 % Ez	0	0	8930

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

13.2. BAGGIOLI E RITEGNI

Gli apparecchi d'appoggio fissi devono essere dimensionati con il criterio della GR (par. 7.9.5.4.1-DM 14.1.2008). Essi devono quindi essere in grado di trasmettere, mantenendo la piena funzionalità, forze orizzontali tali da produrre, nella o nelle sezioni critiche eventuali alla base della pila, un momento flettente pari a: $\gamma_{Rd}M_{Rd}$, dove M_{Rd} è il momento resistente della o delle sezioni critiche. Questa verifica può essere eseguita in modo indipendente per le due direzioni dell'azione sismica. Le forze determinate come sopra possono risultare superiori a quelle che si ottengono dall'analisi ponendo $q=1$; in tal caso per il progetto degli apparecchi è consentito adottare queste ultime.

Nel caso in esame si è scelto di dimensionare tutti gli apparecchi di appoggio in funzione delle azioni sismiche derivanti dallo spettro elastico ($q=1$).

Si riporta a seguire il dimensionamento e la verifica dell'armatura a tranciamento e dell'armatura trasversale a fenditura dei baggioli.

Si fa presente che nel caso in esame, l'impalcato metallico afferente la pila prevede dei tacchi sottotrave in corrispondenza delle estremità delle travi, che insistono sui rispettivi baggioli in caso di spostamento nel piano dell'impalcato.

I baggioli relativi alle travi fungono pertanto, nel caso dell'impalcato metallico in esame, anche da ritegni sismici longitudinali. Nelle verifiche dell'armatura a tranciamento, riportata nei paragrafi a seguire, si considera la massima azione orizzontale trasferita all'elemento, considerando le due funzioni espletate, quella standard di baggiolo e quella di ritegno longitudinale.

Per quanto riguarda i ritegni trasversali dell'impalcato metallico in esame, si fa presente che si sfruttano due ritegni trasversali disposti tra le due travi.

Si sintetizzano nei prospetti di seguito le azioni adottate nelle verifiche di baggioli e ritegni. Si precisa che i massimi valori dello sforzo normale riportati nei prospetti di seguito, dimensionanti per la verifica dell'armatura trasversale dei baggioli, derivano dall'involuppo delle combinazioni di carico SLU statiche; i massimi valori delle azioni orizzontali (longitudinali e trasversali), dimensionanti per la verifica dell'armatura a tranciamento dei baggioli, dall'involuppo delle combinazioni di carico SLV sismiche.

LATO MOBILE - Impalcato L=78m

APPARECCHIO D'APPOGGIO	AZIONI DI VERIFICA		
	N	F trasv	F long
	[KN]	[KN]	[KN]
MULTIDIREZIONALE	22405	-	-
UNIDIREZIONALE long	22215	6205	-

Si riportano di seguito le azioni di progetto assegnate ai ritegni sismici, per ciascun impalcato.

Impalcato L = 78 m	Ht	HI
	[KN]	[KN]
RITEGNO LONGITUDINALE	-	18310
RITEGNO TRASVERSALE	10855	-

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

13.2.1. Armatura a tranciamento

Per il progetto del baggiolo si effettua una verifica a tranciamento per azione di taglio e pertanto è necessario verificare che il taglio agente sia inferiore a quello resistente.

La resistenza di calcolo a taglio è valutata come segue:

$$V_{c,Rd} = (A_v \times f_{yk}) / (\sqrt{3} \times \gamma_{m0})$$

dove:

f_{yk} tensione di snervamento dell'acciaio

γ_{m0} coefficiente di sicurezza del materiale (1.15 per acciaio per armature ordinarie)

A_v area di armatura minima

da cui si deduce l'armatura resistente di progetto A_R .

LATO MOBILE - Impalcato L=78m

LATO MOBILE - UNI-LONG.

Massimo taglio agente (baggiolo standard)	Hcomb.	6205	kN
Massimo taglio agente (ritegno long.)	HI	18310	kN
Massimo taglio agente	$V = \max(\text{Hcomb.}; \text{HI})$	18310	kN
Tensione snervamento acciaio	f_d	391.3	MPa
Area minima	A	810.5	cm ²
Numero di bracci	n	320	-
Diametro	Φ	20	mm
Area resistente	A_R	1004.8	cm ²
Fattore di sicurezza	Fs	1.24	-

LATO MOBILE - MULTI

Massimo taglio agente (baggiolo standard)	Hcomb.	0	kN
Massimo taglio agente (ritegno long.)	HI	18310	kN
Massimo taglio agente	$V = \max(\text{Hcomb.}; \text{HI}; \text{Ht})$	18310	kN
Tensione snervamento acciaio	f_d	391.3	MPa
Area minima	A	810.5	cm ²
Numero di bracci	n	320	-
Diametro	Φ	20	mm
Area resistente	A_R	1004.8	cm ²
Fattore di sicurezza	Fs	1.24	-

13.2.2. Armatura trasversale

L'armatura trasversale si dimensiona in base alla forza di fenditura.

Il baggiolo di dimensione d su cui è poggiato l'apparecchio di appoggio di dimensione a soggetto ad una forza P avrà un andamento delle isostatiche di compressione di questo tipo:

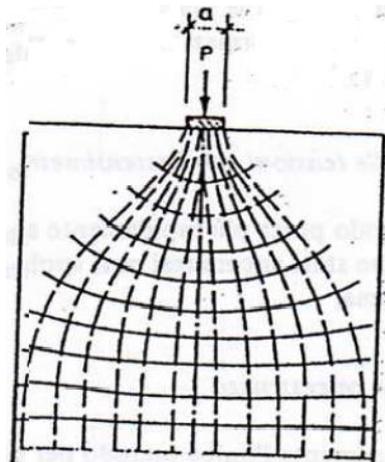


Figura 21: Andamento delle isostatiche di compressione

La curva delle tensioni di trazione trasversale σ_y risulta essere quella riportata nella Figura di seguito.

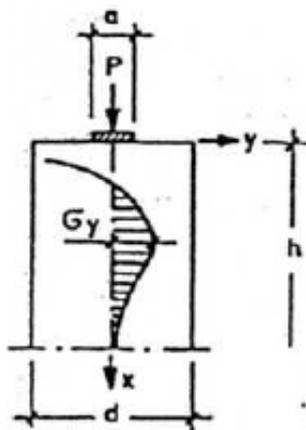


Figura 22: Curva delle tensioni di trazione trasversale σ_y

Con l'area delle tensioni di trazione si ottiene la forza di fenditura $T = \int \sigma_y dx$ con la quale si deve dimensionare l'armatura.

Tale forza è pari a: $T = 0,25 \cdot P \cdot \left(1 - \frac{a}{d}\right)$

Si sintetizza nei prospetti di seguito il calcolo della forza di fenditura relativa a ciascuna tipologia degli apparecchi di appoggio.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

LATO MOBILE - Impalcato L=78m

DIREZIONE ANALISI	APPARECCHIO D'APPOGGIO	MASSIMI CARICHI AGENTI	GEOMETRIA			T
		N	a appoggio	d baggiolo	h _{bag}	
		[KN]	[mm]	[mm]	[mm]	[KN]
Direzione longitudinale	MULTIDIREZIONALE	22405	1050	4260	1250	4221
	UNIDIREZIONALE long	22215	1120	4260	1250	4094
Direzione trasversale	MULTIDIREZIONALE	22405	1380	3700	1250	3512
	UNIDIREZIONALE long	22215	1300	3700	1250	3602

Di seguito le verifiche delle azioni di fenditura sopra determinate.

LATO MOBILE - Impalcato L=78m

Direzione longitudinale

VERIFICA MULTI

Massima forza di fenditura	T	4221	kN
Tensione snervamento acciaio	f _{yd}	391.3	MPa
Area minima	A	107.86	cm ²
Diametro staffe perimetrali	Φ	14	mm
Altezza baggiolo minima	h	125	cm
N. staffe perimetrali	n	15	-
N. bracci	nb	5	-
Area resistente staffe perimetrali	A _R	115.40	cm ²
Fattore di sicurezza	F_s	1.07	-

VERIFICA UNI LONG

Massima forza di fenditura	T	4094	kN
Tensione snervamento acciaio	f _{yd}	391.3	MPa
Area minima	A	104.61	cm ²
Diametro staffe perimetrali	Φ	14	mm
Altezza baggiolo minima	h	125	cm
N. staffe perimetrali	n	15	-
N. bracci	nb	5	-
Area resistente staffe perimetrali	A _R	115.40	cm ²
Fattore di sicurezza	F_s	1.10	-

Direz. Trasversale

VERIFICA MULTI

Massima forza di fenditura	T	3512	kN
Tensione snervamento acciaio	f _{yd}	391.3	MPa
Area minima	A	89.75	cm ²
Diametro staffe perimetrali	Φ	14	mm
Altezza baggiolo minima	h	125	cm

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

N. staffe perimetrali	n	15	-
N. bracci	nb	5	-
Area resistente staffe perimetrali	A _R	115.40	cm ²
Fattore di sicurezza	F_s	1.29	-
VERIFICA UNI LONG			
Massima forza di fenditura	T	3602	kN
Tensione snervamento acciaio	f _{yd}	391.3	MPa
Area minima	A	92.06	cm ²
Diametro staffe perimetrali	Φ	14	mm
Altezza baggiolo minima	h	125	cm
N. staffe perimetrali	n	15	-
N. bracci	nb	5	-
Area resistente staffe perimetrali	A _R	115.40	cm ²
Fattore di sicurezza	F_s	1.25	-

Le verifiche risultano soddisfatte in entrambe le direzioni con l'armatura trasversale prevista.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

13.2.3. Pressioni localizzate

In accordo con quanto prescritto nel par.6.7- UNI EN 1992-1-1 – 2005: Eurocodice 2, si riporta di seguito la verifica delle pressioni localizzate sui baggioli.

Lo sforzo normale massimo dedotto in corrispondenza di ciascun apparecchio di appoggio deve risultare inferiore alla forza di compressione ultima, determinata come segue:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} \quad (6.63)$$

dove:

A_{c0} è l'area caricata;

A_{c1} è la massima area di diffusione del carico utilizzata per il calcolo e che ha una forma omotetica a quella di A_{c0} .

Legenda

- A Linea di azione
- $h \geq (b_2 - b_1)$ e $\geq (d_2 - d_1)$

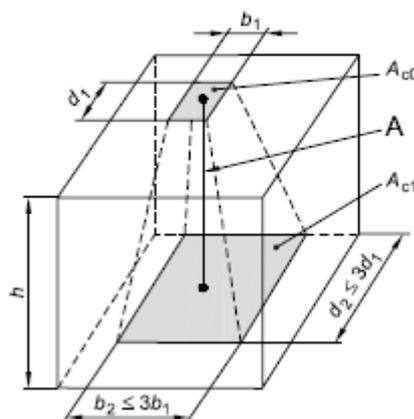


Figura 23: Distribuzione di progetto nel caso di pressioni localizzate – Figura 6.29-EC2

L'area caricata A_{c0} riportata nel calcolo esibito di seguito è pari alla minima area della contropiastra inferiore degli apparecchi di appoggio relativi all'impalcato in esame, considerando sia quelli del lato mobile che quelli del lato fisso; lo sforzo normale indicato è pari al massimo valore di sforzo normale determinato sugli appoggi.

Risulta pertanto:

Lato Impalcato L = 78 m

$d_1=b_1=a$	960 mm
A_{c0}	921600 mm ²
$d_2=b_2 \leq 3a$	2880 mm
A_{c1}	8294400 mm ²
$h \geq d_2-d_1$	1920 mm
f_{cd}	18.81 MPa

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

F_{Rdu}	52015 kN
$F_{Rdu.max}$	52015 kN
N_{max}	22420 kN
Criterio di verifica: $N_{max} < F_{Rdu}$	verifica soddisfatta
F.S.	2.32

13.2.4. Ritegni trasversali

Si riportano di seguito le verifiche relative ai ritegni sismici trasversali dell'impalcato metallico.

Attraverso una modellazione tirante-puntone, che schematizza il ritegno con una mensola tozza, si ottengono i risultati riportati di seguito.

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale corrispondente all'armatura tesa e da un puntone di calcestruzzo inclinato che riporta il carico P entro il bordo della mensola. Con le dimensioni geometriche indicate nella Figura di seguito, attraverso l'equilibrio del nodo caricato si ottiene la portanza della mensola in termini di resistenza dell'armatura e di resistenza del puntone di calcestruzzo.

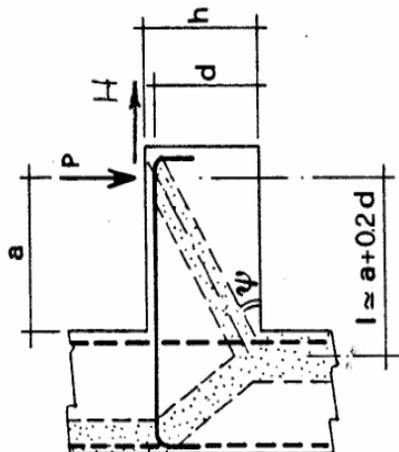


Figura 24: Meccanismo resistente di riferimento

Il calcolo sintetizzato nel prospetto di seguito fa riferimento all'azione trasversale massima trasferita dall'impalcato metallico.

L'altezza di calcolo della mensola è pari alla massima distanza riscontrabile tra il baricentro del cuscinetto del ritegno trasversale e l'estradosso del pulvino.

Di seguito il calcolo del ritegno trasversale, eseguito con i criteri sopra indicati.

Larghezza mensola	b	2950	mm
Altezza mensola	h	2500	mm

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Copriferro tirante principale all'asse	c	82	mm
Altezza utile	d=h-c	2418	mm
Distanza di applicazione carico	a	400	mm

Materiali

Resistenza di calcolo snervamento acciaio	f_{ywd}	391.3	MPa
Resistenza caratteristica Cubica Cls	R_{ck}	40.00	MPa
Fattore parziale materiale Cls	γ_c	1.5	
Resistenza caratteristica Cilindrica Cls	$f_{ck}=0.83 \times R_{ck}$	33.2	MPa
Resistenza di calcolo Cilindrica Cls	$f_{cd}=0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	18.81	MPa

Sollecitazioni agenti

Sollecitazione verticale agente di calcolo	P_{Ed}	13400	kN
Sollecitazione orizzontale agente di calcolo	H_{Ed}	0	kN
Sollecitazione assiale	N_{Ed}	0	kN

Armatura tirante principale

Numero di barre di armatura	n	56	
Diametro armatura corrente principale	\varnothing_l	20	mm
Area totale di acciaio tirante principale	A_{sl}	17593	mm ²

Verifiche di resistenza

Lunghezza teorica tirante principale	l	884	mm
Parametro inclinazione	$\lambda=l/(0.9d) \approx \text{ctg} \psi$	0.406	
Parametro che tiene conto della staffatura dell'elemento di attacco della mensola (c=1 per sbalzi non provvisti di staffatura e c=1.5 per sbalzi provvisti di staffatura)	c	1.5	

Resistenza del tirante costituito dall'armatura tesa	P_{rs}	16955	kN
Resistenza del puntone di cls compresso	P_{rc}	69123	kN

Verifica gerarchia di resistenza ($P_{rs} < P_{rc}$)

Fattore di sicurezza tirante teso

Fattore di sicurezza puntone compresso

Esito	Verifica positiva
FS_{acc}	1.27
FS_{cls}	5.16

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

13.2.1. Ritegni longitudinali

Come anticipato, l'impalcato metallico afferente la pila prevede dei tacchi sottotrave in corrispondenza delle estremità delle travi che insistono sui rispettivi baggioli in caso di spostamento nel piano dell'impalcato.

I baggioli relativi alle travi fungono pertanto, nel caso dell'impalcato metallico in esame, anche da ritegni sismici longitudinali. Si faccia riferimento alle verifiche dei baggioli lato fisso riportate nei paragrafi precedenti.

A seguire, per completezza della trattazione si riporta anche il calcolo del ritegno eseguito tenendo conto di un meccanismo tirante-puntone, analogamente a quanto fatto per i ritegni trasversali.

Larghezza mensola	b	4260	mm
Altezza mensola	h	2950	mm
Copriferro tirante principale all'asse	c	89	mm
Altezza utile	d=h-c	2861	mm
Distanza di applicazione carico	a	910	mm
Materiali			
Resistenza di calcolo snervamento acciaio	f_{ywd}	391.3	MPa
Resistenza caratteristica Cubica Cls	R_{ck}	40.00	MPa
Fattore parziale materiale Cls	γ_c	1.5	
Resistenza caratteristica Cilindrica Cls	$f_{ck}=0.83 \times R_{ck}$	33.2	MPa
Resistenza di calcolo Cilindrica Cls	$f_{cd}=0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	18.81	MPa
Sollecitazioni agenti			
Sollecitazione verticale agente di calcolo	P_{Ed}	18310	kN
Sollecitazione orizzontale agente di calcolo	H_{Ed}	0	kN
Sollecitazione assiale	N_{Ed}	0	kN
Armatura tirante principale			
Numero di barre di armatura	n	43	
Diametro armatura corrente principale (strato 1)	\varnothing_l	20	mm
Numero di barre di armatura	n	43	
Diametro armatura corrente principale (strato 2)	\varnothing_l	26	mm
Area totale di acciaio tirante principale	A_{sl}	36001	mm ²
Verifiche di resistenza			
Lunghezza teorica tirante principale	l	1482	mm
Parametro inclinazione	$\lambda = l / (0.9d) \approx ctg \psi$	0.576	
Parametro che tiene conto della staffatura dell'elemento di attacco della mensola (c=1 per sbalzi non provvisti di staffatura e c=1.5 per sbalzi provvisti di staffatura)	c	1.5	
Resistenza del tirante costituito dall'armatura tesa	P_{rs}	24473	kN
Resistenza del puntone di cls compresso	P_{rc}	103336	kN

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Verifica gerarchia di resistenza ($P_{RS} < P_{RC}$) Fattore di sicurezza tirante teso Fattore di sicurezza puntone compresso	Esito FS_{acc} FS_{CLS}	Verifica positiva 1.34 5.64
--	--	--

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

14. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL PULVINO

Si riportano di seguito le verifiche strutturali locali relative al pulvino delle pile di sostegno del tipo in esame. Il calcolo esibito fa riferimento al caso di pile di sostegno tipo 'C' con impalcati afferenti di luce 80m-25m. L'analisi strutturale è stata condotta eseguendo un apposito modello FEM tridimensionale mediante il software di calcolo agli elementi finiti Midas-Gen. Il pulvino è stato schematizzato mediante elementi bidimensionali a piastra (shell), di dimensioni dell'ordine di 0.50m, cui si è assegnato lo spessore corrispondente. I carichi assegnati in corrispondenza degli apparecchi di appoggio derivano dall'analisi dei carichi descritta nel dettaglio nelle Relazioni di calcolo degli impalcati afferenti la pila in esame. Il calcolo delle sollecitazioni è stato condotto attraverso il modello tridimensionale agli elementi finiti descritto, schematizzato nelle Figure seguenti.

Gli assi di riferimento adottati sono:

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

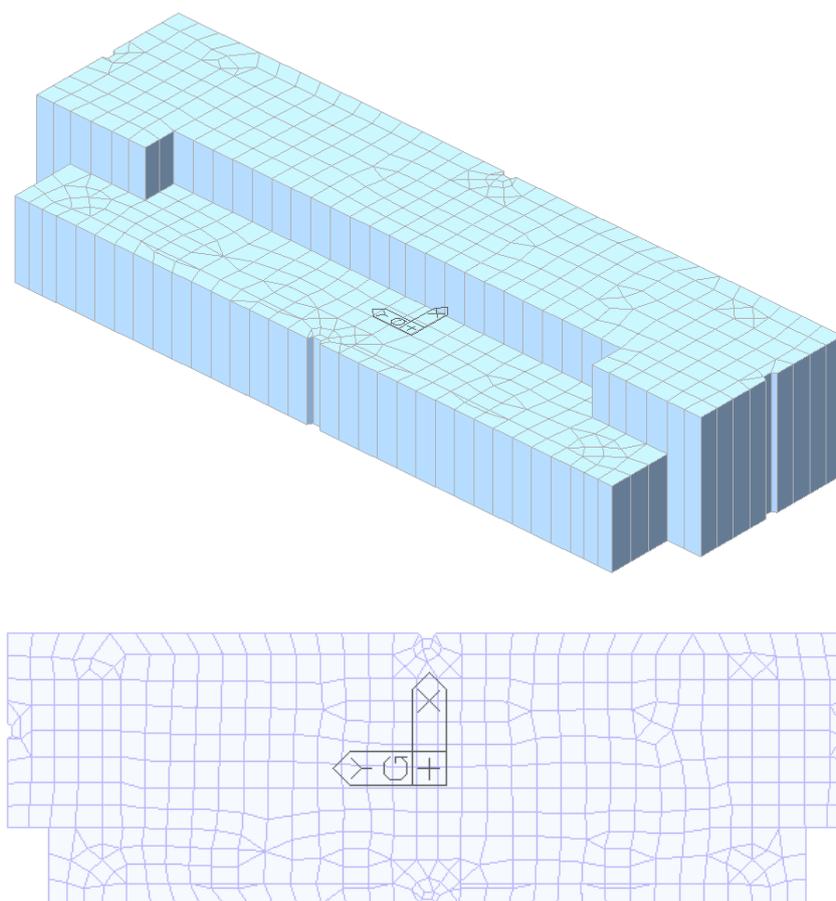


Figura 25: Modellazione tridimensionale agli Elementi Finiti – a) Vista 3D; b) Vista in pianta

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Il vincolo del pulvino con le pareti verticali sottostanti della pila, è stato simulato mediante un sistema di vincoli esterni di appoggio, come schematizzato di seguito.

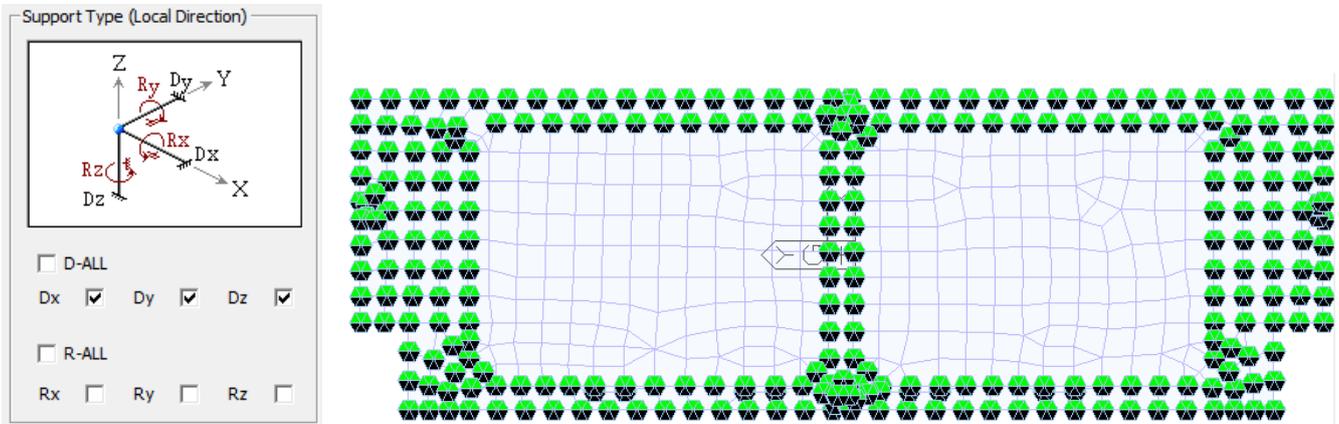


Figura 26: Modellazione tridimensionale agli Elementi Finiti – Sistema di vincolo

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi in termini di sollecitazioni degli elementi strutturali, flettenti e taglianti, estrapolate dal modello considerando l'involuppo delle combinazioni SLE-SLU. Nei diagrammi di seguito, il momento positivo tende le fibre all'intradosso.

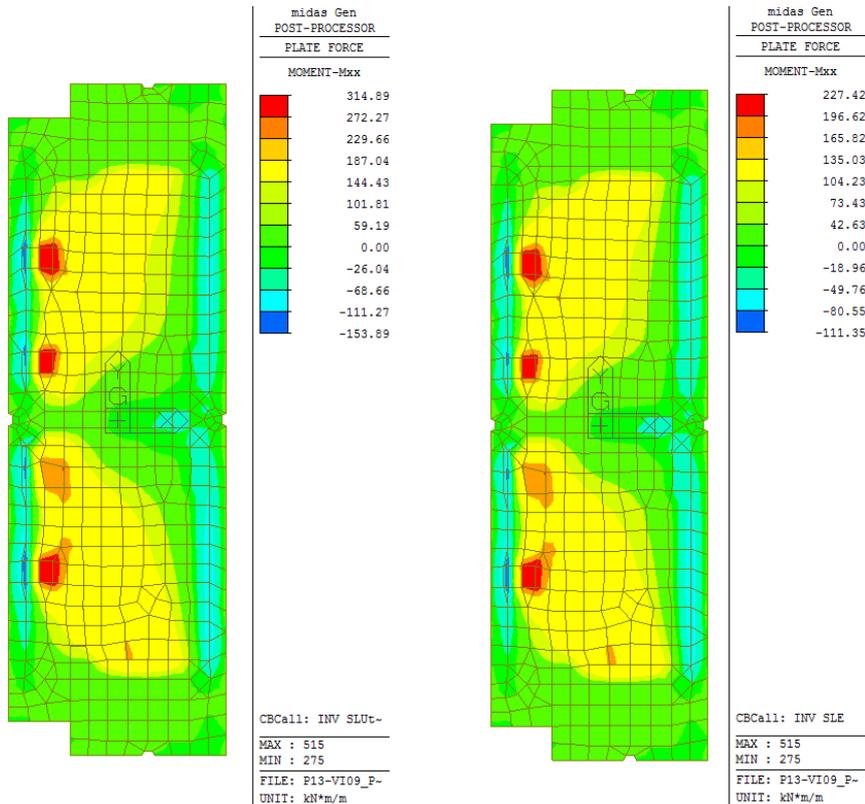


Figura 27: Momento flettente longitudinale - Involuppo delle combinazioni SLU statiche/sismiche (a sinistra) e SLE (a destra)

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

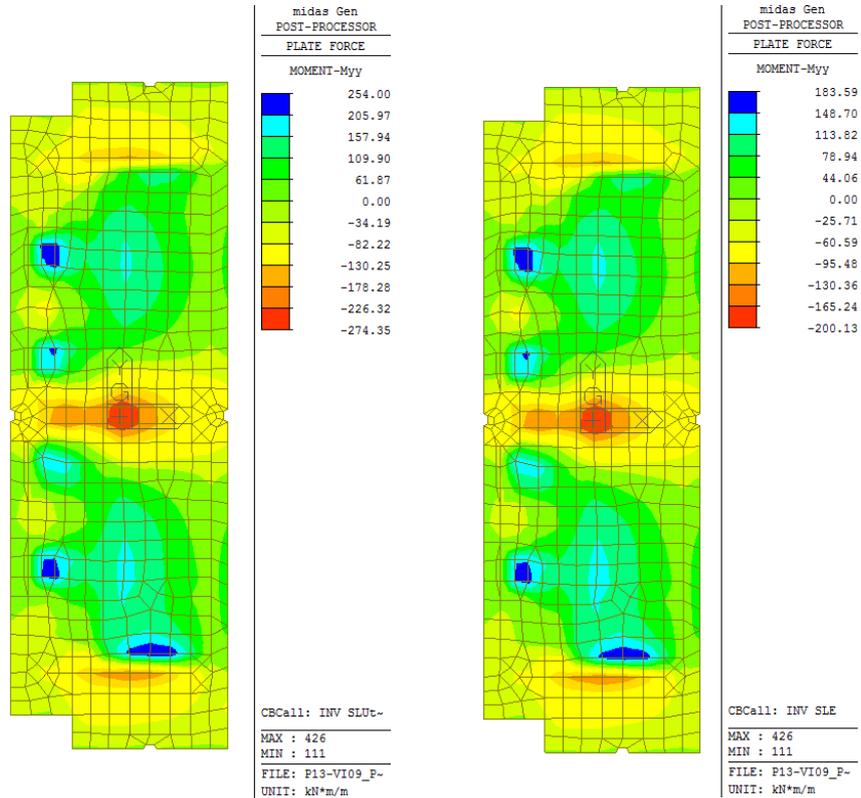


Figura 28: Momento flettente trasversale - Involuppo delle combinazioni SLU statiche/sismiche (a sinistra) e SLE (a destra)

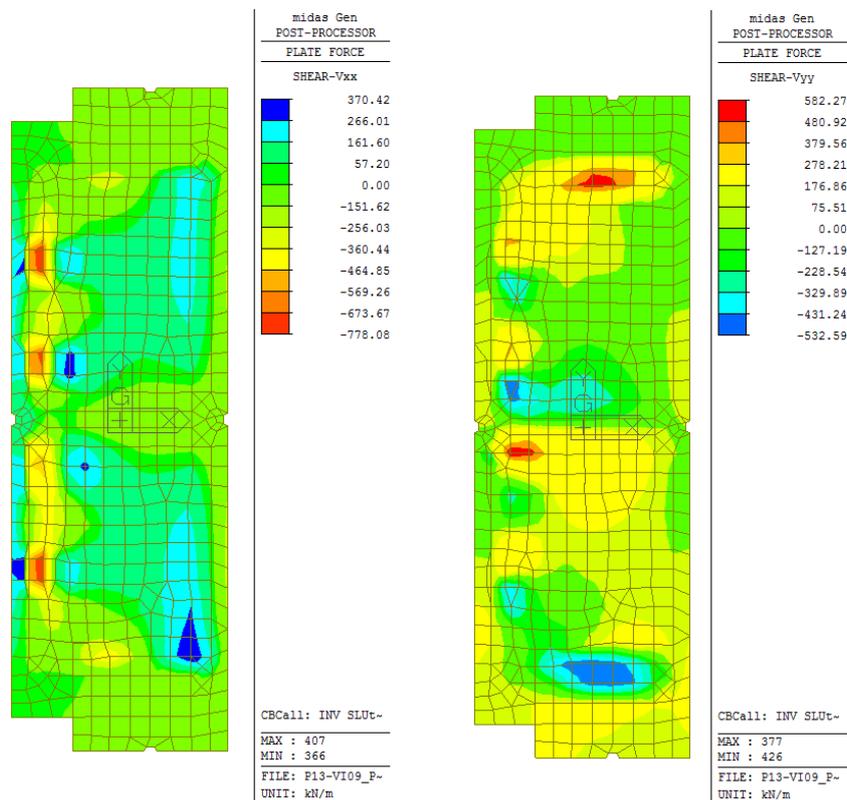


Figura 29: Taglio longitudinale (a sinistra) e trasversale (a destra) - Involuppo delle combinazioni SLU statiche/sismiche

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Si riporta di seguito la valutazione delle resistenze a flessione del pulvino, nelle due direzioni di disposizione dell'armatura (trasversale rispetto all'asse del viadotto e longitudinale), per una striscia di riferimento di larghezza pari a 1m.

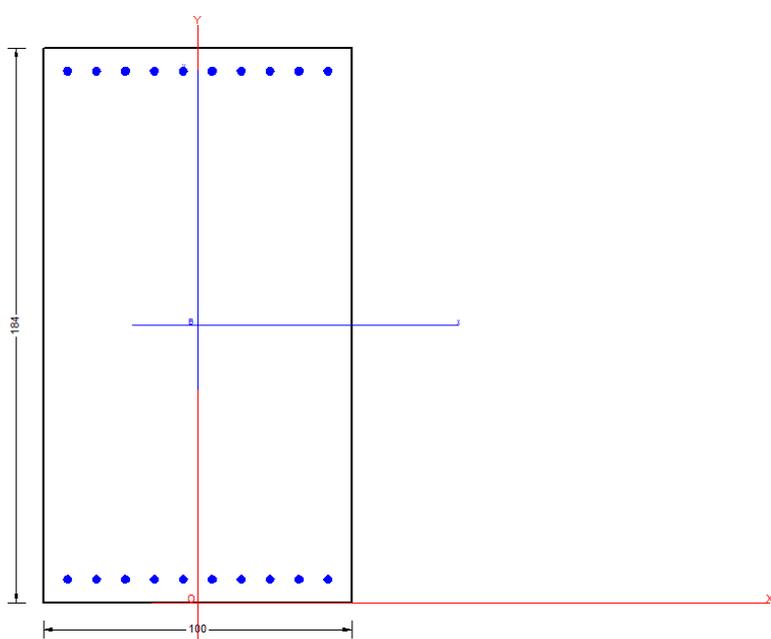
Una sintesi delle caratteristiche dell'armatura longitudinale, trasversale previste è esibita nei prospetti di seguito. Il numero totale dei ferri fa riferimento ad una sezione di larghezza pari a 1m.

I valori delle distanze δ segnalate per ciascuno strato di armatura sono valutati tra l'estremo inferiore/superiore della sezione e l'asse delle barre.

Considerate le contenute sollecitazioni in gioco, connesse al posizionamento degli appoggi lato impalcato ad arco metallico $L=78m$ in corrispondenza dei setti laterali della pila, dunque della zona di appoggio del pulvino sul fusto della pila, si prevede la disposizione dell'armatura minima lato teso, che soddisfa ampiamente le verifiche di sicurezza. I valori delle sollecitazioni flessionali risultano infatti inferiori ai valori dei momenti limite.

SEZIONI PULVINO – ARMATURA TRASVERSALE			N°	\emptyset	A	δ	Sforzo normale (SLE)	MOMENTI LIMITE			
								SLE			SLU
								$M_{SLE,0.2}$	$\sigma_{c,sle,0.2}$	$\sigma_{a,sle,0.2}$	M_u
								kNm	MPa	MPa	kNm
Y1=100x184	ESTRADOSSO	1° strato	10	26	53.09	7.7	0	2400	5.96	277.56	3555
		2° strato									
	INTRADOSSO	2° strato									
		1° strato	10	26	53.09	7.7					

I valori dei momenti limite sopra dichiarati sono stati dedotti dal codice di calcolo RC-SEC, considerando la geometria e l'armatura della sezione indicate, come riscontrabile negli output del programma riportati di seguito.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">EI2CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C						

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C32/40
 ACCIAIO - Tipo: B450C

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm
 Altezza: 184.0 cm
 Barre inferiori: 10Ø26 (53.1 cm²)
 Barre superiori: 10Ø26 (53.1 cm²)
 Coprif.Inf.(dal baric. barre): 7.7 cm
 Coprif.Sup.(dal baric. barre): 7.7 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	1000.00	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	2400.00 (2129.94)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.4 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)										
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)										
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000										
Yneutro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.										
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [kNm]										
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)										
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]										
N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	1000.00	0.23	3556.95	3.557	174.7	3422.52	0.05	0.70	53.1 (31.6)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">EI2CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C						

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.02605	184.0	0.00061	176.3	-0.06257	7.7

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione (se Dbarre >14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess. [B.6.6.3 Circ. 252/96])

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.48	184.0	0.00	143.5	-275.3	176.3	25.9	2590	53.1	9.4

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

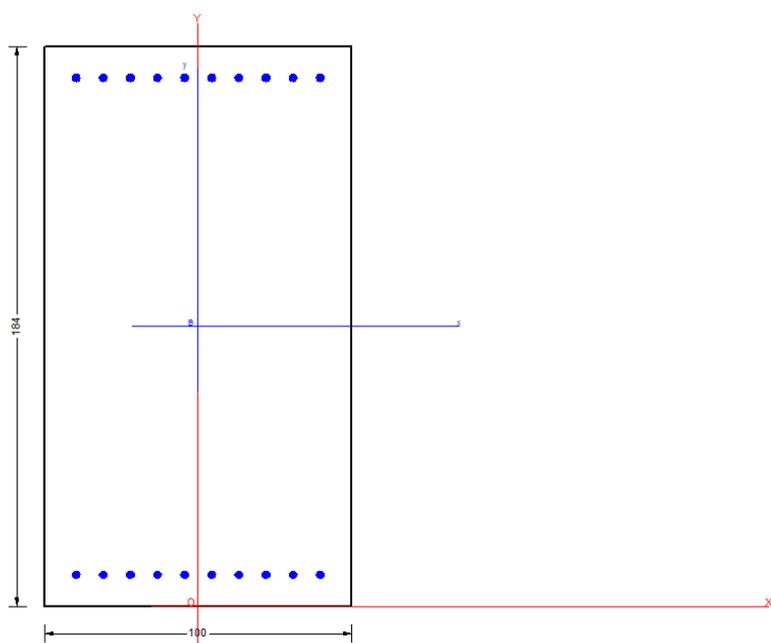
Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
Sclmin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
K3	=0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi	= 1-Beta12*(Ssr/Ss)² = 1-Beta12*(fctm/Sclmin)² = 1-Beta12*(Mfess/M)² [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm	Distanza media in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Ssm. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	3.49	-3.49	---	0.125	1.00	0.400	0.000551 (0.000551)	210	0.197 (0.20)	2129.94

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

SEZIONI PULVINO – ARMATURA LONGITUDINALE			N°	Ø	A	δ	Sforzo normale	MOMENTI LIMITE			
								SLE			SLU
								M _{SLE,0.2}	σ _{c,sle,0.2}	σ _{a,sle,0.2}	M _u
			barre	mm	cm ²	cm	kN	kNm	MPa	MPa	kNm
X1=100x184	ESTRADOSSO	1° strato	10	26	53.09	10.3	0	1850	4.39	216.53	3490
		2° strato									
	INTRADOSSO	2° strato									
		1° strato	10	26	53.09	10.3					

I valori dei momenti limite sopra dichiarati sono stati dedotti dal codice di calcolo RC-SEC, considerando la geometria e l'armatura della sezione indicate, come riscontrabile negli output del programma riportati di seguito.



DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
ACCIAIO -	Tipo:	B450C

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	184.0	cm
Barre inferiori:	10Ø26	(53.1 cm ²)
Barre superiori:	10Ø26	(53.1 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	10.3	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	10.3	cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
---	---

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
 VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
 MT Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	1000.00	0.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	1850.00 (2106.79)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 9.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
 Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult, Mx Ult) e (N, Mx)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 Yneutro Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X, Y, O sez.
 Mx sn. Momento flettente allo snervamento [kNm]
 x/d Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	1000.00	0.04	3491.09	3.491	172.6	3356.27	0.07	0.70	53.1 (31.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.02076	184.0	0.00033	173.7	-0.04993	10.3

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X, Y, O)
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">E12CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	E12CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	E12CLVI09B4003	C						

Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione
(se Dbarre >14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess. [B.6.6.3 Circ. 252/96])

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.39	184.0	0.00	143.5	-216.5	173.7	28.5	2850	53.1	8.8

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
Sclmin Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
K3 =0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi = 1-Beta12*(Ssr/Ss)² = 1-Beta12*(fctm/Sclmin)² = 1-Beta12*(Mfess/M)² [B.6.6 DM96]
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm Distanza media in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	2.72	-2.72	---	0.125	1.00	0.400	0.000433 (0.000433)	267	0.197 (0.20)	2106.79

	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Di seguito si riporta il calcolo del taglio resistente per i due lati del pulvino (lato impalcato $L=78m - s=270-6cm=264cm$; lato impalcato $L=25m - s=190-6cm=184cm$), escludendo le predalles dalla sezione resistente e considerando cautelativamente lo spessore minimo della sezione lato impalcato metallico.

Si dispongono spilli $\phi 14/20 \times 40$.

I valori delle sollecitazioni taglianti risultano inferiori a quelli resistenti, pertanto le verifiche a taglio si intendono soddisfatte.

VERIFICA A TAGLIO $b_w = 100$ cm $h = 184$ cm $c = 5$ cm $d = h - c = 179$ cm				IPOTESI 1 Cot $\vartheta = 2,5$ $\vartheta = 21,8^\circ$ Armatura trasversale $V_{Rsd} = 3032.54$ (KN) $V_{Rcd} = 5225.57$ (KN) $V_{Rd} = 3032.54$ (KN) min(V_{Rsd}, V_{Rcd})			
MATERIALI $f_{ywd} = 391.30$ MPa $R_{ck} = 40$ MPa $\gamma_c = 1.5$ $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 33.2$ MPa $f_{cd} = 0.85 \times f_{ck} / \gamma_c = 18.81$ MPa				IPOTESI 2 Cot $\vartheta = 1$ $\vartheta = 45^\circ$ Armatura trasversale $V_{Rsd} = 1213.02$ (KN) $V_{Rcd} = 7577.07$ (KN) $V_{Rd} = 1213.02$ (KN) min(V_{Rsd}, V_{Rcd})			
ARMATURE A TAGLIO $\phi_{st} = 14$ braccia = 5 $\phi_{st2} =$ braccia = passo = 40 cm $(A_{sw} / s) = 19.242$ cm ² / m $\alpha = 90^\circ$ (90° staffe verticali)				IPOTESI 3 Cot ϑ in cui $V_{Rsd} = V_{Rcd}$:Rottura bilanciata $\cot(\theta) = 3.39$ (calcolato) $\cot(\theta) = 2.50$ (limitato) $\theta = 16.43^\circ$ $V_{Rsd} = 4112.27$ (KN) $V_{Rcd} = 4112.27$ (KN) $V_{Rd} = 4112.27$ (KN)			
ARMATURE LONGITUDINALI $\phi_l =$ Numero = $A_{sl} = 0.000$ cm ²				MASSIMO TAGLIO RESISTENTE $V_{Rd} = 3033$ (KN)			
TAGLIO AGENTE $V_{Ed} =$ (KN) SFORZO NORMALE $N_{Ed} =$ (KN)							
VERIFICA A TAGLIO $b_w = 100$ cm $h = 264$ cm $c = 5$ cm $d = h - c = 259$ cm				IPOTESI 1 Cot $\vartheta = 2,5$ $\vartheta = 21,8^\circ$ Armatura trasversale $V_{Rsd} = 4387.86$ (KN) $V_{Rcd} = 7561.01$ (KN) $V_{Rd} = 4387.86$ (KN) min(V_{Rsd}, V_{Rcd})			
MATERIALI $f_{ywd} = 391.30$ MPa $R_{ck} = 40$ MPa $\gamma_c = 1.5$ $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 33.2$ MPa $f_{cd} = 0.85 \times f_{ck} / \gamma_c = 18.81$ MPa				IPOTESI 2 Cot $\vartheta = 1$ $\vartheta = 45^\circ$ Armatura trasversale $V_{Rsd} = 1755.14$ (KN) $V_{Rcd} = 10963.47$ (KN) $V_{Rd} = 1755.14$ (KN) min(V_{Rsd}, V_{Rcd})			
ARMATURE A TAGLIO $\phi_{st} = 14$ braccia = 5 $\phi_{st2} =$ braccia = passo = 40 cm $(A_{sw} / s) = 19.242$ cm ² / m $\alpha = 90^\circ$ (90° staffe verticali)				IPOTESI 3 Cot ϑ in cui $V_{Rsd} = V_{Rcd}$:Rottura bilanciata $\cot(\theta) = 3.39$ (calcolato) $\cot(\theta) = 2.50$ (limitato) $\theta = 16.43^\circ$ $V_{Rsd} = 5950.16$ (KN) $V_{Rcd} = 5950.16$ (KN) $V_{Rd} = 5950.16$ (KN)			
ARMATURE LONGITUDINALI $\phi_l =$ Numero = $A_{sl} = 0.000$ cm ²				MASSIMO TAGLIO RESISTENTE $V_{Rd} = 4388$ (KN)			
TAGLIO AGENTE $V_{Ed} =$ (KN) SFORZO NORMALE $N_{Ed} =$ (KN)							

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

15. PREDALLES PER GETTATA PULVINO

Si riportano di seguito le verifiche della predalle prefabbricata per gettata del pulvino.

Il getto avviene in due fasi: la prima prevede un'altezza di getto pari a 28cm; la successiva prevede il completamento del getto restante, fino a quota estradosso pulvino della parte più bassa tra i due lati, fisso e mobile, degli impalcati.

Le verifiche presentate di seguito riguardano ciascuna delle due fasi: nella prima fase il sistema resistente è affidato alle sole aste dei tralicci delle predalles e il getto di altezza 28cm è considerato come un carico sul sistema; nella seconda fase si considera resistente la sezione mista in c.a. caratterizzata dalla predalle prefabbricata+soletta collaborante di spessore pari a 28cm e dall'armatura costituita dalle barre superiori e inferiori del traliccio e dalle barre aggiuntive disposte nello spessore della predalle. In questa seconda fase, è considerato come un carico esterno, il getto restante di calcestruzzo. Si trascura nella seconda fase, la presenza, nella sezione reagente, dell'armatura di forza inferiore del pulvino, verificata nel capitolo precedente.

Nella prima fase si fa riferimento allo schema di trave semplicemente appoggiata.

Per desumere le sollecitazioni relative alla fase 2 si fa riferimento cautelativamente allo schema di trave semplicemente appoggiata per la sezione di mezzera e allo schema di trave incastrata per le sezioni di appoggio. Relativamente alla convenzione sui segni adottata per la definizione delle caratteristiche della sollecitazione e delle tensioni si ha:

- Sforzo normale negativo, se di compressione;
- Momento flettente positivo, se tende le fibre inferiori della sezione.

Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le due fasi di progetto.

ANALISI FASE I

Caratteristiche sezione	valore	unità
Interasse trasversale tralicci	320	mm
Altezza totale solaio	340	mm
Spessore soletta superiore	280	mm

Caratteristiche geometriche traliccio

Diametro corrente superiore	16	mm
Diametro corrente inferiore	12	mm
Diametro aste diagonali	10	mm
Interasse trasversale correnti inferiori	100	mm
Interasse longitudinale diagonali	200	mm
Altezza traliccio	205	mm
Spessore lastre predalles	60	mm

Pesi specifici materiali

Peso specifico cls fresco al getto	25	KN/m ³
Peso specifico cls maturato	25	KN/m ³
Peso specifico blocchi alleggerimento	25	KN/m ³
Peso specifico acciaio	78.5	KN/m ³

Resistenza materiali

Resistenza caratteristica cubica cls	45	Mpa
--------------------------------------	----	-----

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Resistenza caratteristica snervamento acciaio	450 Mpa
Fattore parziale riduzione resistenza cls	1.50
Fattore parziale riduzione resistenza acciaio	1.15
Resistenza di calcolo cls	21.17 Mpa
Resistenza di calcolo acciaio	391.30 Mpa

Carichi solaio I fase

Peso traliccio	0.29 KPa
Peso predalles	1.50 KPa
Peso cls al getto	7.00 KPa
Peso blocchi	0.00 KPa
Sovraccarico attrezzature cantiere	1.50 KPa

Carichi traliccio singolo I fase

Peso traliccio	0.09 KN/m
Peso predalles	0.48 KN/m
Peso cls al getto	2.24 KN/m
Peso blocchi alleggerimento	0.00 KN/m
Sovraccarico attrezzature cantiere	0.48 KN/m

Coefficienti combinazione carichi SLU

coefficiente carichi permanenti strutturali	1.35
coefficiente carichi permanenti non strutturali	1.35
coefficiente sovraccarichi variabili	1.50

Carico di calcolo SLU I fase

Carico di calcolo SLU I fase traliccio singolo	4.52 KN/m
--	-----------

Coefficienti combinazione carichi SLE

coefficiente carichi permanenti strutturali	1.00
coefficiente carichi permanenti non strutturali	1.00
coefficiente sovraccarichi variabili	1.00

Caratteristiche geometriche trave

Luce campata trave	4.35 m
--------------------	--------

Sollecitazioni slu I fase traliccio singolo

Momento max campata	10.7 KNm
Taglio max appoggi	9.8 KN

Parametri geometrici per verifiche aste traliccio

Braccio correnti sup-inf	191 mm
Angolo α asta diagonale/piano sez trasv	0.48 rad
Angolo β asta diagonale/piano sez long	0.26 rad
Lunghezza corrente superiore	200 mm
Lunghezza asta diagonale	221.3 mm

Sollecitazioni slu I fase aste traliccio

Forza di compressione corrente superiore	55.9 KN
--	---------

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Forza di trazione corrente singolo inferiore 28.0 KN
Forza compressione asta diagonale 5.7 KN

Verifiche slu aste traliccio:stabilità diagonale

Area tondo 78.54 mm²
Mom inerzia tondo 490.87 mm⁴
Raggio di girazione 2.50 mm
Lunghezza lib. Inflessione 221.32 mm
Snellezza 88.53 -
Fattore amplificazione ω 2.01
Tensione normale amplificata 146.7 Mpa

Verifiche slu aste traliccio:stabilità corrente sup. compresso

Area tondo 201.06 mm²
Mom inerzia tondo 3216.99 mm⁴
Raggio di girazione 4.00 mm
Lunghezza lib. Inflessione 200.00 mm
Snellezza 50.00 -
Fattore amplificazione ω 1.28
Tensione normale amplificata 356.1 Mpa

Verifiche slu aste traliccio:resistenza corrente inf. teso

Area tondo 113.10 mm²
Tensione normale 247.26 Mpa
Deformazione iniziale acciaio correnti inferiori 0.00118

Carico di calcolo SLE I fase

Modulo elastico acciaio 210000 Mpa
Carico comb.caratteristica SLER 3.29 KN/m

Verifiche sle deformazione: calcolo freccia max I fase

Area corr sup 201.1 mm²
Area corr inf 113.1 mm²
Distanza baricentro traliccio da asse corrente sup 101.1 mm
Mom inerzia corr sup proprio asse baricentrico 3217.0 mm⁴
Mom inerzia corr inf proprio asse baricentrico 1017.9 mm⁴
Mom inerzia totale traliccio 3888456 mm⁴
Freccia max 18.8 mm
Freccia limite 25 mm

Calcolo tensioni sle fase I sulle aste

Sollecitazioni sle I fase traliccio singolo

Momento max campata 1 traliccio 7.79 KNm
Taglio max appoggi 7.2 KN

Parametri geometrici per verifiche aste traliccio

Braccio correnti sup-inf 191.0 mm
Angolo α asta diagonale/piano sez trasv 0.48 rad
Angolo β asta diagonale/piano sez long 0.26 rad

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Lunghezza corrente superiore 200.0 mm
Lunghezza asta diagonale 221.3 mm

Sollecitazioni sle I fase aste traliccio

Forza di compressione corrente superiore 40.8 KN
Forza di trazione corrente singolo inferiore 20.4 KN
Forza compressione asta diagonale 4.2 KN

Valutazione tensione sle diagonale

Area tondo 78.54 mm²
Tensione normale 53.2 Mpa

Valutazione tensione sle corrente sup. compresso

Area tondo 201.1 mm²
Mom inerzia tondo 3217.0 mm⁴
Tensione normale 202.8 Mpa

Valutazione tensione sle corrente inf. teso

Area tondo 113.10 mm²
Tensione normale 180.24 Mpa

ANALISI FASE II

Caratteristiche geometriche sezione composta - sezione omogeneizzata

Predalle prefabbricata

I	=	0.32 m	interasse trasversale tralicci
s	=	0.06 m	spessore predalle
A ₁	=	0.02 m ²	area
J ₁	=	5.76E-06 m ⁴	momento di inerzia
y ₁	=	0.03 m	baricentro predalle prefabbricata rispetto all'intradosso
R _{ck}	=	45 Mpa	resistenza caratteristica cubica
E _{c1}	=	34625 Mpa	modulo di young

Soletta resistente (fase II)

s ₂	=	0.28 m	spessore
b ₂	=	0.32 m	larghezza
A ₂	=	0.090 m ²	area
y ₂	=	0.2 m	distanza del baricentro della soletta dall'intradosso della predalle
R _{ck}	=	40 Mpa	resistenza caratteristica cubica
E _{c2}	=	33643 Mpa	modulo di young

Sezione mista

n	=	0.972	coefficiente di omogeneizzazione
A _{mista}	=	0.106 m ²	area
b _{equivalente}	=	0.31 m	larghezza soletta omogeneizzata

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Di seguito, gli schemi di armatura di calcolo delle sezioni di seconda fase in campata e sulle zone di appoggio.

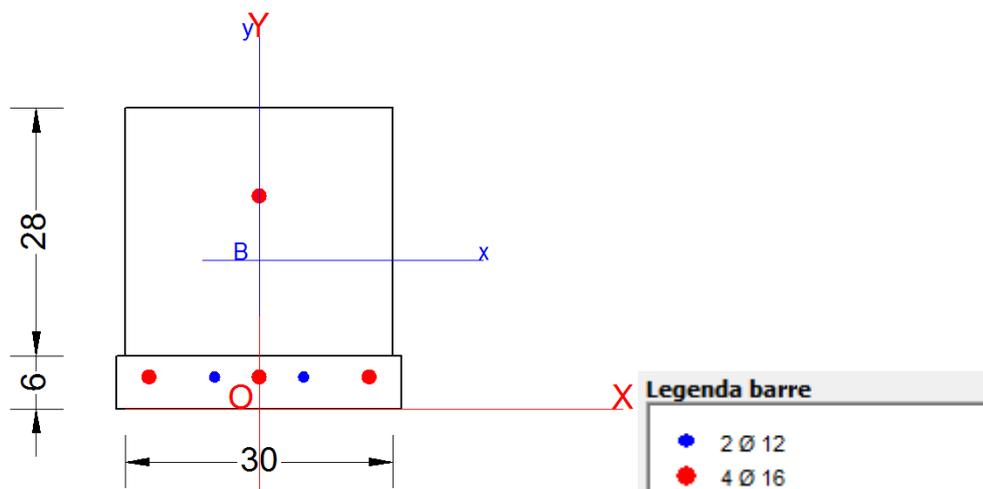


Figura 30: Schema di armatura nella sezione di seconda fase – campata

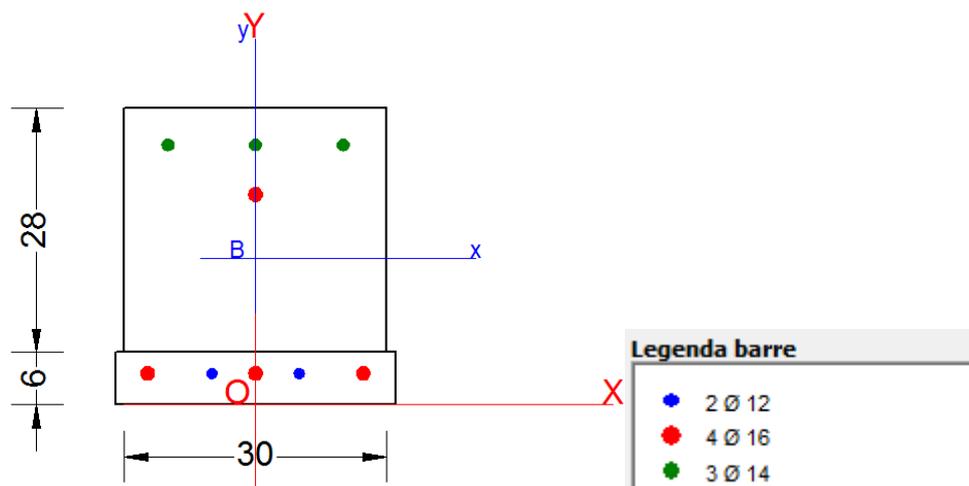


Figura 31: Schema di armatura nella sezione di seconda fase – appoggio

ANALISI FASE II

Caratteristiche sezione fase II

Interasse trasversale tralicci (Base travetto fase II)

valore unità
320 mm

Pesi specifici materiali

Peso specifico cls fresco al getto

25 KN/m³

Peso specifico cls maturato

25 KN/m³

Peso specifico blocchi alleggerimento

25 KN/m³

Peso specifico acciaio

78.5 KN/m³

Carichi solaio II fase

Spessore soletta superiore (Getto fase II)

1560 mm

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Peso cls al getto (getto fase II)	39.00 KPa
Sovraccarico attrezzature cantiere	1.50 KPa
Carichi travetto singolo II fase	
Peso cls al getto (getto fase II)	12.48 KN/m
Sovraccarico attrezzature cantiere	0.48 KN/m
Coefficienti combinazione carichi SLU	
coefficiente carichi permanenti strutturali	1.35
coefficiente carichi permanenti non strutturali	1.35
coefficiente sovraccarichi variabili	1.50
Carico di calcolo SLU II fase	
Carico di calcolo SLU II fase travetto singolo	17.57 KN/m
Coefficienti combinazione carichi SLE	
coefficiente carichi permanenti strutturali	1.00
coefficiente carichi permanenti non strutturali	1.00
coefficiente sovraccarichi variabili	1.00
Carico di calcolo SLE II fase	
Carico di calcolo SLE II fase travetto singolo	12.96 KN/m
Caratteristiche geometriche trave	
Luce campata trave	4.35 m
Sollecitazioni SLU II fase travetto singolo	
Momento max campata	41.6 KNm
Momento max appoggio	27.7 KNm
Taglio max appoggi	38.2 KN
Sollecitazioni SLE II fase travetto singolo	
Momento max campata	30.7 KNm
Momento max appoggio	20.4 KNm
Calcolo tensioni sle fase II (campata)	
Tensione max cls soletta	-8.27 MPa
Tensione max cls predalle	0.00 MPa
Tensione max acc.(armatura barre inferiori)	142.75 MPa
Apertura fessure	0.037 mm
Calcolo tensioni risultanti sle fase I + fase II (campata)	
Tensione max cls soletta	-8.27 MPa
Tensione max cls predalle	0.00 MPa
Tensione max acc.(armatura barre inferiori)	323.0 MPa
Apertura fessure	0.037 mm
Verifiche tensionali sle fase I + fase II (campata)	

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Tensione limite acciaio (0.75xfyk)	337.50 MPa
Tensione limite calcestruzzo C32/40 (0.55xfck - SLE RARA)	17.60 MPa
Tensione limite calcestruzzo C32/40 (0.40xfck - SLE QP)	12.80 MPa

Le tensioni massime sul cls e sull'acciaio risultano inferiori ai limiti normativi.

Verifiche slu travetto fase I + fase II (campata)

Momento TOT. SLU - Fase 1+Fase 2	52.24 KNm
Momento ultimo SLU	90.40 KNm
Coeff. di sicurezza	1.73 -

Calcolo tensioni sle fase II (appoggio)

Tensione max cls soletta	-1.22 MPa
Tensione max cls predalle	-3.76 MPa
Tensione max acc.(armatura barre superiori)	132.77 MPa
Apertura fessure	0.059 mm

Calcolo tensioni risultanti sle fase I + fase II (appoggio)

Tensione max cls soletta	-1.22 MPa
Tensione max cls predalle	-3.76 MPa
Tensione max acc.(armatura barre superiori)	132.77 MPa
Apertura fessure	0.059 mm

Verifiche tensionali sle fase I + fase II (appoggio)

Tensione limite acciaio (0.75xfyk)	337.50 MPa
Tensione limite calcestruzzo C32/40 (0.55xfck - SLE RARA)	17.60 MPa
Tensione limite calcestruzzo C32/40 (0.40xfck - SLE QP)	12.80 MPa

Le tensioni massime sul cls e sull'acciaio risultano inferiori ai limiti normativi.

Verifiche slu travetto fase I + fase II (appoggio)

Momento TOT. SLU - Fase 1+Fase 2	-27.70 KNm
Momento ultimo SLU	-67.73 KNm
Coeff. di sicurezza	2.44 -

Taglio TOT. SLU - Fase 1+Fase 2	48.03 kN
Taglio resistente senza armatura a taglio	58.63 kN
Coeff. di sicurezza	1.22 -

Verifica del corrente teso inferiore nella zona di appoggio

Taglio TOT. SLU - Fase 1+Fase 2	48.03 kN
Area corrente inferiore resistente	200.96 mm ²
Tensione trazione corrente inferiore all'appoggio	239.02 MPa

La tensione massima sul corrente teso inferiore risulta inferiore ai limiti normativi.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

I valori delle tensioni relative al calcestruzzo e all'acciaio e quelli relativi all'apertura delle fessure per la seconda fase, nonché i valori di momento ultimo delle sezioni, sono stati dedotti con il codice di calcolo RC-SEC.

Per quanto riguarda il valore del taglio resistente, valutato senza armatura a taglio, si faccia riferimento a quanto riportato di seguito. In favore di sicurezza, la classe di calcestruzzo utilizzata per la valutazione del taglio resistente è quella che offre la minima resistenza a compressione fra il calcestruzzo della predalle prefabbricata e quello della soletta collaborante. Inoltre, cautelativamente, si è utilizzata una larghezza della sezione mista pari a quella della soletta collaborante.

SEZIONE					
b_w	=	31	cm		
h	=	34	cm		
c	=	3.5	cm		
d	=	$h-c$	=	30.5	cm
MATERIALI					
f_{ywd}	=	391.30	MPa		
R_{ck}	=	40	MPa		
γ_c	=	1.5			
f_{ck}	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	33.2	MPa
f_{cd}	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	18.81	MPa
ARMATURE LONGITUDINALI					
Numero	=	3f14+1f16			
A_{sl}	=	6.629	cm ²		
TAGLIO AGENTE					
		$V_{Ed} =$	48	(KN)	
SFORZO NORMALE					
		$N_{Ed} =$		(KN)	
ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO					
k	=	1.81		$1 + (200/d)^{1/2} < 2$	
v_{min}	=	0.491		$0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$	
ρ_l	=	0.0070			
σ_{cp}	=	0.0000	(Mpa)		
V_{Rd}	=	58.63	(KN)	>= OK	46.4233 (KN)
V_{Rd}	=	58.63	(KN)		
α_c	=	1.0000		$N_{ed}/A_c =$	0.0000 (Mpa)

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

16. ANALISI TERMICA DELLE PILE CAVE TIPO 'C'

Conformemente con quanto prescritto nel par. 5.2.2.5.2 del DM 14.1.2008, si è tenuto conto degli effetti dovuti ai fenomeni termici e di ritiro differenziale per la tipologia di pila cava in esame (pila tipo 'C'), adottando le ipotesi descritte di seguito.

Come anticipato nella trattazione precedente, per l'analisi termica è stato implementato un apposito modello di calcolo FEM tridimensionale, in cui gli elementi della pila sono schematizzati mediante elementi bidimensionali a piastra (shell), cui si è assegnato lo spessore rispettivo.

Le azioni termiche sono state applicate sul modello con le seguenti modalità:

Differenza di temperatura tra interno ed esterno pila pari a $\pm 10^{\circ}\text{C}$: si è assegnato un gradiente termico a tutti gli elementi rappresentativi delle pareti della pila, ad eccezione dei setti interni, considerando un modulo elastico E non ridotto. L'orientamento degli assi di riferimento locali della pila utilizzato è tale che un gradiente positivo indica un aumento di temperatura procedendo dall'interno verso l'esterno della pila. Nel prosieguo, questa condizione di carico verrà indicata come "farfalla".

Ritiro differenziale fusto-fondazione e fusto-pulvino: si considerano la fondazione o il pulvino parzialmente stagionato, dunque un ritiro pari al 50% di quello a lungo termine. Operativamente, il ritiro viene simulato applicando una variazione termica uniforme sullo spessore, numericamente pari a quella in grado di produrre effetti equivalenti al ritiro; in questo caso si considera un modulo elastico del calcestruzzo ridotto, pari a $1/3E$ per tenere in considerazione il carattere di lungo termine del fenomeno. Si è ipotizzato una condizione di umidità relativa del 70%.

Variazione termica uniforme pari a $+5^{\circ}\text{C}$ tra il fusto e la fondazione: si è assegnato il carico termico a tutti gli elementi eccetto che al pulvino, linearmente decrescente a partire da un'altezza pari a cinque volte lo spessore delle pareti del fusto della pila; anche in questo caso si adotta un modulo elastico convenzionale pari a $1/3E$.

16.1. VARIAZIONE TERMICA INTERNO-ESTERNO PILA

Si è assegnato al modello di calcolo descritto in precedenza, il gradiente termico riportato di seguito, per la valutazione degli effetti di temperatura corrispondenti:

$$\Delta T = \pm 10^\circ\text{C}$$

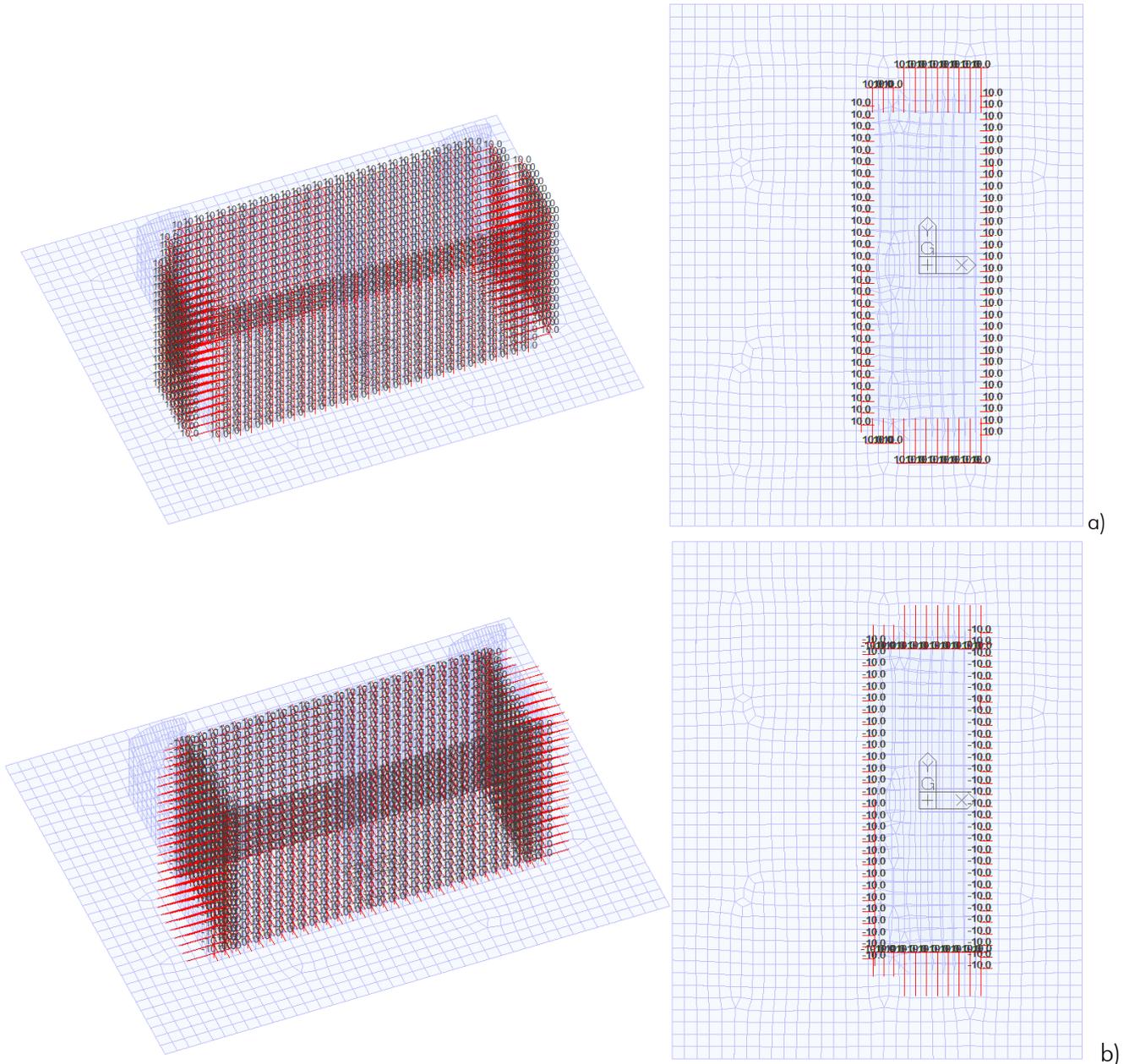
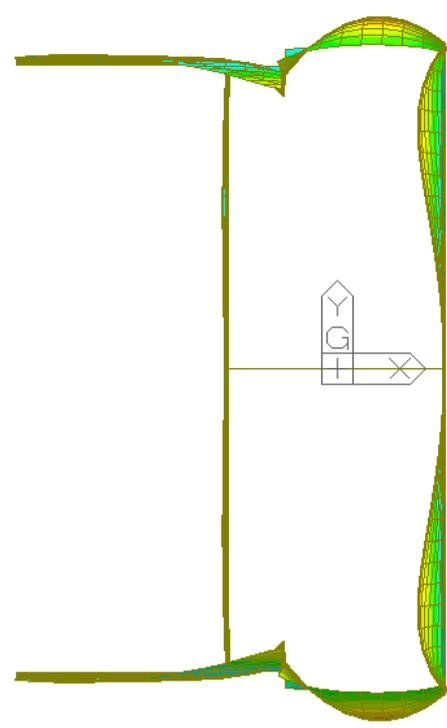
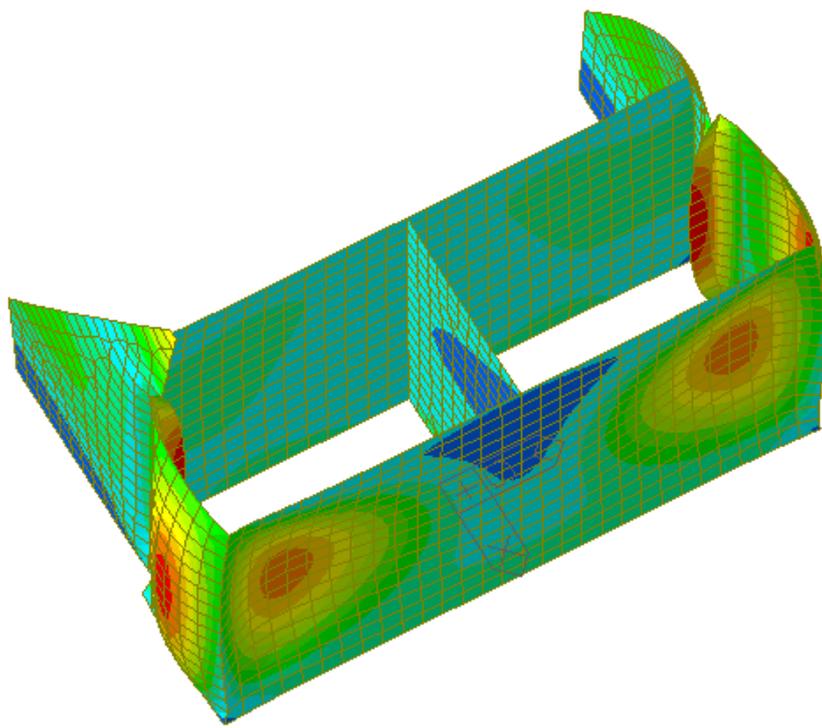
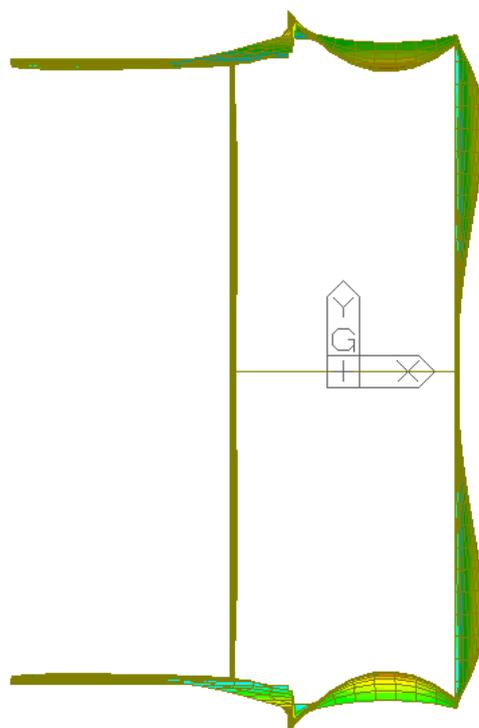
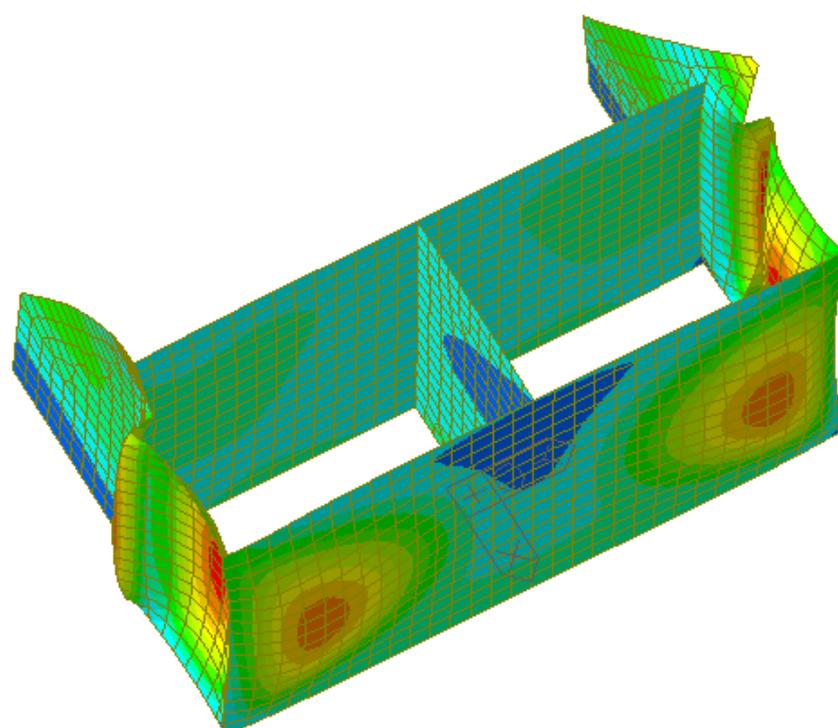


Figura 32: Applicazione del carico termico sul modello FEM – Vista 3D - Vista in pianta a) $\Delta T = +10^\circ\text{C}$ b) $\Delta T = -10^\circ\text{C}$

Progetto	Lotto	Codifica	
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C



a)



b)

Figura 33: Deformata da variazione termica interno-esterno pila – Vista 3D-Vista in pianta a) $\Delta T = +10^{\circ}\text{C}$ b) $\Delta T = -10^{\circ}\text{C}$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

16.2. VARIAZIONE TERMICA UNIFORME EQUIVALENTE AL RITIRO

Si riporta di seguito il calcolo della variazione termica uniforme in grado di produrre effetti equivalenti al ritiro. Con riferimento alla normativa italiana, la deformazione totale da ritiro si può valutare come:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

con:

ϵ_{cd} = deformazione per ritiro da essiccamento

ϵ_{ca} = deformazione per ritiro autogeno

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento risulta pari a:

$$\epsilon_{cd} = K_h * \epsilon_{c0}$$

con:

$$K_h = f(h_0)$$

h_0 = dimensione fittizia in (mm) = $2Ac/u$

Ac = area della sezione in cls perpendicolare alla direzione di massima contrazione

u = perimetro della sezione in cls esposto all'aria

Il parametro K_h , facendo riferimento al prospetto riportato di seguito, risulta, nel caso in esame, pari a 0,7.

h_0 (mm)	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

Figura 34: Valori di K_h – Tabella 11.2.Vb del DM 14.1.2008

Relativamente al calcolo di ϵ_{c0} , si considerano un'umidità relativa del 70%, la resistenza caratteristica cilindrica del cls e per interpolazione lineare, se ne ricava il valore dal prospetto riportato di seguito:

f_{ck}	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Figura 35: Valori di ϵ_{c0} – Tabella 11.2.Va del DM 14.1.2008

Noto il valore della deformazione totale di lungo termine, di cui se ne considera il 50%, tenendo conto che la fondazione/il pulvino siano parzialmente stagionati, si ricava la variazione termica uniforme equivalente mediante il rapporto tra la deformazione e il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Di seguito si mostra la sintesi dei calcoli effettuati.

DEFORMAZIONE DA RITIRO			
Area sez. cls	A_c	40.100	m ²
Perimetro sez. cls esposto all'aria	u	97.89	m
Dimensione fittizia	h_0	0.82	m
Parametro $f(h_0)$ (vd Tab. 11.2.Vb)	K_h	0.7	-
PER DOPPIA INTERPOLAZIONE LINEARE SU Tab. 11.2.Va:			
ϵ_{c0} a U.R. 80% (deformazione da ritiro per essiccamento)			
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 1	f_{ck1}	20	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 2	f_{ck2}	40	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 1	ϵ_{c01}	0.30	-
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 2	ϵ_{c02}	0.24	-
Rck PILA	R_{ck}	40	N/mm ²
fck PILA	f_{ck}	33.2	N/mm ²
	ϵ_{c0} (f_{ck};U.R.80%)	0.260	‰
ϵ_{c0} a U.R. 60% (deformazione da ritiro per essiccamento)			
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 1	f_{ck1}	20	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 2	f_{ck2}	40	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 1	ϵ_{c01}	0.49	-
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 2	ϵ_{c02}	0.38	-
Rck PILA	R_{ck}	40	N/mm ²
fck PILA	f_{ck}	33.2	N/mm ²
	ϵ_{c0} (f_{ck};U.R.60%)	0.417	‰
ϵ_{c0} a U.R. 70% (deformazione da ritiro per essiccamento)			
	ϵ_{c0} (f_{ck};U.R.70%)	0.339	‰
Deformazione da ritiro per essiccamento $f(f_{ck},UR)$ Tab.11.2.Va	ϵ_{c0}	0.00034	-
Deform. media per ritiro da essiccamento ($t=\infty$)	ϵ_{cd}	0.00024	-
Resistenza caratteristica cubica cls	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Deform. media per ritiro autogeno ($t=\infty$)	ϵ_{ca}	0.0000580	-
Deformazione totale da ritiro	ϵ_{cs}	0.000295	-
Deformazione totale da ritiro ridotta del 50%	ϵ_{cs}^*	0.000148	-
VARIAZIONE TERMICA EQUIVALENTE			
Coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo	α	0.00001	°C ⁻¹
Variazione termica equivalente al ritiro	ΔT	12	°C

Progetto	Lotto	Codifica	
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Il ritiro viene dunque simulato applicando una variazione termica uniforme sullo spessore, di segno negativo, pari a 12°C.

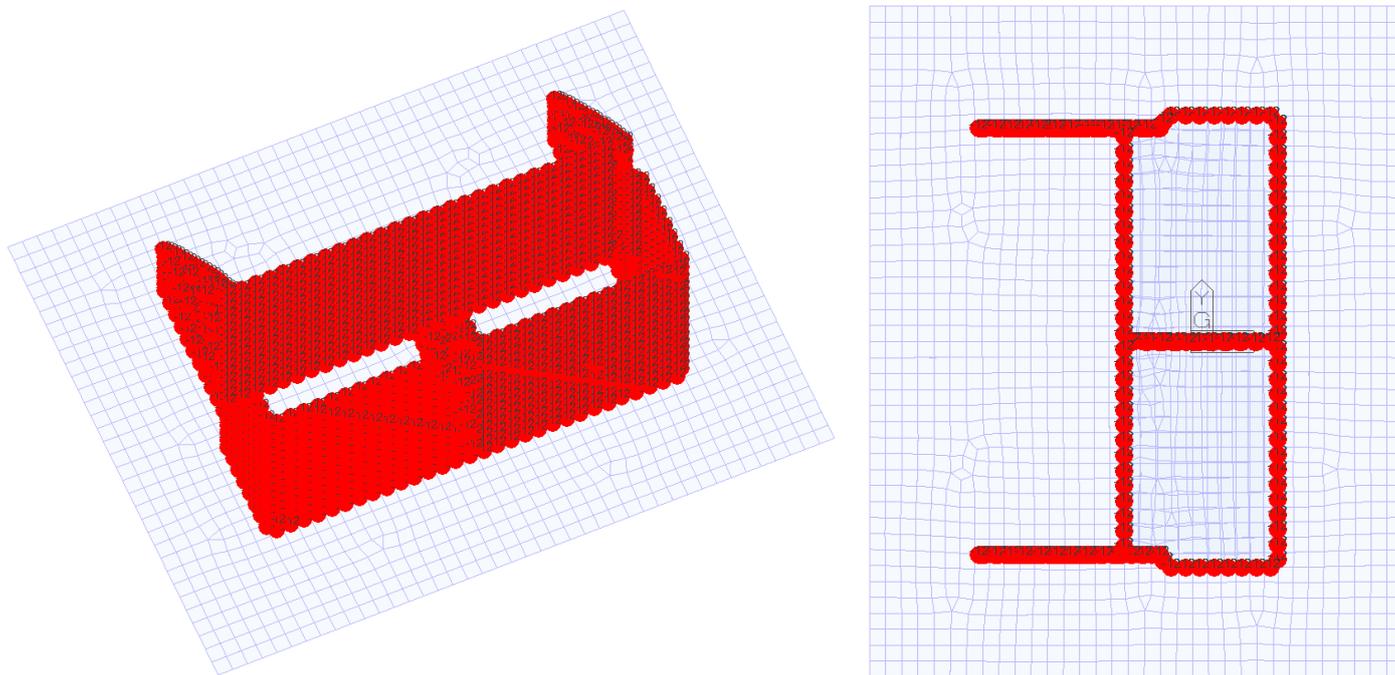


Figura 36: Applicazione del carico termico da ritiro sul modello FEM – Vista 3D - Vista in pianta

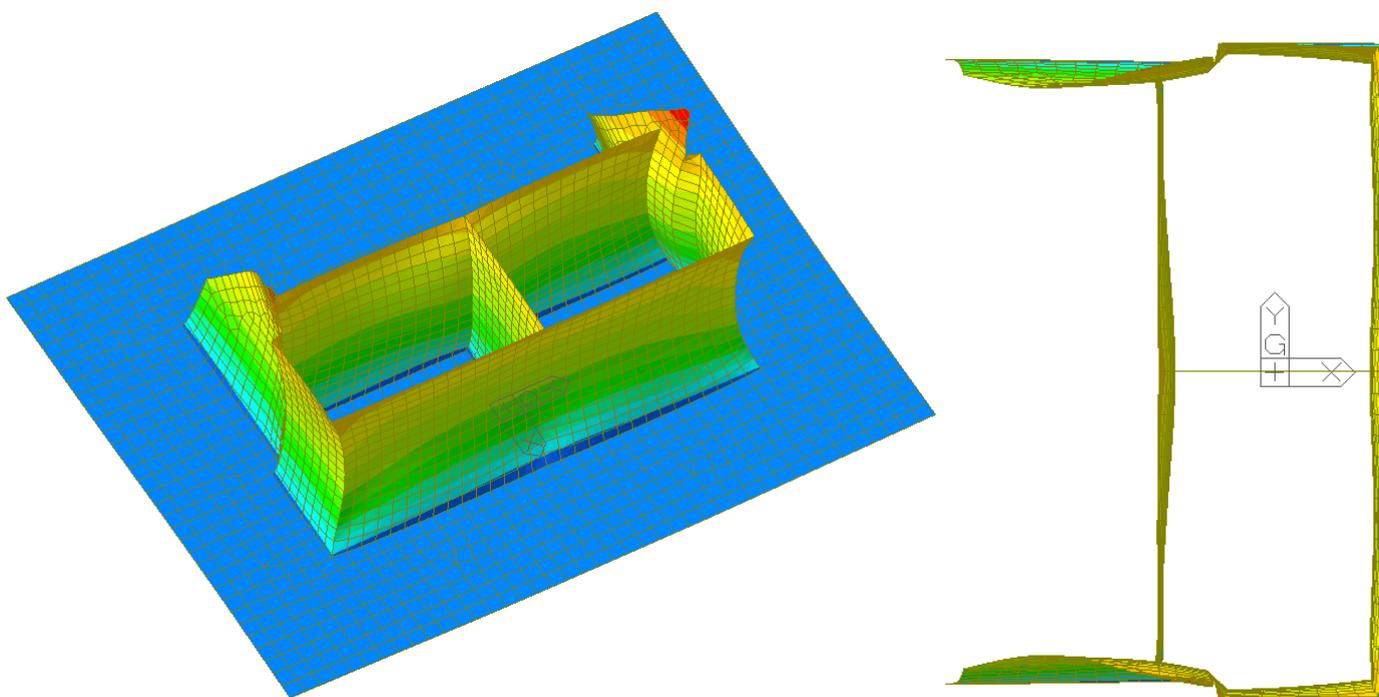


Figura 37: Deformata da ritiro differenziale fusto-fondazione – Vista 3D - Vista in pianta

16.3. VARIAZIONE TERMICA UNIFORME FUSTO-FONDAZIONE

L'altezza, rispetto allo spiccato della pila, a partire dalla quale si è considerata una funzione lineare decrescente del carico termico, è stata assunta pari a cinque volte lo spessore delle pareti, dunque pari a $5 \times 0.50\text{m} = 2,5\text{m}$.

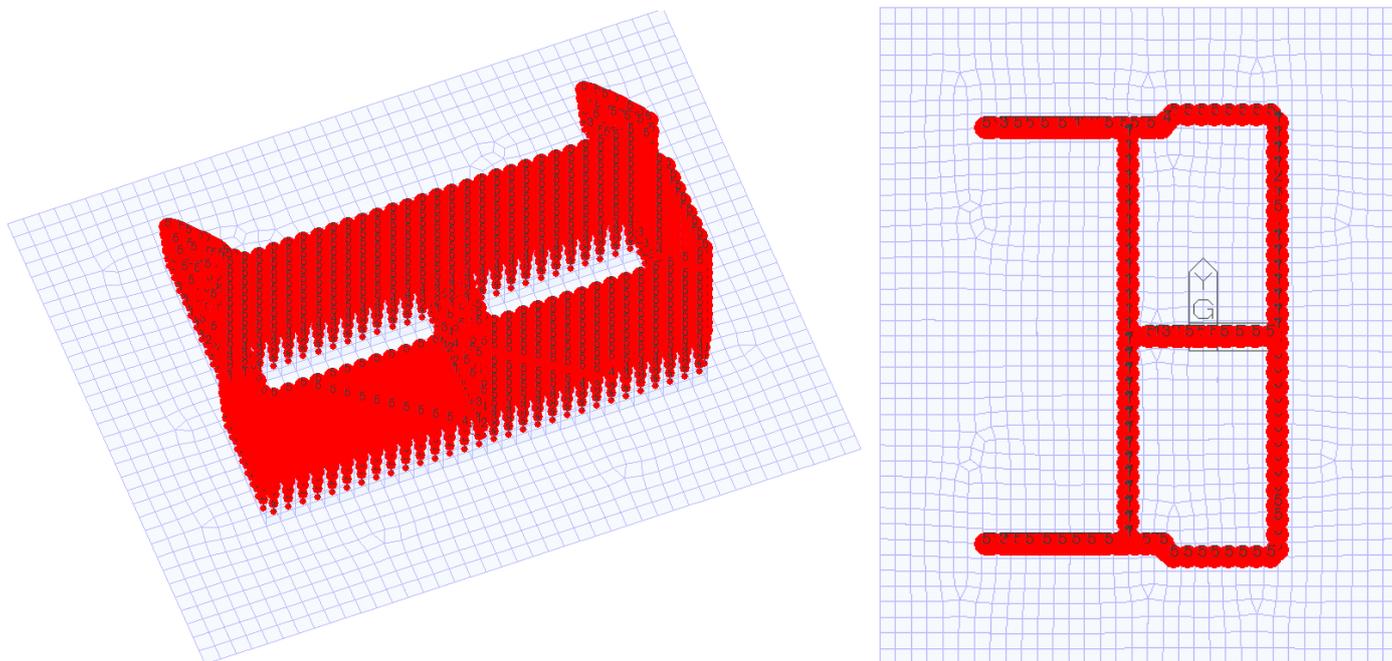


Figura 38: Applicazione del carico termico sul modello FEM – Vista 3D - Vista in pianta

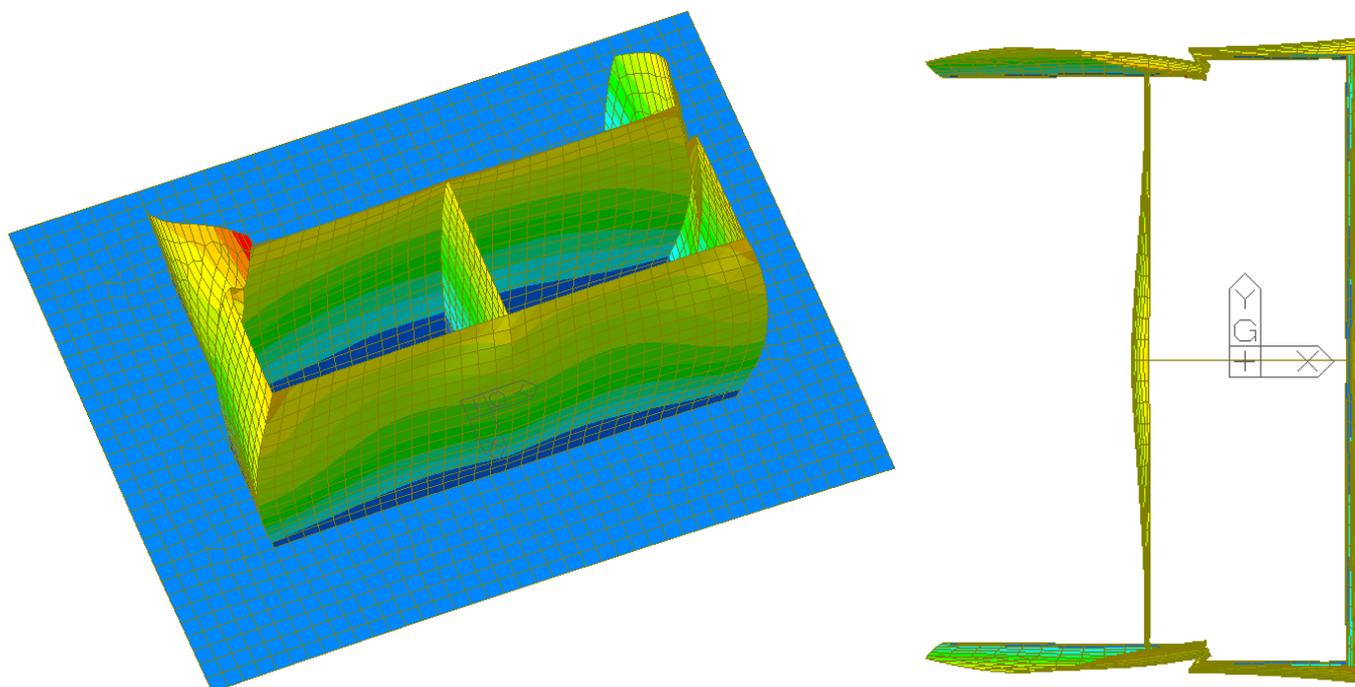


Figura 39: Deformata da variazione termica uniforme fusto-fondazione – Vista 3D - Vista in pianta

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

16.4. ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

16.4.1. Sollecitazioni indotte

Si esibiscono di seguito in forma sintetica gli effetti significativi indotti dalle azioni termiche sulla tipologia di pila in esame, in termini di incremento delle sollecitazioni flettenti nelle due direzioni di calcolo.

Si indicano con M_{yy} i momenti flettenti agenti nei piani verticali e con M_{xx} i momenti flettenti agenti nel piano orizzontale: i primi sono utilizzati per determinare le tensioni prodotte per gli effetti termici nella sezione di incastro con la fondazione o con il pulvino, da sommare a quelle prodotte dalle altre azioni concomitanti; i secondi sono utilizzati per determinare le tensioni prodotte per gli effetti termici nelle generiche sezioni orizzontali.

VARIAZIONE TERMICA INTERNO-ESTERNO PILA

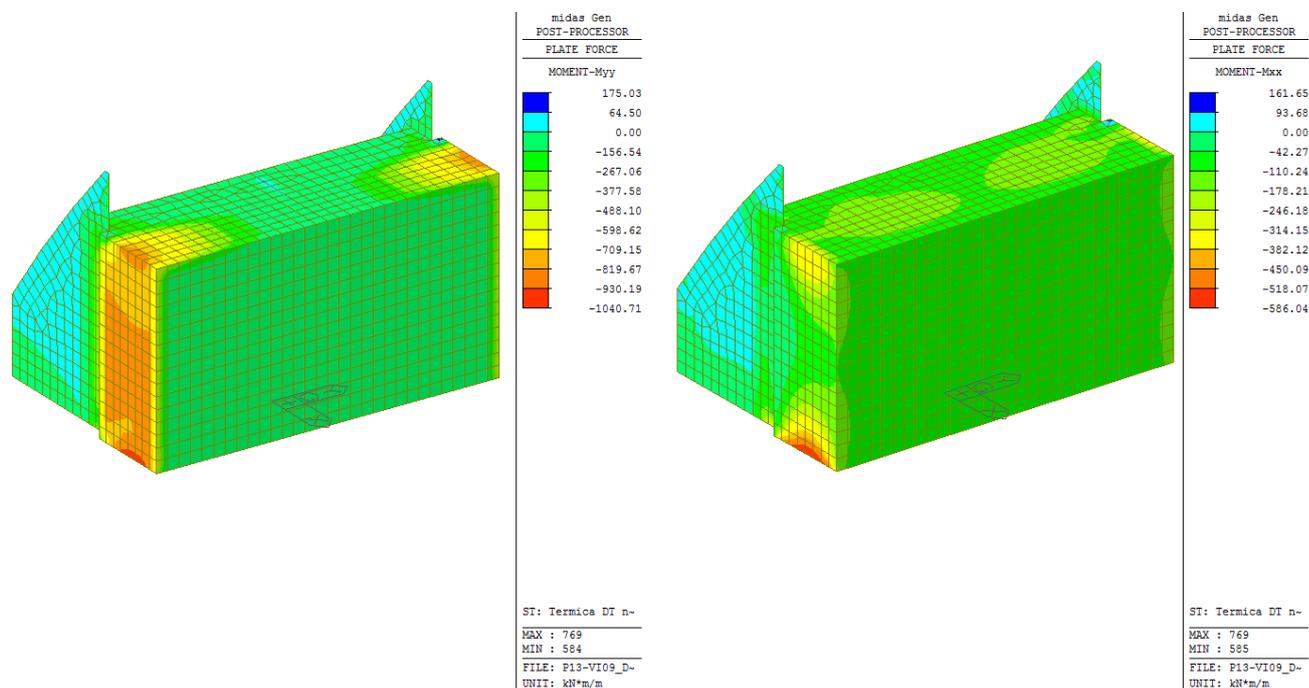


Figura 40: Momento flettente nel piano orizzontale (a destra) e nel piano verticale (a sinistra) indotto dal gradiente termico interno-esterno pila

VARIAZIONE TERMICA UNIFORME EQUIVALENTE AL RITIRO

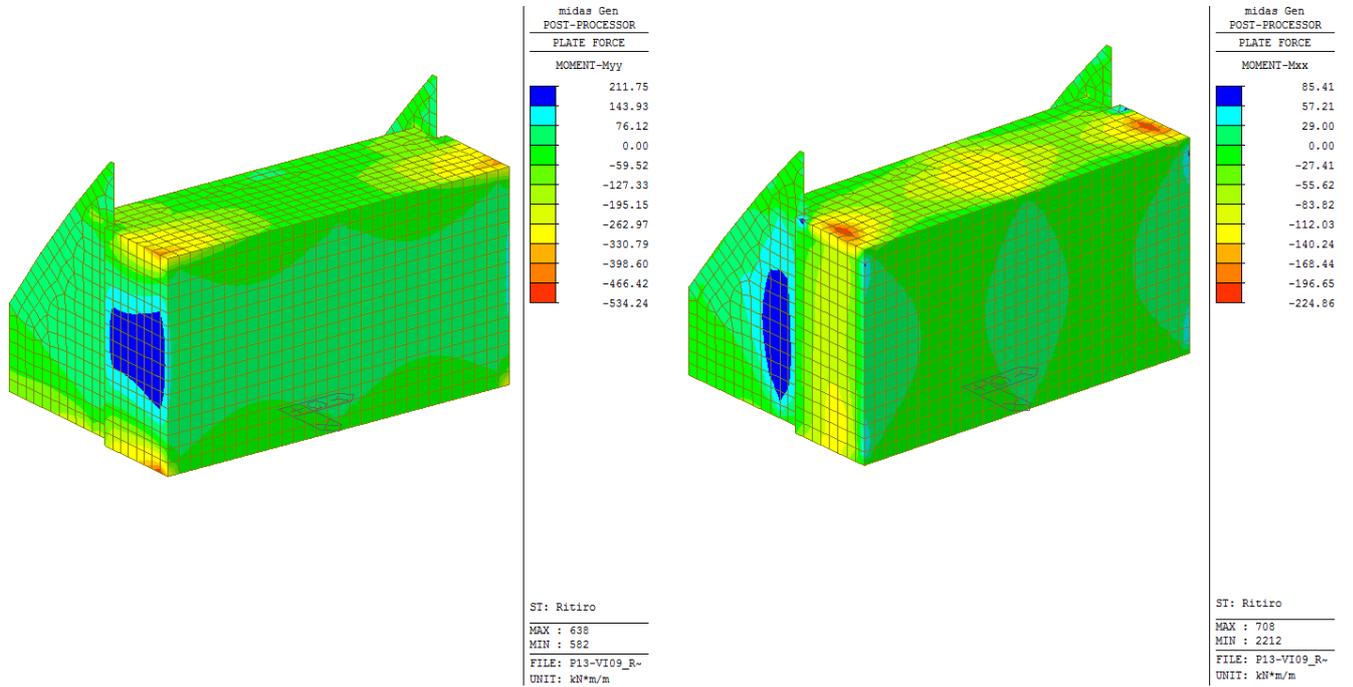


Figura 41: Momento flettente nel piano orizzontale (a destra) e nel piano verticale (a sinistra) indotto dal ritiro differenziale fusto/pila/fondazione

VARIAZIONE TERMICA UNIFORME FUSTO-FONDAZIONE

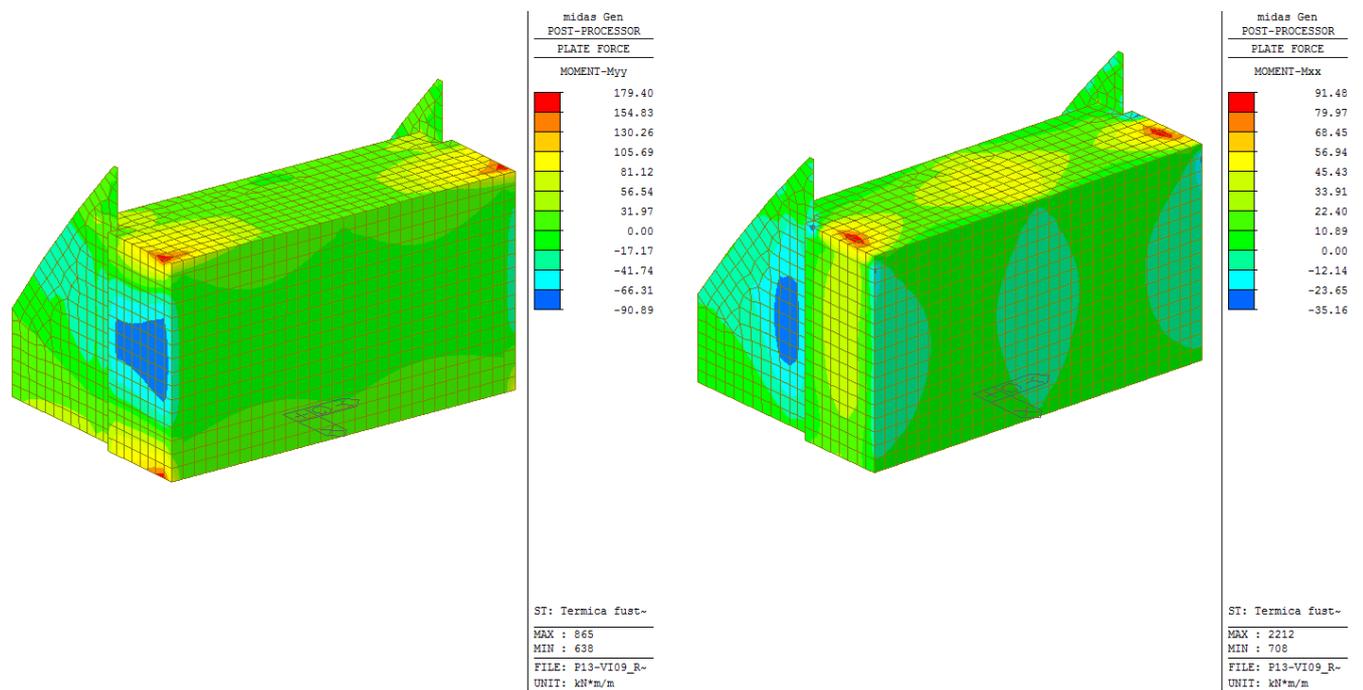


Figura 42: Momento flettente nel piano orizzontale (a destra) e nel piano verticale (a sinistra) indotta dalla variazione termica fusto/pila/fondazione

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Nei prospetti di seguito si sintetizzano i valori delle sollecitazioni flettenti nei piani orizzontale e verticale, indotte dalle azioni termiche e di ritiro sulla pila, relativamente alle sezioni maggiormente sollecitate della parete con spessore 0.50m e 1.80m del fusto della pila.

S1(100x50)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)
VARIAZIONE TERMICA INTERNO-ESTERNO PILA	135	95
VARIAZIONE TERMICA UNIFORME EQUIVALENTE AL RITIRO	15	5
VARIAZIONE TERMICA UNIFORME FUSTO-FONDAZIONE	-5	3

S2(100x180)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)
VARIAZIONE TERMICA INTERNO-ESTERNO PILA	-350	850
VARIAZIONE TERMICA UNIFORME EQUIVALENTE AL RITIRO	-90	-210
VARIAZIONE TERMICA UNIFORME FUSTO-FONDAZIONE	30	90

I valori delle sollecitazioni flettenti nei due piani, orizzontale e verticale, opportunamente combinati secondo i coefficienti prescritti dalla normativa, sono sintetizzati, per le sezioni di calcolo, per ciascuna delle combinazioni indagate, nei prospetti di seguito:

S1(100x50)		
Combinazioni	Mxx.tot (kNm)	Myy.tot (kNm)
SLV	72.5	51.5
SLU	174.0	123.6
SLErara	139.0	101.0
SLEfreq.	85.5	61.3
SLEqp	72.5	51.5

S2(100x180)		
Combinazioni	Mxx.tot (kNm)	Myy.tot (kNm)
SLV	-205.0	365.0
SLU	-492.0	876.0
SLErara	-374.0	814.0
SLEfreq	-237.0	459.0
SLEqp	-205.0	365.0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2CLVI09B4003
				C

16.4.2. Verifica dell'armatura orizzontale della pila

I valori delle sollecitazioni flettenti nel piano orizzontale, opportunamente combinati secondo i coefficienti prescritti dalla normativa, sono sintetizzati, per le sezioni di calcolo, per ciascuna delle combinazioni indagate, nei prospetti riportati nel paragrafo precedente (M_{xx}).

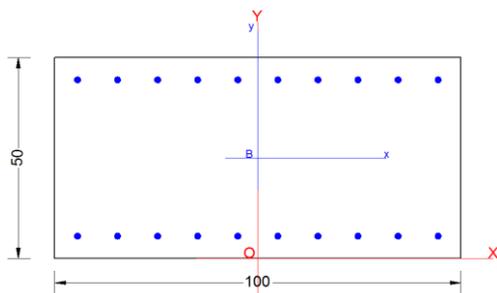
Lungo il fusto è prevista l'armatura trasversale riportata di seguito, verificata con i coefficienti di sicurezza riportati nell'analisi dei risultati del fusto, nella trattazione precedente:

ARMATURA TRASVERSALE FUSTO (STAFFE)							
Direzione longitudinale				Direzione trasversale			
nb	ϕ (mm)	s (cm)	$A_{v,st}/s$ (cm ² /m)	nb	ϕ (mm)	s (cm)	$A_{v,st}/s$ (cm ² /m)
6	16	10	120.64	4	16	10	80.43

Per il copriferro netto delle barre si adotta il valore $5\text{cm} + 0.8\text{cm} = 5.8\text{cm}$, in cui 0.8cm è il diametro utilizzato per le spille di collegamento.

Le verifiche strutturali, presentate di seguito, sono eseguite con il codice di calcolo RC-SEC, per ciascuna delle combinazioni di carico considerate.

VERIFICA S1



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
ACCIAIO -	Tipo:	B450C

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	10Ø16	(20.1 cm ²)
Barre superiori:	10Ø16	(20.1 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.6	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.6	cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	73.00	0.00	0.00
2	0.00	175.00	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)		
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
N°Comb.	N	Mx	
1	0.00	140.00 (154.44)	

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult, Mx Ult) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yneuro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X, Y, O sez.
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [kNm]
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	73.00	0.26	326.95	4.479	44.0	307.18	0.14	0.70	20.1
2	S	0.00	175.00	0.26	326.95	1.868	44.0	307.18	0.14	0.70	20.1

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.00898	50.0	-0.00034	43.4	-0.02177	6.6
2	0.00350	-0.00898	50.0	-0.00034	43.4	-0.02177	6.6

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X, Y, O)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">E12CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	E12CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	E12CLVI09B4003	C						

Sc min Minima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace (verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione (se Dbarre > 14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess. [B.6.6.3 Circ. 252/96])

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.76	50.0	0.00	37.6	-179.4	43.4	17.8	1780	20.1	9.6

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
Sclmin Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
K3 = 0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi = 1-Beta12*(Ssr/Ss)² = 1-Beta12*(fctm/Sclmin)² = 1-Beta12*(Mfess/M)² [B.6.6 DM96]
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm Distanza media in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Sm. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	2.81	-2.81	---	0.125	1.00	0.400	0.000359 (0.000359)	206	0.126 (0.20)	154.44

Considerato il tasso di sfruttamento delle staffe per le verifiche a taglio (cfr. Analisi direzione trasversale), e quello ottenuto per le medesime barre per assorbire le sollecitazioni indotte dagli effetti termici e di ritiro, le verifiche di sicurezza risultano soddisfatte.

A maggiore garanzia del soddisfacimento delle verifiche, si riporta a seguire il calcolo dell'area minima di armatura da garantire in corrispondenza della sezione più sollecitata S1 del setto in direzione trasversale (rispetto ad asse viadotto) della pila, per l'assorbimento delle sollecitazioni indotte dagli effetti termici e di ritiro. La somma di tale contributo con quello minimo ricavato per le altre azioni (vedi trattazione precedente: Verifiche strutturali del fusto – Area a taglio strettamente necessaria - Direzione trasversale) fornisce un valore di area inferiore a quella dell'armatura prevista, come dimostrato a seguire.

Area strettamente necessaria

Condizioni sismiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
ACCIAIO -	Tipo:	B450C

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:		3.9 cm ²

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
		Progetto	Lotto	Codifica	
		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C

Barre superiori: 3.9 cm²

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	73.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)										
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)										
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult, Mx Ult) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000										
Yneutro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.										
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [kNm]										
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)										
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]										
N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	73.00	-0.16	73.15	1.002	47.7	62.89	0.05	0.70	3.9

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione						
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace						
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)						
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)						
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)						
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)						
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)						
N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.02890	50.0	-0.00648	43.4	-0.06212	6.6

Condizioni statiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
ACCIAIO -	Tipo:	B450C

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 15%;">Lotto</td> <td style="width: 40%;">Codifica</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td>IN17</td> <td>12</td> <td>EI2CLVI09B4003</td> <td>C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C						

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:		14.9 cm ²
Barre superiori:		14.9 cm ²

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	175.00	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	140.00 (147.86)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)										
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)										
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult, Mx Ult) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000										
Yneutro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.										
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [kNm]										
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)										
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]										
N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	175.00	-0.16	249.65	1.427	44.6	230.24	0.12	0.70	14.9

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione						
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace						
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)						
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)						
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)						
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)						
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)						
N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">E12CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	E12CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	E12CLVI09B4003	C						

1 0.00350 -0.01036 50.0 -0.00077 43.4 -0.02457 6.6

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione
(se Dbarre >14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess. [B.6.6.3 Circ. 252/96])

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.51	50.0	0.00	38.9	-239.5	43.4	18.1	1812	14.9	14.5

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
Sclmin Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
K3 =0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi = 1-Beta12*(Ssr/Ss)² = 1-Beta12*(fctm/Sclmin)² = 1-Beta12*(Mfess/M)² [B.6.6 DM96]
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm Distanza media in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

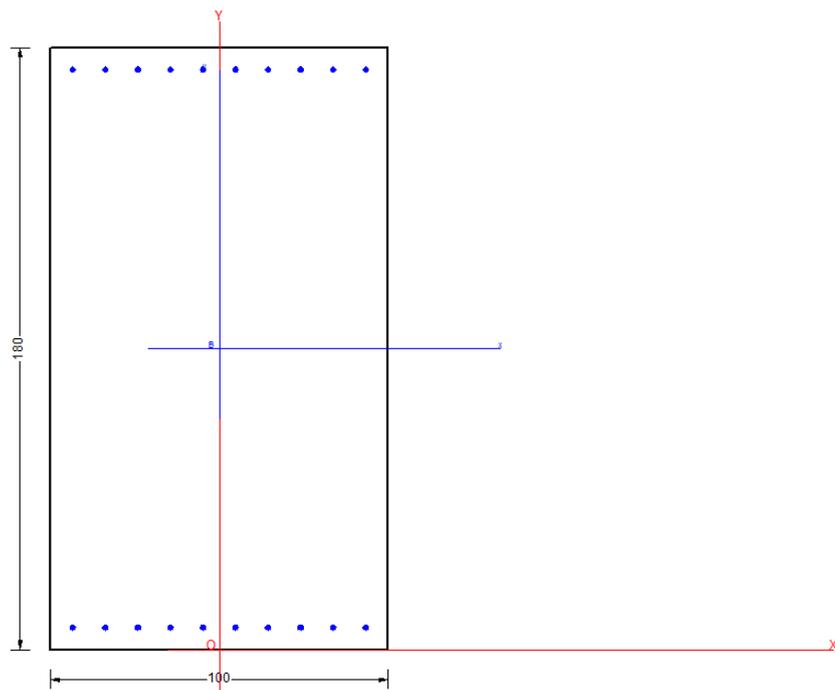
N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	2.93	-2.93	---	0.125	1.00	0.400	0.000479 (0.000479)	245	0.200 (0.20)	147.86

In sintesi, si ottiene quanto segue, per cui l'armatura prevista è sufficiente:

CONDIZIONI SISMICHE		
As/s necessaria per gli effetti termici/di ritiro sul singolo setto (S1)	7.80	cm2/m
As/s necessaria a taglio in direzione trasversale per gli altri carichi sul singolo setto*	10.15	cm2/m
As/s totale necessaria	17.95	cm2/m
As/s effettiva prevista sul singolo setto	40.21	cm2/m
*Si assume pari a 1/2 dell'area totale necessaria, ripartendola equamente sui 2 setti in direzione trasversale		
CONDIZIONI STATICHE		
As/s necessaria per gli effetti termici/di ritiro sul singolo setto (S1)	29.80	cm2/m
As/s necessaria a taglio in direzione trasversale per gli altri carichi sul singolo setto*	0.87	cm2/m
As/s totale necessaria	30.67	cm2/m
As/s effettiva prevista sul singolo setto	40.21	cm2/m
*Si assume pari a 1/2 dell'area totale necessaria, ripartendola equamente sui 2 setti in direzione trasversale		

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

VERIFICA S2



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
ACCIAIO -	Tipo:	B450C

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	180.0	cm
Barre inferiori:	10Ø16	(20.1 cm ²)
Barre superiori:	10Ø16	(20.1 cm ²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.6	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.6	cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	205.00	0.00	0.00
2	0.00	492.00	0.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">E12CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	E12CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	E12CLVI09B4003	C						

1 0.00 375.00 (1817.92)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult) e (N,Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yneutro Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
Mx sn. Momento flettente allo snervamento [kNm]
x/d Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	205.00	0.13	1347.90	6.575	173.8	1300.96	0.04	0.70	20.1
2	S	0.00	492.00	0.13	1347.90	2.740	173.8	1300.96	0.04	0.70	20.1

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00249	-0.02865	180.0	-0.00017	173.4	-0.06750	6.6
2	0.00249	-0.02865	180.0	-0.00017	173.4	-0.06750	6.6

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione
(se Dbarre >14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess. [B.6.6.3 Circ. 252/96])

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.43	180.0	0.00	152.3	-113.3	173.4	17.8	1780	20.1	9.6

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">EI2CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C						

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
Sclmin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
K3	=0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi	= 1-Beta12*(Ssr/Ss) ² = 1-Beta12*(fctm/Sclmin) ² = 1-Beta12*(Mfess/M) ² [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm	Distanza media in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.64	-0.64	---	0.125	1.00	0.400	0.000227 (0.000227)	206	0.079 (0.20)	1817.92

Considerato il tasso di sfruttamento delle staffe per le verifiche a taglio (cfr. Analisi direzione longitudinale), e quello ottenuto per le medesime barre per assorbire le sollecitazioni indotte dagli effetti termici e di ritiro, le verifiche di sicurezza risultano soddisfatte.

A maggiore garanzia del soddisfacimento delle verifiche, si riporta a seguire il calcolo dell'area minima di armatura da garantire in corrispondenza della sezione più sollecitata S2 del setto laterale della pila, per l'assorbimento delle sollecitazioni indotte dagli effetti termici e di ritiro. La somma di tale contributo con quello minimo ricavato per le altre azioni (vedi trattazione precedente: Verifiche strutturali del fusto – Area a taglio strettamente necessaria - Direzione longitudinale) fornisce un valore di area inferiore a quella dell'armatura prevista, come dimostrato a seguire.

Area strettamente necessaria

Condizioni sismiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
ACCIAIO -	Tipo:	B450C

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	180.0	cm
Barre inferiori:	3.0	cm²
Barre superiori:	3.0	cm²

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	205.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult, Mx Ult) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yneuro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X, Y, O sez.
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [kNm]
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	205.00	-0.07	206.59	1.008	177.4	198.60	0.02	0.70	3.0

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00104	-0.02945	180.0	-0.00157	173.4	-0.06750	6.6

Condizioni statiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
ACCIAIO -	Tipo:	B450C

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	180.0	cm
Barre inferiori:		11.3 cm²
Barre superiori:		11.3 cm²

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
---------	---	----	----	----

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 15%;">Lotto</td> <td style="width: 40%;">Codifica</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td>IN17</td> <td>12</td> <td>EI2CLVI09B4003</td> <td>C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C						

1 0.00 492.00 0.00 0.00
COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	375.00 (1755.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult) e (N,Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yneutro Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
Mx sn. Momento flettente allo snervamento [kNm]
x/d Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	492.00	-0.16	769.24	1.563	175.1	741.60	0.03	0.70	11.3

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00195	-0.02895	180.0	-0.00070	173.4	-0.06750	6.6

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci utilizzata nel calcolo di fessurazione
(se Dbarre >14Ø viene posto Dbarre=14Ø nel calcolo di fess. [B.6.6.3 Circ. 252/96])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Progetto</td> <td style="width: 25%;">Lotto</td> <td style="width: 25%;">Codifica</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IN17</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">EI2CLVI09B4003</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>	Progetto	Lotto	Codifica		IN17	12	EI2CLVI09B4003	C
Progetto	Lotto	Codifica							
IN17	12	EI2CLVI09B4003	C						

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.88	180.0	0.00	158.4	-198.7	173.4	18.5	1850	11.3	21.7

COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sclmax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
Sclmin	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
K3	=0,125 per flessione; = 0,25 (Sclmin + Sclmax)/(2 Sclmin) per trazione eccentrica
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Psi	= 1-Beta12*(Ssr/Ss) ² = 1-Beta12*(fctm/Sclmin) ² = 1-Beta12*(Mfess/M) ² [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es
srm	Distanza media in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	Sclmax	Sclmin	Sc Eff	K3	Beta12	Psi	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.66	-0.66	---	0.125	1.00	0.400	0.000397 (0.000397)	297	0.200 (0.20)	1755.00

In sintesi, si ottiene quanto segue, per cui l'armatura prevista è sufficiente:

CONDIZIONI SISMICHE		
As/s necessaria per gli effetti termici/di ritiro sul singolo setto perimetrale (S2)	6.00	cm2/m
As/s necessaria a taglio per gli altri carichi sul singolo setto perimetrale*	19.83	cm2/m
As/s totale necessaria	25.83	cm2/m
As/s effettiva prevista sul singolo setto	40.21	cm2/m
*Si assume pari a 1/3 dell'area totale necessaria, ripartendola equamente sui 3 setti in direzione longitudinale		

CONDIZIONI STATICHE		
As/s necessaria per gli effetti termici/di ritiro sul singolo setto perimetrale (S2)	22.60	cm2/m
As/s necessaria a taglio per gli altri carichi sul singolo setto perimetrale*	0.95	cm2/m
As/s totale necessaria	23.55	cm2/m
As/s effettiva prevista sul singolo setto	40.21	cm2/m
*Si assume pari a 1/3 dell'area totale necessaria, ripartendola equamente sui 3 setti in direzione longitudinale		

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

16.4.3. Incrementi tensionali dovuti ai momenti nel piano verticale prodotti dalle azioni termiche

I valori delle sollecitazioni flettenti nel piano verticale, opportunamente combinati secondo i coefficienti prescritti dalla normativa, sono sintetizzati, per le sezioni di calcolo, per ciascuna delle combinazioni indagate, nei prospetti riportati nei paragrafi precedenti (M_{yy}).

L'armatura verticale della pila prevede:

ARMATURA LONGITUDINALE FUSTO								
n°strati	c (cm)	ϕ (mm)	s _{ext} (cm)	s _{int} (cm)	n°tot	A _s (cm ²)	A _s /A _{cls} (%)	A _{min} /A _{cls} (%)
1	8.7	26	20	20	454	2409.2	0.77	0.6

Le due sezioni di calcolo prevedono pertanto ferri $\phi 26/20$ su entrambi i lati delle pareti.

Gli incrementi tensionali dovuti ai momenti nel piano verticale indotti dalle azioni termiche non risultano significativi, rispetto allo stato di sollecitazione del fusto della pila analizzato nella trattazione precedente.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12CLVI09B4003	C

16.5. RITIRO DIFFERENZIALE CONNESSO ALLE FASI DI GETTO DEL PULVINO

Nel presente paragrafo si indagano gli effetti del ritiro differenziale tra i getti delle varie fasi del pulvino.

Il getto avviene in due fasi: la prima prevede un'altezza di getto pari a 28cm; la successiva prevede il completamento del getto restante, fino a quota estradosso pulvino della parte più bassa tra i due lati, fisso e mobile, degli impalcati.

Gli effetti del ritiro tra la prima fase, a maturazione del calcestruzzo avvenuta, e la seconda fase risultano trascurabili. Si indagano di seguito gli effetti del ritiro del getto di seconda fase, rispetto a quello di fase I. L'analisi è stata condotta per una striscia di larghezza unitaria.

DEFORMAZIONE DA RITIRO SOLETTA FASE II			
Area sez. cls	A_c	1.560	m ²
Perimetro sez. cls esposto all'aria	u	1	m
Dimensione fittizia	h_0	3.120	m
Parametro $f(h_0)$ (vd Tab. 11.2.Vb)	K_h	0.7	-
PER DOPPIA INTERPOLAZIONE LINEARE SU Tab. 11.2.Va:			
ϵ_{c0} a U.R. 80% (deformazione da ritiro per essiccamento)			
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 1	f_{ck1}	20	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 2	f_{ck2}	40	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 1 (IN VAL. ASS.)	ϵ_{c01}	0.30	-
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 2 (IN VAL. ASS.)	ϵ_{c02}	0.24	-
Rck soletta	R_{ck}	40	N/mm ²
fck soletta	f_{ck}	33.2	N/mm ²
	ϵ_{c0} ($f_{ck_{soletta}}$; U.R.80%)	0.260	‰
ϵ_{c0} a U.R. 60% (deformazione da ritiro per essiccamento)			
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 1	f_{ck1}	20	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ASCISSA 2	f_{ck2}	40	N/mm ²
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 1 (IN VAL. ASS.)	ϵ_{c01}	0.49	-
VALORI NOTI DA TAB. 11.2.Va (estremi della retta) ORDINATA 2 (IN VAL. ASS.)	ϵ_{c02}	0.38	-
Rck soletta	R_{ck}	40	N/mm ²
fck soletta	f_{ck}	33.2	N/mm ²
	ϵ_{c0} ($f_{ck_{soletta}}$; U.R.60%)	0.417	‰
ϵ_{c0} a U.R. 70% (deformazione da ritiro per essiccamento)			
	ϵ_{c0} ($f_{ck_{soletta}}$; U.R.70%)	0.339	‰
Deformazione da ritiro per essiccamento $f(f_{ck}, UR)$ Tab.11.2.Va	ϵ_{c0}	0.00034	-
Deform. media per ritiro da essiccamento ($t=\infty$)	ϵ_{cd}	0.00024	-
Resistenza caratteristica cubica cls	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Deform. media per ritiro autogeno ($t=\infty$)	ϵ_{ca}	0.0000580	-
Deformazione totale da ritiro	ϵ_{cs}	0.000295	-

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Noto il valore della deformazione totale di lungo termine, si ricava la variazione termica uniforme equivalente mediante il rapporto tra la deformazione e il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo.

Operativamente, dunque, il ritiro viene simulato applicando una variazione termica uniforme numericamente pari a quella in grado di produrre effetti equivalenti al ritiro.

Si noti che, poiché la deformazione da ritiro considerata è quella a $t = \infty$, il valore della variazione termica equivalente viene ridotto di un fattore $(1 + \phi)$ per simulare l'effetto della viscosità del calcestruzzo.

Di seguito si mostra la sintesi dei calcoli effettuati.

VARIAZIONE TERMICA EQUIVALENTE AL RITIRO			
Coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo	α	0.00001	°C ⁻¹
Variazione termica equivalente al ritiro	$\Delta T = \varepsilon_{cs}/\alpha$	25	°C
Coefficiente di viscosità del calcestruzzo	ϕ	2	-
Variazione termica equivalente al ritiro	$\Delta T/(1+\phi)$	8.2	°C

Si considera una variazione termica equivalente pari a $\Delta T = -10^\circ\text{C}$ nella modellazione FEM del pulvino. Si faccia riferimento al cap.0 per i risultati delle analisi condotte.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

17. VALIDAZIONE DEI CODICI DI CALCOLO (§10.2 – DM 14.1.2008)

Nei paragrafi successivi si riporta il controllo dell'affidabilità dei codici utilizzati per la redazione del progetto e la verifica dell'attendibilità dei risultati ottenuti, curando nel contempo che la presentazione dei risultati stessi sia tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità.

Il presente capitolo è redatto coerentemente con quanto previsto dal D.M. 14/01/2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" e relativa "Circolare 2 Febbraio 2009 n.617", Cap. 10.2.

C.10.2 - Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue nei paragrafi successivi.

17.1. TIPO DI ANALISI SVOLTA

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Per il calcolo delle strutture in c.a. è stato utilizzato il programma "Midas-Gen". Tale software consente una modellazione tridimensionale agli elementi finiti.

Il calcolo delle sollecitazioni è stato condotto attraverso un'analisi dinamica modale. Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche. Il calcolo degli effetti dell'azione sismica è stato eseguito con riferimento alla struttura spaziale, tenendo cioè conto degli elementi interagenti fra loro secondo l'effettiva realizzazione.

Tale metodo è stato ritenuto il più idoneo per la valutazione delle azioni sismiche.

La verifica degli elementi strutturali in c.a. è stata eseguita con il metodo agli Stati Limite attraverso il programma di calcolo delle sezioni in c.a. RC-SEC della Geostru.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

17.2. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

17.2.1. Midas Gen

Il calcolo delle strutture è stato condotto utilizzando il software presentato di seguito:

Titolo Midas-Gen
Versione 2.1
Produttore Midas



17.2.2. RC-SEC

La verifica degli elementi strutturali in c.a. è stata eseguita utilizzando il software presentato di seguito:

Titolo RC-SEC
Versione 2016.10.0.510
Produttore GeoStru Software

17.3. DESCRIZIONE DEL SOFTWARE

Midas-Gen è un software per il calcolo strutturale FEM orientato alle necessità dell'ingegneria civile.

Il software general purpose di Midas risolve integralmente tutte le problematiche di analisi e progettazione di qualsiasi tipologia strutturale, in zona sismica e non, con qualsiasi materiale.

Midas-Gen dispone di un solver Multi-Frontal ad elevate prestazioni e un algoritmo di analisi che offre la soluzione per le analisi di strutture a livello internazionale nel settore delle costruzioni.

La libreria di elementi finiti è molto vasta e comprende beam a sezione variabile, truss resistenti a sola trazione e/o sola compressione, elementi wall per pareti antisismiche, plate, solid, plane stress, plane strain, piastre irrigidite ortotrope, etc. Ha un database di profili e materiali che comprende tutte le principali normative mondiali e l'utente ha anche la possibilità di utilizzarne user defined.

Midas-Gen dispone, inoltre, di un potente modellatore e meshatore solido tridimensionale, parametrico, che permette di modellare qualsiasi forma geometrica. Ampia casistica di carichi tipici di travi e piastre, statici, dinamici e mobili, infinite condizioni di carico, gestione automatica delle combinazioni di carico, conversione automatica di carichi in masse, generazione automatica di sistemi di spinta per analisi push-over. Molteplici condizioni al contorno, che lavorano a sola trazione e/o sola compressione, diversi tipologie di isolatori e smorzatori sismici, lineari e non lineari.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2CLVI09B4003	C

Per quanto riguarda il software RC-SEC, si tratta di un programma di calcolo di sezioni in cemento armato agli stati limite ultimi e di esercizio. Il software tiene conto, nel caso di calcolo sismico, della classe di duttilità richiesta e della posizione della sezione nell'asta (se ricade in zona critica o meno). Per le verifiche di resistenza (e semiprogetto delle armature) a presso-tenso flessione (retta e deviata) è previsto l'uso del diagramma tensioni-deformazione parabola rettangolo per il conglomerato e bilineare per l'acciaio. Nelle verifiche a taglio è stata implementata la nuova metodologia che prevede l'uso dell'inclinazione variabile delle bielle compresse.

17.4. AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. Si tratta di software di largo consumo le cui società produttrici hanno verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

17.5. MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Le relazioni di calcolo strutturale presentano i dati di calcolo secondo modalità tali da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. Le relazioni di calcolo illustrano in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare e/o grafica.

17.6. INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE

I software prevedono una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. I codici di calcolo consentono di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

17.7. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto esposto sopra, io sottoscritto asserisco che le elaborazioni sono corrette ed idonee al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.