

**ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA
E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA
MAXI LOTTO 2**

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:
SS. 318 DI "VALFABBRICA". TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA
SS. 76 "VAL D'ESINO". TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO
"PEDEMONTANA DELLE MARCHE", TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA

PROGETTO ESECUTIVO

CONTRAENTE GENERALE: 	<i>Il responsabile del Contraente Generale:</i> Ing. Federico Montanari	<i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i> Ing. Salvatore Lieto
--	--	---

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese
Mandataria:

			
--	--	---	--

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER I'ATI Ing. Antonio Grimaldi GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale			
--	---	--	---

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Iginio Farotti		
--	--	--

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO Relazione di calcolo impalcato	SCALA:
	DATA: Settembre 2020

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
	L 0 7 0 3	2 1 3	E	1 2	V I 6 2 0 0	R E L	0 1	B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
B	SETTEMBRE 2020	Emissione a seguito istruttoria Anas	PROGIN	A. Mazziotti	S.Lieto	A.Grimaldi
A	MARZO 2020	Emissione PE	PROGIN	A. Mazziotti	S.Lieto	A.Grimaldi

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 2 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

I N D I C E

1. GENERALITA'	5
1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
1.2 UNITÀ DI MISURA.....	7
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	9
3.1.1 Carpenteria in acciaio.....	9
3.1.2 Soletta in c.a.	10
3.2 RESISTENZE DI PROGETTO.....	10
3.2.1 Carpenteria metallica	10
3.2.2 Soletta in c.a.	11
3.2.2.1 Calcestruzzo C35/45	11
3.2.2.2 Armatura B450C	11
4. ANALISI DEI CARICHI	12
4.1 PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1)	12
4.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)	12
4.3 RITIRO DEL CALCESTRUZZO (E2.1)	13
4.4 VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO (E2.2).....	13
4.5 VARIAZIONE TERMICA (E3).....	14
4.6 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1).....	17
4.6.1 Azioni da traffico per verifiche a fatica	19
4.7 AZIONE DI FRENAMENTO ED AVVIAMENTO (Q3)	19
4.8 AZIONE DEL VENTO (Q5)	20
4.8.1 Calcolo della pressione del vento.....	20
4.8.2 Vento a ponte carico.....	21
4.8.3 Vento a ponte scarico.....	21
4.8.4 Vento in fase di montaggio	21
4.9 AZIONI SISMICHE (Q6)	21
4.10 URTO DI VEICOLO IN SVIO (Q8)	23
5. COMBINAZIONI DI CARICO	24
5.1 GRUPPI DI CARICO.....	24
5.2 COEFFICIENTI PARZIALI E DI COMBINAZIONE	24
5.3 COMBINAZIONI AGLI SLU	25
5.4 COMBINAZIONI AGLI SLE.....	26
6. MODELLI DI CALCOLO E METODO DI ANALISI	27
6.1 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	27
6.2 MODELLO DI CALCOLO STATICO E SISMICO	28
6.3 DETERMINAZIONE DELLA LARGHEZZA EFFICACE DI SOLETTA	29
6.4 EFFETTI DEL RITIRO E DELLA VISCOSITÀ.....	32
6.5 FASI DI CALCOLO	34
6.6 CARATTERISTICHE DI CALCOLO DELLE SEZIONI.....	35

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 3 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

6.7	METODO DI ANALISI GLOBALE E CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI.....	37
6.8	METODI DI VERIFICA	39
6.8.1	Verifiche allo Stato Limite Ultimo delle nervature principali	39
6.8.1.1	Verifiche di resistenza.....	39
6.8.1.2	Verifiche di stabilità a taglio dei pannelli d'anima	40
6.8.1.3	Verifiche all'imbozzamento dei pannelli d'anima	41
6.8.1.4	Verifiche delle connessioni trave-soletta	41
6.8.2	Verifiche allo Stato Limite Ultimo delle membrature secondarie	42
6.8.2.1	Verifiche dei collegamenti bullonati.....	43
6.8.3	Verifiche allo Stato Limite Ultimo di Fatica	45
6.8.4	Verifiche allo Stato Limite di Esercizio	46
6.8.4.1	Verifica di deformabilità.....	46
6.8.4.2	Verifica di limitazione delle tensioni di esercizio.....	46
6.8.4.3	Verifica di fessurazione	46
7.	RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE 48	
7.1	RISULTATI IN FASE DI GETTO	48
7.2	RISULTATI A T ₀₀	48
7.2.1	Ritiro e viscosità.....	50
7.3	RISULTATI IN FASE FINALE	50
7.3.1	Stato limite ultimo (SLU)	50
7.3.2	Stato limite d'esercizio (SLE-R)	52
8.	VERIFICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI 53	
8.1	VERIFICHE ALLO SLU IN FASE DI GETTO	53
8.2	VERIFICHE ALLO SLU IN FASE FINALE	55
8.2.1	Verifiche di resistenza	55
8.2.2	Verifiche di stabilità locale a taglio dei pannelli d'anima.....	59
8.2.3	Stabilità all' imbozzamento dei pannelli d'anima	61
8.2.4	Verifiche delle connessioni trave-soletta	64
8.2.5	Verifiche allo stato limite di fatica.....	65
8.3	VERIFICHE ALLO SLE IN FASE FINALE	66
8.3.1	Verifiche di deformabilità	66
8.3.1.1	Contromonta.....	67
8.3.2	Verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio.....	67
9.	VERIFICHE DEGLI ELEMENTI DI CARPENTERIA SECONDARIA 69	
9.1	VERIFICA DEI CONTROVENTI SUPERIORI.....	70
9.2	VERIFICA DEI CONTROVENTI INFERIORI	70
9.3	VERIFICA DEI CORRENTI SUPERIORI	71
9.4	VERIFICA DEI CORRENTI INFERIORI	72
9.5	VERIFICA DEI TRAVERSI INTERMEDI DIAGONALI	72
9.6	VERIFICA DEI TRAVERSI DI TESTATA.....	72
9.7	VERIFICA DEI COLLEGAMENTI BULLONATI	75
9.7.1	Controventi superiori	75
9.7.2	Controventi inferiori.....	75
9.7.3	Correnti superiori.....	76
9.7.4	Correnti inferiori	77

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 4 di 101
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

9.7.5	Traversi intermedi diagonali	78
1	VERIFICA DELLA SOLETTA	79
1.1	CARICHI APPLICATI	79
1.1.1	Pesi propri e carichi permanenti	79
1.1.2	Carichi stradali	79
1.1.3	Urto di un veicolo in svio	82
1.1.4	Combinazioni di carico	82
1.2	RISULTATI DELL'ANALISI	82
1.3	VERIFICHE STRUTTURALI	84
1.3.1	Verifiche allo SLU	84
1.3.2	Verifiche allo SLE	85
1.3.3	Verifica locale del cordolo per azioni d'urto	86
1.3.4	Verifiche delle predalle in fase di getto	88
1.3.5	Verifiche della soletta per carichi mobili disposti in prossimità dei giunti	91
10.	APPENDICE A: DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI PER SINGOLA CONDIZIONE DI CARICO	96

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 5 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

1. GENERALITA'

Nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice "Pedemontana delle Marche", 3° e 4° stralci funzionali, è prevista la realizzazione del viadotto denominato **Castelraimondo**. Il viadotto è localizzato nel tratto compreso tra la pk 0+673.50 e la pk 0+913.50.

La presente relazione, emessa nell'ambito della redazione del progetto esecutivo di dettaglio, ha per oggetto la verifica delle strutture di impalcato, mentre, per quanto concerne la verifica delle sottostrutture, si rimanda all'elaborato L0703213E12VI6200RELO2A (*Viadotto Castelraimondo - Relazione di calcolo sottostrutture*).

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il viadotto Castelraimondo è costituito da un impalcato continuo a sei luci, di cui due laterali: S1-P1 e P5-S2 con luce in asse appoggi pari a 30 m e quattro centrali: P1-P2 e P2-P3 di luce pari a 50; P3-P4 e P4-P5 di luce pari a 40 m, per un totale di 240 m.

La sezione trasversale dell'impalcato presenta una larghezza complessiva di 13.00 m con cordoli per 1.25 m per lato e pavimentazione di ampiezza pari a 10.50 m.

L'impalcato è a struttura mista in acciaio – calcestruzzo ed è costituito da due travi longitudinali principali saldate di altezza costante e pari a 2.7 m, poste a 4 m di interasse in direzione trasversale rispetto a una trave secondaria centrale di altezza costante pari a 0.5 m

Le travi sono suddivise in 27 conci (di 6 tipologie differenti) in direzione longitudinale. In particolare, nei due appoggi di estremità S1 e S2 è presente il concio 1a, nelle campate centrali da 30 e da 40 m è previsto il concio 1, mentre nelle campate da 50 m è previsto il concio 3; negli appoggi P1, P2, P3 è previsto il concio C2 mentre negli altri appoggi il concio 2a, infine tra la zona centrale della campata e gli appoggi si prevede un altro tipo di concio individuato come concio C3a. Le tipologie 1, e 3a hanno lunghezza differente a seconda della campata in cui sono inseriti. Di seguito si riporta una tabella di riepilogo dei conci utilizzati e delle rispettive lunghezze:

Tabella 1 – Caratteristiche dello spartito del ponte

Tipologia Concio	Numero concio	Posizione	Lunghezza
1a	1a	S1, S2	10.5
1	1.1	S1-P1	9
	1.2	P3-P4, P4-P5	8
	1.3	P5-S2	10
2	2	P1, P2, P3	10
2a	2a	P4, P5	8
3	3.1	P1-P2, P2-P3	12
3a	3a.1	S1-P1, P5-S2	6
	3a.2	P3-P4	7
	3a.3	P1-P2, P2-P3, P3-P4, P4-P5	8

Le caratteristiche geometriche delle 6 tipologie di conci utilizzate, realizzate in acciaio ad alta resistenza S460, sono riepilogate nella tabella a seguire.

Tabella 2 – Caratteristiche geometriche delle nervature principali

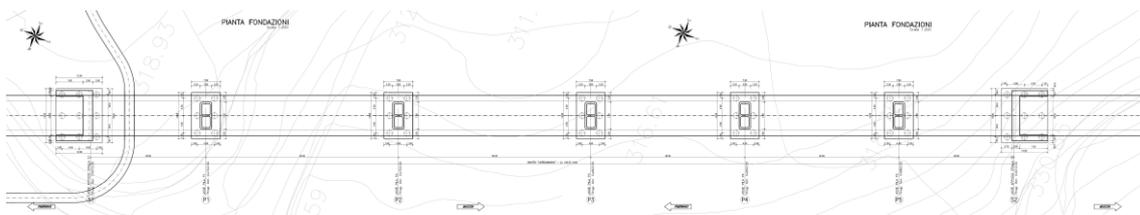
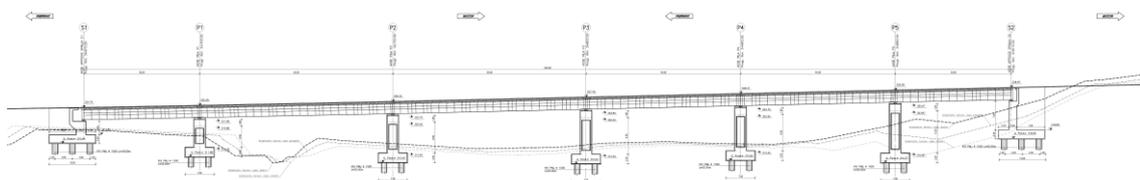
Concio	Hj	Bsup	tsup	Binf	tinf	ha	ta
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1a	2700	600	25	750	25	2650	18
1	2700	600	20	750	30	2650	16
2	2700	600	60	750	60	2580	24
2a	2700	600	40	750	40	2620	22
3	2700	600	30	750	40	2630	16
3a	2700	600	30	750	40	2630	20

La carpenteria principale è completata da:

- diaframmi di testata, costituiti da profili a doppio a T in parete piena irrigidita della stessa altezza delle travi principali;
- diaframmi intermedi, costituiti da correnti superiori e inferiori e da controventi a V, tutti realizzati tramite profili accoppiati ad L (130x12, 130x12);
- controventi inferiori, posti solo nei campi di estremità e costituiti da profili accoppiati L 150x14;
- controventi superiori di montaggio lungo lo sviluppo dell'impalcato, costituiti da profili accoppiati L 100x10.

La soletta in calcestruzzo è a schiena d'asino ed è gettata su predalles tralicciate e presenta uno sbalzo laterale di 2.5 m di luce. Il pacchetto complessivo soletta + predalles presenta un ingombro medio pari a 0.30 m alle estremità e 0.45 m al centro.

Nelle figure seguenti si riportano pianta, profilo e sezioni trasversali dell'opera in esame. Si rimanda agli elaborati grafici per maggiori dettagli.


Figura 1 – Stralcio planimetrico

Figura 2 – Profilo longitudinale

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 7 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

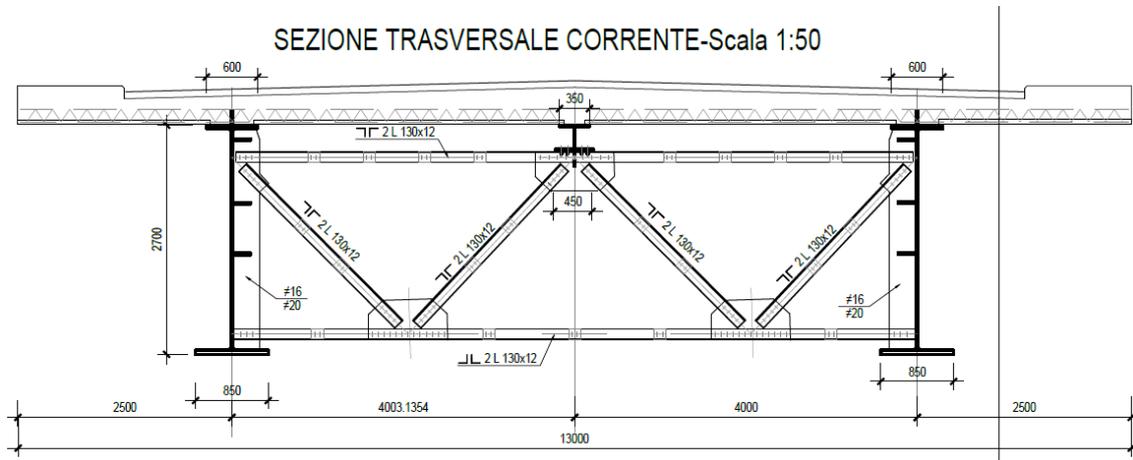


Figura 3 – Sezione trasversale

Il viadotto è dotato di un sistema di isolamento sismico dell'impalcato mediante dispositivi elasto-plastici agenti in direzione longitudinale e trasversale. Sulla spalla fissa sono disposti isolatori sia longitudinali che trasversali mentre sulla spalla mobile e sulle pile sono disposti solo isolatori trasversali.

L'opera è progettata per una vita nominale di 50 anni e ricade in classe d'uso III.

1.2 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, mm
- per i carichi ⇒ kN, kN/m², kN/m³
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ MPa

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 8 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto esecutivo si è fatto riferimento ai seguenti documenti normativi.

- D.M. 14/01/2008.

Norme tecniche per le costruzioni (NTC).

- Circolare del 02/02/2009.

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008.

- UNI EN1993 -1-1.

EUROCODICE 3, parte 1.3. Progettazione delle strutture in acciaio. Regole generali e regole per gli edifici.

- UNI EN1993 -1-5.

EUROCODICE 3, Parte 1.5. Progettazione delle strutture in acciaio. Elementi strutturali a lastra.

- UNI EN1993 -1- 8.

EUROCODICE 3, Parte 1.8. Progettazione delle strutture in acciaio. Progettazione dei collegamenti.

- UNI EN1993-1-9.

EUROCODICE 3. Parte 1.9. Progettazione delle strutture in acciaio. Fatica.

- UNI EN1993 -1-2.

EUROCODICE 3. Parte 2. Progettazione delle strutture in acciaio. Ponti di acciaio.

- UNI EN1994 -1-1.

EUROCODICE 4. Parte 1.1. Progettazione delle strutture composte acciaio– cls. Regole generali e regole per gli edifici.

- UNI EN1994 -2.

EUROCODICE 4. Parte 2. Progettazione delle strutture composte acciaio– cls. Regole generali e regole per i ponti.

- CNR-UNI 10011/97.

Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

- CNR 10030/87.

Anime irrigidite di travi a parete piena.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 9 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Nella redazione del progetto esecutivo si è fatto riferimento ai materiali specificati di seguito. Per i controlli si fa riferimento a quanto previsto dal DM 14/01/2008

3.1.1 Carpenteria in acciaio

- Travi principali: S460
- Altri elementi di carpenteria (elementi secondari, piastre, imbottiture): S355

La tensione di snervamento nelle prove meccaniche nonché il CEV nell'analisi chimica dovranno essere nei limiti delle UNI ENV 10025.

Le tolleranze dimensionali per lamiere e profilati devono rispettare i limiti prescritti dalla UNI ENV 10029, classe di tolleranza minima prescritta: classe A

- Pioli di ancoraggio

Secondo UNI EN ISO 13918 e DM 14/01/2008

Pioli tipo NELSON $\phi = 19$ mm

H=0.6 x Hsoletta (se non diversamente indicato)

Acciaio ex ST 37 – 3K (S235J2G3+C450)

$f_y > 350$ MPa

$f_u > 450$ MPa

Allungamento $> 15\%$

Strizione $> 50\%$

- Bulloni

Secondo D.M. 14/01/2008 – UNI EN 14399-1

Giunzioni ad attrito per travi principali e carpenteria secondaria con serraggio controllato.

Viti 8.8 – 10.9

Dadi 8 – 10

- Saldature

Secondo DM 14/01/2008. Saldature su piatto di sostegno ceramico. Giunti travi principali piena penetrazione 1° classe con preparazione secondo dettaglio 14 del DM 14/01/2008. Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura. I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi.

Riferimenti normativi specifici per la carpenteria metallica

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 10 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Bulloni conformi per caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016 2002 e UNI 5592 1968.

Viti: secondo UNI EN ISO 898-1 2001

Dadi: secondo UNI EN 20898-2 1994

Rosette e piastrine: riferimento UNI EN 14399 2005, parti 5 e 6.

Rosette in acciaio C50 temperato e rinvenuto HRC32-40, secondo UNI EN 10083-2 2006

Piastrine in acciaio C50 temperato e rinvenuto HRC32-40, secondo UNI EN 10083-2 2006

Coppie di serraggio secondo D.M. 14/01/2008

3.1.2 Soletta in c.a.

Classe del calcestruzzo C35/45, secondo D.M. 14/01/2008.

Acciaio per armatura B450C controllato in stabilimento saldabile con proprietà meccaniche secondo UNI EN ISO 15630-1: 2004.

3.2 RESISTENZE DI PROGETTO

3.2.1 Carpenteria metallica

Acciaio da carpenteria Analisi elastica S.L.U. (Rif. p.to 4.2.3. e tab. 4.2.V del D.M. 14.01.2008)

$$\gamma_m = 1.05$$

Acciaio S355

$$f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2 \quad \text{per spessori } \leq 40 \text{ mm.}$$

$$f_{yd} = 319 \text{ N/mm}^2 \quad \text{per spessori } 40 \text{ mm. } \leq s \leq 80 \text{ mm.}$$

Acciaio S460

$$f_{yd} = 438 \text{ N/mm}^2 \quad \text{per spessori } \leq 40 \text{ mm.}$$

$$f_{yd} = 409 \text{ N/mm}^2 \quad \text{per spessori } 40 \text{ mm. } \leq s \leq 80 \text{ mm.}$$

Bulloni (rif p.to 4.2.8.1.1 e 11.3.4.6. del D.M. 14.01.2008)

Giunzioni ad attrito sabbiato

$$\mu = 0.45 \quad \text{coefficiente d'attrito (sabbiatura)}$$

$$\gamma_{M3} = 1.25 \quad \text{coefficiente di sicurezza}$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 11 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

3.2.2 Soletta in c.a.

3.2.2.1 Calcestruzzo C35/45

- | | |
|--|--|
| • $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$ | resistenza caratteristica cubica a 28 giorni |
| • $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ | resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni |
| • $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43 \text{ MPa}$ | resistenza cilindrica valore medio |
| • $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.21 \text{ MPa}$ | resistenza media a trazione semplice (assiale) |
| • $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.25 \text{ MPa}$ | resistenza caratteristica a trazione |
| • $E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 34077 \text{ MPa}$ | modulo elastico |
| • $\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3$ | peso per unità di volume |

Resistenze di progetto allo SLU

- | | |
|---|---------------------------------------|
| • $f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 19.8 \text{ MPa}; \gamma_c = 1.50$ | resistenza di progetto a compressione |
| • $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.50 \text{ MPa}$ | resistenza di progetto a trazione |

Resistenze di progetto allo SLE

- | | |
|---|--|
| • $\sigma_{c,r} = 0.60 \cdot f_{ck} = 21.0 \text{ MPa}$
(rara) | tensione limite in combinazione caratteristica |
| • $\sigma_{c,f} = 0.45 \cdot f_{ck} = 15.8 \text{ MPa}$
permanente | tensione limite in combinazione quasi |
| • $\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.68 \text{ MPa}$ | tensione limite di fessurazione (trazione) |

3.2.2.2 Armatura B450C

- | | |
|------------------------------|--|
| • $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$ | resistenza caratteristica di snervamento |
| • $f_{tk} = 540 \text{ MPa}$ | resistenza caratteristica a rottura |
| • $E_s = 210000 \text{ MPa}$ | modulo elastico |

Resistenza di progetto allo SLU

- | | |
|---|---------------------------------------|
| • $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391 \text{ MPa}; \gamma_s = 1.15$ | resistenza di progetto a compressione |
|---|---------------------------------------|

Resistenza di progetto allo SLE

- | | |
|--|--|
| • $\sigma_{s,r} = 0.80 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$
(rara) | tensione limite in combinazione caratteristica |
|--|--|

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 12 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

4. ANALISI DEI CARICHI

4.1 PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1)

I pesi propri strutturali sono stati valutati considerando un peso specifico dell'acciaio pari 78.5 kN/mc e un peso specifico del calcestruzzo pari a 25 kN/mc.

Peso proprio della carpenteria in acciaio (G1.1), calcolato in automatico dal software di calcolo. Il peso degli elementi di carpenteria principale, viene incrementato del 5% per tener conto del peso dei vari elementi secondari (piatti di irrigidimento trasversali e longitudinali, bullonature etc.):

- $G1.1 = 24.7 \text{ kN/m}$ (1.90 kN/m^2)

È stata pertanto valutata un'incidenza della carpenteria metallica pari a 190 kg per m^2 di impalcato.

Peso della soletta (G1.2), considerando uno spessore variabile linearmente da 30 cm alle estremità e 45 cm al centro, per una larghezza complessiva di piattaforma pari a 13.00m

Peso dei cordoli (G1.3), considerando uno spessore di 45 cm, per una larghezza complessiva dei cordoli di 2.5 m

- $G1.2+G1.3 = 130.12 \text{ kN/m}$

4.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)

Pavimentazione (G2.1)

La pavimentazione adottata ha un spessore di 8 cm. Cautelativamente nell'analisi dei carichi è stato considerato un peso di 2 kN/m^2

- $G2.1 = 10.50 \times 2 \text{ kN/m}^2 = 21.00 \text{ kN/m}$;

Guard Rail (G2.2)

- $G2.2 = 2 \times 1.25 \text{ kN/m} = 2.50 \text{ kN/m}$;

Velette (G2.3)

- $G2.3 = 2 \times 1.0 \text{ kN/m} = 2.00 \text{ kN/m}$;

Corrimano (G2.4)

- $G2.4 = 2 \times 0.5 \text{ kN/m} = 1.00 \text{ kN/m}$;

Impianti (G2.5)

- $G2.5 = 2 \times 1.0 \text{ kN/m} = 2.00 \text{ kN/m}$.

Totale

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 13 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

- G2 39.00 kN/m

4.3 RITIRO DEL CALCESTRUZZO (E2.1)

Il calcolo delle deformazioni da ritiro nella soletta è stato eseguito secondo quanto specificato nel Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008. Si riporta la valutazione della deformazione da ritiro secondo le indicazioni previste dalle norme. La deformazione totale da ritiro è data dalla somma della deformazione per ritiro da essiccamento e della deformazione da ritiro autogeno.

Tabella 3 – Deformazione da ritiro

Valutazione della deformazione da ritiro a 10000 gg.		
$A_c =$	3.9	mq
$u =$ perimetro di calcestruzzo esposto all'aria =	13.6	m
$k = 2 A_c/u =$	0.57	m
$U =$ umidità relativa =	70.0	%
$R_{ck} =$	45	Mpa
$\phi_{r,10000gg} =$	-2.90E-04	(EN 1992-1, Classe S, $t_0 = 10$ gg.)

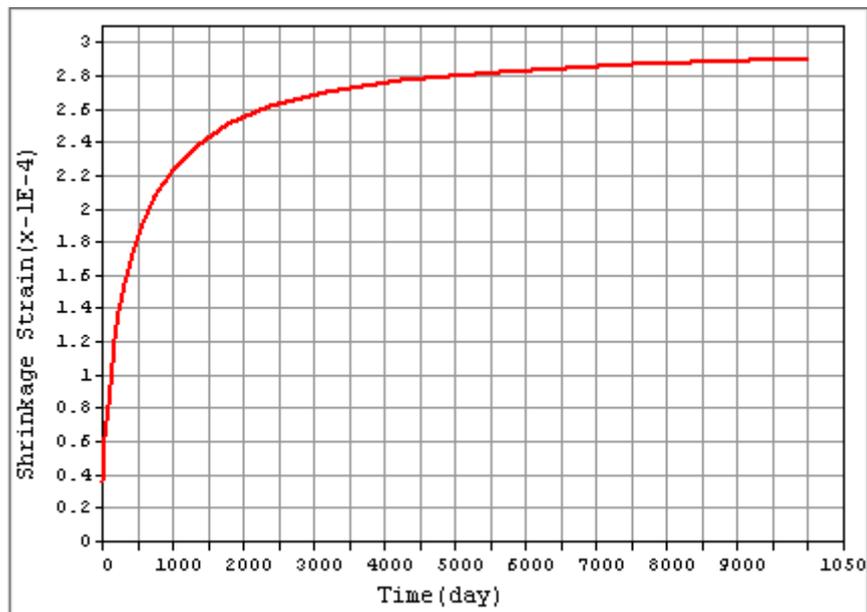


Figura 4 - Andamento della deformazione da ritiro nel tempo

La valutazione riportata indica che a 10.000 gg, la deformazione da ritiro raggiunge il valore 0.29‰. Gli effetti del ritiro impedito, che si sviluppano nel tempo, si traducono in una forza di trazione nella soletta e in una forza assiale di compressione e di momento flettente agenti sulla sezione mista omogenizzata trave + soletta.

4.4 VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO (E2.2)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	VI5400	REL	01	B	14 di 101

Di seguito si riporta il calcolo del coefficiente di viscosità per il calcestruzzo della soletta secondo quanto specificato nel Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

Tabella 4 – Coefficienti di Viscosità

Valutazione dei Coefficienti di Viscosità a 10000 gg.		
$A_c =$	3.9	mq
$u =$ perimetro di calcestruzzo esposto all'aria =	13.6	m
$k = 2 A_c/u =$	0.57	m
$U =$ umidità relativa =	70.0	%
$R_{ck} =$	45	Mpa
$\varphi(t_{oo}, t_0) =$	2.34	(EN 1992-1, Classe S, $t_0 = 3$ gg.)
$\varphi(t_{oo}, t_0) =$	1.52	(EN 1992-1, Classe S, $t_0 = 30$ gg.)

Il coefficiente di viscosità viene modellato come una funzione che si evolve nel tempo t e il cui valore dipende dall'età del cls, in giorni, t_0 , al momento dell'applicazione del carico. Nella tabella precedente sono stati valutati i coefficienti di viscosità per $t = 10000$ gg e per t_0 pari rispettivamente a 3 gg. (età del cls al momento dell'attivazione delle azioni da ritiro) e a 30 gg. (età presunta del cls al momento di applicazione dei carichi permanenti portati).

L'evolversi nel tempo del coefficiente di viscosità è diagrammato nelle figure seguenti.

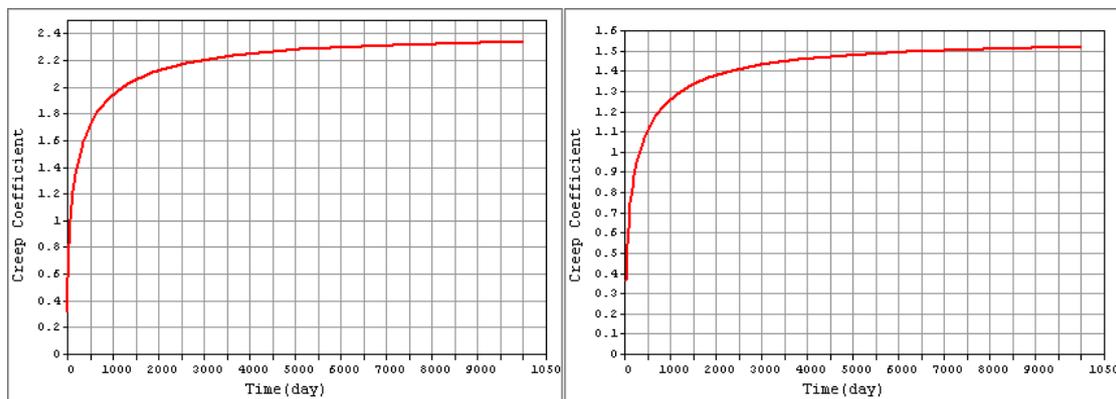


Figura 5 – Andamento del coefficiente di viscosità nel tempo per $t_0 = 3$ gg. e per $t_0 = 30$ gg.

4.5 VARIAZIONE TERMICA (E3)

L'azione della variazione termica è valutata, in termini di temperatura massima estiva e minima invernale dell'aria nel sito della costruzione, con periodo di ritorno di 50 anni, attraverso le indicazioni generali fornite dal DM 2008 (punto 3.5.1) e quelle specifiche contenute nella UNI EN 1991-1-5.

In dettaglio, è stata valutata una variazione termica uniforme pari a $\pm 25^\circ\text{C}$ lungo tutto lo sviluppo dell'opera. Tale valore è stato definito come di seguito illustrato.

In prima analisi, sono state determinate la minima e la massima temperatura dell'aria all'ombra. Queste grandezze, funzione della posizione geografica, sono ricavate dalle mappe nazionali delle

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	15 di 101

linee isotermiche, presenti nell'Appendice Nazionale, 2007 della UNI EN 1991-1-1 e di seguito riportate:

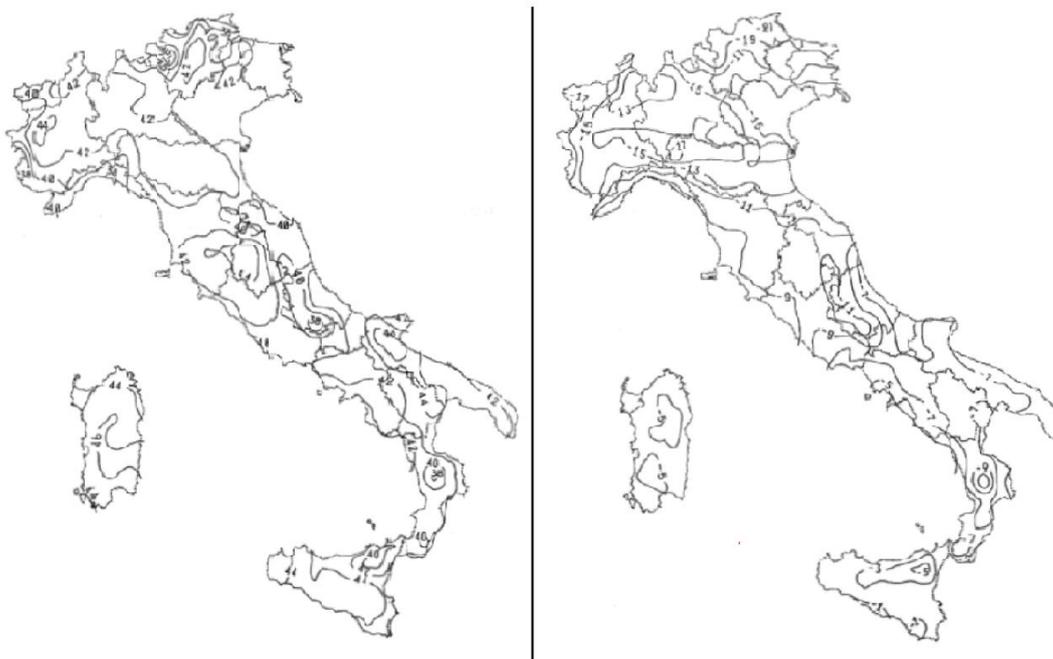


Figura 6: Mappe nazionali delle linee isotermiche; T_{max} a sinistra e T_{min} a destra (Appendici nazionali, 2007)

Per il sito in cui sorge il viadotto in esame i valori forniti dalle isoterme sono:

$$T_{max} = 40^{\circ}$$

$$T_{min} = -11^{\circ}$$

Questi valori hanno un periodo di ritorno pari a 50 anni (probabilità annuale di essere superati pari a 0,02); inoltre si riferiscono al livello medio dei mari. Per ottenere dei valori propri per la zona in cui sorge il viadotto in esame, occorre modificarli come proposto dalla normativa:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V/5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 16 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

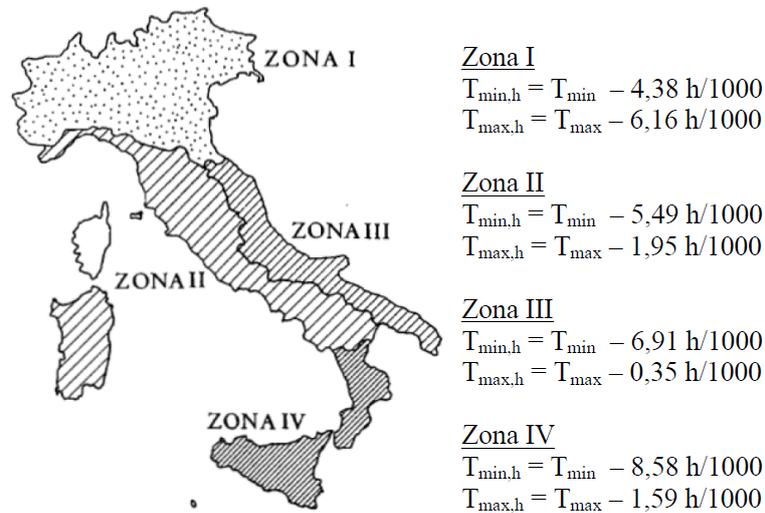


Figura 7: Zone climatiche italiane (Appendice A, UNI EN 1991-1-5)

Poiché il viadotto in esame ricade nella zona climatica 2, i valori massimi e minimi dell'aria all'ombra sono i seguenti:

$$T_{\min, h} = -13 \text{ °C}$$

$$T_{\max, h} = +39 \text{ °C}$$

a cui corrispondono, per ponti di gruppo 2 (tipologia impalcato a struttura composta), i seguenti valori riferiti alla struttura:

$$T_{e, \min} = -10 \text{ °C}$$

$$T_{e, \max} = +40 \text{ °C}$$

Tali valori sono estrapolati dal grafico riportato di seguito e contenuto nell' Eurocodice EN 1991-1-5.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 17 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

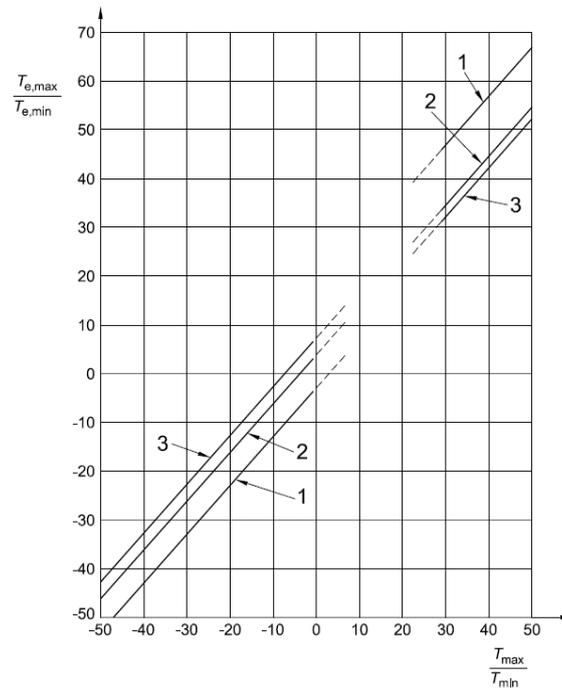


Figura 8: **Correlazione tra temperatura dell'aria all'ombra minima/massima (T_{\min}/T_{\max}) e componente di temperatura uniforme del ponte minima/massima ($T_{e,\min}/T_{e,\max}$)**

Come temperatura di riferimento (T_0), cioè temperatura dell'istante in cui la struttura è stata vincolata, la normativa propone:

$$T_0 = 15^\circ$$

In definitiva quindi si ottiene l'escursione termica uniforme:

$$\Delta T_N \text{ comp} = -25^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_N \text{ exp} = +25^\circ \text{C}$$

Oltre la variazione termica uniforme, è stata considerata anche una differenza di temperatura di 5°C con andamento a farfalla tra la soletta in calcestruzzo e la trave in acciaio.

Infine, nel caso di ponti a struttura mista acciaio-calcestruzzo, è da considerarsi una differenza di temperatura di 5°C tra la soletta in calcestruzzo e la trave in acciaio.

4.6 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1)

Coerentemente con quanto indicato al punto 5.1.3.3.3 del DM 17/01/18 per l'analisi globale del ponte si fa riferimento allo Schema di Carico 1.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 18 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

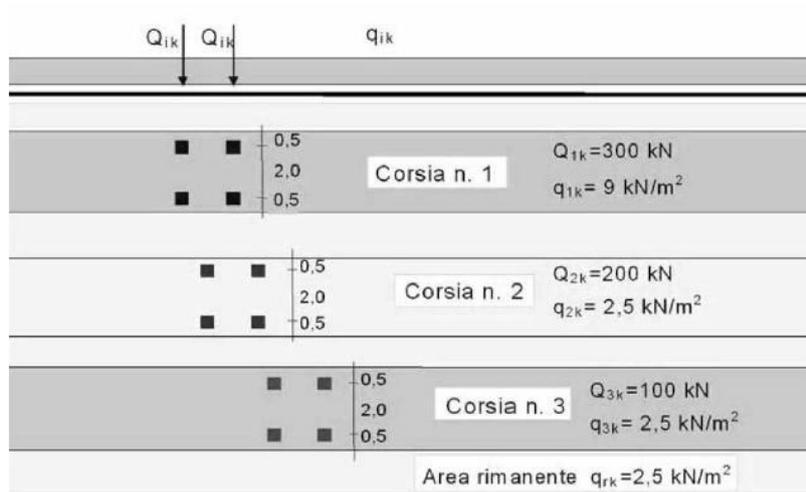


Figura 9 – Schema di carico 1

Nel caso in oggetto si impiegano quattro corsie di carico costituite da:

- una colonna di carichi (ingombro = 3 m) costituita da un automezzo convenzionale Q_{1k} di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse ruote in senso trasversale di 2.00 m; un carico ripartito q_{1k} di 9 kN/m² uniformemente distribuito;
- una seconda colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN di Q_{1k} e 2.5 kN/m² di q_{1k} e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- una terza colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN di Q_{1k} e 2.5 kN/m² di q_{1k} e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- una colonna di carico (ingombro = 5.0 m) $q_{rk} = 2.5$ kN/m² nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti (area rimanente).

Sul marciapiede, il carico $q_{fk} = 5$ kN/m² da considerare al 50 % nelle combinazioni in cui sono presenti i carichi stradali.

Per l'analisi trasversale della soletta è stato inoltre considerato lo schema di carico 2, costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m. La diffusione locale del carico e l'applicazione di quest'ultimo sul modello di calcolo viene trattata nel paragrafo relativo all'analisi della soletta.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 19 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

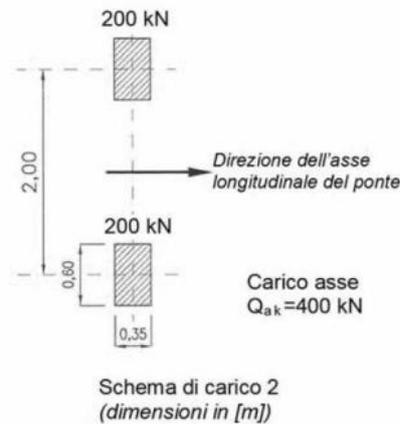


Figura 10 – Schema di carico 2

4.6.1 Azioni da traffico per verifiche a fatica

Si utilizza il modello di carico di fatica 1, costituito:

- dallo schema di carico 1 con valore dei carichi concentrati ridotti del 30% e con valore dei carichi distribuiti ridotti del 70%;
- dallo schema di carico 2 con valore del carico ridotto del 30%.

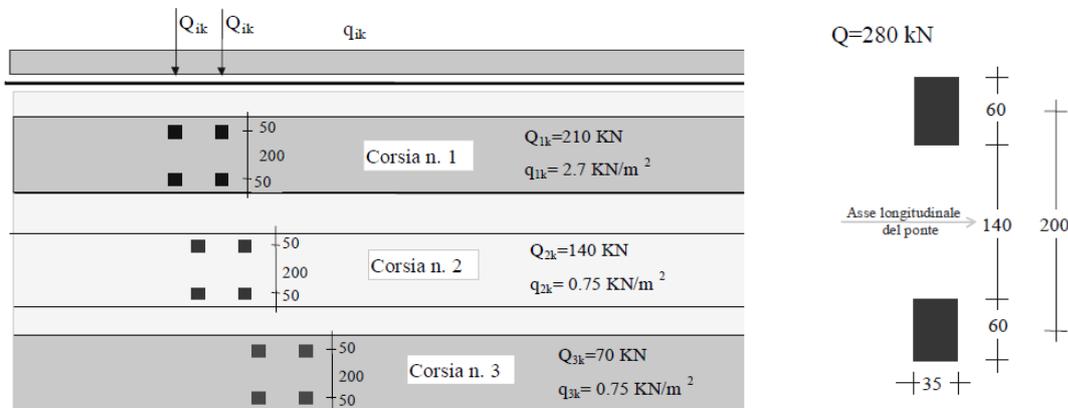


Figura 11 – Modello di carico a fatica: schemi di carico 1 e 2

4.7 AZIONE DI FRENAMENTO ED AVVIAMENTO (Q3)

Secondo il D.M. 14/01/2008 l'azione longitudinale di frenamento è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1, ed è uguale a:

$$180kN \leq q_3 = 0.6(2 \cdot Q_{1k}) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900kN$$

Nel caso in oggetto risulta:

$$Q_3 = 900 kN = 3.8 kN/m.$$

L'azione di frenatura è applicata convenzionalmente a quota pavimentazione.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 20 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

4.8 AZIONE DEL VENTO (Q5)

4.8.1 Calcolo della pressione del vento

Si valuta la pressione del vento in accordo con il paragrafo 3.3 del DM. 14/01/2008. La pressione del vento è data dall'espressione:

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

dove:

- q_b = è la pressione cinetica di riferimento;
- c_e = è il coefficiente di esposizione;
- c_p = è il coefficiente di forma o aerodinamico;
- c_d = è il coefficiente dinamico.

con:

$$q_b = \rho \cdot (v_b)^2 / 2 = 456 \text{ N/m}^2;$$

dove v_b è stato desunto dalla tabella 3.3.I, zona 3 (Marche, Umbria) e ρ è la densità dell'aria, assunta pari a 1.25 kg/m^3 .

Considerando una classe di rugosità D (tabella 3.3.III), l'altezza del sito sul livello del mare, dalla figura 3.3.2 si evince che la struttura si trova in categoria II e dunque, in accordo con la tabella 3.3.II si assumono i seguenti parametri:

- $k_r = 0.19$;
- $z_0 = 0.05 \text{ m}$;
- $z_{\min} = 4 \text{ m}$.

quindi ipotizzando che l'opera abbia altezza $z \approx 10 \text{ m}$ dal suolo risulta

$$c_e(z) = k^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] = 2.67.$$

Secondo le indicazioni della Circolare del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008", si determina il coefficiente aerodinamico per l'impalcato in esame:

- $c_p = 1.3$, essendo per travi ad anima piena $\phi = 1$

Si considera un coefficiente dinamico (c_d) cautelativamente pari a 1 (par. 3.3.8 D.M. 14/01/2008). Procedendo al calcolo della pressione si ottiene:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 456 \text{ N/m}^2 \times 2.36 \times 1.4 \times 1 = 1.58 \text{ kN/m}^2$$

Nel caso di più travi multiple (C3.3.10.4.2), disposte parallelamente a distanza d non maggiore del doppio dell'altezza h ($d/h \leq 2$), il valore della pressione sull'elemento successivo sarà pari a quello sull'elemento precedente moltiplicato per un coefficiente di riduzione dato da:

- $\mu = 1 - 1.2\phi$ per $\phi \leq 2/3$;
- $\mu = 0.2$ per $\phi > 2/3$.

Per $d/h \geq 5$ gli elementi vengono considerati come isolati ($\mu = 1$).

Per $2 < d/h < 5$ si procede all'interpolazione lineare tra μ e 1.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 21 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Nel caso in esame, $\phi = 1$ e $d/h = 8/2.7 \approx 3$. Procedendo per interpolazione lineare tra 0.2 e 1, si ottiene il valore di $\mu = 0.5$. Quindi sulla seconda trave viene applicato un carico da vento pari al 50% di quello applicato sulla prima trave.

4.8.2 Vento a ponte carico

Cautelativamente si considera su tutto il ponte la sagoma dei veicoli per un'altezza pari a 3.0 al di sopra della livelletta. I valori dell'azione del vento per le due travi sono pari a:

- $q_w = (2.70 + 0.45 + 3.00) \times 1.58 \text{ kN/m} = 9.7 \text{ kN/m}$;
- $q_{w,2} = 0.5 q_{w,1} = 4.85 \text{ kN/m}$

4.8.3 Vento a ponte scarico

In tal caso l'azione del vento viene considerata agente su un'altezza pari a quella dell'impalcato (travi e soletta). I valori dell'azione del vento per le due travi sono pari a:

- $q_{w,1} = (2.70 + 0.45) \times 1.58 \text{ kN/m} = 5 \text{ kN/m}$;
- $q_{w,2} = 0.5 q_{w,1} = 2.5 \text{ kN/m}$
-

4.8.4 Vento in fase di montaggio

In questa fase l'altezza complessiva della struttura è pari all'altezza delle nervature in acciaio e quindi $h = 2.70 \text{ m}$.

- $q_{wm,1} = 2.7 \times 1.58 \text{ kN/m} = 4.3 \text{ kN/m}$
- $q_{wm,2} = 0.5 q_{wm,1} = 2.15 \text{ kN/m}$

4.9 AZIONI SISMICHE (Q6)

Il viadotto in oggetto è progettato per una vita nominale V_N pari a 50 anni. Gli si attribuisce inoltre una classe d'uso III ("Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.") ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

L'azione sismica di progetto è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste, descritta in termini geografici e temporali:

- attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco a_g (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$;
- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera;
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} .

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- a_g , accelerazione orizzontale massima del terreno

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 22 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

- 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 suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- Vita nominale V_N = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso C_u = 1.5;
- Periodo di riferimento V_R = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$ = 712 anni;
- Comune = Camerino;
- $a_{g,SLV}$ = **0.220 g**;
- $F_{0,SLV}$ = **2.544**;
- $T_{c,SLV}^*$ = **0.333 sec.**

Tabella 5 - Accelerazione (a_g), fattore (F_0) e periodo (T_c^*) per comune di riferimento: Matelica

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
75	SLO	81%	45	0.078	2.44	0.285
	SLD	63%	75	0.097	2.433	0.295
	SLV	10%	712	0.220	2.544	0.333
	SLC	5%	1462	0.277	2.584	0.343

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è infine costruito a partire dai parametri seguenti.

- Categoria di suolo = C;
- Categoria topografica = T1;
- S_s , fattore stratigrafico = 1.364;
- S_T , fattore topografico = 1.00;
- C_c , fattore correttivo del periodo T_c^* = 1.510.

Si riportano nell'immagine seguente, a titolo di riferimento, gli *spettri elastici allo SLV* in accelerazione in direzione orizzontale e verticale.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.diPag. 23 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

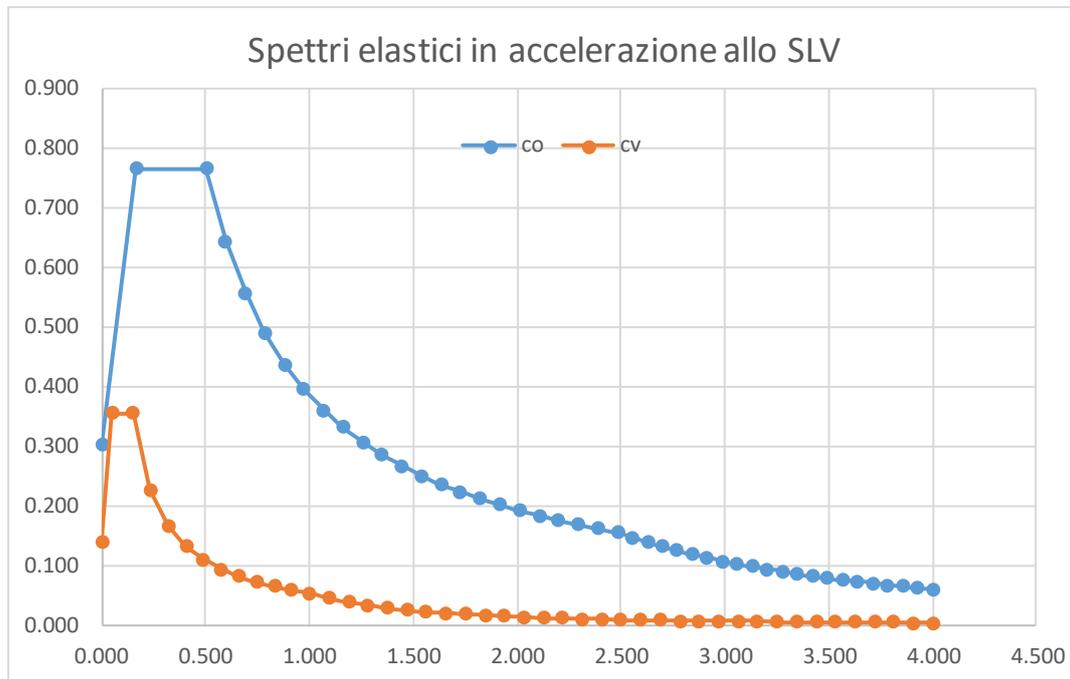


Figura 12 – SLV: Spettri elastici in accelerazione ($q = 1$)

4.10 URTO DI VEICOLO IN SVIO (Q8)

I sicurvia e gli elementi strutturali ai quali sono collegati devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta per l'impiego specifico (vedi D.M. 21-06-04 n.2367). Se non diversamente indicato, la forza deve essere considerata distribuita su 0.50 m ed applicata ad una quota h , misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h_1 , h_2 , dove $h_1 =$ (altezza della barriera - 0.10m), $h_2 = 1.00m$.

Ai sensi del DM 14/01/2008 nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una condizione di carico eccezionale nella quale alla forza orizzontale d'urto su sicurvia si associa un carico verticale isolato costituito dallo schema di carico II, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.

Tale condizione non è però dimensionante per la statica globale dell'impalcato e sarà considerata per la verifica locale del cordolo della soletta in calcestruzzo.

5. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico considerate sono stabilite in conformità a quanto prescritto al Cap. 2 del D.M.14/01/2008.

5.1 GRUPPI DI CARICO

Nella tabella seguente, in accordo a quanto specificato in tabella 5.1.3.12 del D.M.14/01/2008., sono esplicitati i gruppi di carico considerati per i carichi accidentali da traffico.

Tabella 6 – Valori caratteristici delle azioni da traffico

Gruppo di azioni	<i>Carichi sulla carreggiata</i>					<i>Carichi su marciapiedi e piste ciclabili</i>
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura q_3	Forza centrifuga q_4	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione $2,5 \text{ kN/m}^2$
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$			Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti di 3^a categoria
 (**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
 (***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Coerentemente nel seguito si fa riferimento ai gruppi di azioni da traffico 1, 2a e 2b.

5.2 COEFFICIENTI PARZIALI E DI COMBINAZIONE

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 25 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

Si utilizzano i coefficienti parziali di sicurezza e i coefficienti di combinazione di seguito riportati.

Tabella 7 – Coefficienti parziali di sicurezza agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	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⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 8 – Coefficienti di combinazione

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Vento q_5	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

5.3 COMBINAZIONI AGLI SLU

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 26 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Di seguito si esplicitano i coefficienti utilizzati per le singole combinazioni di carico rilevanti per le verifiche strutturali dell'impalcato agli SLU.

L'espressione per le combinazioni di verifica strutturali (A1 - STR) è:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Mentre quella per le combinazioni sotto SISMA o ECCEZIONALI è:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Tabella 9 - Coefficienti nelle combinazioni di carico agli SLU

Combinazione		G1	G2	E1	E2	E3	Gr.1	Gr.2a	Gr.2b	Q5	Q6	q9
A1 STR	Gr.1	1.35	1.35	0	1.2	0.72	1.35	0	0	0.9	0	0
	Gr.2a	1.35	1.35	0	1.2	0.72	0	1.35	0	0.9	0	0
	Gr.2b	1.35	1.35	0	1.2	0.72	0	0	1.35	0.9	0	0
	Q5	1.35	1.35	0	1.2	0.72	1.35ψ ₀ ^(*)	0	0	1.5	0	0
SISMA	SLV Z	1	1	0	1	0.5	0	0	0	0	1	0
ECCEZIONALE	-	1	1	0	1	0.5	0	0	0	0	0	1

(*) per schema di carico 1, ψ₀ = 0.75 per i carichi tandem e ψ₀ = 0.40 per i carichi distribuiti

5.4 COMBINAZIONI AGLI SLE

Di seguito si esplicitano i coefficienti utilizzati per le singole combinazioni di carico rilevanti per le verifiche dell'impalcato agli SLE.

L'espressione per le combinazioni di verifica RARE è:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

L'espressione per le combinazioni di verifica FREQUENTI è:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

L'espressione per le combinazioni di verifica QUASI PERMANENTI è:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Tabella 10 - Combinazioni agli SLE

Combinazione		G1	G2	E1	E2	E3	Gr.1	Gr.2a	Gr.2b	Q5
RARA	Gr.1	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0.6
	Gr.2a	1	1	0	1	0.6	0	1	0	0.6
	Gr.2b	1	1	0	1	0.6	0	0	1	0.6
	Q5	1	1	1	1	0.6	ψ ₀	0	0	1
FREQUENTE	Gr.1	1	1	0	1	0.5	ψ ₁	1	0	0
	Q5	1	1	0	1	0.5	0	0	0	0.2
QUASI PERMANENTE	-	1	1	0	1	0.5	0	0	0	0

(*) per schema di carico 1, ψ₀ = ψ₁ = 0.75 per i carichi tandem e ψ₀ = ψ₁ = 0.40 per i carichi distribuiti

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 27 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

6. MODELLI DI CALCOLO E METODO DI ANALISI

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del *MIDAS/CIVIL 2020*. Il software è stato impiegato per la modellazione dell'intera opera, finalizzata all'analisi strutturale. Dal modello sono state dedotte, per le combinazioni di calcolo statiche e sismiche descritte in precedenza, le sollecitazioni complessive agenti sull'impalcato al fine di procedere con le verifiche di sicurezza previste dalle normative di riferimento. Dallo stesso modello sono state poi ricavate le sollecitazioni agenti sulle sottostrutture necessarie ai fini delle verifiche geotecniche del sistema terreno-fondazione e delle verifiche strutturali, entrambe riportate nella specifica relazione di calcolo e pertanto non contenute nel presente documento.

6.1 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Nell'ambito del presente paragrafo si riporta una descrizione delle caratteristiche dei software utilizzati per l'effettuazione delle analisi e verifiche strutturali esposte ai precedenti paragrafi.

Nello specifico, l'analisi del comportamento globale delle strutture d'impalcato è stato effettuato con l'ausilio del software **MIDAS/CIVIL 2020**, distribuito in Italia dalla **CSPFea** (Padova), di cui si possiede regolare licenza, identificata nello specifico da Key Serial Number n° 34219EF86526F342 intestata a PROGIN SPA – CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI.

Per l'esecuzione di verifiche di sezioni in cemento armato si è invece utilizzato il software **PresFle+**, prodotto e distribuito dalla **Concrete srl** (Padova), di cui si possiede regolare licenza, identificata nello specifico da chiave USB n° **4552054**, intestata a PROGIN SPA - CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI.

Infine si è ricorso a fogli di calcolo elettronici auto-prodotti, per l'automatizzazione di ulteriori verifiche effettuate quali elementi in acciaio e/o elementi strutturali secondari.

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software impiegati ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. Le stesse società produttrici hanno verificato l'affidabilità e la robustezza dei codici di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati sono contenuti in apposita documentazione fornita a corredo dell'acquisto del prodotto, che per brevità espositiva si omette di allegare al presente documento.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni esposte nel documento sono state inoltre sottoposte a controlli dal sottoscritto utente del software.

Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali, che per brevità espositiva si omette dall'allegare al presente documento.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 28 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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 sopra, Il Progettista dichiara pertanto che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, validando conseguentemente i risultati dei calcoli esposti nella presente relazione.

6.2 MODELLO DI CALCOLO STATICO E SISMICO

Il viadotto è stato modellato con elementi monodimensionali rappresentativi rispettivamente:

- delle travi longitudinali a sezione composta;
- dei controventi di piano inferiori di estremità;
- dei controventi superiori in fase di varo;
- dei traversi reticolari intermedi;
- dei traversi di testata in parete piena

Elementi di trave simulanti la soletta sono stati disposti in direzione trasversale per modellare correttamente la ripartizione trasversale dei carichi accidentali.

Il riferimento di assi globali è orientato come segue:

- X = asse longitudinale impalcato;
- Y = asse trasversale impalcato;
- Z = asse verticale impalcato.

Gli assi locali degli elementi di carpenteria principale sono orientati in maniera analoga al riferimento globale. Nelle figure seguenti sono rappresentate alcune viste del modello utilizzato.

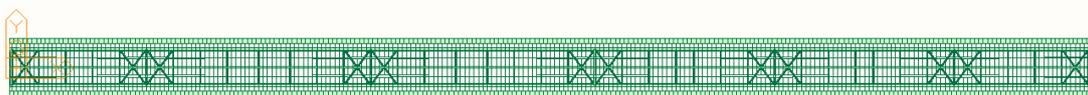
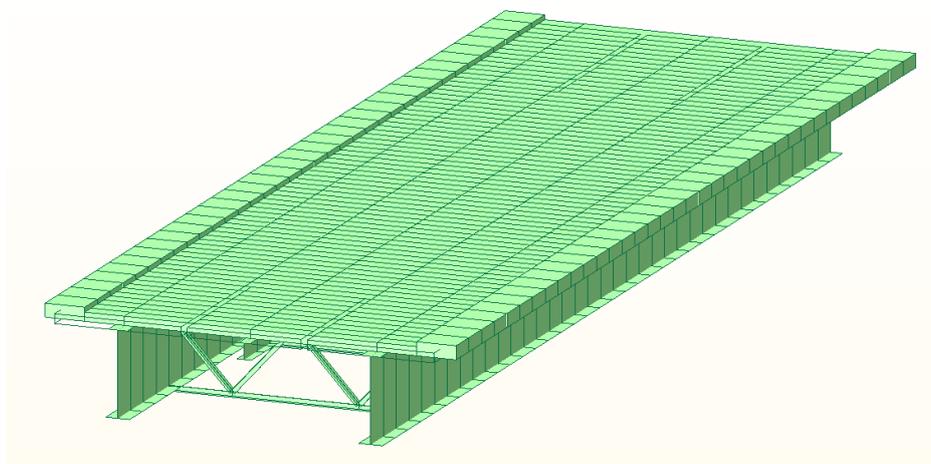


Figura 13 - Modello FEM vista in pianta



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 29 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Figura 14 – Stralcio del modello FEM vista estrusa

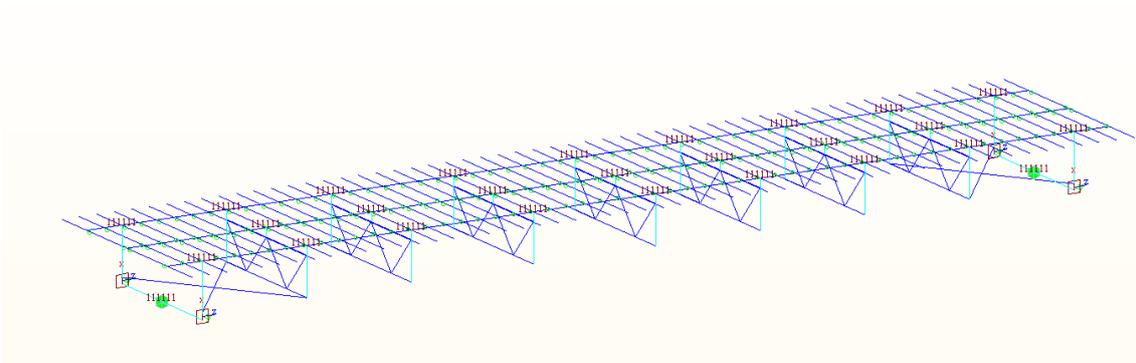


Figura 15 – Stralcio del modello FEM vista wireframe

Nel modello sono utilizzate le seguenti condizioni di vincolo:

- bracci rigidi tra l'estradosso (asse) delle travi e l'intradosso;
- rilascio dei momenti trasversali di estremità negli elementi di soletta;
- elastik link in corrispondenza degli isolatori elastoplastici

In corrispondenza delle spalle sono state utilizzate molle elastiche a cui sono state attribuite le rigidità corrispondenti agli isolatori sismici; le pile invece sono state simulate come appoggi fissi connessi tramite bracci rigidi agli elastic link rappresentativi degli isolatori elastoplastici.

6.3 DETERMINAZIONE DELLA LARGHEZZA EFFICACE DI SOLETTA

La distribuzione delle tensioni normali nelle sezioni composte viene determinata utilizzando nel modello di calcolo la larghezza efficace come descritto in §4.3.2.3 del D. Min. 14/01/2008.

La larghezza di soletta collaborante, necessaria per la determinazione delle caratteristiche geometriche delle sezioni in fase 2 è stata quindi determinata con riferimento alla figura seguente, come $b_{eff} = b_0 + b_{ei} + b_{e2}$.

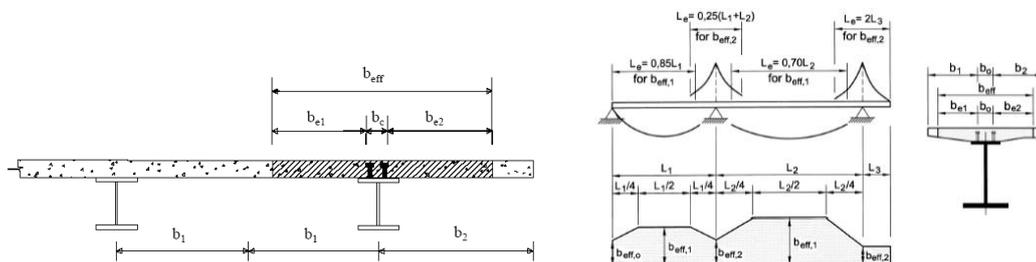


Figura 16 - Larghezza di soletta collaborante

Dove $b_{ei} = \min (L_e/8, b_i - b_0/2)$ con L_e luce equivalente da valutarsi, per travi continue, secondo lo schema riportato in figura.

Per gli appoggi di estremità l'espressione della larghezza efficace è stata corretta come $b_{eff} = b_0 + \beta_1 b_{ei} + \beta_2 b_{e2}$ con $\beta_i = (0.55 + 0.025 L_e/b_{ei}) \leq 1$. In definitiva si ottiene:

Tabella 11 - Calcolo della Larghezza Efficace di Soletta

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 30 di 101
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

Travi campate di riva		
L=30m		
	Interne	Esterne
L ₁ [m]	30	30
L ₂ [m]	-	-
L _e [m]	25.50	25.50
b ₀ [m]	0.3	0.3
b ₁ [m]	2	2
b ₂ [m]	2	2.5
b _{e1} [m]	1.85	1.85
b _{e2} [m]	1.85	2.35
β ₁ -	0.89	0.89
β ₂ -	0.89	0.82
b _{eff} [m]	3.61	3.89

Travi campata centrale - Appoggio		
L=30m - L=50m		
	Interne	Esterne
L ₁ [m]	30	30
L ₂ [m]	50	50
L _e [m]	20.00	20.00
b ₀ [m]	0.3	0.3
b ₁ [m]	2	2
b ₂ [m]	2	2.5
b _{e1} [m]	1.85	1.85
b _{e2} [m]	1.85	2.35
β ₁ -	1.00	1.00
β ₂ -	1.00	1.00
b _{eff} [m]	4.00	4.50

Travi campata centrale - Appoggio		
L=50m - L=50m		
	Interne	Esterne
L ₁ [m]	50	50
L ₂ [m]	50	50
L _e [m]	25.00	25.00
b ₀ [m]	0.3	0.3
b ₁ [m]	2	2
b ₂ [m]	2	2.5
b _{e1} [m]	1.85	1.85

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 31 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

b_{e2} [m]	1.85	2.35
β_1	-	1.00
β_2	-	1.00
b_{eff} [m]	4.00	4.50

Travi campata centrale - Appoggio		
L=50m - L=40m		
	Interne	Esterne
L_1 [m]	50	50
L_2 [m]	40	40
L_e [m]	22.50	22.50
b_0 [m]	0.3	0.3
b_1 [m]	2	2
b_2 [m]	2	2.5
b_{e1} [m]	1.85	1.85
b_{e2} [m]	1.85	2.35
β_1	-	1.00
β_2	-	1.00
b_{eff} [m]	4.00	4.50

Travi campata centrale - Appoggio		
L=40m - L=40m		
	Interne	Esterne
L_1 [m]	40	40
L_2 [m]	40	40
L_e [m]	20.00	20.00
b_0 [m]	0.3	0.3
b_1 [m]	2	2
b_2 [m]	2	2.5
b_{e1} [m]	1.85	1.85
b_{e2} [m]	1.85	2.35
β_1	-	1.00
β_2	-	1.00
b_{eff} [m]	4.00	4.50

Travi campata centrale - Appoggio		
L=40m - L=30m		
	Interne	Esterne
L_1 [m]	40	40
L_2 [m]	30	30
L_e [m]	17.50	17.50

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 32 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

b_0 [m]	0.3	0.3
b_1 [m]	2	2
b_2 [m]	2	2.5
b_{e1} [m]	1.85	1.85
b_{e2} [m]	1.85	2.1875
β_1 -	1.00	1.00
β_2 -	1.00	1.00
b_{eff} [m]	4.00	4.34

Travi campata centrale - Mezzeria					
Interne		Esterne			
L_1 [m]	-	-	L_1 [m]	-	-
L_2 [m]	50	50	L_2 [m]	40	40
L_e [m]	35.00	35.00	L_e [m]	28.00	28.00
b_0 [m]	0.3	0.3	b_0 [m]	0.3	0.3
b_1 [m]	2	2	b_1 [m]	2	2
b_2 [m]	2	2.5	b_2 [m]	2	2.5
b_{e1} [m]	1.85	1.85	b_{e1} [m]	1.85	1.85
b_{e2} [m]	1.85	2.35	b_{e2} [m]	1.85	2.35
β_1 -	1.00	1.00	β_1 -	1.00	1.00
β_2 -	1.00	1.00	β_2 -	1.00	1.00
b_{eff} [m]	4.00	4.50	b_{eff} [m]	4.00	4.50

Cautelativamente viene quindi adottata sempre una larghezza di soletta collaborante pari a 4.0 m, eccetto che sulle campate di riva dove la larghezza collaborante è pari a 3.60m. Inoltre, per le zone di appoggio intermedie (pile), la soletta tesa viene considerata fessurata e il suo contributo viene completamente trascurato per tutta la lunghezza L_e .

6.4 EFFETTI DEL RITIRO E DELLA VISCOSITÀ

Gli effetti della viscosità possono essere messi in conto tramite un'analisi esatta, che tenga conto dello sviluppo nel tempo delle deformazioni anelastiche del calcestruzzo, oppure tramite metodo semplificato, che utilizzi differenti coefficienti di omogenizzazione – definiti dalla normativa vigente – per i diversi tipi di azioni applicate alla struttura. I due approcci sono chiariti di seguito. L'analisi sviluppata è basata sul "Metodo Esatto" fornendo tuttavia per verifica un confronto con i risultati che si otterrebbero tramite metodo approssimato.

Metodo Esatto - Analisi al Passo

Il software utilizzato consente di discretizzare nel tempo gli effetti delle deformazioni anelastiche del calcestruzzo. Gli effetti del ritiro sono valutati come effetti di n incrementi di

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 33 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

deformazione anelastica da ritiro che si sviluppa nel tempo secondo la funzione rappresentata in Figura 4: ad ognuno di questi incrementi è associato lo sviluppo di una deformazione anelastica viscosa, variabile nel tempo. Ambedue le componenti di deformazione anelastica sono modellate come azioni equivalenti, “*primary effects*”, applicate alla sezione composta e tramite i relativi effetti, “*secondary effects*”. Tali componenti sono esplicitate di seguito. Le azioni equivalenti, “*primary effects*”, associate alla contrazione impedita da ritiro sono:

- uno sforzo normale di compressione $N_r(t, t_0)$ applicato baricentricamente sulla sezione composta da trave e soletta;
- un momento flettente positivo $M_r(t, t_0)$ applicato alla sezione composta da trave e soletta;

dove:

- $N_r(t, t_0) = A_c \times E_c \times \varepsilon_r(t, t_0)$ con A_c area della soletta, E_c modulo istantaneo del calcestruzzo, $\varepsilon_r(t, t_0)$ deformazione da ritiro al tempo t e $t_0 = 3$ gg.
- $M_r(t, t_0) = N_r(t, t_0) \times e_y$ con e_y eccentricità tra baricentro soletta e sezione composta omogeneizzato con modulo istantaneo del calcestruzzo E_c .

Tali azioni sono ripartite, imponendo l'equilibrio e la congruenza, tra soletta e trave e si traducono in azioni di sforzo normale baricentrico e momento flettente, “*secondary effects*”, ovvero $N_{r1}(t, t_0)$ ed $M_{r1}(t, t_0)$ sulla trave (parte 1 sella sezione composta) ed $N_{r2}(t, t_0)$ ed $M_{r2}(t, t_0)$ sulla soletta (parte 2 sella sezione composta). Lo stato di sforzo nelle due parti della sezione composta è quindi:

- nella trave $N_{r1}(t, t_0)$ ed $M_{r1}(t, t_0)$;
- nella soletta $N_r(t, t_0) - N_{r2}(t, t_0)$ ed $M_{r2}(t, t_0)$.

Le azioni equivalenti, “*primary effects*”, associate alle deformazioni viscosi sono:

- uno sforzo normale $\Delta N_\phi(t, t_i)$ applicato baricentricamente sulla sezione composta da trave e soletta;
- un momento flettente $M_\phi(t, t_i)$ applicato alla sezione composta da trave e soletta.

dove:

- $\Delta N_\phi(t, t_i) = A_c \times E_c \times \Delta \varepsilon_\phi(t, t_i)$ con A_c area della soletta, E_c modulo istantaneo del calcestruzzo, $\Delta \varepsilon_\phi(t, t_i)$ deformazione viscosa al tempo t dovuta a un incremento di tensione $\Delta \sigma(t_i)$ applicata all'istante t_i .
- $\Delta M_\phi(t, t_i) = \Delta N_\phi(t, t_i) \times e_y$ con e_y eccentricità tra baricentro soletta e sezione composta omogeneizzato con modulo istantaneo del calcestruzzo E_c .

Tali azioni sono ripartite, imponendo l'equilibrio e la congruenza, tra soletta e trave e si traducono in azioni di sforzo normale baricentrico e momento flettente, “*secondary effects*”, ovvero $\Delta N_{\phi1}(t, t_i)$ ed $\Delta M_{\phi1}(t, t_i)$ sulla trave (parte 1 sella sezione composta) ed $\Delta N_{\phi2}(t, t_i)$ ed $\Delta M_{\phi2}(t, t_i)$ sulla soletta (parte 2 sella sezione composta). Lo stato di sforzo nelle due parti della sezione composta è quindi:

- nella trave $\Delta N_{\phi1}(t, t_i)$ ed $\Delta M_{\phi1}(t, t_i)$;
- nella soletta $\Delta N_\phi(t, t_i) - \Delta N_{\phi2}(t, t_i)$ ed $\Delta M_{\phi2}(t, t_i)$.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 34 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

Metodo Semplificato - Coefficienti di omogeneizzazione da Normativa

Come specificato al punto 5.4.2.2. dell'UNI EN 1994-1-1:2005, si può tenere conto degli effetti della viscosità del calcestruzzo utilizzando differenti coefficienti di omogeneizzazione n_L in funzione del tipo di carico, secondo l'espressione:

- $n_L = n_0 (1 + \psi_L \phi_{tL})$

dove:

- n_0 è il coefficiente di omogeneizzazione per carichi di breve durata pari ad E_a/E_c ;
- ϕ_{tL} è il coefficiente di viscosità del calcestruzzo a tempo infinito funzione dell'età del calcestruzzo all'atto dell'applicazione del carico considerato;
- ψ_L è il moltiplicatore del coefficiente di viscosità dipendente dal tipo di carico, con valori che possono essere assunti pari ad 1.1 per carichi permanenti e a 0.55 per il ritiro.

In definitiva i coefficienti di omogeneizzazione nel caso in esame risultano:

Tabella 12 - Coefficienti di Omogeneizzazione

Coefficienti di Omogeneizzazione			
per carichi accidentali e di breve durata			$n_0 = 6.2$
per gli effetti del ritiro	$\phi(t_{00}, t_0 = 3 \text{ gg.}) =$	2.1	$\psi_L = 0.55$ $n_{r,00} = 13.3$
per carichi permanenti	$\phi(t_{00}, t_0 = 30 \text{ gg.}) =$	1.36	$\psi_L = 1.1$ $n_{p,00} = 15.4$

Gli effetti del ritiro in tal caso si valutano come un'azione di trazione sulla sola soletta pari a:

- $N_{r,00} = A_c \times (n_{r,00}/n_0) \times EC \times \epsilon_{r,00}$.

e come delle azioni equivalenti sulla sezione composta pari a:

- $N_{r,00} = A_c \times (n_{r,00}/n_0) \times EC \times \epsilon_{r,00}$;
- $M_{r,00} = N_{r,00} \times e_y$ con e_y eccentricità tra baricentro soletta e sezione composta omogeneizzato coefficiente $n_{r,00}$.

Gli effetti dei carichi di lunga durata (carichi permanenti portati) si valutano invece utilizzando un coefficiente di omogeneizzazione $n_{p,00}$.

6.5 FASI DI CALCOLO

I modelli studiati e le fasi di calcolo e di verifica considerano le fasi di montaggio, maturazione e gli effetti differiti conseguenti alle varie età della struttura. Si distinguono le seguenti fasi di riferimento:

- fase 1.1:** corrispondente al varo dell'impalcato sulle sottostrutture. In questa fase, l'impalcato è soggetto al solo peso proprio della carpenteria metallica;
- fase 1.2:** corrispondente al getto della soletta. In questa fase sono presenti il peso proprio della carpenteria metallica e il peso della soletta non ancora collaborante applicata come carico distribuito sulle travi;

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 35 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

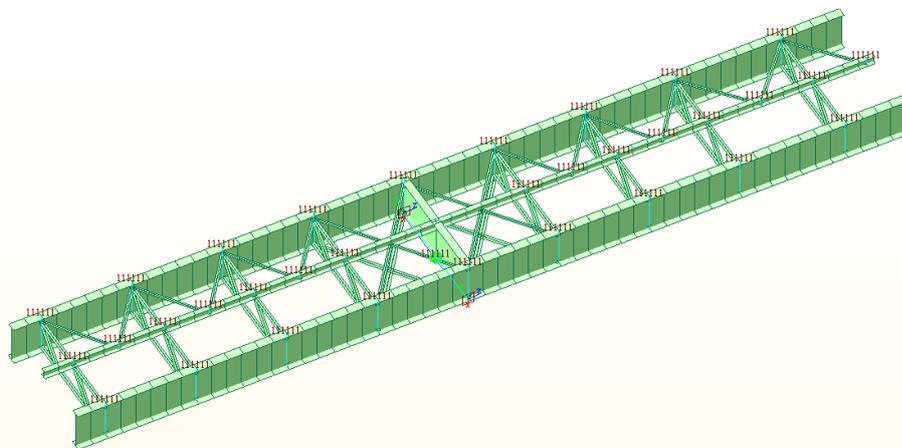


Figura 17 - Fasi di calcolo 1.1 e 1.2

- **fase 2.1:** impalcato in esercizio completo con soletta collaborante, di durata pari a 30 gg., considera gli effetti dovuti al ritiro iniziale e alla relativa viscosità del calcestruzzo variabili nel tempo.
- **fase 2.2:** impalcato in esercizio completo con soletta collaborante e carichi permanenti portati, di durata pari a 10000 gg., considera gli effetti dovuti ai carichi applicati, al ritiro a lungo termine e alla relativa viscosità del calcestruzzo variabili nel tempo.

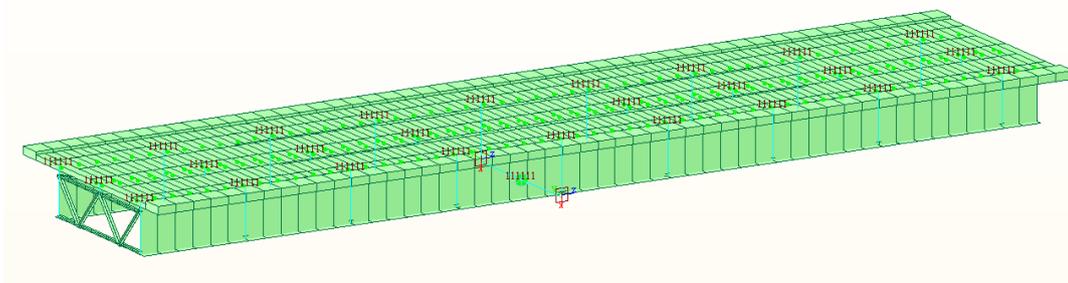


Figura 18 - Fasi di calcolo 2.1 e 2.2

- **fase 3 (fase finale):** impalcato in esercizio per carichi di breve durata, quali quelli mobili, variazioni di temperatura, vento. In questa fase la sezione resistente risulta composta, ovvero acciaio + soletta collaborante, con modulo elastico istantaneo non ridotto.

6.6 CARATTERISTICHE DI CALCOLO DELLE SEZIONI

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche dei conchi delle nervature principali utilizzate per il calcolo delle sollecitazioni. Si precisa che per l'analisi globale delle sollecitazioni, sviluppata secondo il metodo elastico, vengono utilizzate le sezioni lorde delle nervature in acciaio

Si considera collaborante la sola soletta con spessore pari allo spessore minimo di 300 mm.

Nel seguito si fa riferimento alla sezione in acciaio e alle sezioni composte con coefficienti di omogeneizzazione n_0 , n_{roo} e n_{poo} , così come specificati precedentemente.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 36 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Le caratteristiche meccaniche dei singoli conci sono riportate di seguito. Si è considerato il contributo dell'acciaio, del calcestruzzo e di un'armatura longitudinale di soletta superiore e inferiore pari a $\phi 22/200$.

Tabella 13 - Proprietà meccaniche conci

Concio	Acciaio					
	A [mm ²]	zinf [mm]	zsup [mm]	lyy [mm ⁴]	lzz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]
1a	8.15E+04	1.29E+03	1.41E+03	8.80E+10	1.33E+09	1.22E+07
1	7.69E+04	1.17E+03	1.53E+03	8.40E+10	1.42E+09	1.20E+07
2	1.43E+05	1.27E+03	1.43E+03	1.75E+11	3.19E+09	1.09E+08
2a	1.12E+05	1.28E+03	1.42E+03	1.28E+11	2.13E+09	3.82E+07
3	9.01E+04	1.18E+03	1.52E+03	1.07E+11	1.95E+09	2.50E+07
3a	1.01E+05	1.19E+03	1.51E+03	1.13E+11	1.95E+09	2.85E+07
Mista + armatura t ₀ (carichi di breve durata)						
Concio	A [mm ²]	zinf [mm]	zsup [mm]	lyy [mm ⁴]	lzz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]
1a	2.62E+05	2.36E+03	6.37E+02	2.26E+11	1.91E+11	7.61E+09
1	2.78E+05	2.38E+03	6.17E+02	2.42E+11	2.61E+11	8.24E+09
2	3.24E+05	2.15E+03	8.51E+02	3.75E+11	1.92E+11	7.70E+09
2a	2.93E+05	2.25E+03	7.52E+02	2.99E+11	1.91E+11	7.63E+09
3	2.91E+05	2.33E+03	6.70E+02	2.82E+11	2.62E+11	8.25E+09
3a	3.02E+05	2.30E+03	7.04E+02	2.97E+11	2.62E+11	8.26E+09
Mista + armatura t _∞ (effetti del ritiro)						
Concio	A [mm ²]	zinf [mm]	zsup [mm]	lyy [mm ⁴]	lzz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]
1a	1.68E+05	2.09E+03	9.09E+02	1.90E+11	8.92E+10	3.54E+09
1	1.74E+05	2.10E+03	8.98E+02	2.04E+11	1.22E+11	3.83E+09
2	2.30E+05	1.86E+03	1.14E+03	3.09E+11	9.10E+10	3.63E+09
2a	1.99E+05	1.96E+03	1.04E+03	2.48E+11	9.00E+10	3.56E+09
3	1.87E+05	2.04E+03	9.61E+02	2.37E+11	1.22E+11	3.84E+09
3a	1.97E+05	2.00E+03	9.98E+02	2.48E+11	1.22E+11	3.85E+09
Mista + armatura t _∞ (carichi di lunga durata)						
Concio	A [mm ²]	zinf [mm]	zsup [mm]	lyy [mm ⁴]	lzz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]
1a	1.57E+05	2.04E+03	9.63E+02	1.83E+11	7.72E+10	3.05E+09
1	1.61E+05	2.04E+03	9.55E+02	1.97E+11	1.05E+11	3.31E+09
2	2.19E+05	1.81E+03	1.19E+03	2.98E+11	7.90E+10	3.15E+09
2a	1.88E+05	1.91E+03	1.09E+03	2.39E+11	7.80E+10	3.08E+09
3	1.74E+05	1.98E+03	1.02E+03	2.28E+11	1.06E+11	3.32E+09
3a	1.85E+05	1.95E+03	1.05E+03	2.38E+11	1.06E+11	3.32E+09

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 38 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	2700	600	60	750	60	24	2580	363.0	0.71	10.0	6.1	3
	2a	2700	600	40	750	40	22	2620	364.0	0.71	10.0	9.1	3
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3a	2700	600	30	750	40	20	2630	365.0	0.71	10.0	9.1	3

Tabella 17 – Classificazione dei pannelli d'anima

Concio	=	1a	1	2	2a	3	3a
H	mm	= 2700	2700	2700	2700	2700	2700
t _{f,sup}	mm	= 25	20	60	40	30	30
t _{f,inf}	mm	= 25	30	60	40	40	40
h _a	mm	= 2650	2650	2580	2620	2630	2630
t	mm	= 18	16	24	22	16	20
C/t		= 147.22	165.63	107.50	119.09	164.38	131.50
ε		0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Classe Pannello compressione semplice							
42 ε	=	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Classe Pannello	=	4	4	4	4	4	4
Classe Pannello flessione pura							
72 ε	=	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
Classe Pannello	=	4	4	4	4	4	4

Le verifiche in campo elastico, per gli stati di sforzo piani tipici delle travi, si eseguono con riferimento al seguente criterio:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed} \sigma_{x,Ed} + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2$$

Dove:

$\sigma_{x,Ed}$ è il valore di calcolo della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione parallela all'asse della membratura;

$\sigma_{z,Ed}$ è il valore di calcolo della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione ortogonale all'asse della membratura;

τ_{Ed} è il valore di calcolo della tensione tangenziale nel punto in esame, agente nel piano della sezione della membratura;

Facendo riferimento ad una procedura di comprovata validità, come consentito ai punti 4.2.4.1.2 e 4.2.4.1.3.4 del DM 2008 e C4.2.4.1.3.4 della circolare applicativa, le verifiche saranno eseguite facendo riferimento al limite elastico degli elementi (stato limite ultimo elastico), indipendentemente dalla classificazione delle sezioni. In tali ipotesi, le verifiche di resistenza e stabilità saranno svolte con il metodo tensionale. In sostanza ciò significa considerare tutte le

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 39 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

sezioni in classe 4 verificandone la stabilità locale senza impiegare il metodo delle larghezze efficaci.

Nel caso in esame la verifica di instabilità locale sarà condotta unicamente per i pannelli d'anima compresi tra due irrigidimenti longitudinali e due irrigidimenti trasversali, soggetti a compressione, in quanto: le piattabande inferiori soggette a compressione appartengono alla classe 3 e le piattabande superiori non vanno incontro al rischio di instabilità grazie alla presenza della soletta.

Si evidenzia che nell'analisi dei modelli e nella verifica a taglio, in conformità alla Normativa vengono utilizzate comunque le sezioni lorde anche per le eventuali sezioni di Classe 4.

6.8 METODI DI VERIFICA

6.8.1 Verifiche allo Stato Limite Ultimo delle nervature principali

Le nervature principali sono vincolate lateralmente dalla presenza dei diaframmi intermedi a passo 6000 mm e dalla soletta in corrispondenza delle piattabande compresse. Le sollecitazioni torcenti applicate all'impalcato sono prevalentemente assorbite dal sistema travi-soletta-traversi. Pertanto in accordo a quanto previsto al punto 4.2.4.1.3.2 del DM 2008, non si rendono necessarie verifiche di stabilità globali, flessionale e flessio-torsionale, delle membrature.

Si svolgono pertanto nel seguito le sole verifiche di resistenza delle nervature, le verifiche per instabilità a taglio dei pannelli d'anima e le verifiche a fatica.

6.8.1.1 Verifiche di resistenza

Le verifiche si svolgono in campo elastico in accordo a quanto previsto al punto 4.2.4.1.2 e 4.3.4.2.1.1 del DM 2008. Le verifiche sono pertanto svolte come verifiche tensionali, nei seguenti punti.

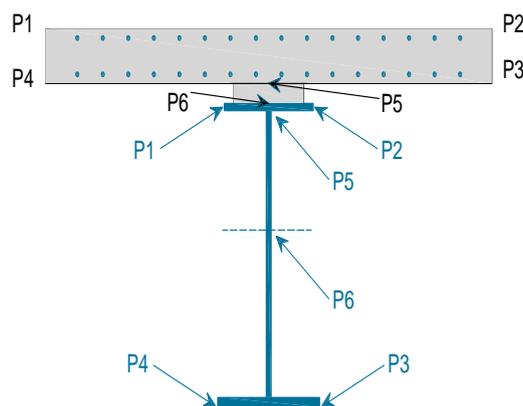


Figura 19 - Punti di verifica

Le tensioni ideali d'anima (P6) sono valutate in corrispondenza del baricentro della sezione lorda d'acciaio. Le coordinate dei punti di verifica della nervatura in acciaio sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 18 - Coordinate punti di verifica acciaio

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 40 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Coordinate punti di verifica acciaio (rispetto al lembo inferiore)													
Sec. Id.	Concio	y1 mm	z1 mm	y2 mm	z2 mm	y3 mm	z3 mm	y4 mm	z4 mm	y5 mm	z5 mm	y6 mm	z6 mm
1	1a	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2675	0	1288
2	1	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2680	0	1171
3	2	-300	2700	300	2700	375	1	-375	0	0	2640	1	1267
4	2a	-300	2700	300	2700	375	2	-375	0	0	2660	2	1279
5	3	-300	2700	300	2700	375	2	-375	0	0	2670	2	1176
6	3a	-300	2700	300	2700	375	2	-375	0	0	2670	2	1195

Per le nervature in acciaio la verifica viene svolta sulla tensione ideale:

$$\sigma_{id}^2 = \sigma_n^2 + 3\tau^2 \leq \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right)^2$$

e pertanto, per acciaio S460:

- $\sigma_{id} \leq 438 \text{ MPa}$ per $t \leq 40 \text{ mm}$;
- $\sigma_{id} \leq 409 \text{ MPa}$ per $t > 40 \text{ mm}$.

e, per acciaio S355:

- $\sigma_{id} \leq 338 \text{ MPa}$ per $t \leq 40 \text{ mm}$;
- $\sigma_{id} \leq 319 \text{ MPa}$ per $t > 40 \text{ mm}$.

Per il calcestruzzo della soletta la verifica viene svolta sulla tensione normale minima (verifica a compressione).

- $\sigma_{cd} \leq f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_M = 19.8 \text{ N/mm}^2$

6.8.1.2 Verifiche di stabilità a taglio dei pannelli d'anima

Le verifiche sono svolte conformemente a quanto previsto al punto C4.2.4.1.3.4.1 della CM 2009 e al punto 4.3 del EN 1993-1-5.

La valutazione della resistenza all'instabilità per taglio risulta necessaria per i pannelli privi di irrigidimenti longitudinali se non è soddisfatta la seguente relazione:

$$\frac{h_w}{t} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

Mentre nel caso di pannelli irrigiditi è:

$$\frac{h_w}{t} \leq 31 \frac{\varepsilon}{\eta} \sqrt{k_\tau}$$

dove:

- h_w è l'altezza totale del pannello d'anima;
- t : è lo spessore del pannello;

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 41 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

- $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0.81;$
- $\eta = 1.2 \cdot \gamma_{M1} / \gamma_{M0} = 1.2 \frac{1.1}{1.05} = 1.25;$
- k_τ è il minimo coefficiente d'instabilità per taglio del pannello.

Nel caso in cui si renda necessaria, la verifica della resistenza all'instabilità per taglio consiste nel verificare che il taglio di progetto sia inferiore al taglio resistente definito come:

$$V_{cRd} = \chi_v f_{ywd} h_w t / \sqrt{3}$$

dove V_{cRd} è definito dalla normativa citata.

Il coefficiente k_τ è funzione del rapporto d'allungamento $\alpha = a/h_w$ e del numero di irrigiditori, dove a è la lunghezza del pannello compresa tra due irrigiditori trasversali. In particolare, se gli irrigiditori longitudinali sono più di due o se il rapporto di allungamento $\alpha \geq 3$, il coefficiente k_τ è dato da:

$$k_\tau = 5.34 + 4.00 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 + k_{\tau 1} \quad \text{se } \alpha = a/h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4.00 + 5.34 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 + k_{\tau 1} \quad \text{se } \alpha = a/h_w < 1$$

Con:

$$k_{\tau 1} = \max \left[\left(\frac{3}{\alpha} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right)^3}; \frac{2.1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}} \right]$$

Dove con I_{sl} si intende la somma delle singole inerzie ($I_{sl,1}$) degli irrigidimenti longitudinali rispetto ai singoli assi baricentrici paralleli al piano d'anima, considerando una l'arghezza d'anima collaborante pari a $15 \varepsilon t$.

Se, invece, gli irrigiditori sono uno o due e $\alpha < 3$, il coefficiente k_τ è:

$$k_\tau = 4.1 + \left(\frac{1}{\alpha^2} \right) + \left(6.3 + 0.18 \frac{I_{sl}}{t^3 h_w} \right) + 2.2 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t^3 h_w}}$$

6.8.1.3 Verifiche all'imbozzamento dei pannelli d'anima

I pannelli d'anima, indipendentemente dalla classe della sezione, sono stati verificati anche nei confronti dell'imbozzamento per effetto dell'azione combinata di taglio momento e sforzo normale. La verifica per imbozzamento è stata condotta secondo il metodo fornito al par. 7.6.2.1 dalla norma CNR10011.

6.8.1.4 Verifiche delle connessioni trave-soletta

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 42 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Le connessioni trave-soletta sono realizzate mediante pioli tipo Nelson, disposti in numero di 3 per trave ad interasse di 150 mm. I pioli hanno diametro di 19 mm ed altezza di 200 mm.

Con riferimento al D.M. 14.01.2008 p.to 4.3.4.3.1.2 la resistenza di calcolo a taglio di un piolo allo SLU può essere assunta pari al minore dei seguenti valori:

- $P_{rd,a} = 0,8 f_t (\pi d^2 / 4) / \gamma_v$
- $P_{rd,c} = 0,29 \alpha d^2 (f_{ck} E_c)^{0,5} / \gamma_v$

con:

- $\gamma_v = 1.25$ coefficiente di sicurezza
- $f_t = 450$ MPa resistenza a rottura dell'acciaio del piolo
- $d = 19$ mm diametro piolo
- $f_{ck} = \text{soletta} = 35$ MPa resistenza cilindrica del calcestruzzo della
- $E_c = 34077$ MPa modulo elastico del calcestruzzo della soletta
- $\alpha = 1$ per $h/d > 4$
- $h = 200$ mm altezza del piolo

Per Stato Limite di Esercizio si considera il minore tra:

- $P_{rd,a\text{SLE}} = 0,6 * P_{rd,a}$
- $P_{rd,c\text{SLE}} = 0,6 * P_{rd,c}$

Le resistenze ricavate vanno confrontate con i valori dello scorrimento trave-soletta determinati come:

$$S_c = S_{c\text{ritiro}} + V_{Ed} S_G / I_G$$

6.8.2 Verifiche allo Stato Limite Ultimo delle membrature secondarie

Le membrature secondarie sono sollecitate essenzialmente da sforzi normali di compressione o trazione. Per questi elementi viene quindi eseguita una verifica di stabilità, secondo quanto specificato al punto 4.2.4.1.3.1 del DM 2008 (a cui si rimanda per maggiori dettagli) confrontando lo sforzo di progetto N_{Ed} con la resistenza all'instabilità $N_{b,Rd}$ dell'asta:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

Si ricorda che, come prescritto dalla Circolare 7 del 02/02/2009 p.to C4.2.4.1.3.1.5, la verifica di aste composte costituite da due o quattro profilati, posti ad un intervallo pari alle spesse delle piastre di attacco ai nodi e comunque ad una distanza non superiore a 3 volte il loro spessore e collegati con calastrelli o imbottiture, può essere condotta come per un'asta semplice, trascurando la deformabilità a taglio del collegamento, se gli interassi dei collegamenti soddisfano le limitazioni della tabella C4.2.III, riportata qui di seguito.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 43 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Tabella C4.2.III Disposizione delle imbottiture di connessione tra i profili.

Tipo di asta composta (Figura C4.2.10)	Spaziatura massima tra i collegamenti ^(*)
Tipo (1), (2), (3) o (4) collegati con imbottiture bullonate o saldate	15 i_{\min}
Tipi (5) o (6) collegati con coppie di calastrelli	70 i_{\min}

(*) La distanza è misurata tra i centri di due collegamenti successivi e i_{\min} è il raggio di inerzia minimo del singolo profilo costituente l'asta.

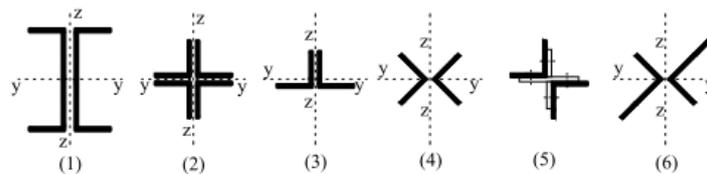


Figura C4.2.10 - Tipologie di aste composte costituite da elementi ravvicinati

Figura 20 – Estratto dalla Circolare 2009 – Tabella C4.2.III e Figura C4.2.10

Nel caso in esame, avendo adottato profili accoppiati ad L (3), la massima spaziatura tra i collegamenti non potrà superare il valore di 15 i_{\min} . Nel caso in cui tale limite non fosse rispettato, è necessario determinare un'adeguata snellezza equivalente dell'asta tramite normative di comprovata validità; di seguito si farà quindi riferimento a quanto riportato nella CNR-10011 p.to 7.2.3.4.2:

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2}$$

dove:

- λ è la snellezza effettiva dell'asta;
- $\lambda_1 = L_0/i_{\min}$ essendo L_0 l'interasse del collegamento e i_{\min} il raggio minimo di inerzia del profilato semplice.

In ogni caso i collegamenti devono dividere in almeno tre campi uguali l'asta.

6.8.2.1 Verifiche dei collegamenti bullonati

Le verifiche dei collegamenti bullonati della carpenteria metallica secondaria (controventi, correnti e traversi diagonali) vengono eseguite in accordo con il p.to 4.2.8.1.1. Si considerano unioni ad attrito con bulloni ad alta resistenza per le quali vengono eseguite le seguenti verifiche:

- verifiche a taglio dei bulloni;
- verifica a scorrimento dei bulloni (SLU e SLE);
- verifica a rifollamento del piatto dell'unione.

La resistenza ultima per taglio dei bulloni si valuta con l'espressione (4.2.63) del D.M. 2008:

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

dove:

- A_{res} è l'area resistente del bullone;

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 44 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

- α_v è un coefficiente che vale 0.6 per bulloni di classe 8.8 o 0.5 per i bulloni classe 10.9;
- f_{tb} è la tensione di rottura per trazione del bullone;
- $\gamma_{M2} = 1.25$ è il coefficiente di sicurezza parziale per le unioni bullonate.

La resistenza ultima per taglio per attrito dei bulloni si valuta con l'espressione (4.2.72) del D.M. 2008:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \mu \cdot \frac{F_{p,c}}{\gamma_{M3}}$$

dove:

- n è il numero delle superfici di attrito;
- μ è il coefficiente di attrito, pari a 0.45 per unioni sabbiate e 0.30 negli altri casi;
- $F_{p,c}$ è la forza di precarico del bullone che, in caso di serraggio controllato, può essere assunta pari a $0.7 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}$;
- $\gamma_{M3} = 1.25$ è il coefficiente di sicurezza parziale per le verifiche a scorrimento delle unioni agli SLU;
- $\gamma_{M3} = 1.10$ è il coefficiente di sicurezza parziale per le verifiche a scorrimento delle unioni agli SLE.

La resistenza a rifollamento dei fori della piastra si valuta con l'espressione (4.2.67) del D.M. 2008:

$$F_{V,Rd} = k \cdot \alpha \cdot d \cdot t \cdot \frac{f_{tk}}{\gamma_{M3}}$$

dove:

- d è il diametro nominale del gambo del bullone;
- t è lo spessore della piastra;
- f_{tk} è la resistenza a rottura del materiale della piastra;
- k è un coefficiente che dipende dalla distanza tra i fori e dalla distanza dai bordi della piastra in direzione perpendicolare al carico applicato;
- α è un coefficiente che dipende dalla distanza tra i fori, dalla distanza dai bordi della piastra in direzione del carico applicato, dal diametro del foro e dalla resistenza relativa tra bullone e piastra;

Il posizionamento dei bulloni viene realizzato nel rispetto dei minimi di normativa indicati in Tabella 4.2.XIII (riportata di seguito) in modo da garantire che non ci siano problemi relativi all'eccessiva vicinanza o lontananza tra i fori.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 45 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Tabella 4.2.XIII Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate.

Distanze e interessi (Fig. 4.2.3)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (EN10025-5)
e_1	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t;125\text{mm})$
e_2	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t;125\text{mm})$
p_1	$2,2 d_0$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;175\text{mm})$
$p_{1,0}$	-	$\min(14t;200\text{mm})$	-	-
$p_{1,i}$	-	$\min(28t;400\text{mm})$	-	-
p_2	$2,4 d_0$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;175\text{mm})$

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se $(p_1/t) < [9(235/f_y)^{0.5}]$: in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a $0.6 \cdot p_1$.
 t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

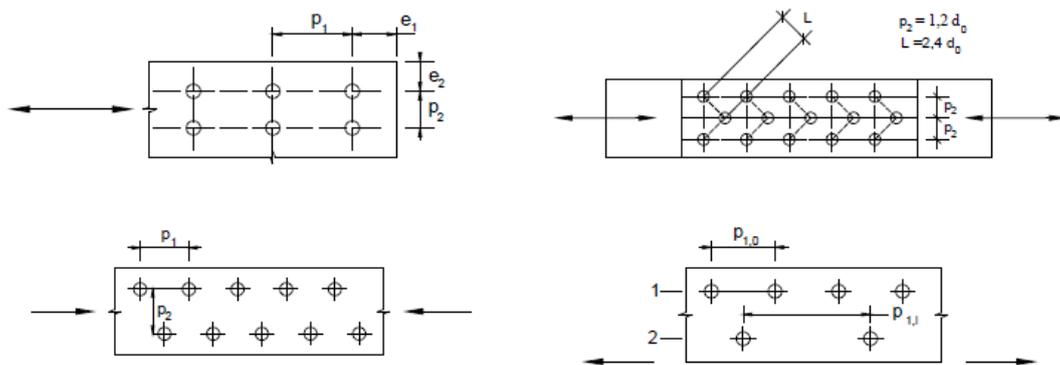


Figura 21 – Estratto dal DM 14/01/2008 Tab. 4.2.XIII e Fig. 4.2.3

6.8.3 Verifiche allo Stato Limite Ultimo di Fatica

Le verifiche a fatica sono svolte per vita illimitata, facendo riferimento a dettagli caratterizzati da limiti di fatica ad ampiezza costante sul massimo delta di tensione ideale $\Delta\sigma_{\max} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$ e tangenziale $\Delta\tau_{\max} = (\tau_{\max} - \tau_{\min})$.

Nel caso in esame si fa riferimento ai seguenti dettagli:

- saldature di composizione delle travi principali;
- giunto trasversale saldato delle travi principali;
- saldature degli irrigidenti trasversali sulle piattabande e sull'anima delle travi principali;
- saldature degli irrigidenti longitudinali sull'anima delle travi principali;
- saldature dei pioli alle piattabande superiori;
- giunto trasversale bullonato della trave di spina.

La classe di dettaglio definisce le classi di resistenza a fatica in termini di range tensionali, $\Delta\sigma_c$ e $\Delta\tau_c$ espressi in MPa per $N = 2 \times 10^6$ cicli, e i limiti a fatica ad ampiezza costante, $\Delta\sigma_D$ e $\Delta\tau_D$ espressi in MPa per $N = 5 \times 10^6$ cicli e per $N = 1 \times 10^8$ cicli rispettivamente.

La verifica consiste quindi nel soddisfare i seguenti criteri:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 46 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

- $\Delta\sigma_{\max} \leq \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}$;
- $\Delta\tau_{\max} \leq \Delta\tau_D / \gamma_{Mf}$.

Le classi di dettaglio a cui si fa riferimento sono riepilogate nel seguito.

- **saldature a completa penetrazione di composizione delle travi principali**
 $\Delta\sigma_C = 125$ MPa (ref. Circolare del 02/02/2009, Tab. C4.2.XIV, dettaglio 1);
 $\Delta\sigma_D = 0.737 \Delta\sigma_C = 92.13$ MPa;
 $\gamma_{Mf} = 1.35$.
- **saldature dei pioli alle piattabande superiori**
 $\Delta\sigma_C = 80$ MPa (ref. Circolare del 02/02/2009, Tab. C4.2.XVI, dettaglio 9);
 $\Delta\sigma_D = 0.737 \Delta\sigma_C = 58.96$ MPa;
 $\gamma_{Mf} = 1.15$.

6.8.4 Verifiche allo Stato Limite di Esercizio

Le verifiche svolte sotto combinazioni di carico di esercizio sono:

- inflessione dell'impalcato nel piano verticale;
- verifica di limitazione delle tensioni in esercizio negli elementi in c.a.;
- verifiche a fessurazione della soletta.

6.8.4.1 Verifica di deformabilità

La verifica allo stato limite di deformazione è stata condotta imponendo dei limiti massimi in relazione alle esigenze del traffico, all'aspetto della struttura, nonché dei vincoli e dei dispositivi di giunto previsti in progetto.

Per le verifiche di deformabilità si è assunto come limite per il rapporto freccia/luce il valore 1/500 in combinazione caratteristica sotto carichi variabili da traffico.

6.8.4.2 Verifica di limitazione delle tensioni di esercizio

La massima tensione di compressione del cls deve rispettare la limitazione:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ per combinazione caratteristica;
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ per combinazione quasi permanente.

La massima tensione dell'acciaio deve rispettare la limitazione:

- $\sigma_s < 0.8 f_{yk}$ per combinazione caratteristica.

6.8.4.3 Verifica di fessurazione

Si svolgono le verifiche allo stato limite di apertura delle fessure, verificando che il valore di apertura delle fessure rispetti i valori limite di apertura prescritti dalla normativa, a seconda dell'elemento strutturale da verificare, ovvero delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature ai fenomeni di corrosione.

Per la soletta in calcestruzzo armato, i limiti di apertura delle fessure sono scelti, a partire dalla classe di esposizione del calcestruzzo, considerando condizioni ambientali aggressive e armature

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 47 di 101
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

poco sensibili ai fenomeni di corrosione. In accordo con la Tabella 4.2.IV del D.M. 14/01/2008, i valori limiti di apertura delle fessure sono:

- $w_1 = 0.2$ mm per combinazione dei carichi quasi permanente;
- $w_2 = 0.3$ mm per combinazione dei carichi frequente.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 48 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

7. RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE

Si utilizza un'analisi lineare elastica per gli effetti delle azioni tenendo in conto fenomeni differiti quali la viscosità e ritiro, gli effetti delle azioni termiche e le fasi costruttive.

In questa sezione sono rappresentati alcuni risultati dell'analisi, in termini di sollecitazioni (kN, kNm) e spostamenti (mm), in forma grafica e per le sole nervature principali. Negli allegati sono riportati, in forma grafica, i risultati per tutte le condizioni di carico in corrispondenza degli elementi di carpenteria principale e secondaria.

7.1 RISULTATI IN FASE DI GETTO

Si riportano di seguito le sollecitazioni nella fase 1.2, in presenza della sola carpenteria di acciaio come elemento resistente e di tutti i pesi propri strutturali come carichi applicati.

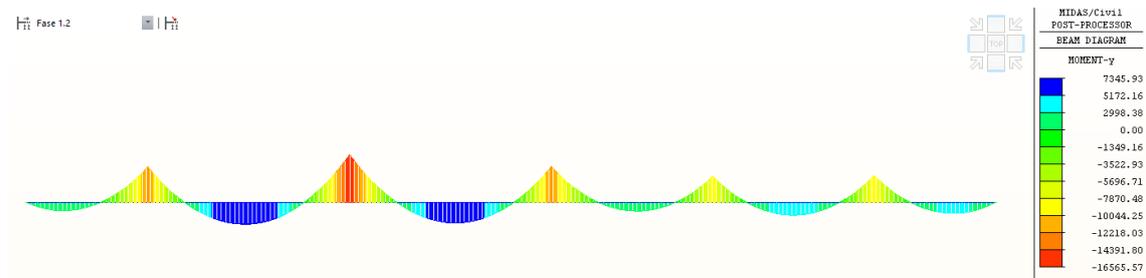


Figura 22 – G1.1+G1.2 – Momento flettente My

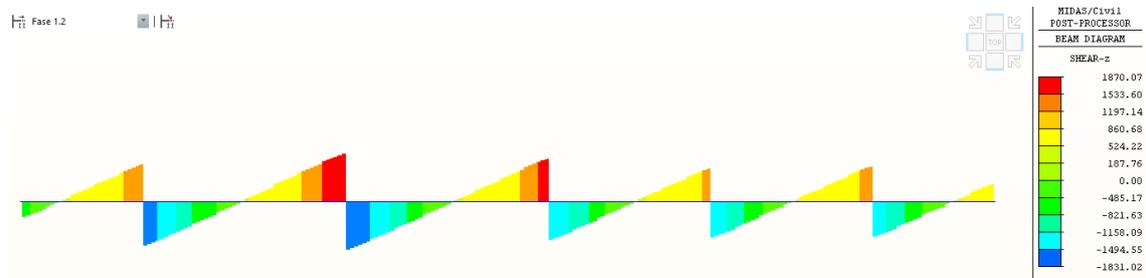


Figura 23 – G1.1+G1.2 – Taglio Vz

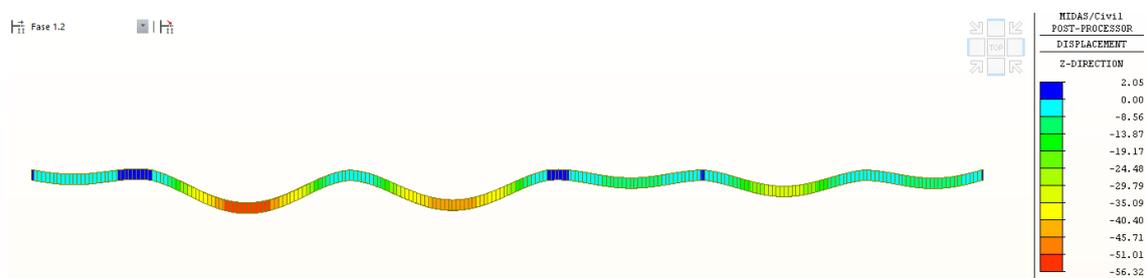


Figura 24 – G1.1+G1.2 – Spostamenti verticali DZ

7.2 RISULTATI A Too

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 49 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

Si riportano di seguito le sollecitazioni al termine della fase 3, sulla sezione composta e sulle due parti trave (parte 1) e soletta (parte 2), dove i carichi applicati sono:

- pesi propri (G1);
- carichi permanenti portati (G2);
- effetti del ritiro e della viscosità (E1, E2).

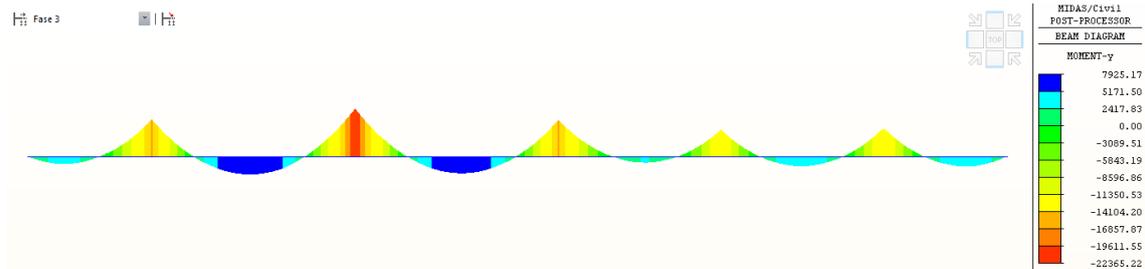


Figura 25 – G1+G2+E – Momento flettente My

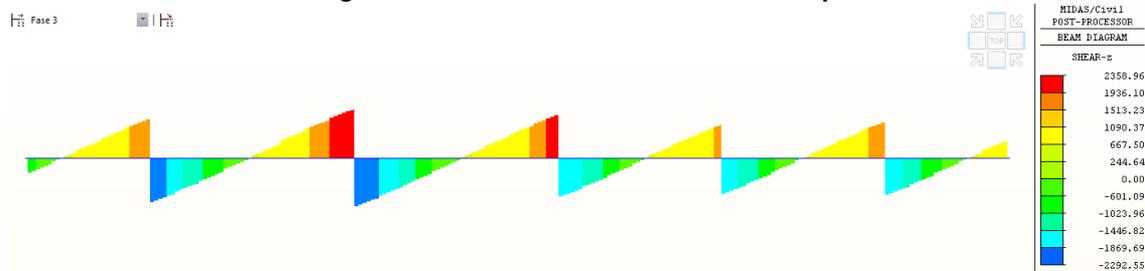


Figura 26 – G1+G2+E – Taglio Vz

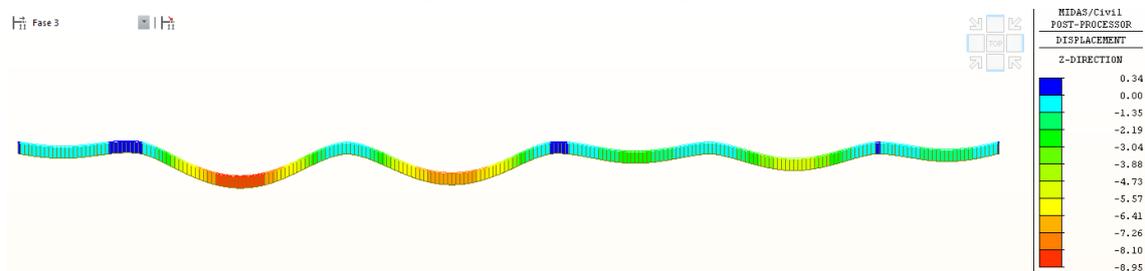


Figura 27 – G1+G2+E – Spostamenti verticali DZ

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	50 di 101

7.2.1 Ritiro e viscosità

Nelle immagini seguenti si esplicitano gli effetti delle azioni “primarie” dovute al ritiro (E2.1) e quelle “secondarie” dovute al ritiro e alla viscosità ad esso associata (E2.1+E2.2).

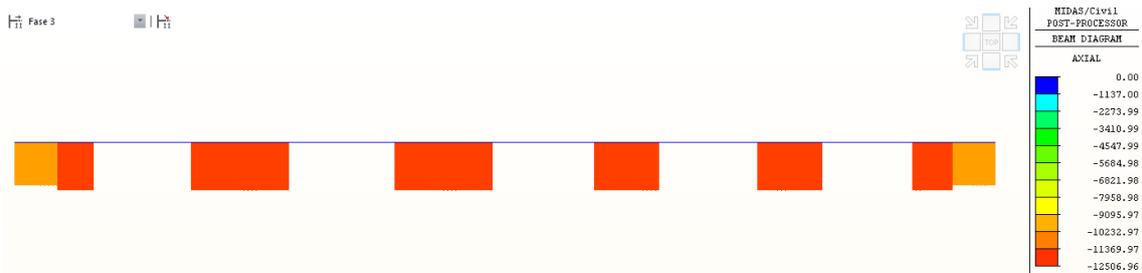


Figura 28 – Effetti primari da ritiro (E2.1) – Sforzo normale Fx

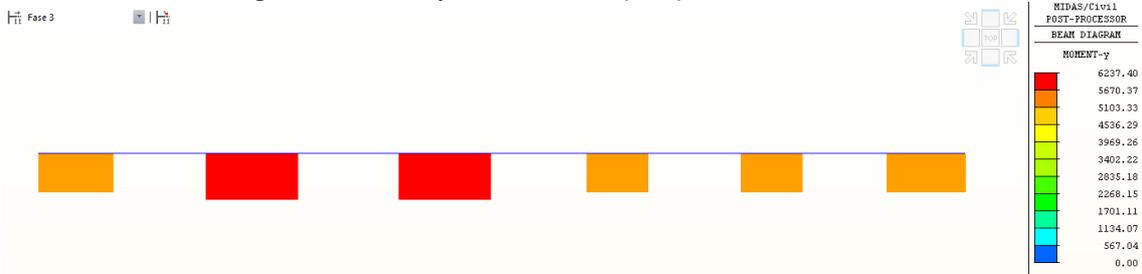


Figura 29 – Effetti primari da ritiro (E2.1) – Momento flettente My

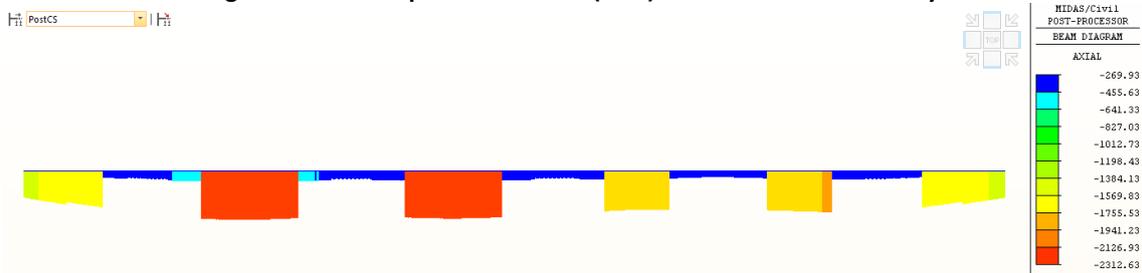


Figura 30 – Effetti secondari da ritiro e viscosità (E2.1+E2.2) – Sforzo normale nelle nervature Fx

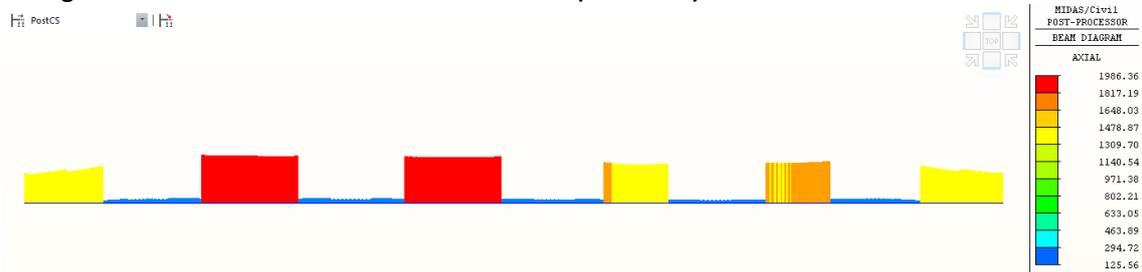


Figura 31 – Effetti secondari da ritiro e viscosità (E2.1+E2.2) – Sforzo normale nella soletta Fx

7.3 RISULTATI IN FASE FINALE

7.3.1 Stato limite ultimo (SLU)

Si riportano di seguito i diagrammi involuppo delle sollecitazioni agli SLU.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	51 di 101

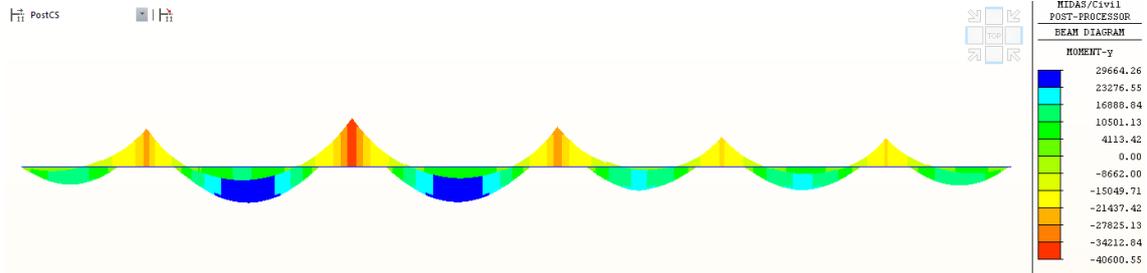


Figura 32 – Involuppo delle combinazioni SLU – Momento flettente My

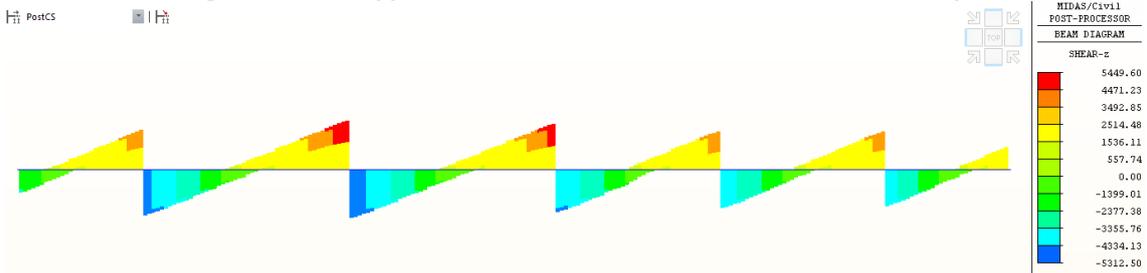


Figura 33 – Involuppo delle combinazioni SLU – Taglio Vz

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 52 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

7.3.2 Stato limite d'esercizio (SLE-R)

Nelle figure a seguire si riportano le sollecitazioni e gli spostamenti nelle combinazioni caratteristiche (rare) agli SLE.

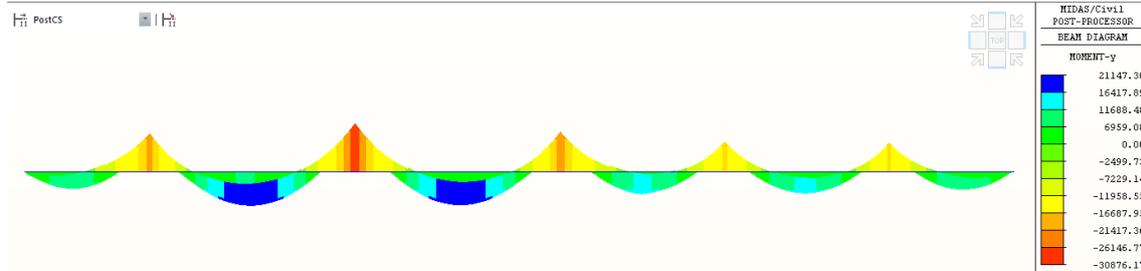


Figura 34 – Involuppo delle combinazioni SLE-R – Momento flettente M_y

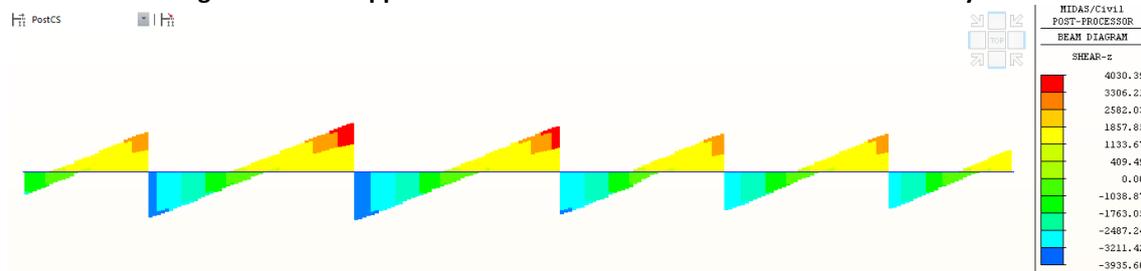


Figura 35 – Involuppo delle combinazioni SLE-R – Taglio V_z

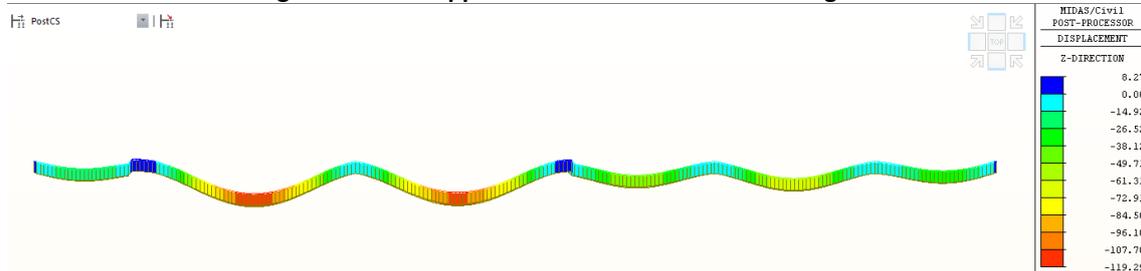


Figura 36 – Involuppo delle combinazioni SLE-R – Spostamenti verticali D_Z

8. VERIFICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI

Nella seguente sezione vengono mostrate le verifiche di resistenza, fatica e deformabilità eseguite secondo i criteri esposti nei paragrafi 6.8.1, 6.8.2, 6.8.3 e 6.8.4.

8.1 VERIFICHE ALLO SLU IN FASE DI GETTO

Si riportano nel diagramma a seguire le tensioni normali (non fattorizzate, ovvero con coefficienti unitari sulle azioni) nei punti di verifica.

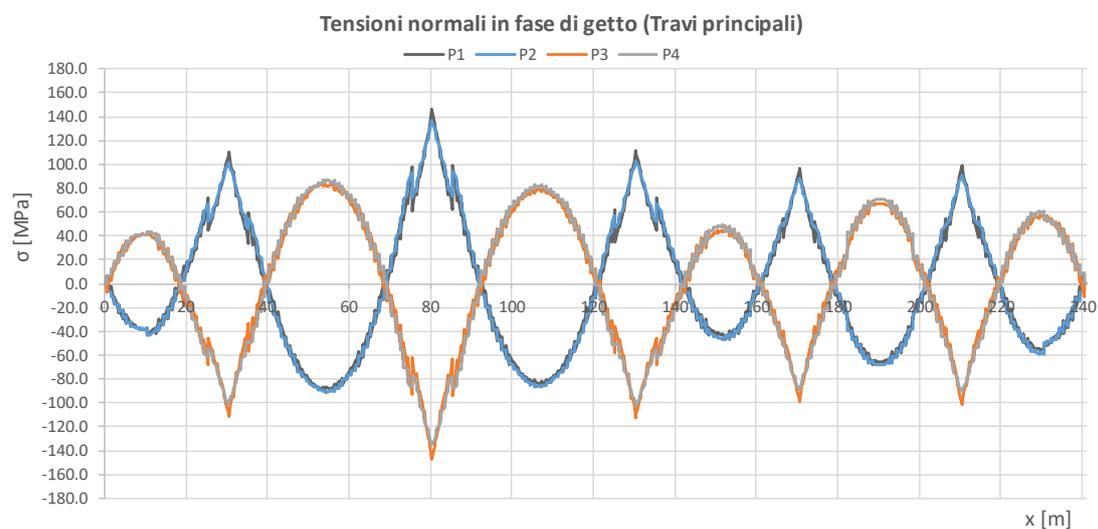


Figura 37 – Tensioni normali in fase di getto

Per il calcolo delle tensioni tangenziali nei punti di verifica è stata utilizzata la relazione di Jourawsky:

$$\tau_i = V_{Edz} S_i / (I_{yy} b_i).$$

Si ribadisce che per il calcolo tensioni tangenziali non si fa riferimento alla sezione efficace. I coefficienti di scorrimento $S_i / (I_{yy} b_i)$ per la sezione in acciaio dei conci, sono riepilogati nella tabella a seguire.

Tabella 19 – Coefficienti di scorrimento per il calcolo delle tensioni tangenziali in fase di getto

Concio	Acciaio					
	S1/(I _{yy} b1)	S2/(I _{yy} b2)	S3/(I _{yy} b3)	S4/(I _{yy} b4)	S5/(I _{yy} b5)	S6/(I _{yy} b6)
1a	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.33E-05	2.42E-05
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-05	2.71E-05
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.21E-05	1.75E-05
2a	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-05	1.94E-05
3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.59E-05	2.64E-05
3a	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.19E-05	2.15E-05

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia
 OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO
 Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 54 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

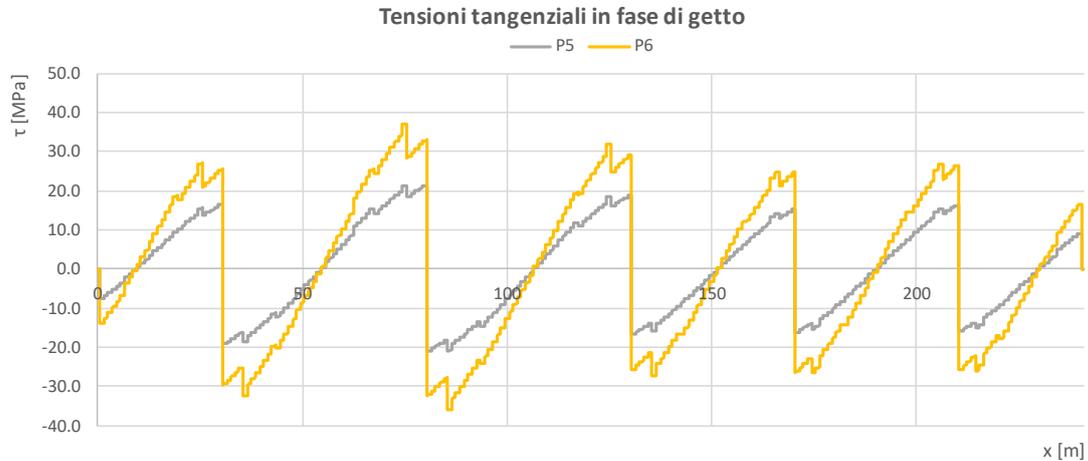


Figura 38 – Tensioni tangenziali in fase di getto

Come mostrato nella seguente immagine le tensioni ideali in fase di getto nei diversi punti di verifica sono significativamente inferiori alla resistenza di progetto f_{yd} dell'acciaio utilizzato, per cui le verifiche sono soddisfatte.

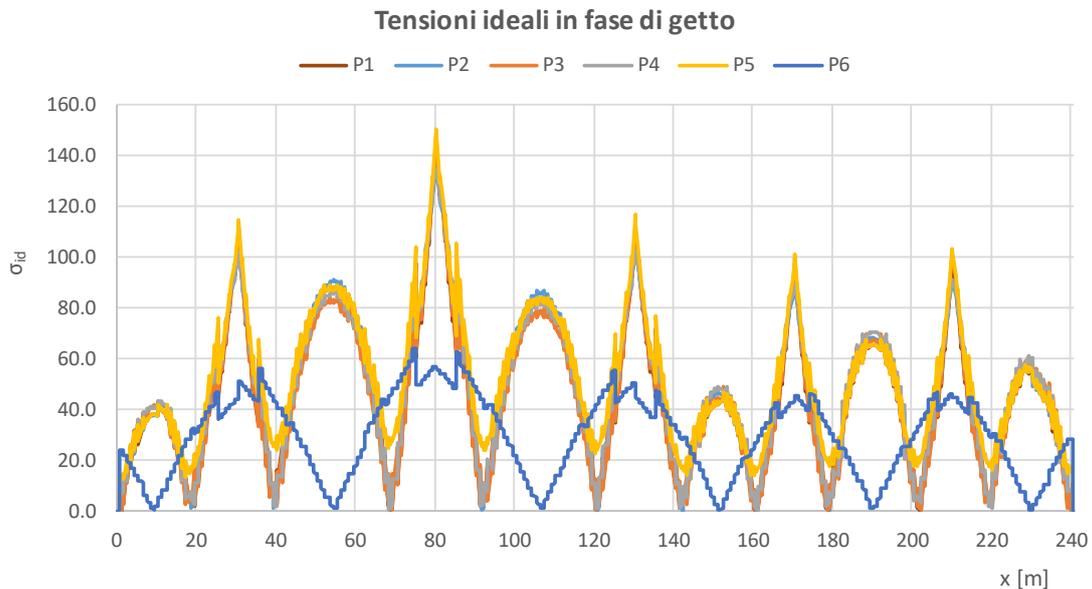


Figura 39 – Tensioni ideali in fase di getto

8.2 VERIFICHE ALLO SLU IN FASE FINALE

8.2.1 Verifiche di resistenza

Nel diagramma a seguire sono riportate le massime e minime tensioni normali nei punti di verifica per la combinazione involucro agli SLU e per la trave maggiormente sollecitata.

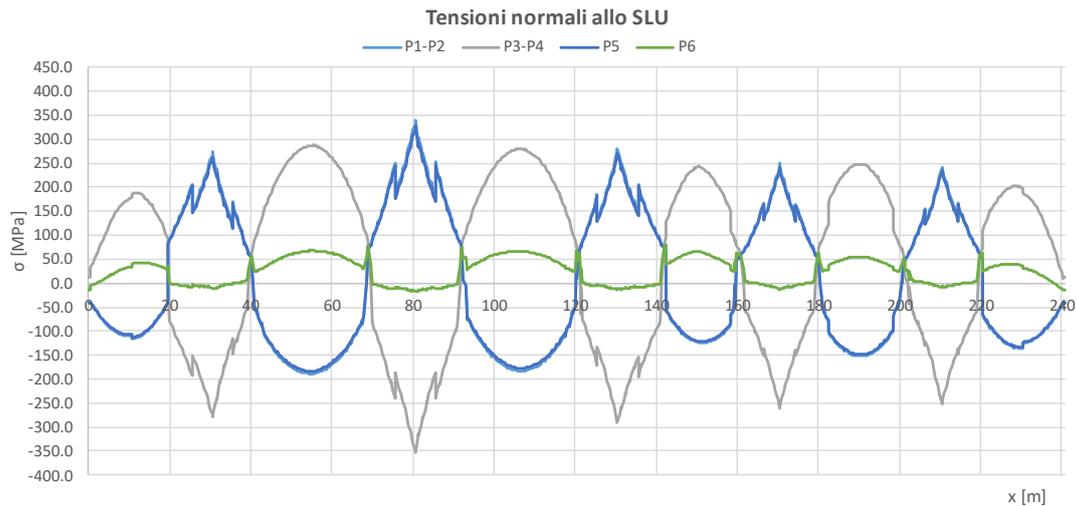


Figura 40 – Tensioni normali allo SLU

Per il calcolo delle tensioni tangenziali, nelle sezioni composte e nei punti di verifica, sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di scorrimento.

Tabella 20 – Coefficienti di scorrimento per il calcolo delle tensioni tangenziali

Concio	Sezione fessurata t0					
	S1/(Iyyb1)	S2/(Iyyb2)	S3/(Iyyb3)	S4/(Iyyb4)	S5/(Iyyb5)	S6/(Iyyb6)
1a	2.10E-05	2.10E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-05	1.99E-05
1	2.35E-05	2.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.45E-05	2.16E-05
2	1.36E-05	1.36E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.57E-05	1.50E-05
2a	1.60E-05	1.60E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.63E-05
3	2.25E-05	2.25E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-05	2.17E-05
3a	1.81E-05	1.81E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.93E-05	1.75E-05

Concio	Sezione fessurata too,ritiro					
	S1/(Iyyb1)	S2/(Iyyb2)	S3/(Iyyb3)	S4/(Iyyb4)	S5/(Iyyb5)	S6/(Iyyb6)
1a	1.80E-05	1.80E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.06E-05	1.98E-05
1	2.07E-05	2.07E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.28E-05	2.15E-05
2	1.08E-05	1.08E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.47E-05	1.51E-05
2a	1.32E-05	1.32E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.64E-05	1.64E-05
3	1.93E-05	1.93E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.24E-05	2.17E-05
3a	1.55E-05	1.55E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.79E-05	1.75E-05

Concio	Sezione fessurata too,permanenti					
	S1/(Iyyb1)	S2/(Iyyb2)	S3/(Iyyb3)	S4/(Iyyb4)	S5/(Iyyb5)	S6/(Iyyb6)
1a	1.73E-05	1.73E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.02E-05	1.98E-05
1	1.99E-05	1.99E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.24E-05	2.15E-05
2	1.02E-05	1.02E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-05	1.51E-05
2a	1.25E-05	1.25E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.61E-05	1.64E-05

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 56 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

3	1.86E-05	1.86E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.20E-05	2.17E-05
3a	1.48E-05	1.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.75E-05

Mista + armatura t_0 (carichi di breve durata)

Concio	S1/(l _{yyb1})	S2/(l _{yyb2})	S3/(l _{yyb3})	S4/(l _{yyb4})	S5/(l _{yyb5})	S6/(l _{yyb6})
1a	2.10E-05	2.10E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-05	1.99E-05
1	2.35E-05	2.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.45E-05	2.16E-05
2	1.36E-05	1.36E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.57E-05	1.50E-05
2a	1.60E-05	1.60E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.63E-05
3	2.25E-05	2.25E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-05	2.17E-05
3a	1.81E-05	1.81E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.93E-05	1.75E-05

Mista + armatura t_{∞} (effetti del ritiro)

Concio	S1/(l _{yyb1})	S2/(l _{yyb2})	S3/(l _{yyb3})	S4/(l _{yyb4})	S5/(l _{yyb5})	S6/(l _{yyb6})
1a	1.80E-05	1.80E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.06E-05	1.98E-05
1	2.07E-05	2.07E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.28E-05	2.15E-05
2	1.08E-05	1.08E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.47E-05	1.51E-05
2a	1.32E-05	1.32E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.64E-05	1.64E-05
3	1.93E-05	1.93E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.24E-05	2.17E-05
3a	1.55E-05	1.55E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.79E-05	1.75E-05

Mista + armatura t_{∞} (carichi di lunga durata)

Concio	S1/(l _{yyb1})	S2/(l _{yyb2})	S3/(l _{yyb3})	S4/(l _{yyb4})	S5/(l _{yyb5})	S6/(l _{yyb6})
1a	1.73E-05	1.73E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.02E-05	1.98E-05
1	1.99E-05	1.99E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.24E-05	2.15E-05
2	1.02E-05	1.02E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-05	1.51E-05
2a	1.25E-05	1.25E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.61E-05	1.64E-05
3	1.86E-05	1.86E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.20E-05	2.17E-05
3a	1.48E-05	1.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.75E-05

Nel diagramma a seguire sono riportate le tensioni tangenziali nei punti di verifica per la combinazione involuppo agli SLU, per taglio massimo e taglio minimo, e per la trave maggiormente sollecitata.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia
 OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO
 Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	57 di 101

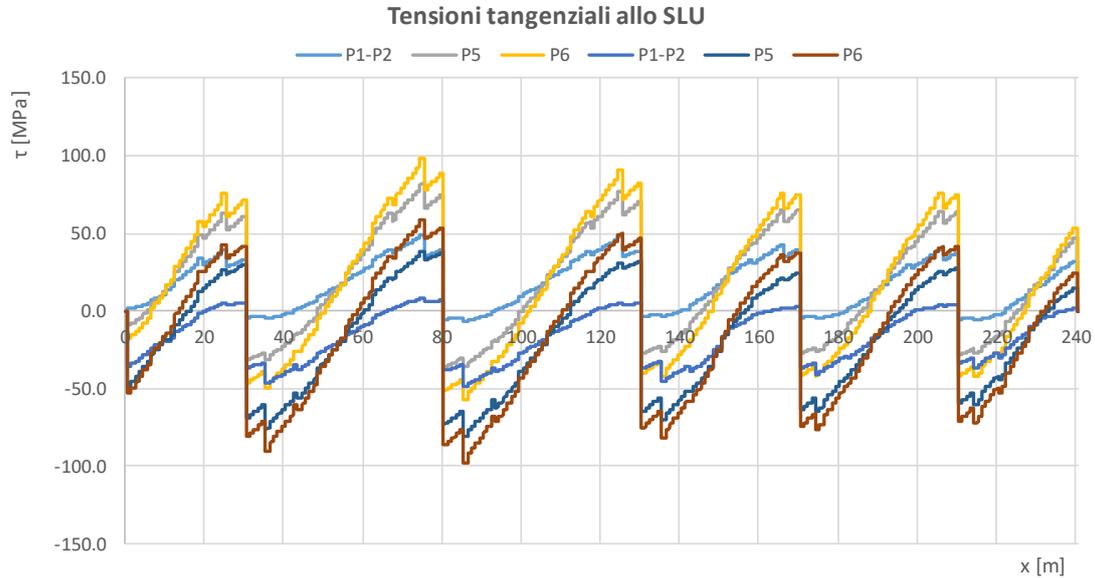


Figura 41 – Tensioni tangenziali allo SLU

Le tensioni normali e tangenziali massime sono quindi combinate per ottenere il valore della tensione ideale nei punti di verifica.

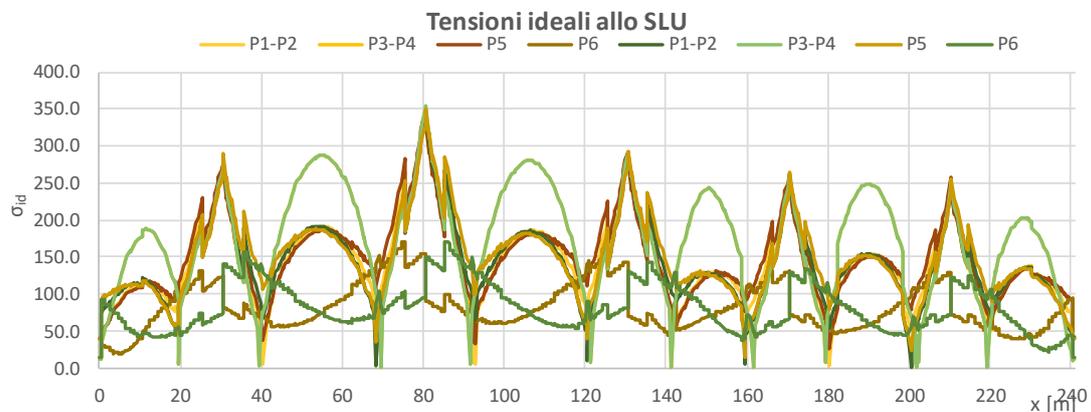


Figura 42 – Tensioni ideali allo SLU

Il rapporto tensione ideale e resistenza di progetto dell'acciaio (tasso di sfruttamento del materiale) è diagrammato nella figura seguente, dalla quale si evince che la verifica delle nervature è ovunque soddisfatta.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 58 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

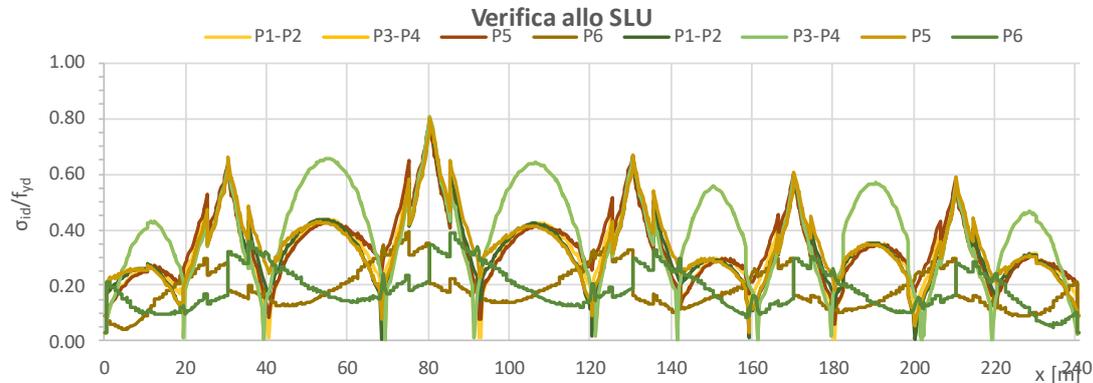


Figura 43 – Tasso di sfruttamento del materiale (SLU)

Si riportano inoltre il diagramma delle tensioni agenti nella soletta in calcestruzzo (zone cls reagente) e il diagramma delle tensioni nelle barre di armature nelle zone in cui il calcestruzzo è stato considerato non reagente (cls fessurato). Le tensioni agenti sono sempre inferiori alle resistenze di progetto del calcestruzzo f_{cd} e dell'acciaio d'armatura f_{yd} .

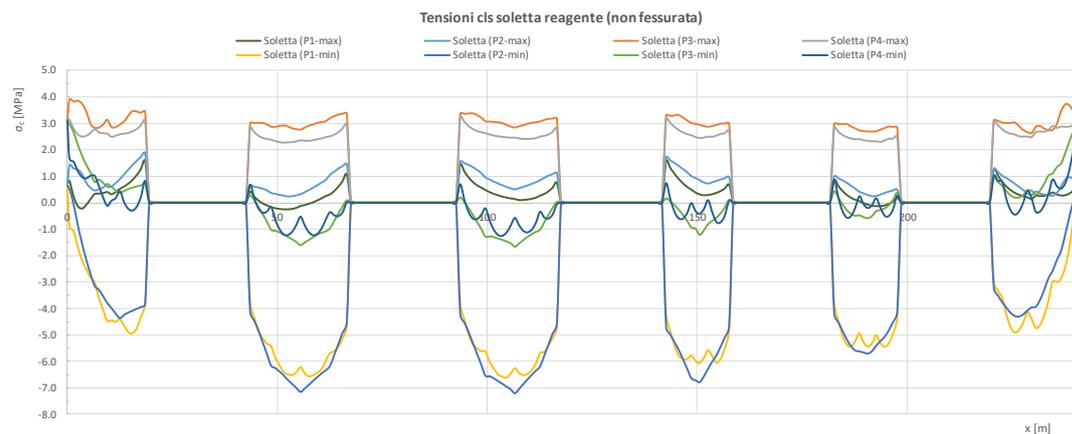


Figura 44 – Tensioni nella soletta nelle zone a calcestruzzo reagente (cls non fessurato)

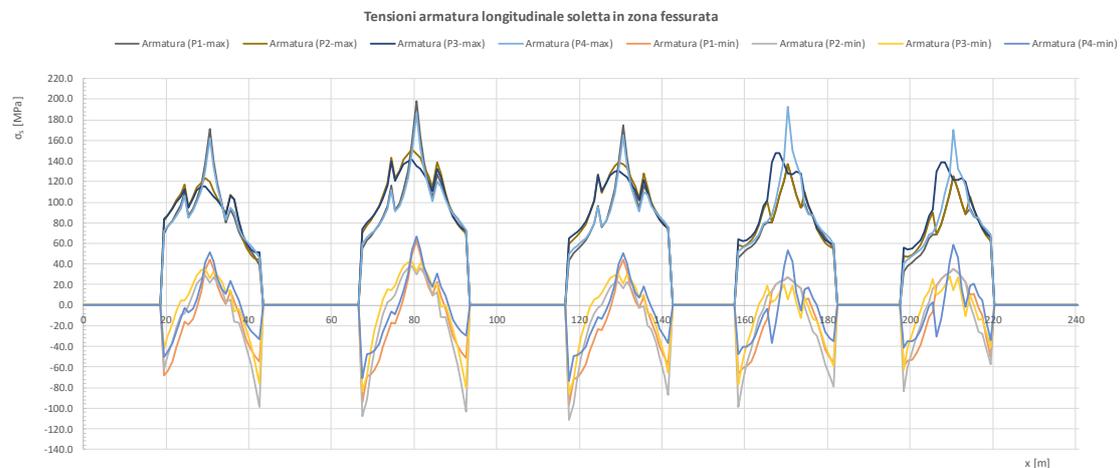


Figura 45 – Tensioni nelle barre di armatura longitudinali nella soletta (cls fessurato)

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 59 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

8.2.2 Verifiche di stabilità locale a taglio dei pannelli d'anima

I pannelli d'anima delle travi principali sono irrigiditi longitudinalmente mediante piatti di larghezza pari a 210 mm e spessore pari a 20 mm, e trasversalmente mediante piatti disposti ad interasse pari a 3 m, come mostrato nella seguente figura. Sono previsti due irrigidimenti longitudinali su ciascun concio eccetto che negli appoggi (conci 2, 2a, 3a), dove è stato aggiunto un terzo irrigidimento nella zona compressa della sezione. L'immagine di seguito riportata mostra la distribuzione degli irrigidimenti nei conci 1 (analogamente per il concio 1a e 3) e 2 (analogamente per il concio 2a e 3a):

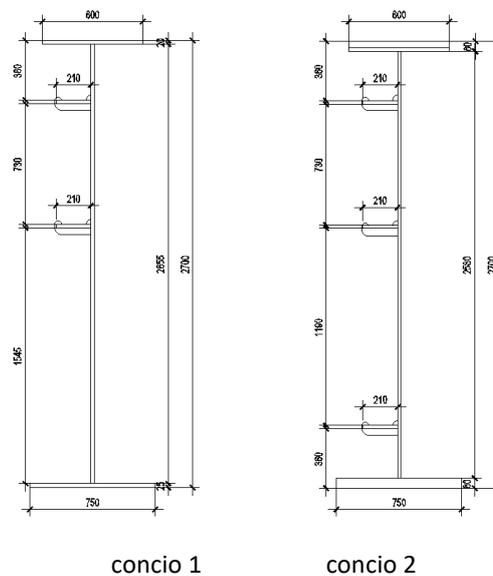


Figura 46 – Sezione trasversale dei conci 1 e 2 delle travi principali

In accordo a quanto illustrato al paragrafo 6.8.1.2, è stato preliminarmente verificato che per le anime di ciascun concio fosse necessaria la verifica di instabilità. Conformemente a quanto previsto dalla normativa citata la rigidità flessionale dell'irrigidimento intorno all'asse baricentrico verticale viene valutato considerando una collaborazione di pannello d'anima per un'ampiezza pari a $15 \epsilon t_w$. Di seguito sono riportate le sezioni considerate per il calcolo del momento di inerzia degli irrigidimenti longitudinali:

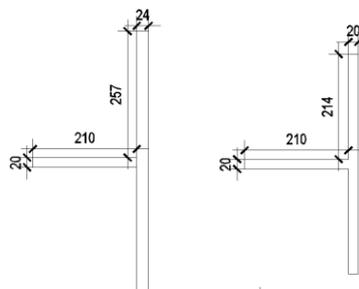


Figura 47 – Geometria per il calcolo dei momenti di inerzia degli irrigiditori longitudinali

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 60 di 101
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Di seguito sono riportate le verifiche per i pannelli di ciascun concio:

Tabella 21 – Verifica dei pannelli d'anima

VERIFICA NECESSARIA SE ANIMA DI CLASSE 4

CONCIO	1a	1	2	2a	3	3a
Classe Anima	4	4	4	4	4	4

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito

h_w	[mm]	2650	2650	2580	2620	2630	2630
t	[mm]	18	16	24	22	16	20
h_w/t	[-]	147.2	165.6	107.5	119.1	164.4	131.5
ϵ	[-]	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
η	[-]	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2
$(h_w/t)_{lim}$	[-]	42.9	23.4	16.1	12.3	9.9	8.3

Verifica di stabilità Necessaria Necessaria Necessaria Necessaria Necessaria Necessaria

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito

a	[mm]	3000	3000	3000	3000	3000	3000
α	[-]	1.13	1.13	1.16	1.15	1.14	1.14
n_{irr}	[-]	2	2	2	2	2	3
$15\epsilon t$	[mm]	193.0	171.5	257.3	235.9	171.5	214.4
L_{irrig}	[mm]	210	210	210	210	210	210
t_{irrig}	[mm]	20	20	20	20	20	20
$I_{sl,1}$	[mm ⁴]	5.03E+07	4.67E+07	5.94E+07	5.66E+07	4.67E+07	5.03E+07
I_{sl}	[mm ⁴]	1.01E+08	9.34E+07	1.19E+08	1.13E+08	9.34E+07	1.51E+08
$k_{\tau 1}$	[-]	-	-	-	-	-	30.3
k_{τ}	[-]	14.0	14.7	12.5	13.0	14.7	38.7
$(h_w/t)_{lim}$	[-]	69.2	38.7	24.5	19.0	16.3	22.2

Verifica di stabilità Necessaria Necessaria Necessaria Necessaria Necessaria Necessaria

Verifica di stabilità dei pannelli soggetti a taglio

σ_E	[MPa]	8.8	6.9	16.4	13.4	7.0	11.0
τ_{cr}	[MPa]	123.1	102.0	205.3	173.8	103.1	425.5
λ_w	[-]	1.47	1.61	1.14	1.24	1.61	0.79
χ_w	[-]	0.56	0.51	0.73	0.67	0.52	1.05
$V_{b,Rd,lim}$	[kN]	13820	22521	47839	58449	52830	78738
$V_{b,Rd}$	[kN]	6505	5265	10908	9341	5253	13339
$V_{ed,w}$	[kN]	2522.0	2497.0	5455.3	4271.0	3092.8	4638.0
F.S.	[-]	2.58	2.11	2.00	2.19	1.70	2.88

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	VI5400	REL	01	B	62 di 101

	$K\sigma,2 =$	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64
	$K\sigma,3 =$	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64
	$\psi_{1,1} =$	0.7	0.6	-	-	0.7	-
	$\psi_{1,2} =$	-0.1	-0.1	-0.6	-0.5	-0.1	-0.7
	$\psi_{1,3} =$	-	-	0.7	0.7	-	0.7
	$k_{1,1} =$	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64
	$k_{1,2} =$	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64
	$k_{1,3} =$	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64
II	$k_{3,1} =$	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	$k_{3,2} =$	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	$k_{3,3} =$	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	$K\sigma,1 =$	1.20	1.15	-	-	1.20	-
	$K\sigma,2 =$	1.67	2.02	7.63	7.46	1.79	9.54
	$K\sigma,3 =$	-	-	1.78	1.79	-	1.67
	$\psi_{1,1} =$	0.7	0.6	-	-	0.7	-
	$\psi_{1,2} =$	-0.1	-0.1	-0.6	-0.5	-0.1	-0.7
	$\psi_{1,3} =$	-	-	0.7	0.7	-	0.7
III	$K\sigma,1 =$	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	$K\sigma,2 =$	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	$K\sigma,3 =$	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II - III)	irrig.1	I	I	II	II	I	II
	irrig.2	II	II	II	II	II	II
	irrig.3	II	II	I	I	II	I
	$K\sigma,1 =$	7.6	7.6	-	-	7.6	-
	$K\sigma,2 =$	1.7	2.0	7.6	7.5	1.8	9.5
	$K\sigma,3 =$	-	-	7.6	7.6	-	7.6
Coeff. d'imbozzamento	$Kt,1 =$	5.4	5.4	5.6	5.6	5.4	5.6
	$Kt,2 =$	5.6	5.6	6.0	6.0	5.6	6.0
	$Kt,3 =$	6.4	6.4	5.4	5.4	6.4	5.4

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

Tensione di riferimento 1	$\sigma_{cr,0}(Mpa)=$	440.7	348.2	190.7	160.2	348.2	132.4
Tensione di riferimento 2	$\sigma_{cr,0}(Mpa)=$	107.3	84.7	73.3	61.6	84.7	50.9
Tensione di riferimento 3	$\sigma_{cr,0}(Mpa)=$	24.9	19.7	783.4	658.3	20.0	544.0
Tensione normale critica 1	$\sigma_{cr}(Mpa)=$	3365.18	2658.90	-	-	2658.90	-
Tensione normale critica 2	$\sigma_{cr}(Mpa)=$	178.86	170.99	558.94	458.99	151.55	485.07

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 63 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Tensione normale critica 3	σ_{cr} (Mpa)=	-	-	5982.54	5026.99	-	4154.54
Tensione tangenziale critica 1	t_{cr} (Mpa)=	2826.81	2233.53	1029.77	865.29	2228.73	715.12
Tensione tangenziale critica 2	t_{cr} (Mpa)=	687.98	543.59	395.63	332.44	542.42	274.75
Tensione tangenziale critica 3	t_{cr} (Mpa)=	160.04	126.45	4231.17	3555.36	127.82	2938.31

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

irrig.1	σ_1 (Mpa)=	128.70	160.60	-151.37	-111.72	187.00	-117.28
irrig.2	σ_1 (Mpa)=	84.57	104.20	270.67	203.41	122.87	177.07
irrig.3	σ_1 (Mpa)=	-7.85	-13.95	369.50	277.20	-13.20	246.00
Tensione normale data da N	σ_N (Mpa)=	20	40	20	15	30	17
Tensione normale data da M,1	σ_M (Mpa)=	128.70	160.60	-151.37	-111.72	187.00	-117.28
Tensione normale data da M,2	σ_M (Mpa)=	84.57	104.20	270.67	203.41	122.87	177.07
Tensione normale data da M,3	σ_M (Mpa)=	-7.85	-13.95	369.50	277.20	-13.20	246.00
Taglio sollecitante	T (KN)=	2522.0	2497.0	5455.3	4271.0	3092.8	4638.0
Tensione tangenziale	t (Mpa)=	51.9	57.8	84.2	71.9	71.6	85.9
Tensione critica ideale 1	$\sigma_{crit id}$ (Mpa)=	3503.53	2749.46	-	-	2757.38	-
Tensione critica ideale 2	$\sigma_{crit id}$ (Mpa)=	256.83	232.66	575.82	478.23	211.74	473.47
Tensione critica ideale 3	$\sigma_{crit id}$ (Mpa)=	-	-	5926.89	4972.29	-	4100.47
Tensione critica ridotta 1	$\sigma_{cr,red}$ (Mpa)=	459.21	458.71	-	-	458.72	-
Tensione critica ridotta 2	$\sigma_{cr,red}$ (Mpa)=	256.83	232.66	429.31	414.04	211.74	412.99
Tensione critica ridotta 3	$\sigma_{cr,red}$ (Mpa)=	-	-	459.72	459.61	-	459.42
irrig.1	$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}}$	2.93	2.42	-	-	2.04	-
irrig.2		2.08	1.61	1.40	1.74	1.21	1.79
irrig.3		-	-	1.16	1.51	-	1.60
irrig.1	β =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
irrig.2	β =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
irrig.3	β =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	v =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
irrig.1	βv =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
irrig.2	βv =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
irrig.3	βv =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ESITO VERIFICA

VERIFICA TO					
2.08	1.61	1.16	1.51	1.21	1.60

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 64 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

8.2.4 Verifiche delle connessioni trave-soletta

Le verifiche dei connettori trave-soletta per i conci maggiormente sollecitati delle travi in acciaio sono eseguite in accordo con quanto esplicitato nel paragrafo 6.8.1.4.

Tabella 22 – Verifica connettori trave-soletta

CARATTERISTICHE CONNETTORI TRAVE SOLETTA			
φ	19	mm	Diametro connettori
$d_{x,min}$	150	mm	minima distanza tra i connettori in direzione longitudinale
$d_{y,min}$	200	mm	minima distanza tra i connettori in direzione trasversale
f_{tk}	450	MPa	Resistenza ultima connettore
f_{ck}	35	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica del calcestruzzo della soletta
E_{cm}	34077	MPa	Valore medio del modulo elastico secante del calcestruzzo della soletta
E_s	210000	MPa	Modulo elastico acciaio
$P_{RD,a}$	81.7	kN	Equazione 4.3.9 NTC2008
$P_{RD,c}$	91.5	kN	Equazione 4.3.10 NTC2008
$P_{RD,a}$	81.7	kN	Resistenza a taglio del singolo connettore
CALCOLO SFORZO DA SCORRIMENTO A RITIRO IMPEDITO			
$\epsilon_{c,sr} =$	-3.02E-04		Deformazione ultima da ritiro
$A_c =$	1.08	m ²	Area soletta collaborante trave
$\varphi_{sr}(t_0) =$	2.10		Coeff. di viscosità a $t = \infty$
$n_{r,00} =$	13.28		
N_{ritiro}	5157.6	kN	Sforzo di trazione nella soletta dovuto alla contrazione da ritiro impedita
$N_{ritiro,SLU}$	6189	kN	Sforzo di trazione nella soletta dovuto alla contrazione da ritiro impedita allo SLU (1,2 x Nr)
n° travi	1		Numero travi
$N_{ritiro,SLU,tra}$	6189	kN	Sforzo di trazione nella singola trave
Ls	30	m	Lunghezza della campata di riva
Lsr	15		Lunghezza interessata dallo sviluppo del ritiro (si assume pari a metà campata)
$S_{ritiro,SLU}$	413	kN/m	Sforzo di scorrimento dovuto alla contrazione da ritiro impedita ($N_{r,SLU}/L_{sr}$)
CALCOLO SFORZO DA SCORRIMENTO A TAGLIO			
$V_{z,SLU}$	4570	kN	Taglio totale massimo di progetto agli SLU
As	98050	mm ²	area della nervatura in acciaio
Ac	1080000	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
$n_0 = E_s/E_c$	6.16		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	2.26E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	219.80	mm	distanza del baricentro della soletta dal baricentro della sezione composta
$V_{z,SLU,trave}$	1640	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
$V_{z,SLU,sol}$	2930	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
SI	0.171	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
$S_{Dx,SLU}$	279.81	kN/m	Scorrimento complessivo a taglio
RISULTATI VERIFICHE SLU			
$S_{Dx,SLU}$	692	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto trave-soletta
Nc	20.0	n°/m	Numero di connettori / m per singola trave
P_{di}	34.6	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	2.36	-	Coefficiente di sicurezza

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N,prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	65 di 101

RISULTATI VERIFICHE SLE

$N_{\text{ritiro,SLE,trave}}$	5158	kN	Sforzo di trazione nella singola trave a ritiro impedito (SLE)
L_s	30	m	Lunghezza della campata di riva
L_{sr}	15		Lunghezza interessata dallo sviluppo del ritiro (si assume pari a metà campata)
$S_{\text{ritiro,SLE}}$	344	kN/m	Sforzo di scorrimento dovuto alla contrazione da ritiro impedita ($N_{r,SLE}/L_{sr}$)
$V_{z,SLU}$	3300	kN	Taglio totale massimo di progetto agli SLE
$V_{z,SLE,trave}$	1184	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLE
$V_{z,SLE,sol}$	2116	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLE
S/I	0.171	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
$S_{Dx,SLE}$	202	kN/m	Scorrimento complessivo a taglio
$S_{Dx,SLE}$	546	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto trave-soletta
N_c	20	n°/m	Numero di connettori / m per singola trave
P_{di}	27.3	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLE
$0,6 \cdot P_{RD}/P_{Di}$	1.79	-	Coefficiente di sicurezza

8.2.5 Verifiche allo stato limite di fatica

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi ottenuti utilizzando i modelli di carico 1 e 2 previsti dalla normativa per le verifiche a fatica.

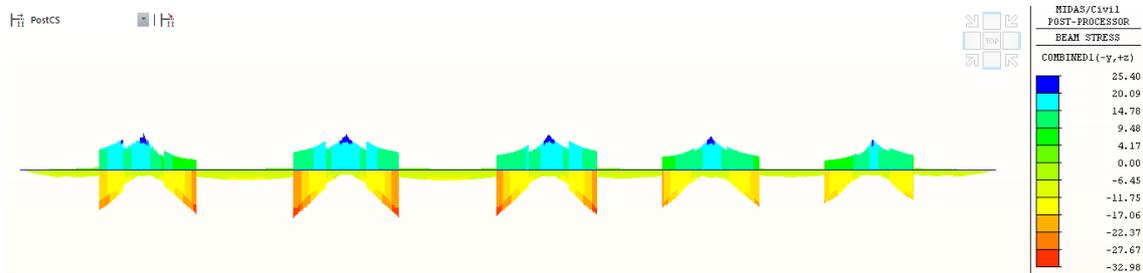


Figura 48 – Tensioni normali sulla piattabanda superiore (Modello di carico a fatica 1)

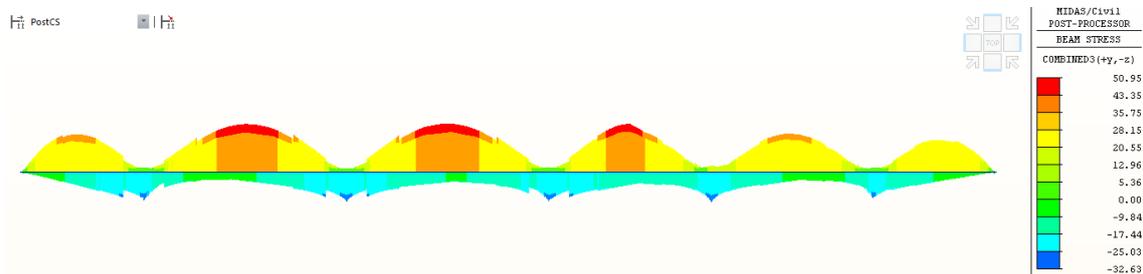
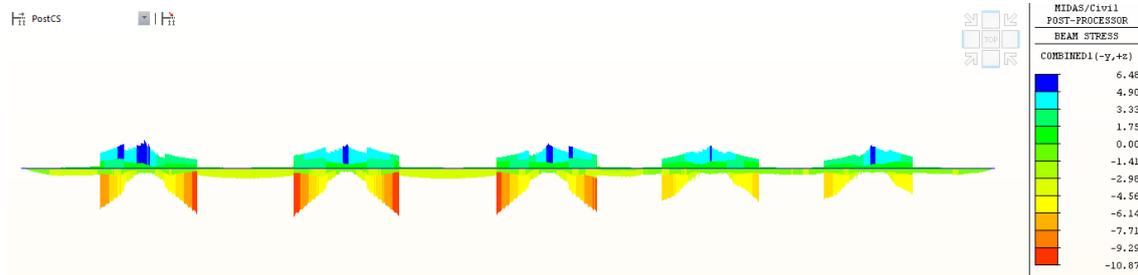
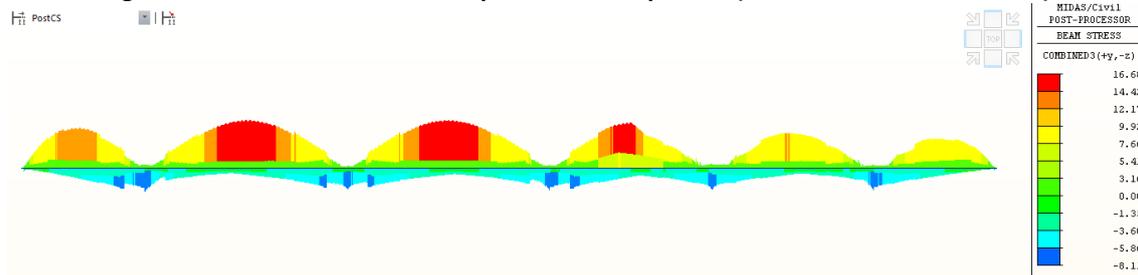


Figura 49 – Tensioni normali sulla piattabanda inferiore (Modello di carico a fatica 1)

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 66 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------


Figura 50 – Tensioni normali sulla piattabanda superiore (Modello di carico a fatica 2)

Figura 51 – Tensioni normali sulla piattabanda inferiore (Modello di carico a fatica 2)

Nella tabella sono riportate quindi le verifiche a fatica per i dettagli costruttivi richiamati al paragrafo 6.8.3.

Tabella 23 – Riepilogo verifiche a fatica

VERIFICA A FATICA					1a	1	2	2a	3	3a	4
Piattabanda superiore	$\Delta\sigma_D$	k_t	γ_{Mf}	$\frac{\Delta\sigma_D k_t}{\gamma_{Mf}}$	$\Delta\sigma_{max}$						
	Mpa	-	-	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi	92.13	1	1.35	68.24	5.6	6.9	31.3	30.3	8.2	47.0	5.6
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	1	1.15	51.27	5.6	6.9	31.3	30.3	8.2	47.0	5.6
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$	k_t	γ_{Mf}	$\frac{\Delta\sigma_D k_t}{\gamma_{Mf}}$							
	Mpa	-	-	Mpa							
Limite su saldatura di composizione delle travi	92.13	1	1.35	68.24	45.5	64.0	38.0	36.4	62.6	60.3	45.5
Anima Concio	$\Delta\sigma_D$	k_t	γ_{Mf}	$\frac{\Delta\sigma_D k_t}{\gamma_{Mf}}$							
	Mpa	-	-	Mpa							
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali 1	41.27	1	1.15	35.89	32.02	32.05	31.73	31.85	31.90	31.90	32.02
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali 2	41.27	1	1.15	35.89	1.65	1.74	0.78	1.13	1.31	1.74	1.65

8.3 VERIFICHE ALLO SLE IN FASE FINALE

8.3.1 Verifiche di deformabilità

Come indicato al paragrafo 6.8.4.1, si è verificato che le deformazioni di impalcato per effetto dei carichi mobili siano inferiori ad 1/500 della luce di impalcato. Di seguito è riportato

l'andamento delle massime deformazioni verticali per effetto del carico mobile viaggiante lungo l'opera.

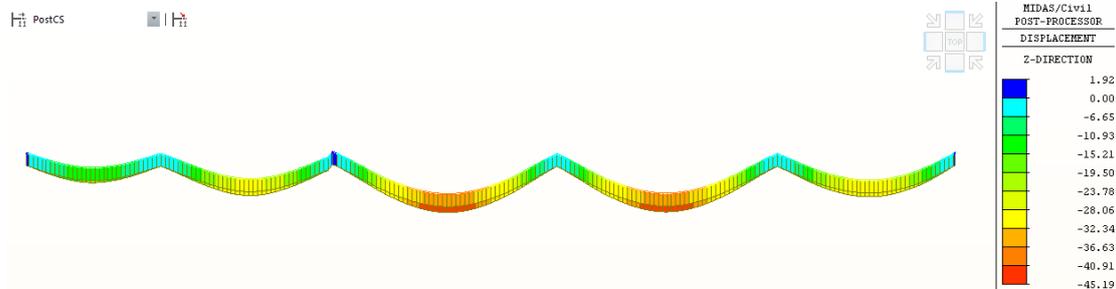


Figura 52 – Spostamenti verticali per effetto dei carichi mobili

Lo spostamento ottenuto è pari a 45.19 mm per la campata da 50 m e 30 mm per la campata da 40 m, inferiore ai limiti rispettivamente pari a $40 \cdot 10^3 / 500 = 80$ mm e $50 \cdot 10^3 / 500 = 100$ mm.

8.3.1.1 Contromonta

Nella seguente tabella si riportano i valori degli spostamenti ricavati per le condizioni di carico permanenti (cfr. Figura 24 e Figura 27), dai quali sono stati dedotti i valori delle contromonte.

Campata	Freccia pesi propri (G1) [mm]	Freccia carichi permanenti (G2) [mm]	Freccia totale (G1+G2) [mm]	CONTROMONTA [mm]
30 m	15	3	18	20
40 m	48.81	7.05	55.86	60
50 m	60.10	9.02	69.12	70

8.3.2 Verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio

Si riportano quindi i diagrammi delle tensioni di compressione agenti nella soletta in direzione longitudinale per le combinazioni di esercizio rare e quasi permanente.

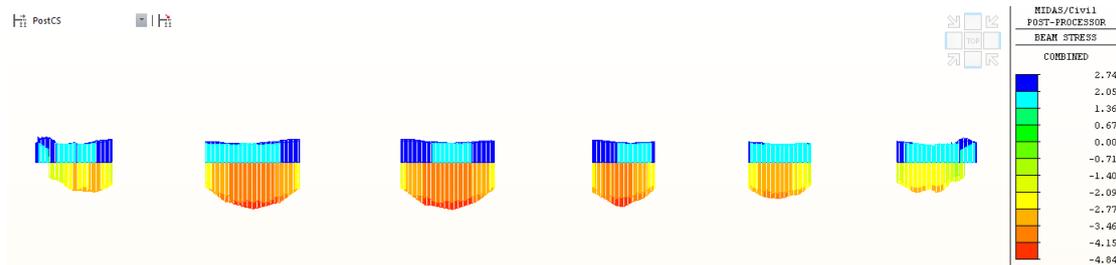


Figura 53 – Involuppo delle combinazioni rare (SLE-R) - Tensioni normali nella soletta (zone cls non fessurato reagente)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 68 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

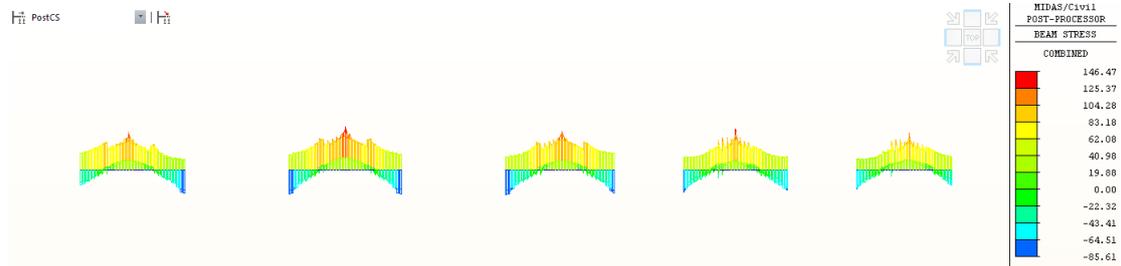


Figura 54 – Involuppo delle combinazioni rare (SLE-R) - Tensioni normali nella armatura di soletta (zone cls fessurato non reagente)

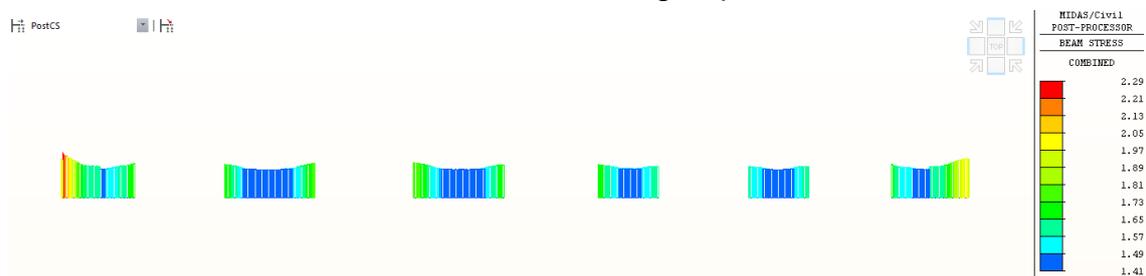


Figura 55 – Combinazione quasi permanente (SLE-QP) - Tensioni normali nella soletta (zone cls non fessurato reagente)

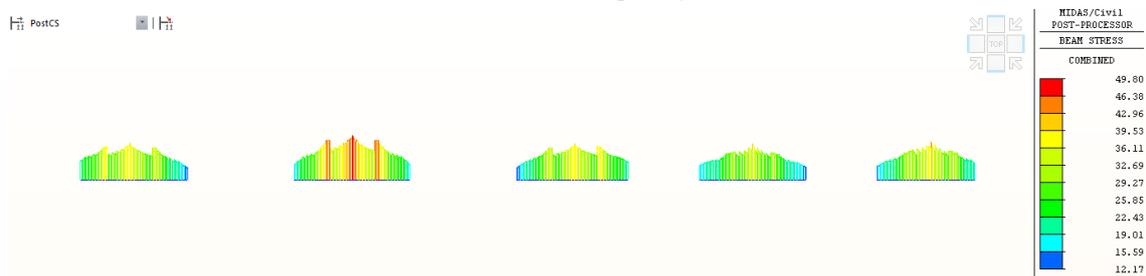


Figura 56 – Involuppo delle combinazioni rare (SLE-QP) - Tensioni normali nella armatura di soletta (zone cls fessurato non reagente)

Le tensioni normali di compressione nel calcestruzzo e di trazione nell'armatura nelle diverse combinazioni di esercizio risultano quindi inferiori ai limiti previsti dalla normativa. In combinazione caratteristica (rara) risulta infatti:

- $\sigma_c = 4.9 \text{ MPa} < \sigma_{c,R} = 21.0 \text{ MPa}$;
- $\sigma_s = 146.5 \text{ MPa} < \sigma_{s,R} = 360 \text{ MPa}$.

La tensione di trazione nel calcestruzzo è inferiore al limite di fessurazione per il calcestruzzo della soletta ($\sigma_t = 2.68 \text{ MPa}$).

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 69 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

9. VERIFICHE DEGLI ELEMENTI DI CARPENTERIA SECONDARIA

Nei paragrafi successivi sono riportate le verifiche di instabilità degli elementi di carpenteria secondaria. Le sollecitazioni agenti sugli elementi costituenti il traverso vengono ricavate attraverso modelli piani semplificati di aste (elementi soggetti a solo sforzo normale).

I controventi superiori vengono verificati in condizioni di montaggio, in funzione delle sollecitazioni che derivano dall'azione tagliante del vento. Ipotizzando la presenza di una sola diagonale di controvento compressa tra due travi principali e tra tre diaframmi contigui, l'azione risultante del vento risulta pari a:

- $F_{wm,1,SLE} = 4.3 \text{ kN/m} \cdot 12 \text{ m} = 51.6 \text{ kN}$;
- $F_{wm,1,SLU} = 1.5 \cdot F_{wm,1,SLE} = 77.4 \text{ kN}$.

Per cui lo sforzo normale nel controvento risulta pari a:

- $N_{cs,SLE} = F_{wm,1,SLE} / \cos\alpha = 86 \text{ kN}$;
- $N_{cs,SLU} = F_{wm,1,SLU} / \cos\alpha = 129 \text{ kN}$;

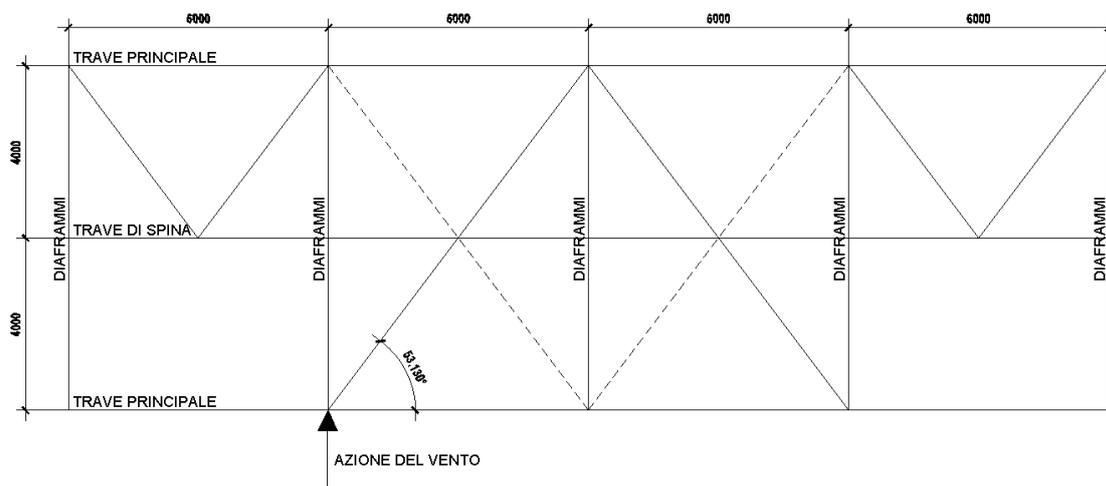


Figura 57 – Schema di calcolo controventatura superiore

Per i traversi intermedi, l'effetto locale sui diaframmi consiste nell'azione ad essi trasmessa dalla trave di spina valutata dal modello globale considerando però, al fine di massimizzare tale azione, la trave vincolata mediante appoggi fissi sui traversi e studiando la posizione dei carichi accidentali stradali che massimizza le sollecitazioni; si valutano quindi i massimi sforzi di compressione e trazione nelle aste mediante un modello di calcolo piano del traverso caricato dall'azione suddetta.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia
 OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO
 Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 70 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

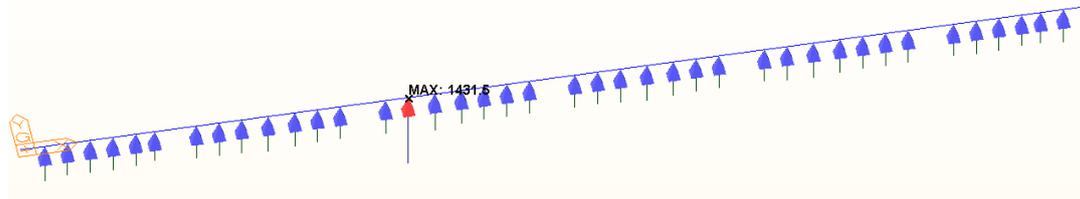


Figura 58 – Azione massima trasmessa dalla trave di spina allo SLU

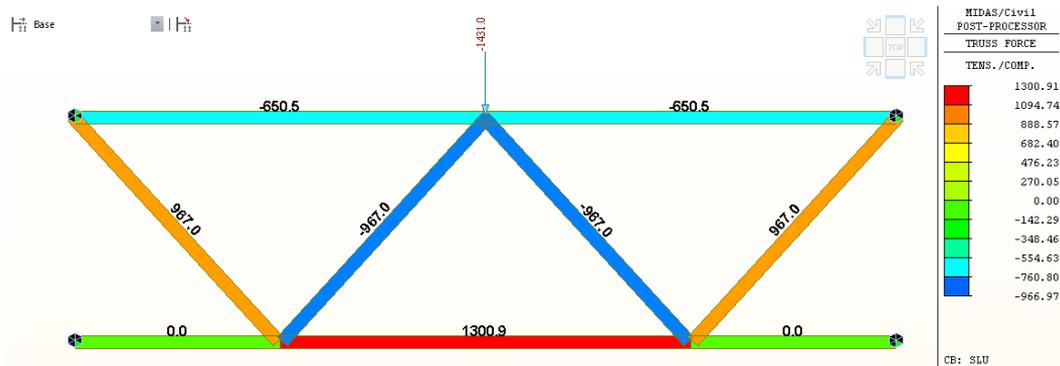


Figura 59 – Sforzi normali agenti nei diaframmi intermedi allo SLU

Tutti gli elementi hanno sezione a doppio L 130x12. Per tutti gli elementi è stata considerata una lunghezza di libera inflessione pari all'effettiva lunghezza della trave ($L_0/L = 1$).

9.1 VERIFICA DEI CONTROVENTI SUPERIORI

Nella tabella a seguire si sviluppa la verifica della classe di appartenenza e il calcolo della resistenza all'instabilità dell'asta. Si evidenzia che essendo la resistenza maggiore del massimo sforzo di compressione di progetto, la verifica è soddisfatta.

Tabella 24 – Verifica di stabilità per controventi superiore

CONTROVENTI SUPERIORI (2L 100x10)									
f_{yk} [MPa]	E [kPa]	h [mm]	b [mm]	t [mm]	h/t [-]	(b+h)/(2t) [-]	ϵ [-]	14 ϵ [-]	CLASSE
355	2.10E+08	100	100	10	10.00	10.00	0.81	11.34	3
A [m ²]	J_{yy} [m ⁴]	J_{zz} [m ⁴]	J_{min} [m ²]	L [m]	L_0/L [-]	L_0 [m]	i_{min} [m]	15 i_{min} [m]	
3.80E-03	3.60E-06	7.91E-06	3.60E-06	5.0	1	5	0.031	0.46	
PROFILATO SEMPLICE			SNELLEZZA EQUIV. ASTA COMPOSTA						
A [cm ²]	J_{min} [cm ⁴]	i_{min} [cm]	L_0 [m]	i_{min} [m]	λ_1 [-]	λ [-]	λ_{eq} [-]		
1.92E+01	177	3.00	1	0.030	33.3	162.4	165.8		
CALCOLO DELLA RESISTENZA ALL'INSTABILITA' DELL'ASTA									
ω (λ) [-]	N_{cr} [kN]	λ [-]	α [-]	ϕ [-]	χ [-]	γ_{M1} [-]	$N_{b,Rd}$ [kN]	N_{Ed} [kN]	σ_{Ed} [MPa]
165.8	286.4	2.17	0.34	3.19	0.18	1.1	221.8	129	13.2

9.2 VERIFICA DEI CONTROVENTI INFERIORI

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 71 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Nell'immagine seguente si riportano gli sforzi normali massimi e minimi nei controventi inferiori, costituiti da profili a doppio L 150x14.

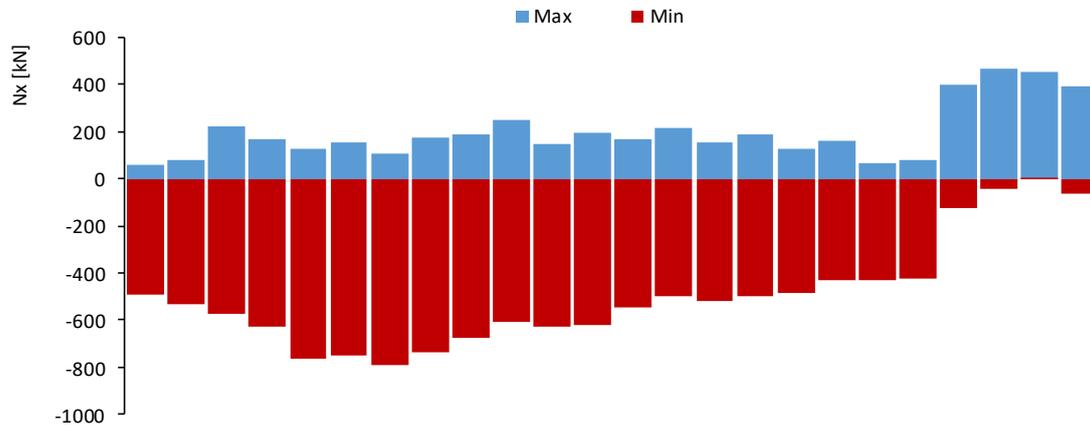


Figura 60 – Sforzi normali massimi e minimi nei controventi inferiori

Nella tabella a seguire si sviluppa la verifica della classe di appartenenza e il calcolo della resistenza all'instabilità dell'asta. Si evidenzia che essendo la resistenza maggiore del massimo sforzo di compressione di progetto, la verifica è soddisfatta.

Tabella 25 – Verifica di stabilità per controventi inferiori

CONTROVENTI INFERIORI (2L 150x14)										
f_{yk} [MPa]	E [kPa]	h [mm]	b [mm]	t [mm]	h/t [-]	(b+h)/(2t) [-]	ϵ [-]	14 ϵ [-]	CLASSE	
355	2.10E+08	150	150	14	10.71	10.71	0.81	11.34	3	
A [m ²]	J_{yy} [m ²]	J_{zz} [m ²]	J_{min} [m ²]	L [m]	L_0/L [-]	L_0 [m]	i_{min} [m]	15 i_{min} [m]		
8.01E-03	1.72E-05	3.69E-05	1.72E-05	5.0	1	5.0	0.046	0.69		
PROFILATO SEMPLICE			SNELLEZZA EQUIV. ASTA COMPOSTA							
A [cm ²]	J_{min} [cm ⁴]	i_{min} [cm]	L_0 [m]	i_{min} [m]	λ_1 [-]	λ [-]	λ_{eq} [-]			
4.00E+01	845	4.60	1	0.046	21.7	108.0	110.1			
CALCOLO DELLA RESISTENZA ALL'INSTABILITA' DELL'ASTA										
ω (λ) [-]	N_{cr} [kN]	λ [-]	α [-]	ϕ [-]	χ [-]	γ_{M1} [-]	$N_{b,Rd}$ [kN]	N_{Ed} [kN]	σ_{Ed} [MPa]	
110.1	1368.2	1.44	0.34	1.75	0.36	1.1	942.5	789	95.9	

9.3 VERIFICA DEI CORRENTI SUPERIORI

Tabella 26 – Verifica di stabilità per correnti superiori

CORRENTI SUPERIORI (2L 130x12)										
f_{yk} [MPa]	E [kPa]	h [mm]	b [mm]	t [mm]	h/t [-]	(b+h)/(2t) [-]	ϵ [-]	14 ϵ [-]	CLASSE	
355	2.10E+08	130	130	12	10.83	10.83	0.81	11.34	3	

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 72 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

A [m ²]	J _{yy} [m ⁴]	J _{zz} [m ⁴]	J _{min} [m ⁴]	L [m]	L ₀ /L [-]	L ₀ [m]	i _{min} [m]	15 i _{min} [m]
5.95E-03	9.60E-06	2.01E-05	9.60E-06	4	1	4	0.040	0.60

PROFILATO SEMPLICE		
A [cm ²]	J _{min} [cm ⁴]	i _{min} [cm]
3.00E+01	472	4.00

SNELLEZZA EQUIV. ASTA COMPOSTA				
L ₀ [m]	i _{min} [m]	λ ₁ [-]	λ [-]	λ _{eq} [-]
1	0.040	25.0	99.6	102.7

CALCOLO DELLA RESISTENZA ALL'INSTABILITA' DELL'ASTA									
ω (λ) [-]	N _{cr} [kN]	λ̄ [-]	α [-]	φ [-]	χ [-]	γ _{M1} [-]	N _{b,Rd} [kN]	N _{Ed} [kN]	σ _{Ed} [MPa]
102.7	1169.4	1.34	0.34	1.60	0.41	1.1	780.2	650	12.8

9.4 VERIFICA DEI CORRENTI INFERIORI

Per il corrente inferiore teso si riporta la verifica della sezione a trazione, confrontando la tensione agente nell'asta con la resistenza di progetto $f_{yd} = 355/1.05 = 338$ MPa.

$$\sigma_{Ed} = N_{Ed}/A = 1301 \cdot 10^3 / 5950 = 218.65 \text{ MPa} < f_{yd}$$

9.5 VERIFICA DEI TRAVERSI INTERMEDI DIAGONALI

Nella tabella a seguire si sviluppa la verifica della classe di appartenenza e il calcolo della resistenza all'instabilità dell'asta. Si evidenzia che essendo la resistenza maggiore del massimo sforzo di compressione di progetto, la verifica è soddisfatta.

Tabella 27 – Verifica di stabilità per traveri intermedi diagonali

TRAVERSI INTERMEDI DIAGONALI (2L 130x12)									
f _{yk} [MPa]	E [kPa]	h [mm]	b [mm]	t [mm]	h/t [-]	(b+h)/(2t) [-]	ε [-]	14 ε [-]	CLASSE
355	2.10E+08	130	130	12	10.83	10.83	0.81	11.34	3

A [m ²]	J _{yy} [m ⁴]	J _{zz} [m ⁴]	J _{min} [m ⁴]	L [m]	L ₀ /L [-]	L ₀ [m]	i _{min} [m]	15 i _{min} [m]
5.95E-03	9.60E-06	2.01E-05	9.60E-06	2.5	1	2.5	0.040	0.60

PROFILATO SEMPLICE		
A [cm ²]	J _{min} [cm ⁴]	i _{min} [cm]
3.00E+01	472	4.00

SNELLEZZA EQUIV. ASTA COMPOSTA				
L ₀ [m]	i _{min} [m]	λ ₁ [-]	λ [-]	λ _{eq} [-]
1	0.040	25.0	62.3	67.1

CALCOLO DELLA RESISTENZA ALL'INSTABILITA' DELL'ASTA									
ω (λ) [-]	N _{cr} [kN]	λ̄ [-]	α [-]	φ [-]	χ [-]	γ _{M1} [-]	N _{b,Rd} [kN]	N _{Ed} [kN]	σ _{Ed} [MPa]
67.1	2740.3	0.88	0.34	1.00	0.68	1.1	1297.0	967.0	90.4

9.6 VERIFICA DEI TRAVERSI DI TESTATA

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 73 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

I traversi di testata (asse appoggi) hanno sezione ad I avente altezza pari a 2.7 m e flange superiori e inferiori aventi larghezza pari a 500 mm e spessori pari a 20 mm. Lo spessore dell'anima è pari a 158 mm. Le sollecitazioni massime allo stato limite ultimo da modello di calcolo risultano pari a:

- $M_y = 2929 \text{ kNm}$;
- $V_z = 808 \text{ kN}$;

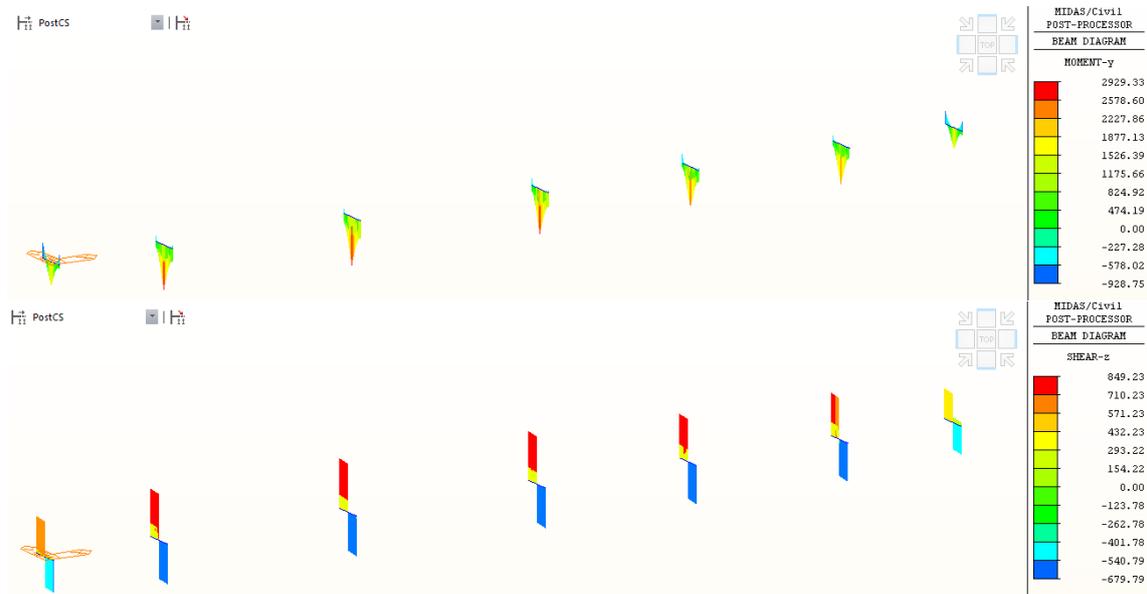


Figura 61 – Sollecitazioni allo SLU agenti nei traversi di testata

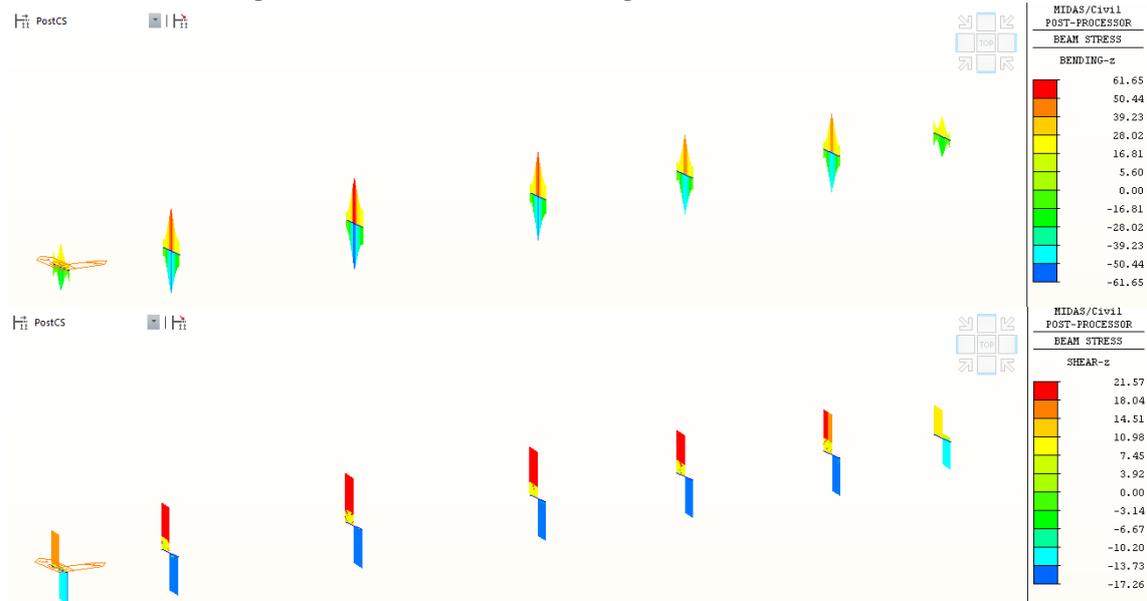


Figura 62 – Tensioni normali e tangenziali allo SLU agenti nei traversi di testata in esercizio

Si ottiene quindi una tensione ideale massima in tali elementi pari a:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia
 OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO
 Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 74 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

- $\sigma_{id} = (62^2 + 3 \cdot 21^2)^{0.5} = 72 \text{ MPa} < f_{yd} = 355/1.05 = 338 \text{ MPa}$

Per questi elementi è generalmente più gravosa la condizione di sollevamento dell'impalcato per sostituzione appoggi in fase di manutenzione. Nell'ipotesi di utilizzo di n. 2 martinetti per testata, posti a 1200 mm dalle travi di bordo, utilizzando un apposito modello di calcolo di trave su due appoggi (martinetti) e caricata, in corrispondenza delle due travi principali e della trave di spina, dalle azioni derivanti dai pesi propri e dai carichi da vento ($1.35 \cdot 4651 \text{ kN} = 6278 \text{ kN}$ sulle travi principali di bordo e $1.35 \cdot 261 \text{ kN} = 352 \text{ kN}$ sulla trave di spina), si ottengono i seguenti risultati:

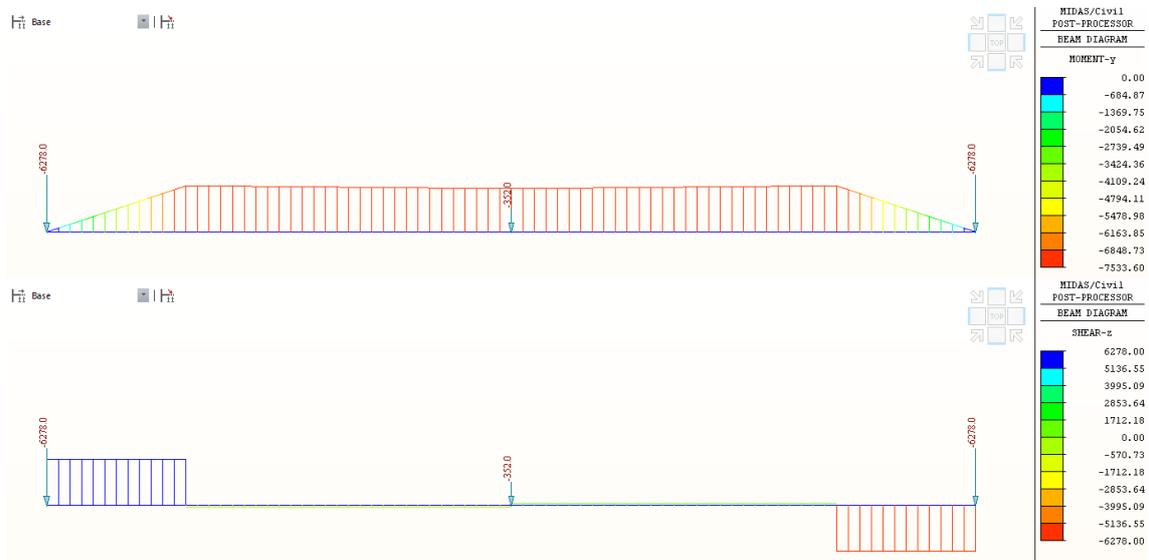


Figura 63 – Sollecitazioni allo SLU agenti nei traversi di testata in fase di sollevamento

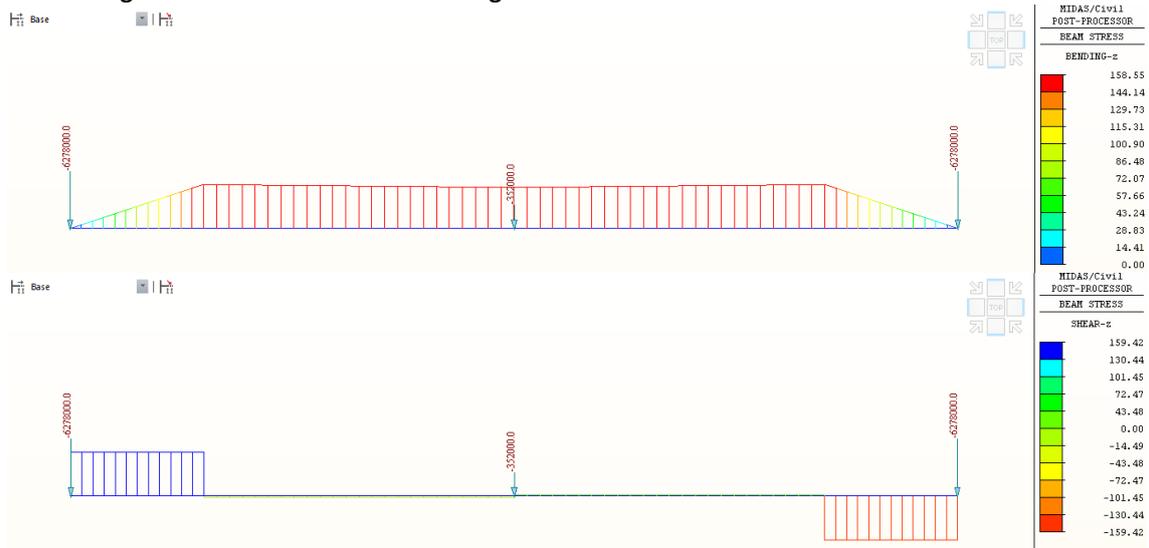


Figura 64 – Tensioni allo SLU agenti nei traversi di testata in fase di sollevamento

Si ottiene quindi una tensione ideale massima in tali elementi pari a:

- $\sigma_{id} = (159^2 + 3 \cdot 160^2)^{0.5} = 319.5 \text{ MPa} < f_{yd} = 355/1.05 = 338 \text{ MPa}$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 75 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

In fase di sollevamento le tensioni risultano superiori a quelle di esercizio ma ad ogni modo al di sotto della resistenza di progetto.

9.7 VERIFICA DEI COLLEGAMENTI BULLONATI

Le verifiche dei collegamenti bullonati sono eseguite in accordo con la normativa vigente secondo quanto riportato al paragrafo 6.8.2.1. Si ricorda che le giunzioni sono ad attrito ed è previsto un apposito trattamento di sabbiatura delle superfici collegate.

9.7.1 Controventi superiori

Il collegamento dei controventi inferiori è costituito da 3 bulloni, diametro M30, classe 10.9. Le verifiche sono riportate qui di seguito.

SOLLECITAZIONI		
V_{Ed}	n_b	V_b
	[-]	[kN]
129	3	43

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe	n	$F_{V,Rd}$	$F_{V,Sd}$	ρ
	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
27	8.8	2	352.5	43	0.12

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELLA LAMIERA						
d_b	Classe	α	k	$F_{b,Rd}$	$F_{V,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
27	8.8	0.6	2.50	289.9	43.0	0.15

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLU)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,C}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
27	8.8	2	0.40	257.0	164.5	43.0	0.26

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLE)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,C}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
27	8.8	2	0.40	257.0	186.9	33.1	0.18

9.7.2 Controventi inferiori

Il collegamento dei controventi inferiori è costituito da 6 bulloni, diametro M27, classe 8.8. Le verifiche sono riportate qui di seguito.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 76 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

SOLLECITAZIONI		
V_{Ed}	n_b	V_b
	[-]	[kN]
822	6	137

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe	n	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	538.6	137	0.25

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELLA LAMIERA						
d_b	Classe	α	k	$F_{b,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	0.5	1.86	216.3	137.0	0.63

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLU)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	251.3	137.0	0.55

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLE)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	285.6	105.4	0.37

9.7.3 Correnti superiori

Il collegamento dei correnti superiori è costituito da 3 bulloni, diametro M30, classe 10.9. Le verifiche sono riportate qui di seguito.

SOLLECITAZIONI		
N_{Ed}	n_b	N_b
	[-]	[kN]
650	3	217

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe	n	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	538.6	217	0.40

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELLA LAMIERA						
d_b	Classe	α	k	$F_{b,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	0.5	1.86	216.3	217	0.63

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 77 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

30	10.9	0.5	2.30	268.1	216.7	0.81
----	------	-----	------	-------	-------	------

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLU)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	251.3	216.7	0.86

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLE)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	285.6	166.7	0.58

9.7.4 Correnti inferiori

Il collegamento dei correnti inferiori è costituito da 6 bulloni, diametro M30, classe 10.9. Le verifiche sono riportate qui di seguito.

SOLLECITAZIONI		
V_{Ed}	n_b	V_b
	[-]	[kN]
1300	6	217

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe	n	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	538.6	217	0.40

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELLA LAMIERA						
d_b	Classe	α	k	$F_{b,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	0.5	2.30	268.1	216.7	0.81

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLU)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	251.3	216.7	0.86

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLE)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	285.6	166.7	0.58

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 78 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

9.7.5 Traversi intermedi diagonali

Il collegamento dei traversi diagonali è costituito da 4 bulloni, diametro M30, classe 10.9. Le verifiche sono riportate qui di seguito.

SOLLECITAZIONI		
N_{Ed}	n_b	N_b
	[-]	[kN]
967	4	242

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe	n	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	538.6	242	0.45

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELLA LAMIERA						
d_b	Classe	α	k	$F_{b,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	0.5	2.30	268.1	241.8	0.90

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLU)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	251.3	241.8	0.96

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLE)							
d_b	Classe	n	μ	$F_{p,c}$	$F_{s,Rd}$	$F_{s,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	285.6	186.0	0.65

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 79 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

1 VERIFICA DELLA SOLETTA

L'analisi delle sollecitazioni flettenti e taglianti nella direzione trasversale della soletta di larghezza pari a 13.00 m è stata sviluppata considerando, una striscia di soletta di larghezza pari ad 1 m, schematizzata come trave continua semplicemente appoggiata in corrispondenza delle ali delle travi principali e della trave di spina, secondo lo schema riportato nella figura seguente. Il modello di calcolo è stato realizzato tramite il software di calcolo Midas Civil 2020.

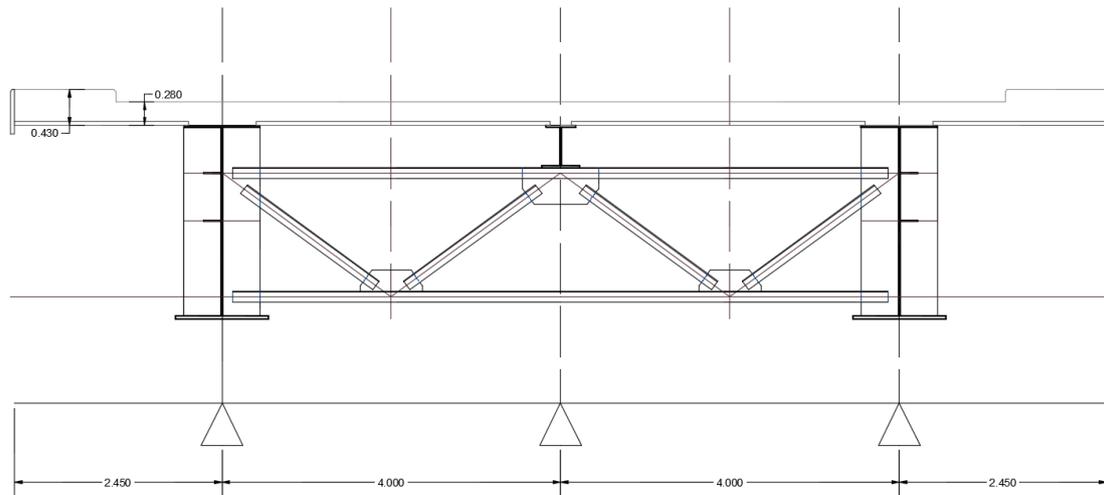


Figura 65 – Schema di calcolo della soletta in direzione trasversale

1.1 CARICHI APPLICATI

La trave è soggetta ai carichi permanenti (G1, G2) ed ai carichi mobili previsti dal D.M. 14/01/2008.

1.1.1 *Pesi propri e carichi permanenti*

Il peso proprio della soletta e dei cordoli è valutato in automatico dal software di calcolo considerando un peso per unità di volume del calcestruzzo pari a 25 kN/m³ ed assegnando gli opportuni spessori agli elementi monodimensionali (0.30 m per la soletta, 0.45 m per i cordoli). È stato inoltre applicato il carico distribuito dovuto al peso della pavimentazione pari a 2 kN/m² e i carichi concentrati dovuti a guardrail, velette, corrimano e impianti.

1.1.2 *Carichi stradali*

I carichi applicati e la larghezza della striscia di soletta collaborante su cui si considera ripartito l'effetto di tali carichi sono stati definiti con le seguenti modalità. Sono state considerate le azioni Q_k e q_k con gli schemi di carico 1 e 2, così come definiti nel punto 5.1.3.3.3 del D.M. 17/01/18. La valutazione della diffusione all'interno della soletta degli effetti dei carichi concentrati è stata sviluppata tenendo conto dello spessore della pavimentazione, dello spessore della soletta e della luce tra gli appoggi nella direzione trasversale.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

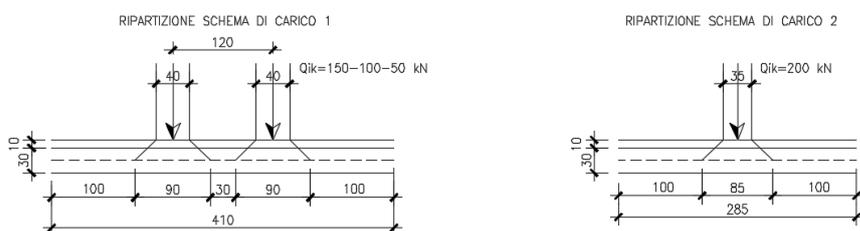
OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 80 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

In direzione trasversale la diffusione del carico attraverso la pavimentazione e la soletta è assunta, a partire dall'impronta dei pneumatici, con inclinazione a 45° fino al piano medio della soletta. Studi sperimentali hanno dimostrato che in direzione longitudinale si può considerare un'ulteriore diffusione degli effetti del carico e pertanto la larghezza della striscia di soletta collaborante è incrementata di un valore al massimo pari ad $L/4$, dove L è l'interasse tra gli appoggi dello schema statico utilizzato (nel caso in esame pari a 4.0 m). La ripartizione avviene quindi secondo gli schemi rappresentati nella seguente figura.

RIPARTIZIONE IN DIREZIONE LONGITUDINALE



RIPARTIZIONE IN DIREZIONE TRASVERSALE

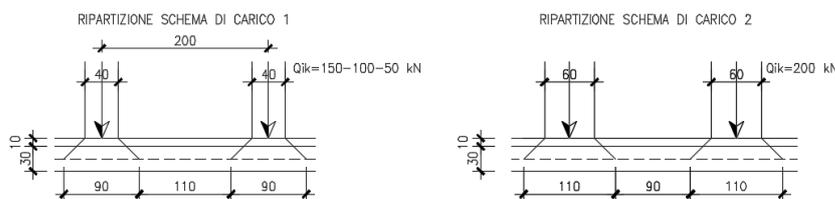


Figura 66 – Diffusione dei carichi stradali in senso longitudinale e trasversale

L'analisi della soletta è stata condotta comunque su uno schema di trave continua di larghezza di 1 m e pertanto i carichi considerati sulla trave continua sono i seguenti:

Schema di carico 1

Il carico Q_{ik} si ripartisce a partire dall'impronta del pneumatico pari a 0.40×0.40 m². La diffusione a 45° fino al piano medio della soletta permette di applicare il carico su una superficie pari a 0.88×0.88 m². Come detto, si considera un'ulteriore diffusione degli effetti del carico nella direzione longitudinale e pertanto la larghezza della striscia di soletta collaborante è incrementata di un valore massimo di $L/4 = 4/4 = 1$ m da entrambi i lati.

In definitiva tenendo conto dell'interasse di 1.2 m tra i due carichi risulta, nella direzione longitudinale, come evidenziato in figura, una larghezza collaborante di soletta pari a 4.08 m.

I carichi distribuiti corrispondenti agli assi dei carichi tandem considerati sono pertanto pari a:

Corsia 1 $q_1 = 300 / (4.10 \times 0.90) = 81.30$ KN/m/m;

Corsia 2 $q_2 = 200 / (4.10 \times 0.90) = 54.20$ KN/m/m;

Corsia 3 $q_3 = 100 / (4.10 \times 0.90) = 27.10$ KN/m/m.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 81 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

Ai carichi tandem sono stati aggiunti i carichi distribuiti previsti dallo schema di carico 1, proposto dalla normativa. Conseguentemente in corrispondenza del carico Q1k è stato applicato un carico pari a 9 kN/m² sull'intera larghezza della corsia e, analogamente, è stato applicato un carico distribuito pari a 2.5 kN/m² in corrispondenza di Q2k e Q3k.

Allo scopo di massimizzare le sollecitazioni nella soletta, l'analisi statica della trave continua è stata condotta considerando tre diverse condizioni di carico.

1a condizione: presenza di una sola colonna di carico (corsia 1);

2a condizione: presenza di due colonne di carico (corsie 1 e 2) ;

3a condizione: presenza di tre colonne di carico (corsie 1, 2 e 3).

In senso trasversale sono state considerate due possibili posizioni delle tre corsie di carico, disponendo la corsia 1 una volta con la massima eccentricità e una volta in posizione centrata rispetto all'asse dell'impalcato.

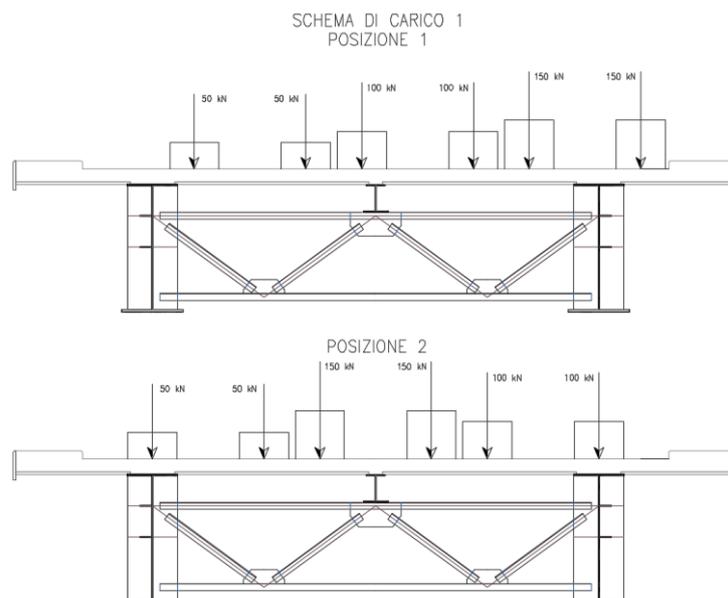


Figura 67 – Posizione trasversale dei carichi mobili concentrati (schema di carico 1)

Schema di carico 2

Lo schema di carico 2 delle azioni variabili da traffico è costituito da una coppia di due carichi da 200 kN posti trasversalmente a distanza di 2 m. Ognuno di essi si ripartisce in maniera analoga a quanto visto per lo schema 1, a partire dall'impronta del pneumatico pari a 0.35x0.60 m² fino ad un'area pari 2.85 x 1.10 m².

In senso trasversale sono state considerate due possibili posizioni del carico, disponendo le aree di carico una volta con in maniera centrata rispetto all'interasse tra due appoggi e una volta in posizione centrata rispetto all'asse dell'impalcato.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 82 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

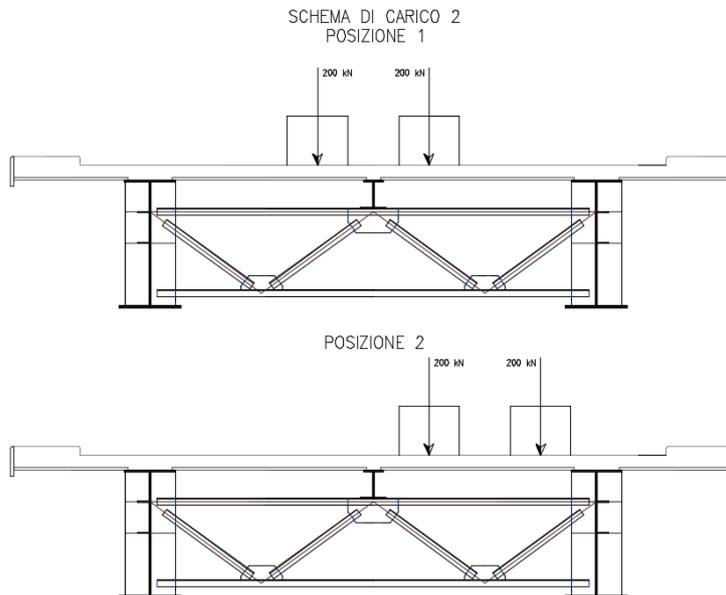


Figura 68 – Posizione trasversale dei carichi mobili (schema di carico 2)

1.1.3 Urto di un veicolo in svio

Le azioni di progetto sono state definite secondo le indicazioni del paragrafo 3.6.3.3.2 delle NTC18. Il carico di progetto è costituito da una forza orizzontale di $A_k = 100$ kN, applicata alla quota minima fra 1,0 m sopra il piano di marcia e 100 mm sotto la sommità della barriera. Nel caso in esame si assume che la forza agisca ad una distanza $d = 0.90$ m dalla base della barriera.

Questa forza è stata sia applicata nel modello monodimensionale della soletta (considerando una combinazione di carichi eccezionale SLU-E), ma è stata anche utilizzata per eseguire una verifica locale del cordolo per azioni d'urto.

1.1.4 Combinazioni di carico

Sono state considerate le seguenti combinazioni di carico agli SLU e SLE.

Tabella 28 – Combinazioni di carico per la verifica della soletta

COMBINAZIONE	G1	G2	Qk	AK
SLU	1.35	1.35	1.35	0.00
SLU - E	1.00	1.00	0.00	1.00
SLE-R	1.00	1.00	1.00	0.00
SLE-F	1.00	1.00	0.75	0.00
SLE-QP	1.00	1.00	0.00	0.00

Le combinazioni che prevedono la presenza di carichi mobili sono state considerate 8 volte facendo variare gli schemi di carico e le loro posizioni e le tre condizioni per lo schema 1.

1.2 RISULTATI DELL'ANALISI

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	83 di 101

Nel presente paragrafo si riportano i diagrammi involuppo di momento flettente e taglio per le diverse combinazioni di carico. Si nota che i diagrammi sono stati spuntati in corrispondenza della piattabanda superiore delle travi principali di impalcato.

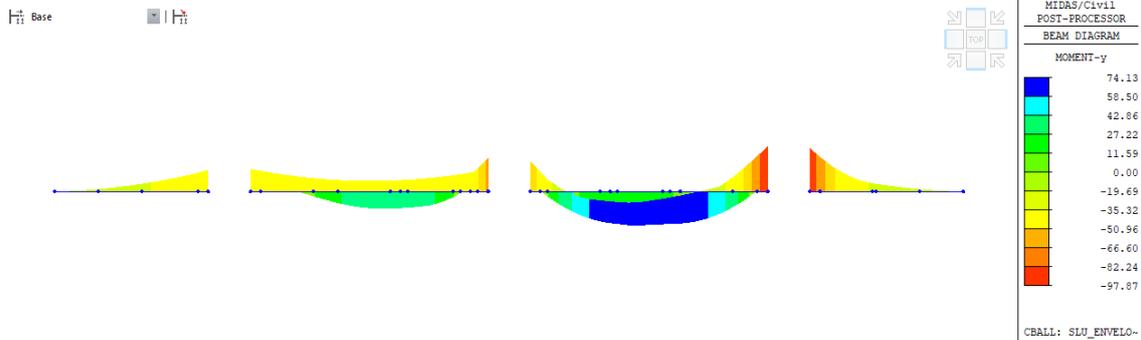


Figura 69 – Involuppo SLU – Momento flettente

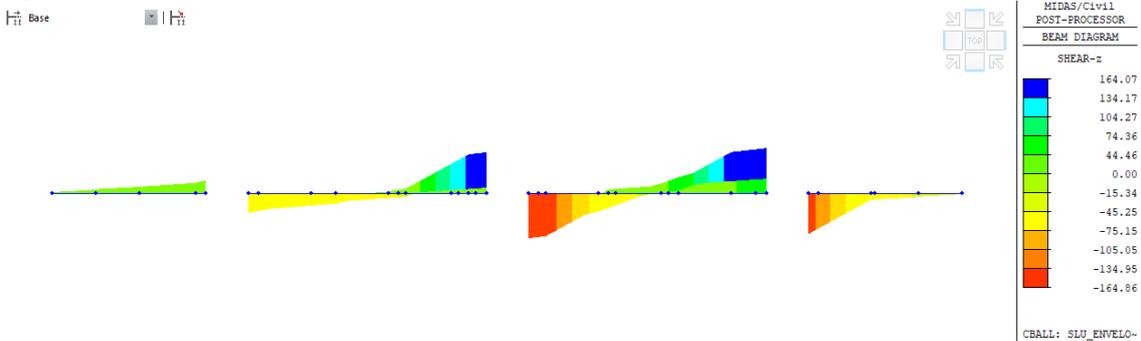


Figura 70 – Involuppo SLU – Taglio

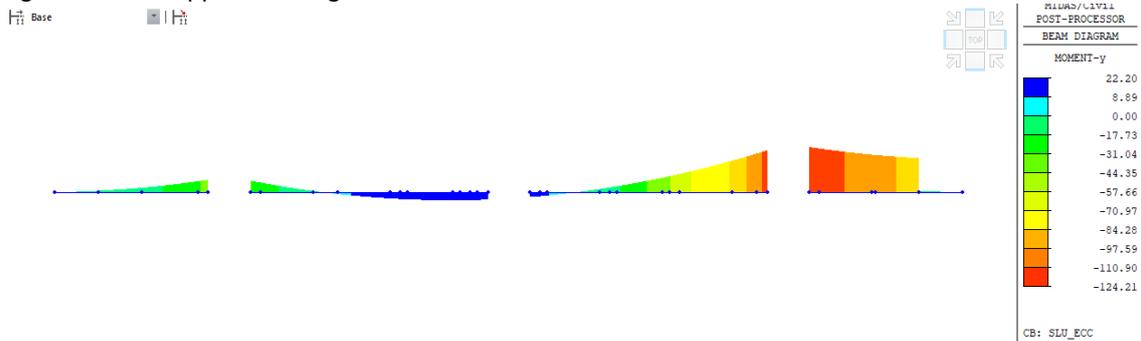


Figura 71 – Involuppo SLU-E – Momento flettente

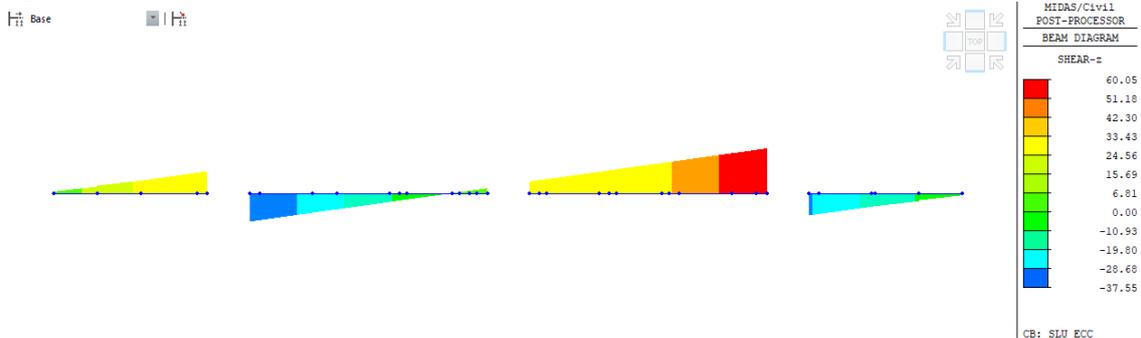


Figura 72 – Involuppo SLU-E – Taglio

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 84 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

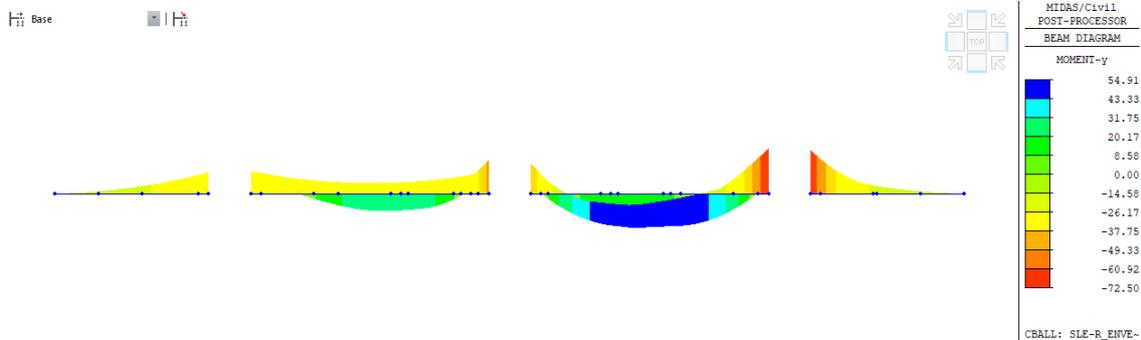


Figura 73 – Involuppo SLE-R – Momento flettente

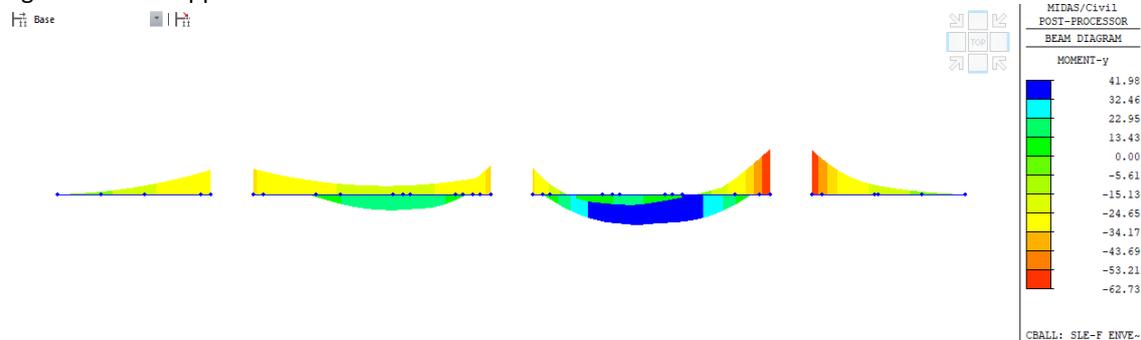


Figura 74 – Involuppo SLE-F – Momento flettente

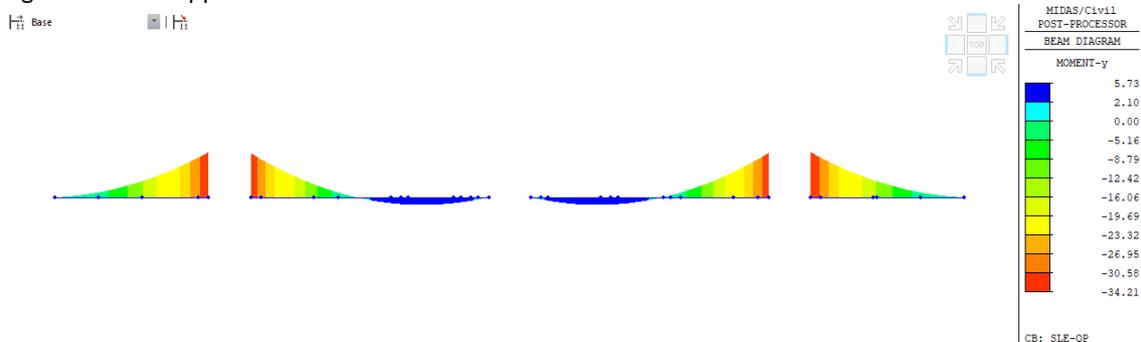


Figura 75 – Involuppo SLE-QP – Momento flettente

1.3 VERIFICHE STRUTTURALI

1.3.1 Verifiche allo SLU

Di seguito sono riportate le verifiche a flessione e taglio allo SLU.

Combinazione	$M_{max,sup}$ [kNm]	$M_{max,inf}$ [kNm]	V_{max} [kN]
SLU	-97.87	74.13	164.86
SLU-E	-124.21	22.20	60.05

Vista la presenza della predalle in calcestruzzo, la verifica a flessione allo SLU viene effettuata considerando le seguenti sezioni resistenti:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

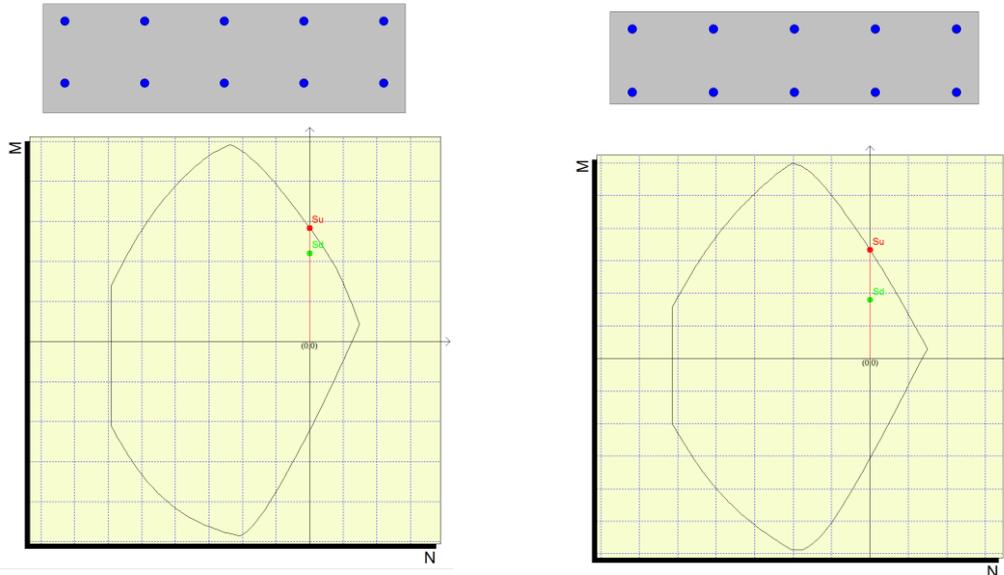
OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.diPag. 85 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

- Momento flettente negativo (fibre tese superiori): $B = 1.00 \text{ m}$, $H = 0.30 \text{ m}$, $c_{sup} = 3.5 \text{ cm}$, $c_{inf} = 7 \text{ cm}$.
- Momento flettente positivo (fibre tese inferiori): $B = 1.00 \text{ m}$, $H = 0.25 \text{ m}$, $c_{sup} = 3.5 \text{ cm}$, $c_{inf} = 2 \text{ cm}$;

L'armatura considerata al lembo superiore e inferiore è di $1\Phi 22/20$.



$$M_{Ed} = 97.87 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 170.2 \text{ kNm}$$

$$F.S. = 1.74$$

$$M_{Ed} = 74.13 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 133.3 \text{ kNm}$$

$$F.S. = 1.80$$

La verifica a taglio per elementi non armati a taglio viene condotta come previsto dal D.M. 14/01/2008 p.to 4.1.2.1.3.1. Considerando un taglio sollecitante massimo di 165 kN, la verifica, riportata nella seguente tabella, risulta soddisfatta.

VERIFICA PER ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO: $V_{Ed} < V_{Rd}$													
$V_{Ed,max}$	b	h	c	d	k	Armatura	A_l	ρ_l	$N_{Ed,min}$	σ_{cp}	v_{min}	V_{Rd}	FS
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	tesa	[mm ²]	[-]	[kN]	[MPa]	[-]	[kN]	
150.0	1000	280	35	245	1.90	1 Φ 22/20	1901	7.8E-03	0.0	0.000	0.54	168.2	1.02

1.3.2 Verifiche allo SLE

Di seguito sono riportate le verifiche agli SLE di limitazione delle tensioni in esercizio e di fessurazione. In accordo con il D.M. 14/01/2008 p.to 4.1.2.2, i limiti di fessurazione assunti sono stati scelti considerando condizioni ambientali aggressive e armature poco sensibili ai fenomeni di corrosione, per cui si utilizza il limite $w_2=0.3\text{mm}$ per le combinazioni frequenti e il limite $w_1=0.2\text{mm}$ per la combinazione quasi permanente.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

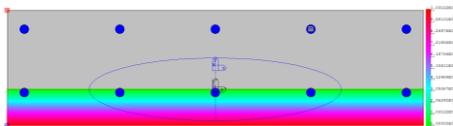
OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 86 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Combinazione	$M_{max,sup}$ [kNm]	$M_{max,inf}$ [kNm]
SLE-R	-72.50	54.91
SLE-F	-62.73	41.98
SLE-QP	-34.21	5.73

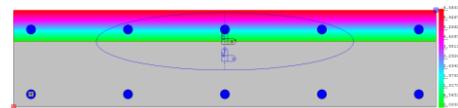
Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio



$$M_{Ed} = 72.5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = -6.6 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck}$$

$$\sigma_s = 174.4 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk}$$

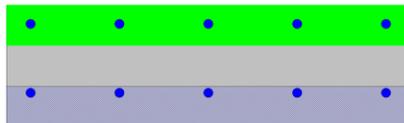


$$M_{Ed} = 54.91 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = -6.6 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck}$$

$$\sigma_s = 166.1 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk}$$

Verifica di fessurazione (SLE-F)



$$M_{Ed} = 62.73 \text{ kNm}$$

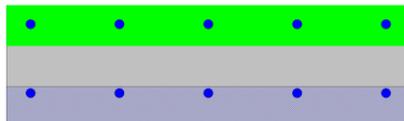
$$w_k = 0.05 \text{ mm} < w_2$$



$$M_{Ed} = 41.98 \text{ kNm}$$

$$w_k = 0.077 \text{ mm} < w_2$$

Verifica di fessurazione (SLE-QP)



$$M_{Ed} = 34.21 \text{ kNm}$$

$$w_k = 0.0 \text{ mm}$$



$$M_{Ed} = 5.73 \text{ kNm}$$

$$w_k = 0.0 \text{ mm}$$

1.3.3 Verifica locale del cordolo per azioni d'urto

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti dalle verifiche locali dei cordoli che ospitano le barriere di sicurezza. Le azioni di progetto sono state definite secondo le indicazioni del paragrafo 3.6.3.3.2 delle NTC18. Il carico di progetto è costituito da una forza orizzontale di $F=100 \text{ KN}$, applicata alla quota minima fra 1,0 m sopra il piano di marcia e 100 mm sotto la sommità della barriera.

Nel caso in esame si assume che la forza agisca ad una distanza $d= 0.90 \text{ m}$ dalla base della barriera. Lo spessore della soletta è pari ad $s = 0.30$, quello del cordolo a 0.43 m per cui l'estradosso del cordolo si trova ad una distanza sopra l'estradosso di soletta pari a $c = 0.15 \text{ m}$.

Verifica a tenso-flessione della soletta

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.diPag. 87 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Il momento sollecitante a quota piano medio della soletta, che nasce in caso di urto di un veicolo sulla barriera, vale:

- $\Delta M = N \cdot (d + c + 0.5s) = F \cdot 1.19 \text{ m} = 119.0 \text{ kNm}$

Tali sollecitazioni si applicano ipotizzando una diffusione a 45° delle azioni dalla piastra metallica di base della barriera (che si ipotizza larga 40cm) al piano medio della soletta. La larghezza collaborante nel meccanismo di tenso-flessione vale pertanto:

$$B = 0.4 \text{ m} + 2(c + 0.5s) = 0.98 \text{ m}$$

La variazione di momento calcolata va a sommarsi al momento dovuto ai carichi permanenti, ricavato dal modello di calcolo precedentemente mostrato in corrispondenza dell'attacco del sicurvia. Tale momento vale $M_{perm} = 3.5 \text{ KNm}$. Il momento totale, dunque, vale:

$$M = 119.0 + 3.5 = 122.5 \text{ KNm}$$

Nell'ipotesi in cui la variazione del momento calcolata sia assorbita completamente dalle armature poste al lembo inferiore della soletta, la trazione agente nell'armatura superiore tesa vale:

$$T_d = M / (0.9s) = 486 \text{ kN}$$

Tale trazione è equilibrata dalle barre $\Phi 22/20$, disposte in estradosso, che riescono a fornire una trazione resistente pari a:

$$T_r = 380.1 \cdot (0.98 / 0.20) \cdot 391.3 \cdot 10^{-3} = 728.8 \text{ KN} > T_d.$$

Verifica delle staffe disposte all'interno del cordolo

La funzione di tali staffe è duplice:

- Equilibrare l'azione orizzontale F ;
- Equilibrare la trazione dei tirafondi della barriera nel meccanismo di pull out.

La forza orizzontale F è equilibrata dalle barre $\Phi 12/20$ che sono sempre presenti all'interno del cono di rottura evidenziato nella seguente figura.

In dettaglio la forza orizzontale rappresenta l'azione di urto, che è pari a $F = 100 \text{ KN}$.

Le barre $\Phi 12/20$ oppongono una resistenza a tale forza espressa dalla seguente relazione:

$$F_{rd} = f_{yd} \cdot n \cdot A_s / \sqrt{3}$$

Dove n è il numero dei tondini compresi nel cono di rottura ed è pari a 10, come sarà illustrato nel seguito.

Conseguentemente:

$$F_{rd} = 391.3 \times 10 \times 113 / 1.73 \times 10^{-3} = 255.59 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	88 di 101

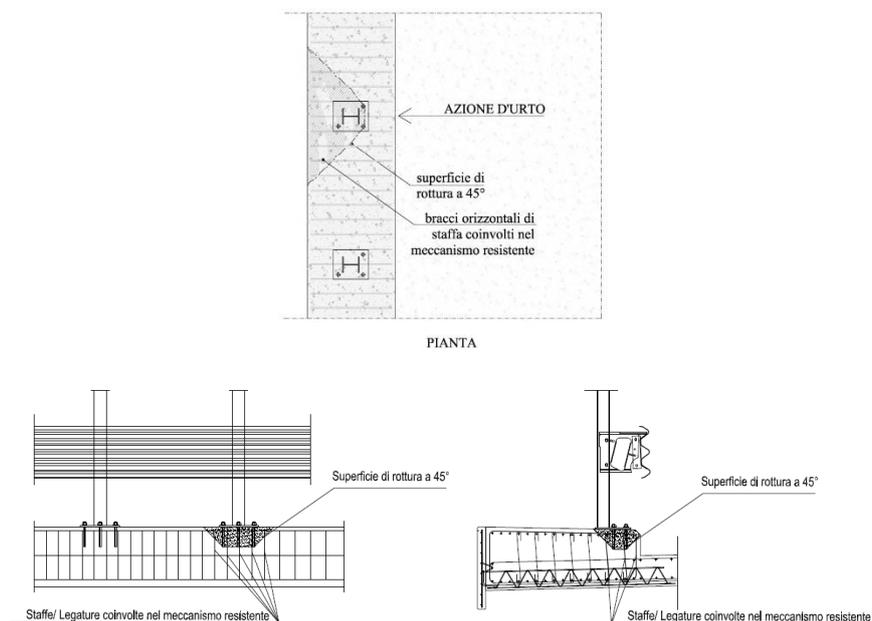


Figura 76 – Meccanismi di rottura locali per azioni d'urto – schemi tipo

La trazione T_d dei tirafondi della barriera è equilibrata dai bracci verticali delle staffe e dalle legature di cui alla figura precedente.

Ipotizzando un braccio di leva delle forze interne della piastra di base della barriera pari a 0.22 m e un'altezza della forza d'urto sopra tale piastra di 0.90 m, si stima T_d come:

$$T_d = 0.90m \cdot N / 0.22m = 409 \text{ kN}$$

Avendo disposto le staffe e legature $\Phi 12/20$ ed ipotizzando una lunghezza dei tirafondi di almeno 19 cm (nonché l'interasse tra i due tirafondi tesi di 0.30 m), risulta che i bracci verticali compresi nel cono di rottura sono disposti su 3 filari per un numero complessivo pari a:

$$n = 3 \cdot (1 \cdot 0.30 \text{ m} + 2 \cdot 0.19 \text{ m}) / 20 \text{ cm} = 10.2 \text{ bracci}$$

che corrisponde ad una trazione resistente pari a :

$$T_r = n \cdot 113.1 \cdot f_{yd} \cdot 10^{-3} = 451 \text{ kN} > T_d$$

1.3.4 Verifiche delle predalle in fase di getto

Nel seguito del presente paragrafo, si riportano le verifiche delle predalle tralicciate riferite alla fase di getto dell'impalcato.

In virtù dello schema della sezione trasversale dell'impalcato, si segnalano due schemi di calcolo rappresentativi delle diverse situazioni geometriche e sezione resistente degli elementi prefabbricati previsti. In particolare:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

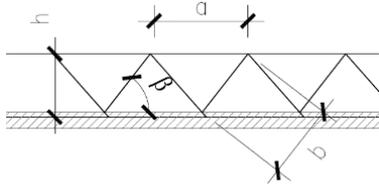
Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 89 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

- Schema 1: predalle appoggiata-appoggiata su due travi principali;
- Schema 2: predalle di bordo a sbalzo dalla trave esterna.

Trattandosi di elementi la cui funzione strutturale delle armature è limitata alla sola fase di getto, essendo previste in fase finale opportune armature nel getto della soletta cui è affidato l'assorbimento delle sollecitazioni di calcolo di fase finale, il dimensionamento e la verifica delle armature dei tralicci si esegue effettuando un controllo in termini di "tensioni ammissibili", rispetto al valore dichiarato quale limite di riferimento per le verifiche SLE (360 MPa).

Si esegue inoltre una verifica dei tiranti del traliccio della predalle considerando uno schema tipo longitudinale di riferimento.



$H = 20 \text{ cm}$; $a = 20 \text{ cm}$; $b = 22.5 \text{ cm}$; $\beta = 66^\circ$

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche riferite ai due schemi di calcolo di cui sopra.

VERIFICA LASTRE DI CEMENTO TRALICCIATE (SCHEMA 1)			
<i>Le armature inferiori sono verificate a sforzi di trazione</i>			
<i>Le armature superiori sono verificate a sforzi di compressione e all'instabilità laterale</i>			
Dati di progetto			
Interasse tralicci		cm	30.00
H soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)		cm	30.00
Peso specifico calcestruzzo		KN/mc	25.00
Luce netta della soletta		cm.	370.00
Luce di calcolo		cm	365.00
Interasse staffe sui tralicci		cm	20.00
Diametro barra superiore		cm	1.4
area barra superiore	As	cmq	1.54
diametro barre inferiori		cm	1.2
area barre inferiori	Ai	cmq	1.13
numero barre inferiori			2
Peso soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)/traliccio		KN/m/tral	2.25
Momento flettente in fase di getto	$(pl^2/8)$	KNm/tral	3.75
braccio tra barre longitudinali sup e inf del traliccio		cm	18.40
Sforzo risultante nei correnti superiore ed inferiore		KN	20.36
Verifica sezione di campata			
<u>Valutazione coefficiente ω per verifica instabilità corrente superiore</u>			
Coefficiente b			
vincoli tipo cerniera	1		
vincoli tipo incastri	0.7		
vincoli tipo cerniera + incastri	0.8	Coefficiente β scelto	1.00
vincolo unico tipo incastro	2		
Raggio minimo d'inerzia della barra compressa			0.35
Lunghezza libera d'inflessione			20.00
Snellezza dell'asta compressa	λ		57.1
Inserisci coefficiente omega	ω		1.62
(Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)			
Tensioni Risultanti nelle barre di armatura longitudinali			

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	VI5400	REL	01	B	90 di 101

Tensione armature tesa (inferiore)	$\sigma_{inf} =$	<input type="text" value="9.00"/>	KN/cm ²	=	<input type="text" value="90.03"/>	MPa
Tensione armatura compressa (superiore)	$\sigma_{sup} =$	<input type="text" value="21.43"/>	KN/cm ²	=	<input type="text" value="214.30"/>	MPa
Verifica sezione di estremità						
Sforzo di Taglio all'appoggio:	<input type="text" value="4.11"/>	KN				
Sforzo N risultante nella staffa: $T/\sin 66^\circ =$	<input type="text" value="4.49"/>	KN				
Sforzo in ciascun braccio $(N/2)/\cos 15^\circ =$	<input type="text" value="2.33"/>	KN				
Diametro diagonale	<input type="text" value="0.80"/>	cm				
Area diagonale	<input type="text" value="0.50"/>	cm ²				
Raggio minimo d'inerzia	<input type="text" value="0.20"/>	cm				
Coefficiente b						
vincoli tipo cerniera	1					
vincoli tipo incastri	0.7					
vincoli tipo cerniera + incastri	0.8	Coefficiente β scelto		<input type="text" value="1.00"/>		
vincolo unico tipo incastro	2					
Lunghezza braccio staffa staffe sui tralicci		cm		<input type="text" value="22.50"/>		
Lunghezza libera d'inflessione		cm		<input type="text" value="22.50"/>		
Snellezza	λ	<input type="text" value="112.50"/>				
Inserisci coefficiente omega	ω	<input type="text" value="2.31"/>			(Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)	
Tensione diagonale compresso	<input type="text" value="10.69"/>	KN/cm ²	=	<input type="text" value="106.93"/>	MPa	

VERIFICA LASTRE DI CEMENTO TRALICCIATE (SCHEMA 2)

Le armature inferiori sono verificate a sforzi di trazione

Le armature superiori sono verificate a sforzi di compressione e all'instabilità laterale

Dati di progetto

Interasse tralicci		cm	<input type="text" value="30.00"/>
H soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera) -valore medio		cm	<input type="text" value="36.70"/>
Peso specifico calcestruzzo		KN/mc	<input type="text" value="25.00"/>
Luce sbalzo		cm	<input type="text" value="230.00"/>
Interasse staffe sui tralicci		cm	<input type="text" value="20.00"/>
Luce di riferimento per verifiche di stabilità armature inferiori		cm	<input type="text" value="20.00"/>
Diametro barra superiore		cm	<input type="text" value="1.4"/>
area barra superiore	As	cm ²	<input type="text" value="1.54"/>
Diametro barre inferiori		cm	<input type="text" value="1.2"/>
Area barre inferiori	Ai	cm ²	<input type="text" value="1.13"/>
numero barre inferiori traliccio			<input type="text" value="2"/>
Peso soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)/traliccio		KN/m/tral	<input type="text" value="2.75"/>
Momento flettente in fase di getto	($pL^2/2$)	KNm/tral	<input type="text" value="7.28"/>
braccio tra barre longitudinali sup e inf del traliccio		cm	<input type="text" value="18.40"/>
Sforzo risultante nei correnti superiore ed inferiore		KN	<input type="text" value="39.57"/>

Verifica sezione centrale

Valutazione coefficiente ω per verifica instabilità armature inferiori

Coefficiente b					
vincoli tipo cerniera	1				
vincoli tipo incastri	0.7				
vincoli tipo cerniera + incastri	0.8	Coefficiente β scelto		<input type="text" value="1.00"/>	
vincolo unico tipo incastro	2				
Raggio minimo d'inerzia della barre compresse (inf.)		<input type="text" value="0.30"/>			
Lunghezza libera d'inflessione		<input type="text" value="20.00"/>			
Snellezza dell'asta compressa	λ	<input type="text" value="66.67"/>			
Inserisci coefficiente omega	ω	<input type="text" value="1.29"/>			(Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)

Tensioni Risultanti nelle barre di armatura longitudinali

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	91 di 101

Tensione armatura tesa (superiore)	$\sigma_{sup} =$	<input type="text" value="25.70"/>	KN/cm ²	=	<input type="text" value="257.03"/>	MPa
Tensione armatura compressa (inferiore)	$\sigma_{inf} =$	<input type="text" value="22.57"/>	KN/cm ²	=	<input type="text" value="225.65"/>	MPa
Verifica sezione di estremità						
Sforzo di Taglio all'appoggio:	<input type="text" value="6.33"/>	KN				
Sforzo N risultante nella staffa: $T/\sin 66^\circ =$	<input type="text" value="6.93"/>	KN				
Sforzo in ciascun braccio $(N/2)/\cos 15^\circ =$	<input type="text" value="3.59"/>	KN				
Diametro diagonale	<input type="text" value="0.80"/>	cm				
Area diagonale	<input type="text" value="0.50"/>	cm ²				
Raggio minimo d'inerzia	<input type="text" value="0.20"/>	cm				
Coefficiente b						
vincoli tipo cerniera	1					
vincoli tipo incastri	0.7					
vincoli tipo cerniera + incastri	0.8	Coefficiente β scelto	<input type="text" value="1.00"/>			
vincolo unico tipo incastro	2					
Lunghezza braccio staffa staffe sui tralicci		cm	<input type="text" value="22.50"/>			
Lunghezza libera d'inflessione		cm	<input type="text" value="22.50"/>			
Snellezza	λ	<input type="text" value="112.50"/>				
Inserisci coefficiente omega	ω	<input type="text" value="2.31"/>	(Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)			
Tensione diagonale compresso	<input type="text" value="16.49"/>	KN/cm ²	=	<input type="text" value="164.85"/>	MPa	

1.3.5 Verifiche della soletta per carichi mobili disposti in prossimità dei giunti

Nelle zone terminali degli impalcato, per la presenza del giunto, diminuisce la lunghezza di diffusione dei carichi in senso longitudinale. Conseguentemente le sollecitazioni assumono valori pari a circa il doppio delle sollecitazioni individuate in corrispondenza della mezzeria dell'impalcato.

Inoltre, in prossimità di un giunto di espansione, la vigente normativa suggerisce di considerare un fattore di amplificazione dinamica addizionale da applicare a tutti i carichi, dato da:

$$\Delta\varphi_{fat} = 1,30 \cdot \left(1 - \frac{d}{26}\right) \geq 1,0$$

dove d è la distanza della sezione considerata dalla sezione di giunto, espressa in m.

In definitiva le sollecitazioni in corrispondenza dei giunti sono state considerate pari a 2 volte quelle ottenute in mezzeria dell'impalcato.

Conseguentemente, in tali zone, l'armatura a flessione è stata incrementata ed è stata aggiunta un'armatura per le sollecitazioni taglianti.

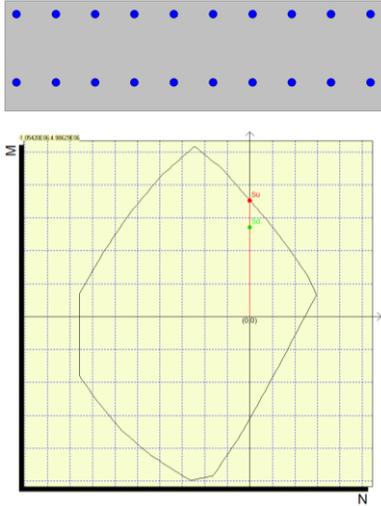
In dettaglio, in prossimità degli appoggi, è stata prevista la seguente armatura:

- armatura a taglio costituita da staffe ϕ 14 a quattro bracci disposte ad interasse di 20 cm
- una armatura trasversale di $\phi 22/10$ superiormente e inferiormente per tutta la larghezza dell'impalcato.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 92 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

Di seguito vengono riportate le verifiche a flessione e taglio condotte sulle sollecitazioni incrementate come sopra descritto.

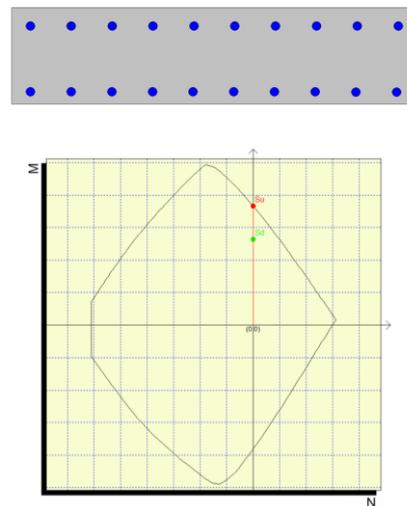
Verifica SLU



$$M_{Ed} = 195.74 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 317.8 \text{ kNm}$$

$$F.S. = 1.62$$



$$M_{Ed} = 148.26 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 256.4 \text{ kNm}$$

$$F.S. = 1.73$$

Verifica a taglio

Geometria Sezione

H=	0.30	m	Altezza della Sezione
B=	1.00	m	Larghezza della Sezione
A_c=	0.30	m ²	Area della Sezione (non omogeneizzata)
n=	15		Coefficiente di omogeneizzazione
A_{id}=	0.41	m ²	Area della Sezione (omogeneizzata)
x_g=	0.15	m	Distanza del Baricentro dell'intera sezione rispetto al lembo compresso
I_g=	0.00	m ⁴	Momento di Inerzia dell'intera sezione rispetto al lembo compresso
W_{sup}=	0.02	m ³	
e_{lim,cls}=	0.06	m	Eccentricità massima di decompressione fibra inferiore del cls
e1-lim,acc=	0.07	m	Eccentricità massima di decompressione della prima fila di barre
e2-lim,acc=	0.07	m	Eccentricità massima di decompressione della seconda fila di barre

Armatura Longitudinale Tesa

I° Strato

n° barre=	10	Numero Barre
------------------	-----------	--------------

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 93 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

$\varphi =$	22	mm	Diametro Barre dello strato
$A_f =$	0.00380	m ²	Area Armatura dello strato
$c_{teso} =$	0.04	m	Copriferro Armatura Tesa dal Lembo Teso (Asse Barre)
II° Strato			
$n^{\circ} \text{barre} =$	0		Numero Barre
$f =$	25	mm	Diametro Barre dello strato
$A_f =$	0.00000	m ²	Area Armatura dello strato
$c_{teso} =$	0.15	m	Copriferro Armatura Tesa dal Lembo Teso (Asse Barre)
$A_{f,tot} =$	0.00	m ²	Area Armatura tesa totale
$c_{tot} =$	0.04	m	Copriferro Baricentro Armatura Tesa dal Lembo Teso

Armatura Longitudinale Compressa

I° Strato

$n^{\circ} \text{barre} =$	10		Numero Barre
$\varphi =$	22	mm	Diametro Barre dello strato
$A_f =$	0.00380	m ²	Area Armatura dello strato
$c_{comp} =$	0.07	m	Copriferro Armatura Compressa dal Lembo Compresso (Asse Barre)

II° Strato

$n^{\circ} \text{barre} =$	0		Numero Barre
$f =$	25	mm	Diametro Barre dello strato
$A_f =$	0.00000	m ²	Area Armatura dello strato
$c_{comp} =$	0.15	m	Copriferro Armatura Compressa dal Lembo Compresso (Asse Barre)
$A_{f,tot} =$	0.00380	m ²	Area Armatura compressa totale
$c_{tot} =$	0.07	m	Copriferro Baricentro Armatura Tesa dal Lembo Compresso

Armatura Trasversale

$\varphi =$	14	mm	Diametro Staffe
$n_b =$	4.00		Numero bracci
$A_{sw} =$	0.00062	m ²	Area dell'armatura trasversale posta all'interasse s
$s =$	0.2	m	Passo Staffe

Caratteristiche del Calcestruzzo

$f_{ck} =$	35	Mpa	Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo
$f_{ctm} =$	3.21	Mpa	Resistenza media a Trazione del calcestruzzo
$f_{ctk,0.05} =$	2.25	Mpa	Resistenza Caratteristica a Trazione del calcestruzzo
$f_{ctk,0.95} =$	3.85	Mpa	Resistenza Trazione per Flessione del calcestruzzo
$\gamma_c =$	1.5		Coefficiente parziale di sicurezza sul calcestruzzo
$f_{cd} =$	19.83	Mpa	Resistenza a Compressione di calcolo
$f_{ctd} =$	1.50	Mpa	Resistenza a Trazione di calcolo

Caratteristiche dell'Acciaio

$f_{uk} =$	500	Mpa	Resistenza caratteristica di rottura
$f_{yk} =$	450	Mpa	Resistenza caratteristica di snervamento

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	94 di 101

$\gamma_s = 1.15$
 $f_{yd} = 391.30$ Mpa

Coefficiente parziale di sicurezza sull'acciaio
 Resistenza di calcolo

Verifica per Elementi che richiedono Armatura a Taglio

$\alpha = 90$ °
 $\theta = 32$ °
 $f_{y,staffe}/f_{yk} = 1.00$

Inclinazione delle staffe

[$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$]

Inclinazione del puntone compresso [$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$]

Verifica dell'Armatura Trasversale d'Anima

$V_{Rd,s} = 459.82$ kN

Resistenza a taglio della sola armatura

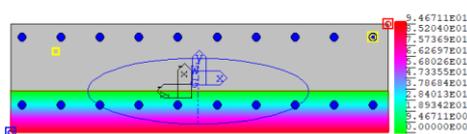
Taglio in corrispondenza dei giunti di espansione

V_{max} [kN]	V_{Rd} [kN]	C.S. [-]
329.72	459.82	1.39

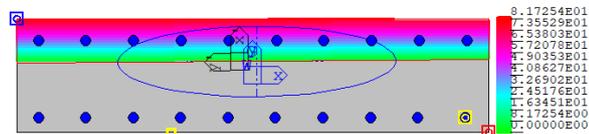
Verifiche SLE

Combinazione	$M_{max,sup}$ [kNm]	$M_{max,inf}$ [kNm]
SLE-R	-145	110
SLE-F	-126	84
SLE-QP	-68	12

Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio

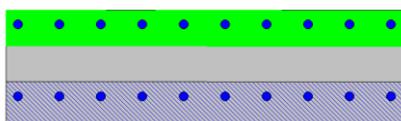


$M_{Ed} = 145$ kNm
 $\sigma_c = -9.5$ MPa < $0.45 f_{ck}$
 $\sigma_s = 183.8$ MPa < $0.8 f_{yk}$

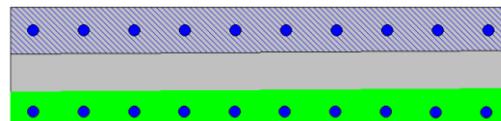


$M_{Ed} = 110$ kNm
 $\sigma_c = -8.2$ MPa < $0.45 f_{ck}$
 $\sigma_s = 173.9$ MPa < $0.8 f_{yk}$

Verifica di fessurazione (SLE-F)



$M_{Ed} = 126$ kNm



$M_{Ed} = 84$ kNm

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

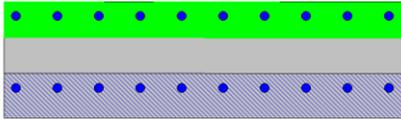
Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 95 di 101
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

$$w_k = 0.08 \text{ mm} < w_2$$

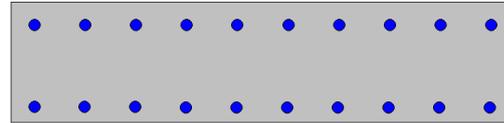
$$w_k = 0.06 \text{ mm} < w_2$$

Verifica di fessurazione (SLE-QP)



$$M_{Ed} = 68 \text{ kNm}$$

$$w_k = 0.02 \text{ mm}$$



$$M_{Ed} = 12 \text{ kNm}$$

$$w_k = 0.0 \text{ mm}$$

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 96 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

10. APPENDICE A: DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI PER SINGOLA CONDIZIONE DI CARICO

Peso proprio della struttura G1

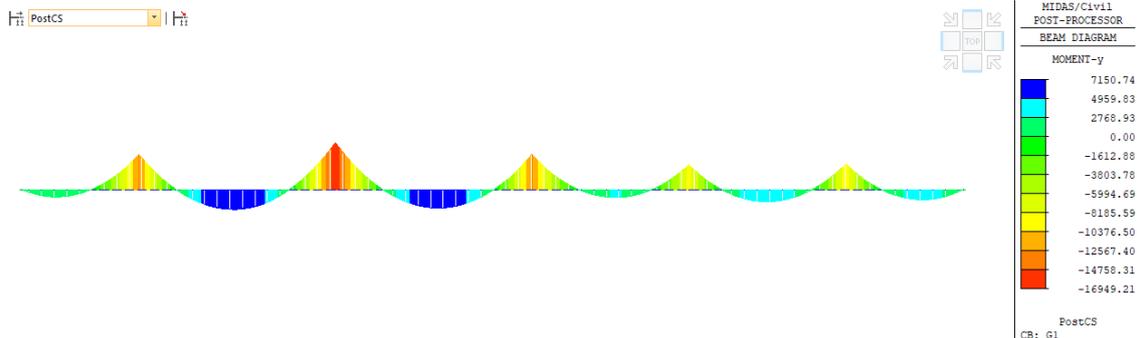


Figura 77 – G1 – Momento flettente My

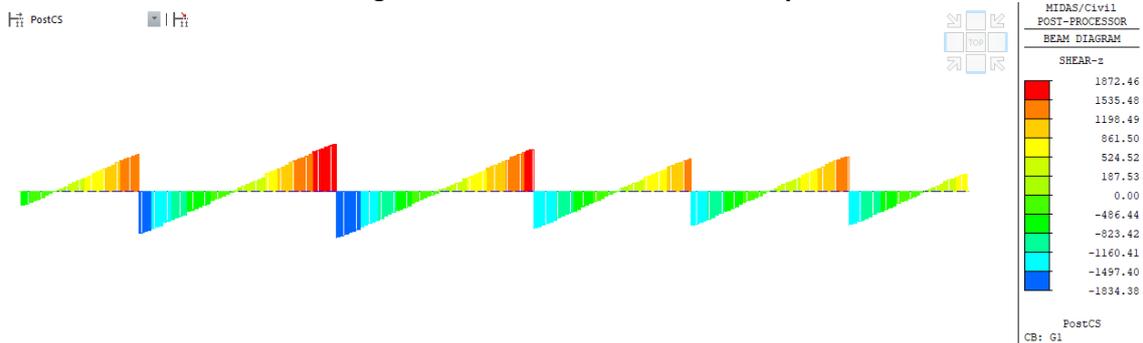


Figura 78 – G1 – Taglio Vz

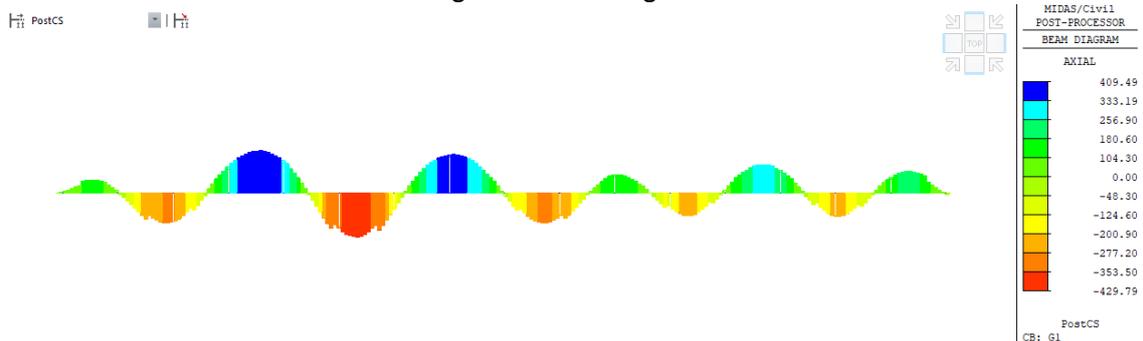


Figura 79 – G1 – Sforzo normale Fx

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 97 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Peso proprio della struttura G2

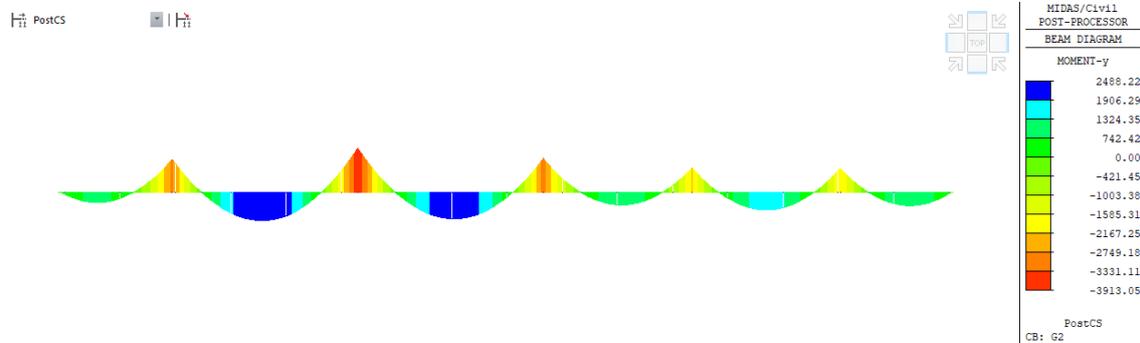


Figura 80 – G2 – Momento flettente My

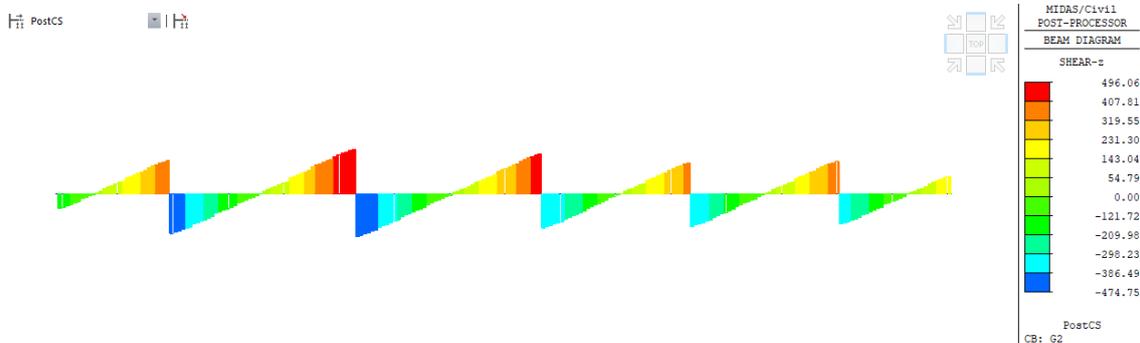


Figura 81 – G2 – Taglio Vz

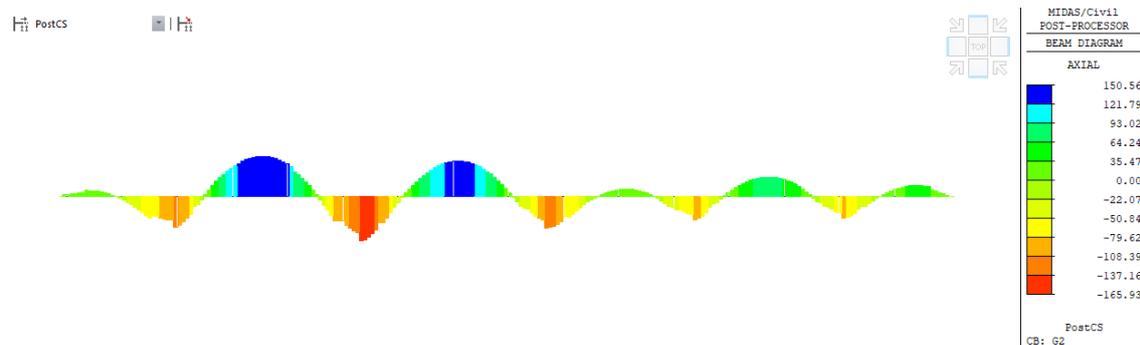


Figura 82 – G2 – Sforzo normale Fx

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia
 OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO
 Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 98 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Variazione termica E3

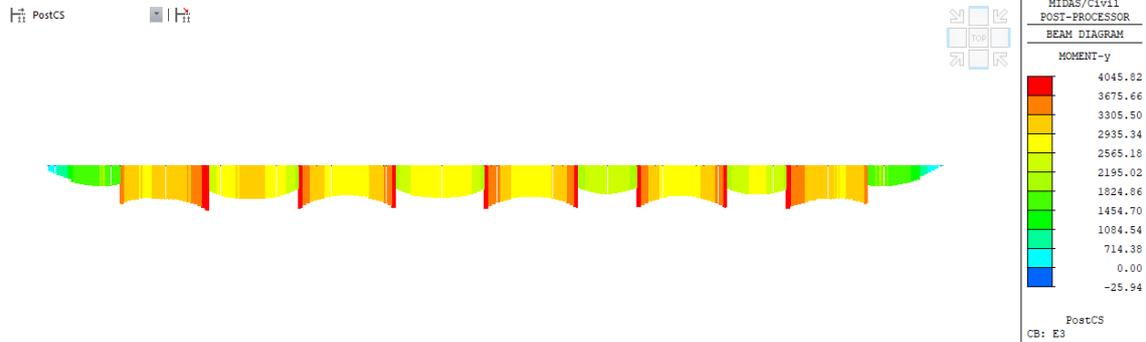


Figura 83 – E3 – Momento flettente My

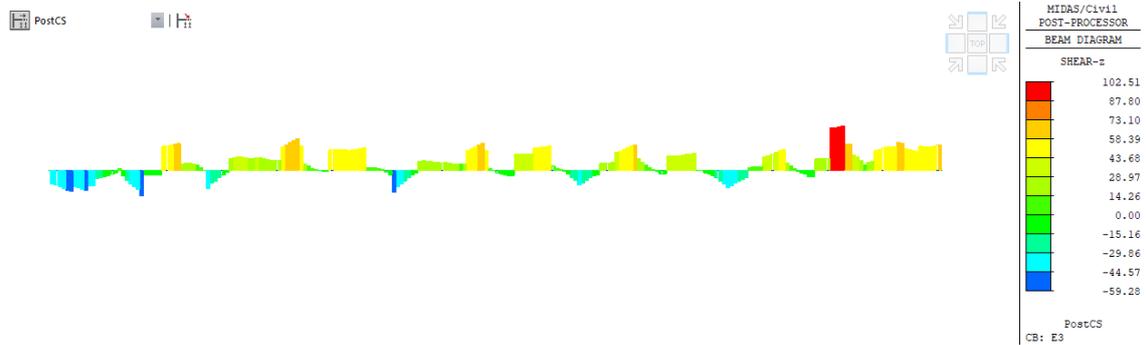


Figura 84 – E3 – Taglio Vz

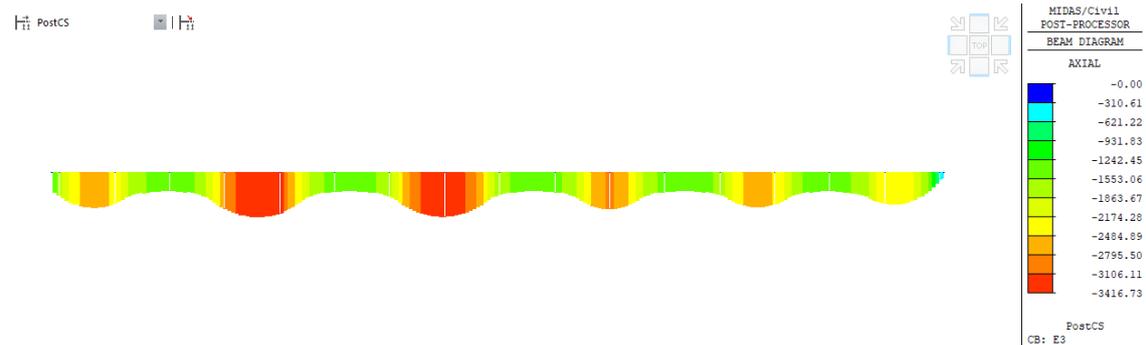


Figura 85 – E3 – Sforzo normale Fx

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15400	REL	01	B	99 di 101

Azioni variabili da traffico Q1

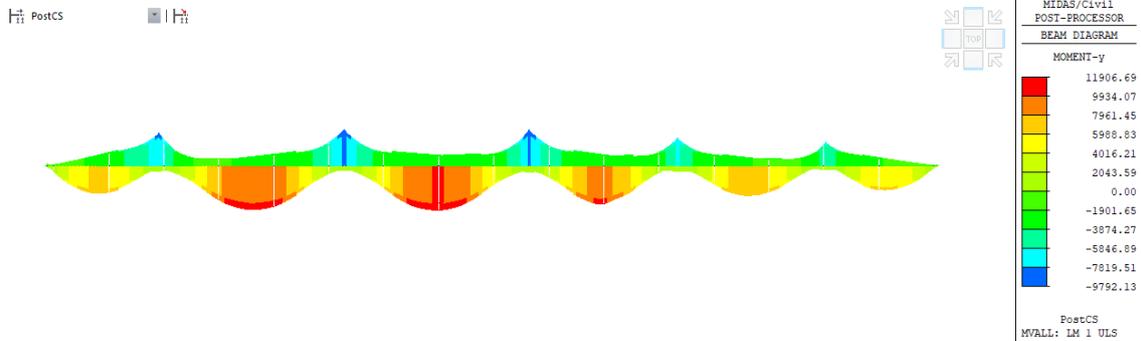


Figura 86 – Involuppo delle condizioni di carico da traffico – Momento flettente M_y

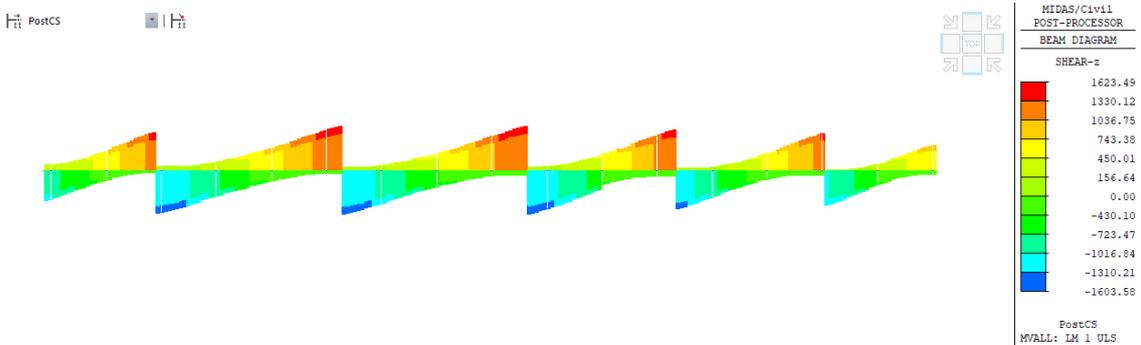


Figura 87 – Involuppo delle condizioni di carico da traffico – Taglio V_z

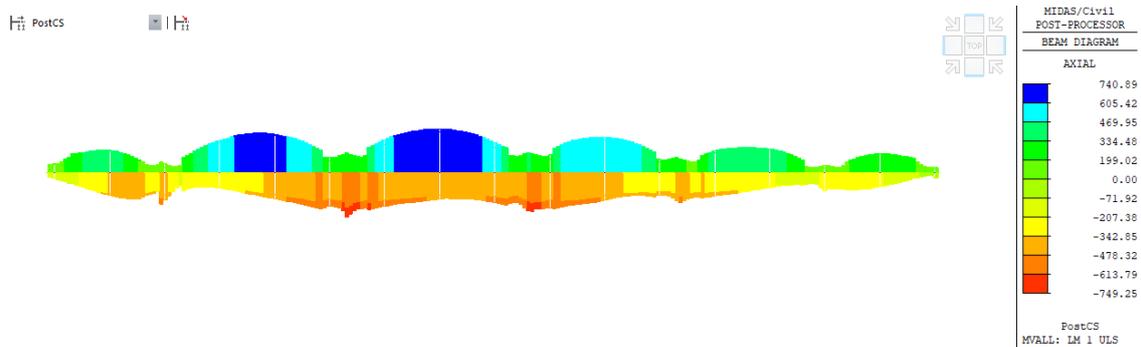


Figura 88 – Involuppo delle condizioni di carico da traffico – Sforzo normale F_x

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia
 OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO
 Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 100 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Azioni di frenamento e avviamento Q3

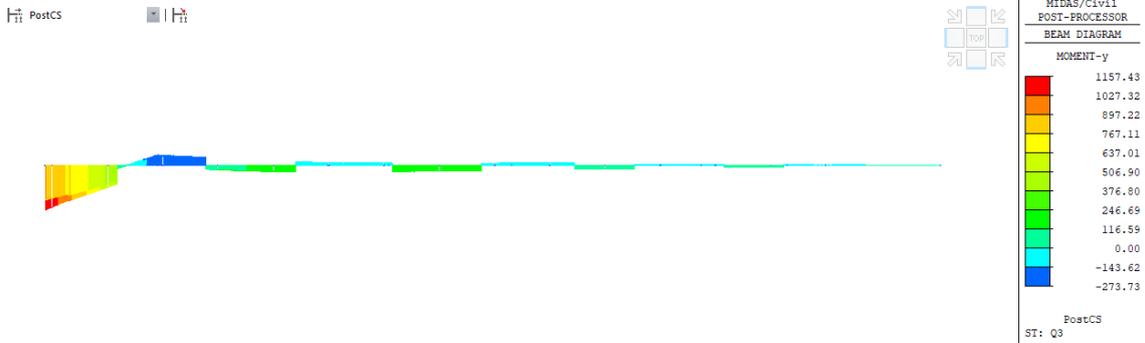


Figura 89 – Q3 – Momento flettente My

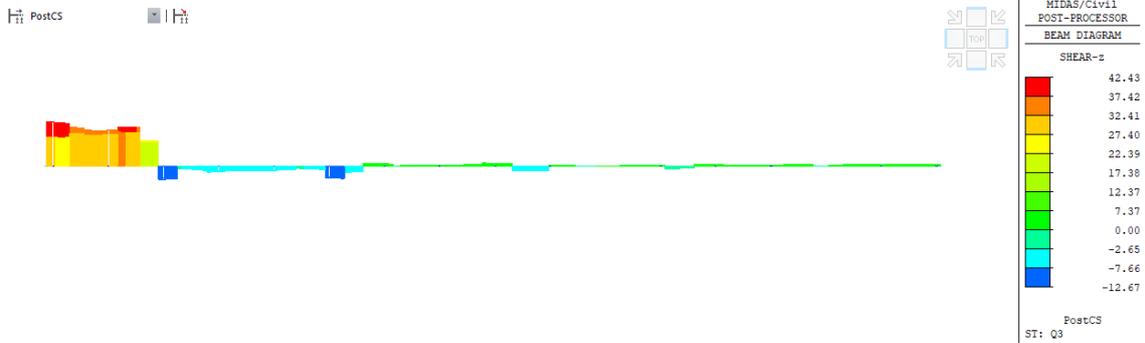


Figura 90 – Q3 – Taglio Vz

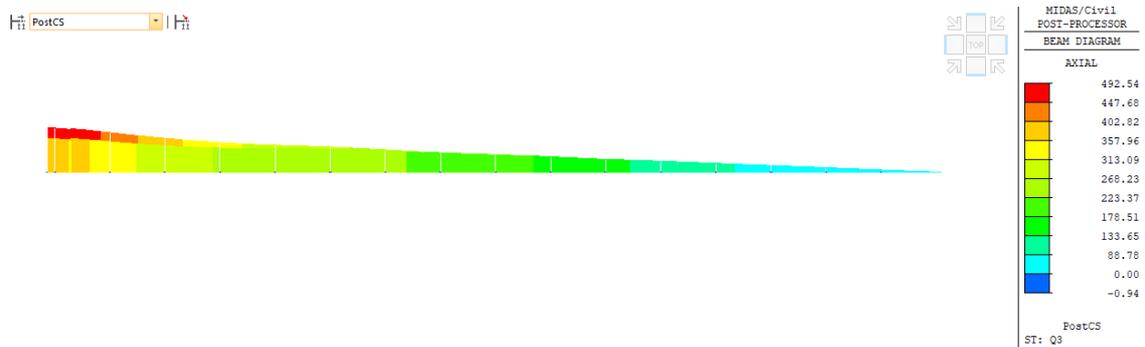


Figura 91 – Q3 – Sforzo normale Fx

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO CASTELRAIMONDO

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15400	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 101 di 101
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Azioni del vento Q5

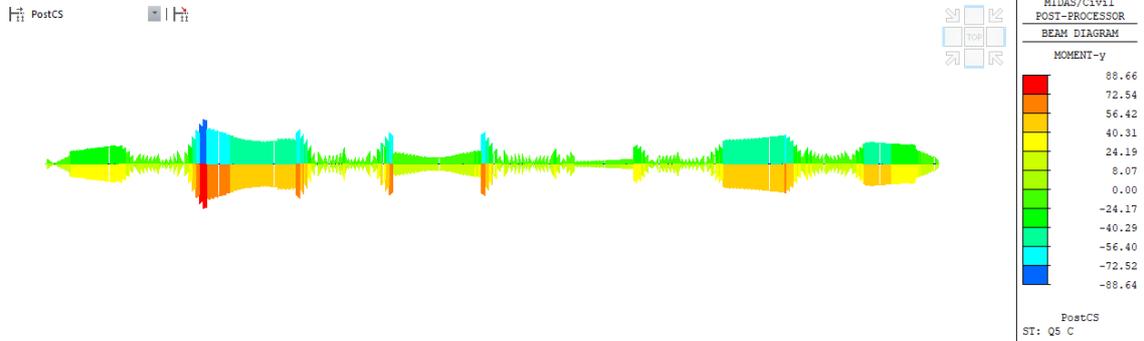


Figura 92 – Q5 – Momento flettente My

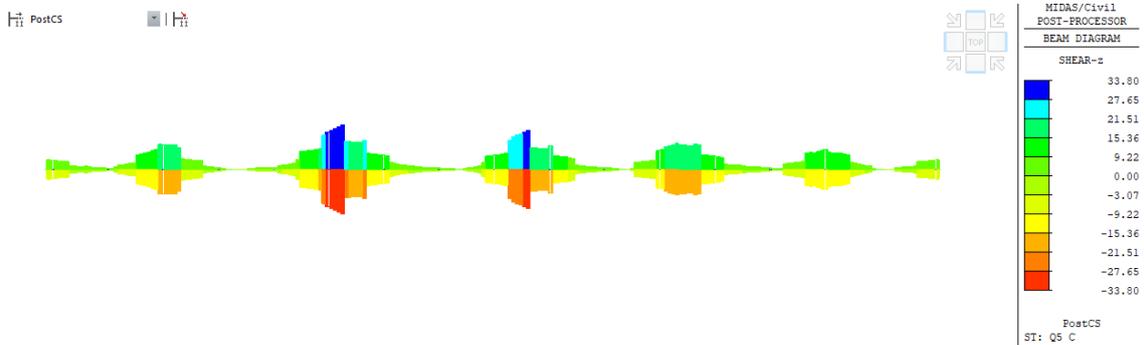


Figura 93 – Q5 – Taglio Vz

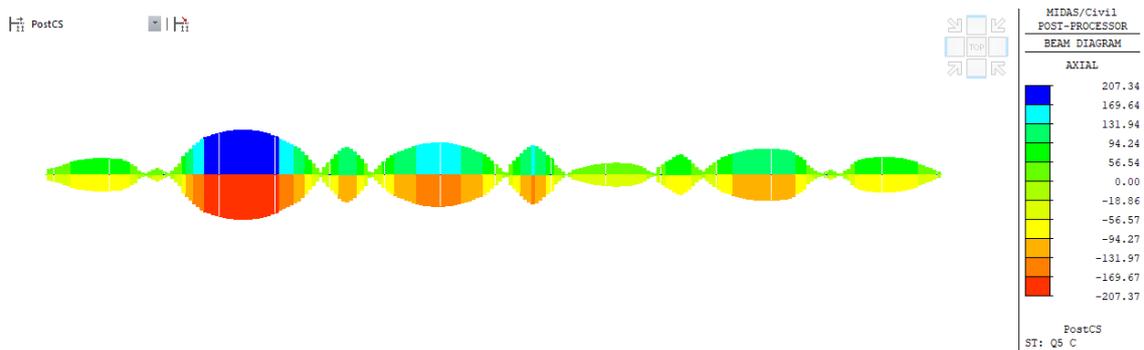


Figura 94 – Q5 – Sforzo normale Fx