

**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: VIADOTTI E PONTI Viadotto Potenza: 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.
	L0703	213	E	12	V15500	REL	01	B

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

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	2 di 139

I N D I C E

GENERALITA' 5

1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
1.2	UNITÀ DI MISURA.....	7
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI 9

1.4	CARPENTERIA IN ACCIAIO	9
1.5	SOLETTA IN C.A.....	10
1.6	RESISTENZE DI PROGETTO.....	10
1.6.1	Carpenteria metallica	10
1.6.2	Soletta in c.a.	11
1.1.1.1	Calcestruzzo C35/45	11
1.1.1.2	Armatura B450C	11

ANALISI DEI CARICHI 12

1.7	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G1)	12
1.8	CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)	12
1.9	RITIRO DEL CALCESTRUZZO (E2.1)	13
1.10	VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO (E2.2).....	13
1.11	VARIAZIONE TERMICA (E3)	14
1.12	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (Q1).....	17
1.12.1	Azioni da traffico per verifiche a fatica	18
1.13	AZIONE DI FRENAMENTO ED AVVIAMENTO (Q3)	18
1.14	AZIONE CENTRIFUGA (Q4).....	19
1.15	AZIONE DEL VENTO (Q5)	19
1.15.1	Calcolo della pressione del vento.....	19
1.15.2	Vento a ponte carico.....	20
1.15.3	Vento a ponte scarico.....	20
1.15.4	Vento in fase di montaggio	20
1.16	AZIONI SISMICHE (Q6)	21
1.17	URTO DI VEICOLO IN SVIO (Q8)	23

COMBINAZIONI DI CARICO 24

1.18	GRUPPI DI CARICO	24
1.19	COEFFICIENTI PARZIALI E DI COMBINAZIONE	25
1.20	COMBINAZIONI AGLI SLU	26
1.21	COMBINAZIONI AGLI SLE.....	26

MODELLI DI CALCOLO E METODO DI ANALISI 27

1.22	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	27
1.23	MODELLO DI CALCOLO STATICO E SISMICO	28
1.24	DETERMINAZIONE DELLA LARGHEZZA EFFICACE DI SOLETTA	29
1.25	EFFETTI DEL RITIRO E DELLA VISCOSITÀ.....	31
1.26	FASI DI CALCOLO	33

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	3 di 139

1.27	CARATTERISTICHE DI CALCOLO DELLE SEZIONI.....	34
1.28	METODO DI ANALISI GLOBALE E CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI.....	35
1.29	METODI DI VERIFICA	37
1.29.1	Verifiche allo Stato Limite Ultimo delle nervature principali	37
1.29.1.1	Verifiche di resistenza.....	38
1.29.1.2	Verifiche di stabilità a taglio dei pannelli d'anima	39
1.29.1.3	Verifiche all'imbozzamento dei pannelli d'anima	40
1.29.1.4	Verifiche di stabilità delle piattabande compresse	40
1.29.1.5	Verifiche delle connessioni trave-soletta	41
1.29.2	Verifiche allo Stato Limite Ultimo delle membrature secondarie	41
1.29.2.1	Verifiche dei collegamenti bullonati.....	42
1.29.3	Verifiche allo Stato Limite Ultimo di Fatica	44
1.29.4	Verifiche allo Stato Limite di Esercizio	45
1.29.4.1	Verifica di deformabilità.....	45
1.29.4.2	Verifica di limitazione delle tensioni di esercizio	45
1.29.4.3	Verifica di fessurazione	45

RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE 47

1.30	RISULTATI IN FASE DI GETTO	47
1.31	RISULTATI A T ₀₀	47
1.31.1	Ritiro e viscosità.....	49
1.32	RISULTATI IN FASE FINALE	50
1.32.1	Stato limite ultimo (SLU)	50
1.32.2	Stato limite d'esercizio (SLE-R)	51

VERIFICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI 52

1.33	VERIFICHE ALLO SLU IN FASE DI GETTO	52
1.34	VERIFICHE ALLO SLU IN FASE FINALE	54
1.34.1	Verifiche di resistenza	54
1.34.2	Verifiche di stabilità locale a taglio dei pannelli d'anima.....	58
1.34.3	Stabilità all' imbozzamento dei pannelli d'anima	62
1.34.4	Stabilità delle piattabande compresse.....	77
1.34.5	Verifiche delle connessioni trave-soletta	78
1.34.6	Verifiche allo stato limite di fatica.....	82
1.35	VERIFICHE ALLO SLE IN FASE FINALE.....	85
1.35.1	Verifiche di deformabilità	85
1.1.1.3	Contromonta	86
1.35.2	Verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio.....	86

VERIFICHE DEGLI ELEMENTI DI CARPENTERIA SECONDARIA 88

1.36	VERIFICA DEI CONTROVENTI SUPERIORI.....	89
1.37	VERIFICA DEI CONTROVENTI INFERIORI.....	90
1.38	VERIFICA DEI CORRENTI SUPERIORI	90
1.39	VERIFICA DEI CORRENTI INFERIORI	91
1.40	VERIFICA DEI TRAVERSI INTERMEDI DIAGONALI.....	91
1.41	VERIFICA DEI TRAVERSI DI TESTATA.....	92
1.42	VERIFICA DEI COLLEGAMENTI BULLONATI.....	94

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	4 di 139

1.42.1	Controventi superiori	94
1.42.2	Controventi inferiori.....	95
1.42.3	Correnti superiori.....	96
1.42.4	Correnti inferiori.....	96
1.42.5	Traversi intermedi diagonali	97

VERIFICA DELLA SOLETTA 99

1.43	CARICHI APPLICATI.....	99
1.43.1	Pesi propri e carichi permanenti	99
1.43.2	Carichi stradali.....	99
1.43.3	Urto di un veicolo in svio.....	102
1.43.4	Combinazioni di carico.....	102
1.44	RISULTATI DELL'ANALISI	102
1.45	VERIFICHE STRUTTURALI.....	104
1.45.1	Verifiche allo SLU.....	104
1.45.2	Verifiche allo SLE.....	105
1.45.3	Verifica locale del cordolo per azioni d'urto.....	106
1.45.4	Verifiche delle predalle in fase di getto.....	108
1.45.5	Verifiche della soletta per carichi mobili disposti in prossimità dei giunti	111

VERIFICA DELLA SOLETTA DELLA CAMPATA DI RIVA 116

1.46	CARICHI APPLICATI.....	116
1.46.1	Pesi propri e carichi permanenti	116
1.46.2	Carichi stradali.....	116
1.46.3	Urto di un veicolo in svio.....	118
1.46.4	Combinazioni di carico.....	118
1.47	RISULTATI DELL'ANALISI	119
1.48	VERIFICHE STRUTTURALI.....	120
1.48.1	Verifiche allo SLU.....	120
1.48.2	Verifiche allo SLE.....	121
1.48.3	Verifica locale del cordolo per azioni d'urto.....	122
1.48.4	Verifiche delle predalle in fase di getto.....	124
1.48.5	Verifiche della soletta per carichi mobili disposti in prossimità dei giunti	128

APPENDICE A: DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI PER SINGOLA CONDIZIONE DI CARICO 133

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 5 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

GENERALITA'

Nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice "Pedemontana delle Marche", stralci funzionali 3 e 4, è prevista la realizzazione del viadotto denominato Potenza. Il viadotto è localizzato nel tratto compreso tra la pk 3+940.00 e la pk 4+220.00.

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 L0703213E12VI5500REL02A (*Viadotto Potenza - Relazione di calcolo sottostrutture*).

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il viadotto Potenza è costituito da un'impalcato continuo a sei luci, di cui due laterali (S1-P1, P2-S2) con luce in asse appoggi pari a 40 m e quattro centrali (P1-P2, P2-P3, P3-P4, P4-P5) di luce pari a 50 m, per un totale di 280 m.

La sezione trasversale dell'impalcato presenta una larghezza variabile sulla prima campata S1-P1 e costante sulle altre campate. La campata S1-P1 ha una larghezza iniziale complessiva, in corrispondenza della spalla 1, pari a 16.50. A circa metà campata l'impalcato raggiunge la massima larghezza pari a 16.80 m per poi restringersi progressivamente fino a raggiungere l'ampiezza di 13.35 m in corrispondenza della pila 1. A partire dalla pila 1 fino alla spalla 2, l'impalcato ha una larghezza complessiva di 13.35 m con cordoli per 1.25 m per lato e pavimentazione di ampiezza pari a 10.85 m.

L'impalcato è a struttura mista in acciaio – calcestruzzo ed è costituita da due travi longitudinali principali saldate di altezza costante e pari a 2.7 m. In corrispondenza della campata S1-P1, l'interasse tra le travi varia da 5.25 m a 5.40 m rispetto a una trave secondaria centrale di altezza costante pari a 0.5 m. Sulle altre campate le travi principali sono poste a 4 m di interasse in direzione trasversale rispetto alla trave secondaria centrale.

Le travi sono suddivise in 23 concii (di 9 tipologie differenti) in direzione longitudinale, in maniera simmetrica rispetto alla mezzeria del viadotto. In particolare, sulle campate di riva più larga sono previsti i concii denominati B1, B2 e B3 di lunghezza pari rispettivamente a 6.5 m, 13.5 m e 14 m; sulla campata di riva opposta sono previsti i concii denominati C1a, di lunghezza pari a 10 m e i concii C3a e C1 di lunghezza pari rispettivamente a 12 e 11 metri; disposti simmetricamente rispetto agli appoggi sulle pile sono previsti i concii tipo C2 aventi ciascuno lunghezza complessiva pari a 14 m; nelle campate centrali sono previsti infine i concii C3 e C3a aventi entrambi lunghezza pari a 12 m, eccetto che nella campata P1-P2 in cui al concio C3a si sostituisce il concio C3b.

Le caratteristiche geometriche delle travi principali, realizzate in acciaio ad alta resistenza S460 sono riepilogate nella tabella a seguire.

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche delle nervature principali

N. Concio	H	B _{sup}	B _{inf}	t _{sup}	t _{inf}	h _a	t _a
B1	2700	900	1000	30	40	2630	22
B2	2700	900	1000	40	50	2610	22
B3	2700	900	1000	70	70	2560	24
C1a	2700	600	750	25	30	2645	20
C1	2700	600	750	20	25	2655	20

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	VI5500	REL	01	B	6 di 139

C2	2700	600	750	70	70	2560	24
C3	2700	600	750	20	30	2650	20
C3a	2700	600	750	25	30	2645	20
C3b	2700	600	750	30	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 sulla campata di riva più larga, costituiti da travi a a doppio a T in parete piena di altezza pari a 1.50 m
- 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 gettata su predalles tralicciate e presenta uno sbalzo laterale di 3.0 m e 2.7 m di luce, rispettivamente sulla campata di riva e sulle restanti. Il pacchetto complessivo soletta + predalles presenta un ingombro medio pari a 0.30 m.

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

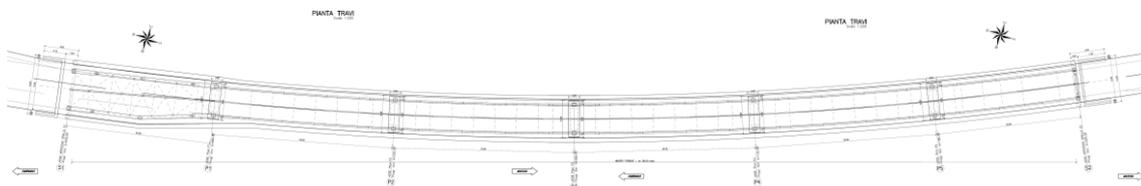


Figura 1 – Stralcio planimetrico

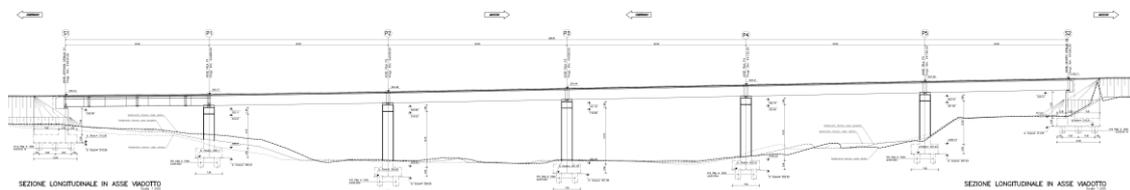


Figura 2 – Profilo longitudinale

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 7 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

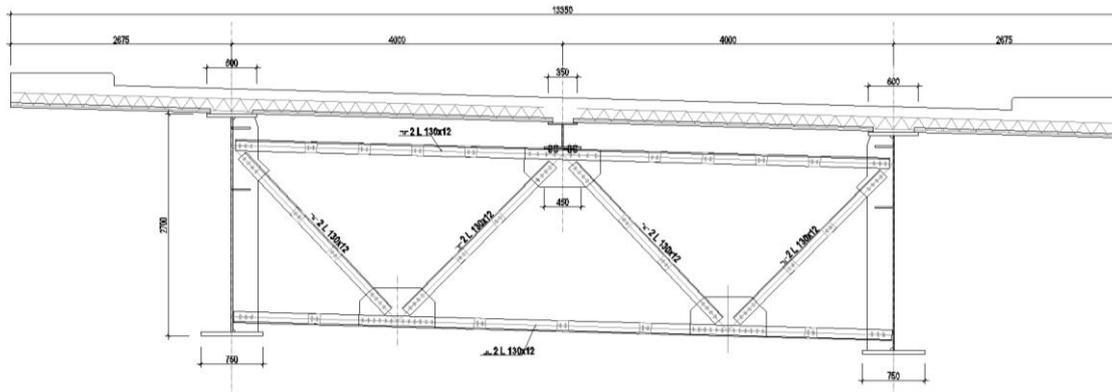


Figura 3 – Sezione trasversale corrente

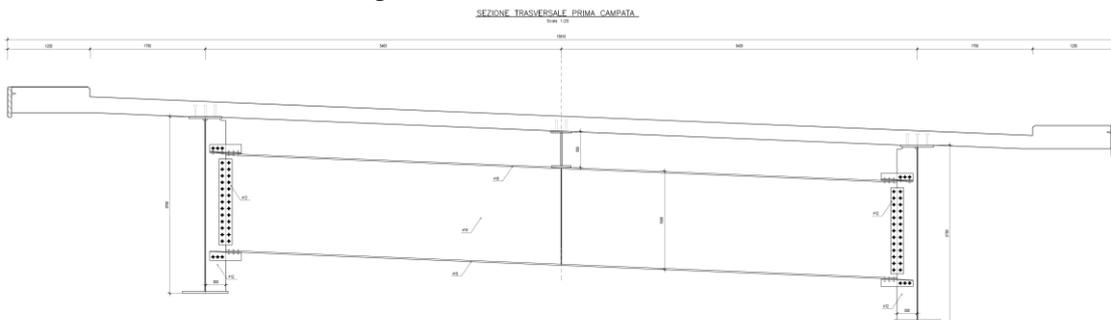


Figura 4 – Sezione trasversale in corrispondenza della spalla 1

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 8 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

1.3 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 9 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

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

1.4 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.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 10 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Riferimenti normativi specifici per la carpenteria metallica

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

1.5 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.

1.6 RESISTENZE DI PROGETTO

1.6.1 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 sabbiate

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

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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 11 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

1.6.2 Soletta in c.a.

1.1.1.1 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) |

1.1.1.2 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 VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 12 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

ANALISI DEI CARICHI

1.7 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.):

- $G1.1 = 2.0 \text{ kN/m}^2$

È stata pertanto valutata un'incidenza della carpenteria metallica pari a 200 kg per m² di impalcato.

Peso della soletta (G1.2), considerando uno spessore di 30 cm, per una larghezza complessiva di piattaforma variabile sulla prima campata e pari a 13.35 m sulle restanti campate

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

- $G1.2+G1.3 = 109.5 \text{ kN/m}$

1.8 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/m²

- $G2.1 = 13.35 \times 2 \text{ kN/m}^2$ 26.7 kN/m;
- $G2.1 = 10.85 \times 2 \text{ kN/m}^2$ 21.7 kN/m;

Guard Rail (G2.2)

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

Velette (G2.3)

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

Corrimano (G2.4)

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

Impianti (G2.5)

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

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 13 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

1.9 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 2 – 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.)

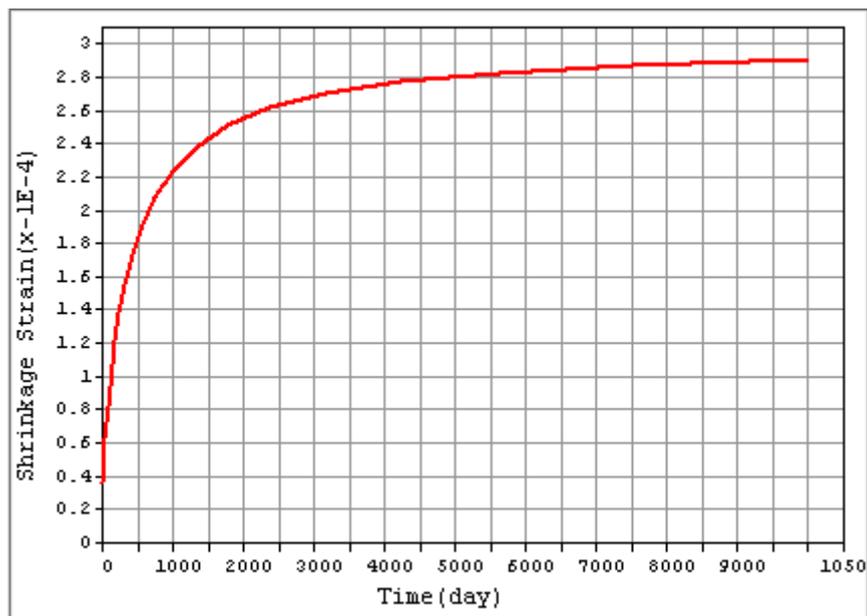


Figura 5 - Andamento della deformazione da ritiro nel tempo

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 omogeneizzata trave + soletta.

1.10 VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO (E2.2)

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 3 – Coefficienti di Viscosità

Valutazione dei Coefficienti di Viscosità a 10000 gg.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	14 di 139

$A_c =$	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.

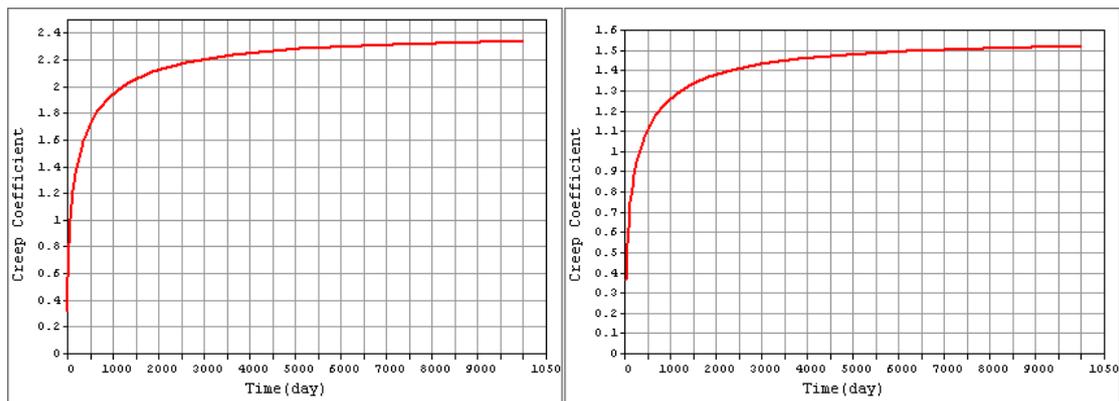


Figura 6 – Andamento del coefficiente di viscosità nel tempo per $t_0 = 3$ gg. e per $t_0 = 30$ gg.

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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 15 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

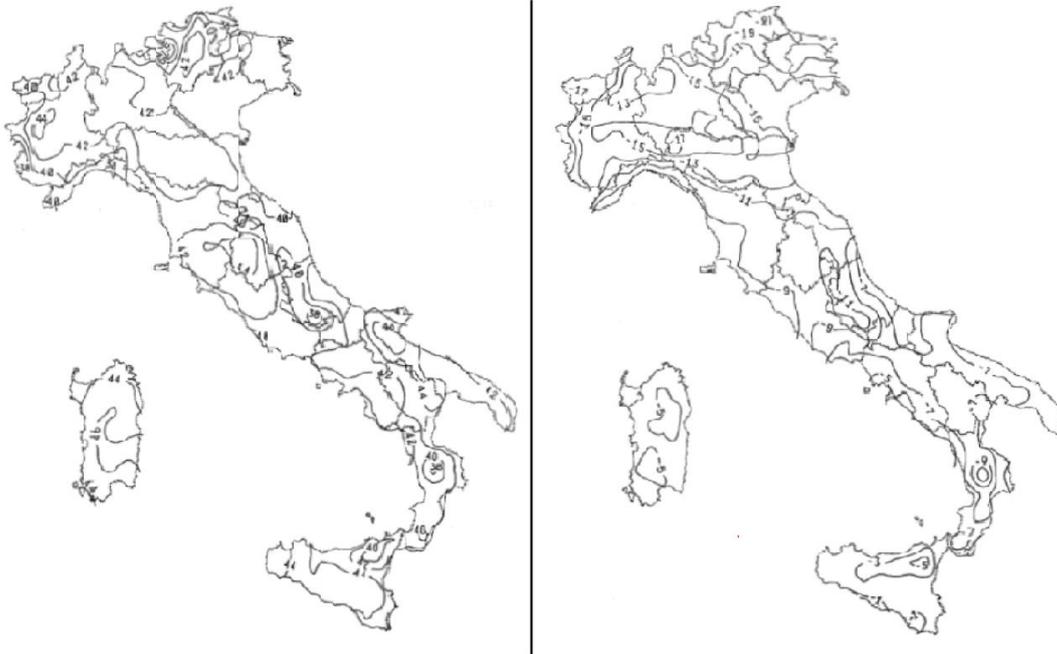


Figura 7: Mappe nazionali delle linee isoterme; T_{max} a sinistra e T_{min} a destra (Appendici nazionali, 2007)

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:

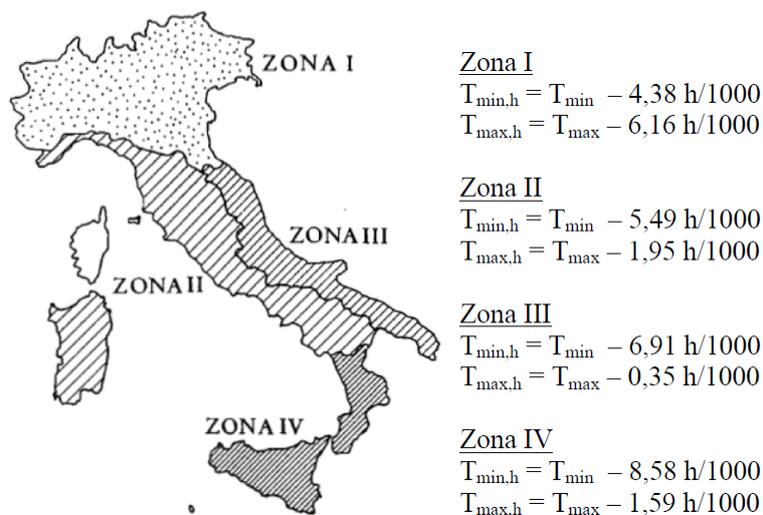


Figura 8: Zone climatiche italiane (Appendice A, UNI EN 1991-1-5)

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 16 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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.

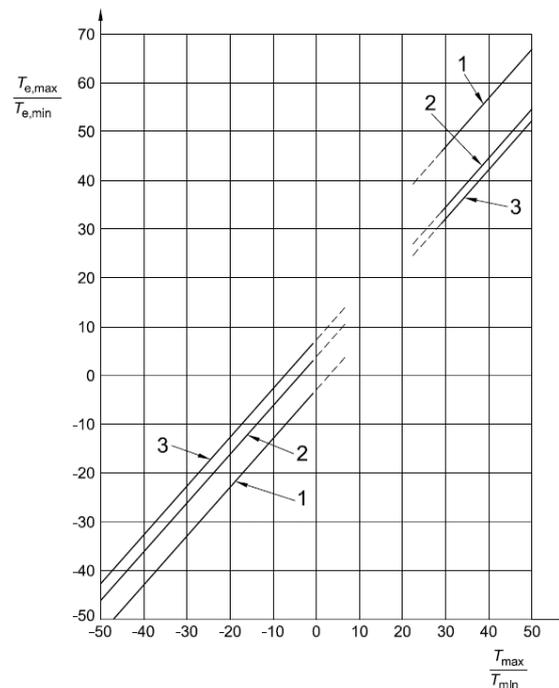


Figura 9: Correlazione tra temperatura dell'aria all'ombra minima/massima (T_{min}/T_{max}) e componente di temperatura uniforme del ponte minima/massima ($T_{e,min}/T_{e,max}$)

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:

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

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

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 17 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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.

1.12 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.

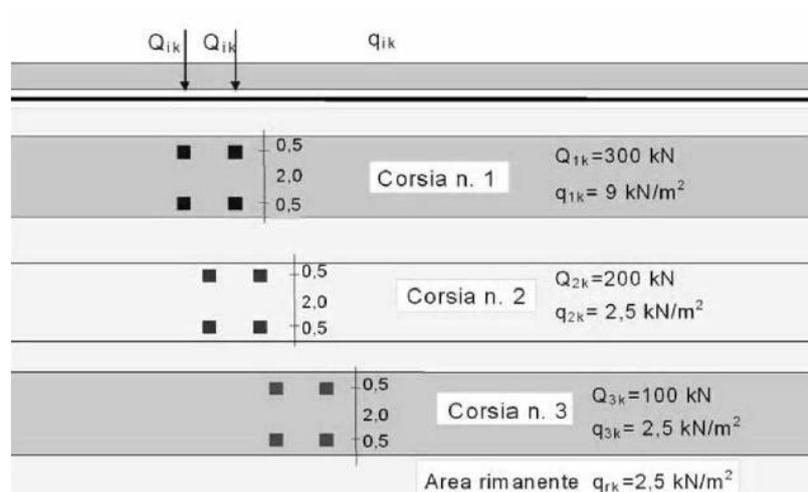


Figura 10 – Schema di carico 1

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 $q_{rk} = 2.5$ 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.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 18 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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.

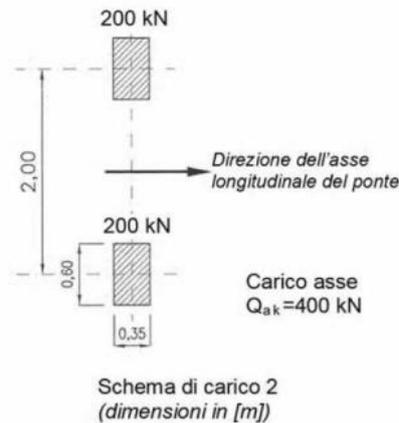


Figura 11 – Schema di carico 2

1.12.1 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%.

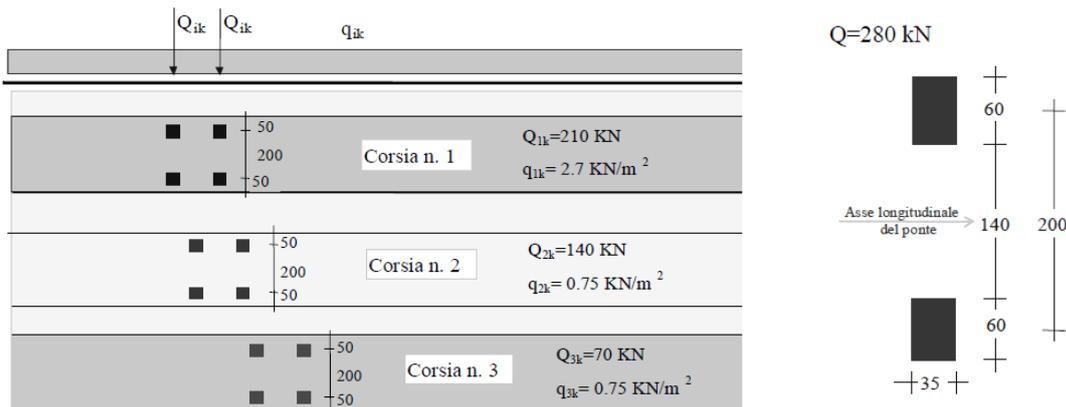


Figura 12 – Modello di carico a fatica: schemi di carico 1 e 2

1.13 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:

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 19 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

- $180\text{kN} \leq q_3 = 0.6(2 \cdot Q_k) + 0.1 \cdot q_{ik} \cdot w_1 \cdot L \leq 900\text{kN}$

Nel caso in oggetto risulta:

- $Q_3 = 900\text{ kN} = 3.2\text{ kN/m}$.

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

1.14 AZIONE CENTRIFUGA (Q4)

In accordo al par. 5.1.3.6 del DM 14/01/2008 l'azione centrifuga totale risulta pari a:

$$R < 200\text{ m} \quad Q4 = 0.2 \times Qv$$

$$200 \leq R \leq 1500\text{ m} \quad Q4 = 40 Qv / R$$

$$R > 1500\text{ m} \quad Q4 = 0$$

Dove $Qv = \sum_i 2 Qv$

Il viadotto si trova in curva ed ha un raggio di curvatura di 1000m per cui l'azione centrifuga è pari a:

$$Q4 = 48\text{ kN} = 0.17\text{ kN/m}$$

1.15 AZIONE DEL VENTO (Q5)

1.15.1 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:

- $k_r = 0.19$;
- $z_0 = 0.05\text{ m}$;

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 20 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

- $z_{min} = 4 \text{ m.}$

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.

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.

1.15.2 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:

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

1.15.3 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:

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

1.15.4 Vento in fase di montaggio

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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 21 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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

1.16 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:

- $a_{g,r}$, accelerazione orizzontale massima del terreno
- 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.**

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 22 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Tabella 4 - 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 = 1.271;
- S_T , fattore topografico = 1.00;
- C_c , fattore correttivo del periodo T_c^* = 1.495.

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

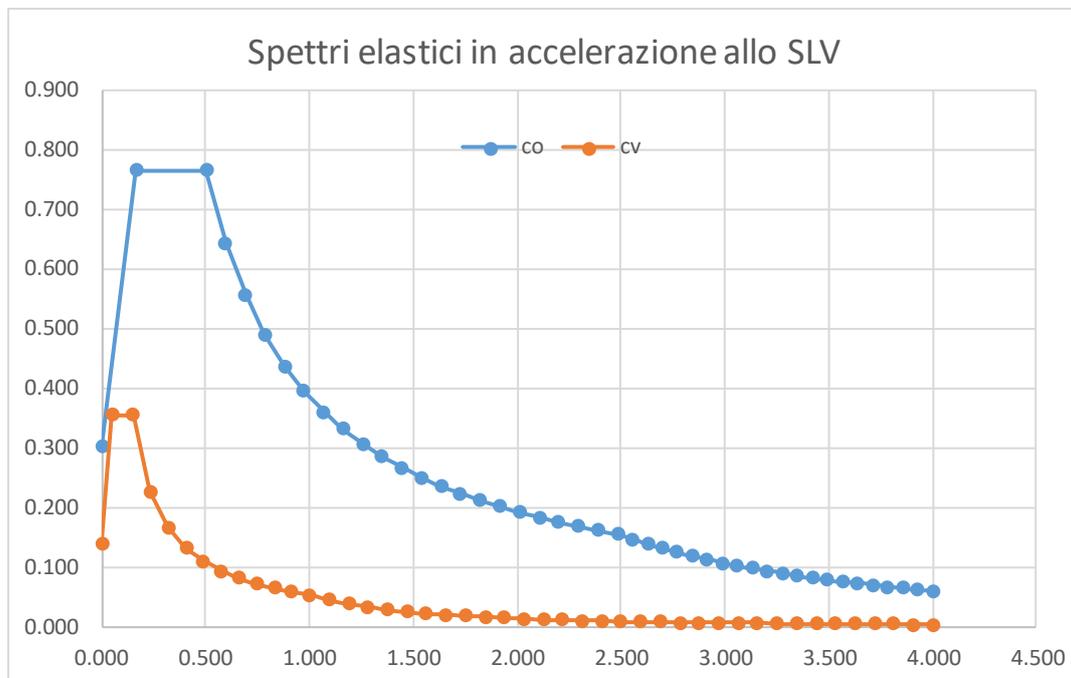


Figura 13 – SLV: Spettri elastici in accelerazione ($q = 1$)

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 23 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

1.17 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 h1, h2, dove h1 = (altezza della barriera – 0.10m), h2 = 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.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 24 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

COMBINAZIONI DI CARICO

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

1.18 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 5 – Valori caratteristici delle azioni da traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla carreggiata					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
	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 3ª 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.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 25 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

1.19 COEFFICIENTI PARZIALI E DI COMBINAZIONE

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

Tabella 6 – 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 7 – 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	0,6	0,2	0,0
	SLU e SLE			
	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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 26 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

1.20 COMBINAZIONI AGLI SLU

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 8 - 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	1	0	
ECCEZIONALE	-	1	1	0	1	0.5	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

1.21 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 9 - 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 27 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

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.

1.22 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 PROGINS 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 PROGINS 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 28 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

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.

1.23 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 o intermedi 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.

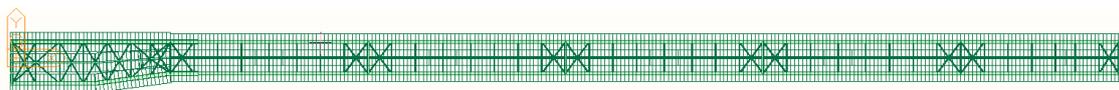


Figura 14 - Modello FEM vista in pianta

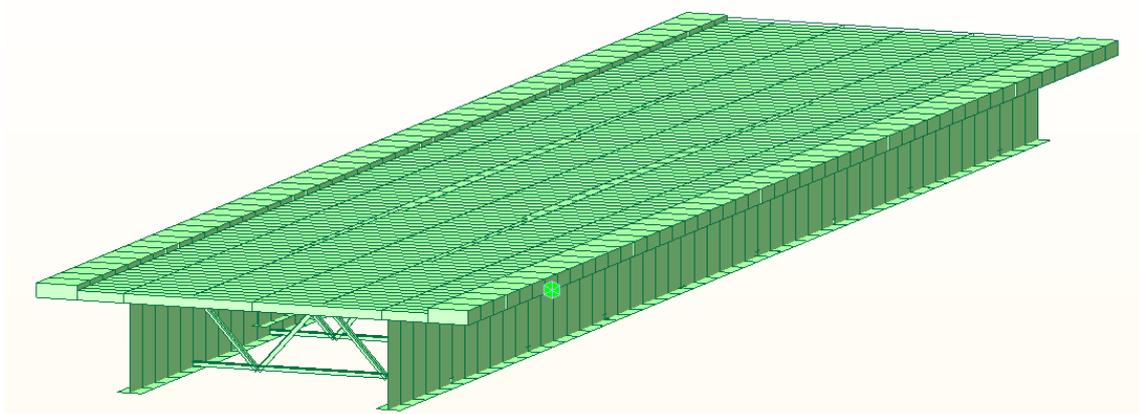


Figura 15 – Stralcio del modello FEM vista estrusa

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	29 di 139

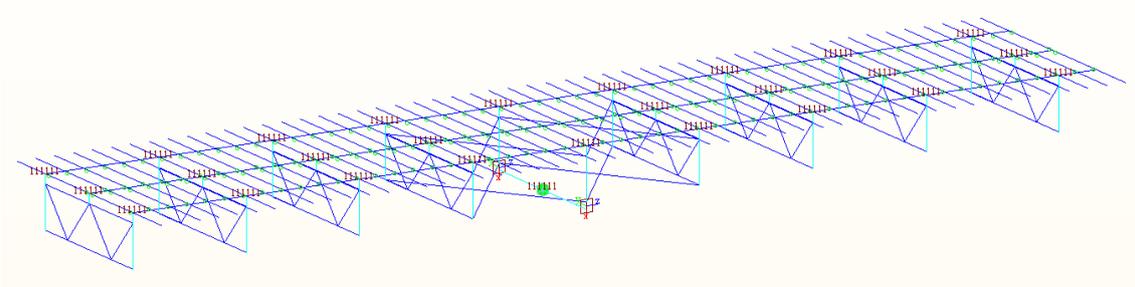


Figura 16 – Stralcio del modello FEM vista wireframe

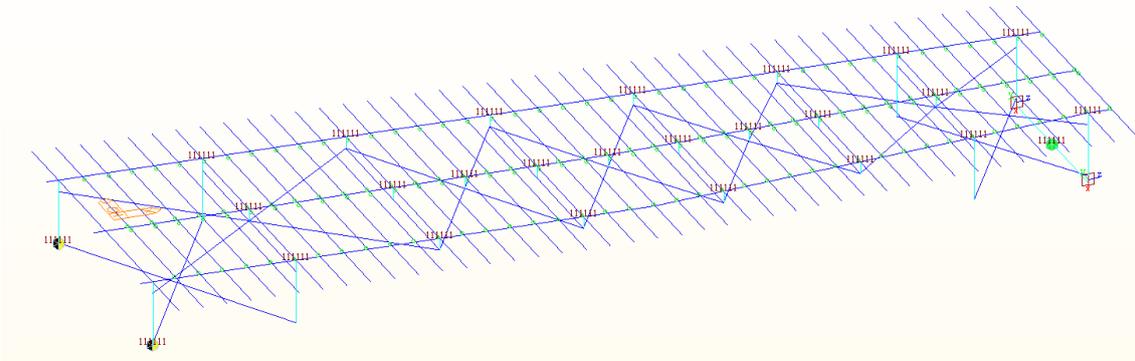


Figura 17 – Stralcio del modello FEM vista wireframe in corrispondenza della campata di riva più larga

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 rigidezze corrispondenti agli isolatori sismici; le pile invece sono state simulate come appoggi fissi connessi tramite bracci rigidi agli elastic link rappresentativi degli isolatori elastoplastici.

1.24 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 $b_{eff} = b_0 + b_{ei} + b_{e2}$.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 30 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

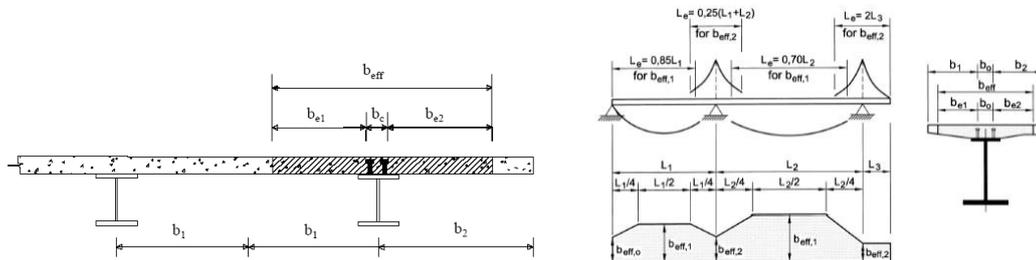


Figura 18 - Larghezza di soletta collaborante

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 $b_{eff} = b_0 + \beta_1 b_{e1} + \beta_2 b_{e2}$ con $\beta_i = (0.55 + 0.025 L_e/b_{ei}) \leq 1$. In definitiva si ottiene:

Tabella 10 - Calcolo della Larghezza Efficace di Soletta (campate P1-P2, P2-P3, P3-P4, P4-P5, P5-S2)

Travi campate di riva (40 m)			
	Interne	Esterne	
L ₁ [m]	40	40	
L ₂ [m]	-	-	
L _e [m]	34	34	
b ₀ [m]	0.25	0.25	
b ₁ [m]	2.625	2.625	
b ₂ [m]	2.625	3.2	
b _{e1} [m]	2.5	2.5	
b _{e2} [m]	2.5	3.045	
β ₁	-	0.89	
β ₂	-	0.89	
b _{eff} [m]	4.70	5.00	

Tabella 11 - Calcolo della Larghezza Efficace di Soletta (campate P1-P2, P2-P3, P3-P4, P4-P5, P5-S2)

Travi campate di riva (40 m)			Travi campata centrale (50 m) - Appoggio				Travi campata centrale (50 m) - Mezzeria			
	Interne	Esterne	Interne		Esterne		Interne		Esterne	
L ₁ [m]	40	40	L ₁ [m]	40	40	L ₁ [m]	-	-		
L ₂ [m]	-	-	L ₂ [m]	50	50	L ₂ [m]	50	50		
L _e [m]	34	34	L _e [m]	22.5	22.5	L _e [m]	35	35		
b ₀ [m]	0.25	0.25	b ₀ [m]	0.25	0.25	b ₀ [m]	0.25	0.25		
b ₁ [m]	2	2	b ₁ [m]	2	2	b ₁ [m]	2	2		
b ₂ [m]	2	2.5	b ₂ [m]	2	2.5	b ₂ [m]	2	2.5		
b _{e1} [m]	1.875	1.875	b _{e1} [m]	1.875	1.875	b _{e1} [m]	1.875	1.875		
b _{e2} [m]	1.875	2.375	b _{e2} [m]	1.875	2.38	b _{e2} [m]	1.875	2.375		
β ₁	-	1.00	β ₁	-	1.00	β ₁	-	1.00		
β ₂	-	1.00	β ₂	-	1.00	β ₂	-	1.00		
b _{eff} [m]	4.00	4.28	b _{eff} [m]	4.00	4.50	b _{eff} [m]	4.00	4.50		

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 31 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Sulla campata di riva più larga, cautelativamente, viene quindi considerata sia per le travi interne che per quelle di bordo una larghezza di soletta collaborante pari a 4.7 m.

Analogamente, sul resto del ponte, viene adottata sia per le travi interne che per quelle di bordo una larghezza di soletta collaborante pari a 4.0 m.

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 .

1.25 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 deformazione anelastica da ritiro che si sviluppa nel tempo secondo la funzione rappresentata in Figura 5: 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 $M_{r1}(t, t_0)$;

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 32 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

- 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 viscosse 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 omogeneizzata 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 della sezione composta) ed $\Delta N_{\phi2}(t, t_i)$ ed $\Delta M_{\phi2}(t, t_i)$ sulla soletta (parte 2 della 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 $\Delta N_{\phi2}(t, t_i) - \Delta N_\phi(t, t_i)$ ed $\Delta M_{\phi2}(t, t_i)$.

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	$\phi(t_{00}, t_0 = 3 \text{ gg.}) =$	2.34	$\psi_L = 0.55$ $n_{r,00} = 14.1$
per carichi permanenti	$\phi(t_{00}, t_0 = 30 \text{ gg.}) =$	1.52	$\psi_L = 1.1$ $n_{p,00} = 16.5$

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

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 33 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

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

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 $n_{p,00}$.

1.26 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;

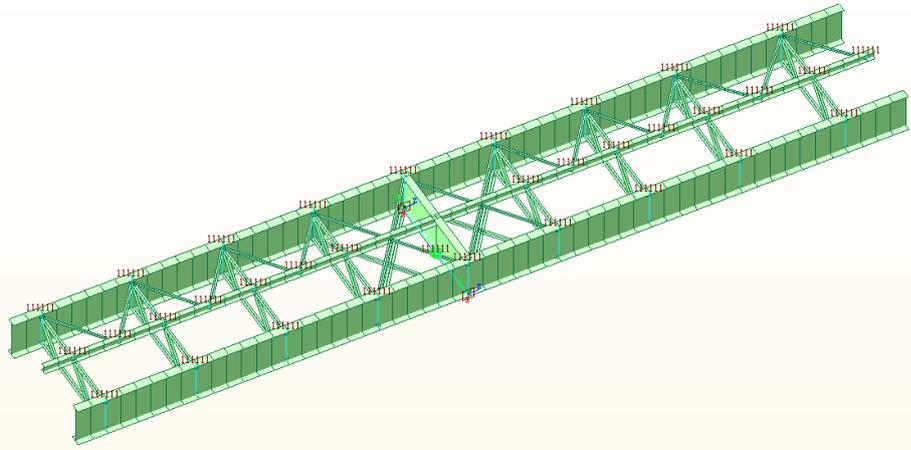


Figura 19 - Fasi di calcolo 1.1 e 1.2

- **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.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 34 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

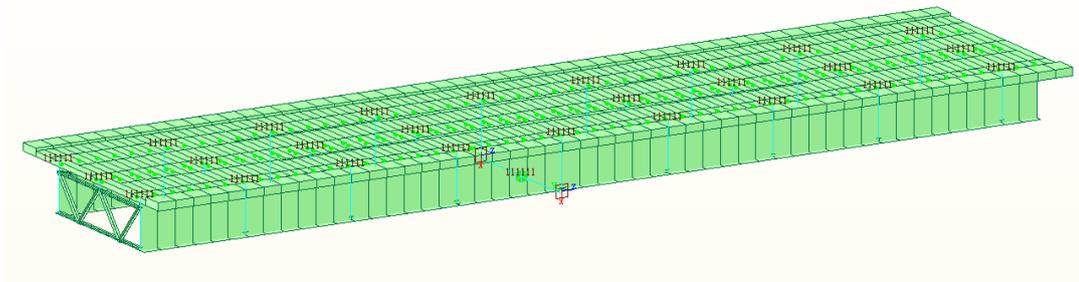


Figura 20 - Fasi di calcolo 2.1 e 2.2

- **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.

1.27 CARATTERISTICHE DI CALCOLO DELLE SEZIONI

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche dei conci 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 medio pari a 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.

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 $\varnothing 22/200$.

Tabella 13 - Proprietà meccaniche conci

Concio	A [mm ²]	zinf [mm]	Acciaio		Iyy [mm ⁴]	Izz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]
			zsup [mm]	zinf [mm]			
B1	1.25E+05	1.21E+03	1.49E+03	1.50E+11	5.16E+09	3.89E+07	
B2	1.43E+05	1.22E+03	1.48E+03	1.82E+11	6.60E+09	7.03E+07	
B3	1.94E+05	1.30E+03	1.40E+03	2.63E+11	1.01E+10	2.29E+08	
C1a	9.04E+04	1.24E+03	1.46E+03	9.67E+10	1.51E+09	1.70E+07	
C1	8.39E+04	1.24E+03	1.46E+03	8.53E+10	1.24E+09	1.26E+07	
C2	1.56E+05	1.26E+03	1.44E+03	1.96E+11	3.72E+09	1.66E+08	
C3	8.75E+04	1.19E+03	1.51E+03	9.05E+10	1.42E+09	1.55E+07	
C3a	9.04E+04	1.24E+03	1.46E+03	9.67E+10	1.51E+09	1.70E+07	
C3b	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]	Iyy [mm ⁴]	Izz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]	
B1	3.63E+05	2.28E+03	7.15E+02	3.70E+11	4.26E+11	1.39E+10	
B2	3.81E+05	2.24E+03	7.64E+02	4.19E+11	4.28E+11	1.39E+10	
B3	4.32E+05	2.15E+03	8.48E+02	5.20E+11	4.31E+11	1.41E+10	
C1a	2.93E+05	2.35E+03	6.49E+02	2.59E+11	2.61E+11	8.24E+09	
C1	2.86E+05	2.38E+03	6.23E+02	2.39E+11	2.61E+11	8.24E+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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 35 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

C2	3.58E+05	2.16E+03	8.43E+02	4.19E+11	2.63E+11	8.39E+09
C3	2.90E+05	2.35E+03	6.53E+02	2.59E+11	2.61E+11	8.24E+09
C3a	2.93E+05	2.35E+03	6.49E+02	2.59E+11	2.61E+11	8.24E+09
C3b	3.03E+05	2.30E+03	7.02E+02	2.98E+11	2.62E+11	8.26E+09

Mista + armatura t_{00} (effetti del ritiro)						
Concio	A [mm ²]	zinf [mm]	zsup [mm]	lyy [mm ⁴]	lzz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]
B1	2.34E+05	1.97E+03	1.03E+03	3.05E+11	1.89E+11	6.09E+09
B2	2.52E+05	1.92E+03	1.08E+03	3.45E+11	1.91E+11	6.12E+09
B3	3.03E+05	1.86E+03	1.14E+03	4.30E+11	1.94E+11	6.28E+09
C1a	1.83E+05	2.05E+03	9.48E+02	2.15E+11	1.15E+11	3.61E+09
C1	1.77E+05	2.08E+03	9.17E+02	1.98E+11	1.15E+11	3.61E+09
C2	2.49E+05	1.85E+03	1.15E+03	3.42E+11	1.17E+11	3.76E+09
C3	1.80E+05	2.04E+03	9.58E+02	2.14E+11	1.15E+11	3.61E+09
C3a	1.83E+05	2.05E+03	9.48E+02	2.15E+11	1.15E+11	3.61E+09
C3b	1.93E+05	1.99E+03	1.01E+03	2.45E+11	1.15E+11	3.63E+09

Mista + armatura t_{00} (carichi di lunga durata)						
Concio	A [mm ²]	zinf [mm]	zsup [mm]	lyy [mm ⁴]	lzz [mm ⁴]	Jt [mm ⁴]
B1	2.19E+05	1.92E+03	1.08E+03	2.93E+11	1.63E+11	5.22E+09
B2	2.38E+05	1.87E+03	1.13E+03	3.32E+11	1.64E+11	5.25E+09
B3	2.89E+05	1.81E+03	1.19E+03	4.14E+11	1.68E+11	5.41E+09
C1a	1.71E+05	1.99E+03	1.01E+03	2.06E+11	9.87E+10	3.10E+09
C1	1.64E+05	2.03E+03	9.74E+02	1.91E+11	9.84E+10	3.09E+09
C2	2.36E+05	1.80E+03	1.20E+03	3.29E+11	1.01E+11	3.25E+09
C3	1.68E+05	1.98E+03	1.02E+03	2.05E+11	9.86E+10	3.09E+09
C3a	1.71E+05	1.99E+03	1.01E+03	2.06E+11	9.87E+10	3.10E+09
C3b	1.81E+05	1.93E+03	1.07E+03	2.35E+11	9.91E+10	3.11E+09

1.28 METODO DI ANALISI GLOBALE E CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

Il DM 2008 prevede per le strutture in acciaio e in acciaio calcestruzzo la possibilità di utilizzare i seguenti metodi di analisi globale:

- elastica;
- plastica;
- elasto-plastica.

Tali metodi di analisi sono associati al metodo di valutazione della resistenza delle sezioni trasversali e alle classi di appartenenza delle sezioni come definite al punto 4.2.3.1 del DM 2008.

Tabella 14 - Metodi di analisi globale e classificazione delle sezioni.

Metodo di analisi globale	Metodo di calcolo della capacità resistente della sezione	Tipo di sezione
(E)	(E)	tutte (*)
(E)	(P)	compatte (classi 1 e 2)
(E)	(EP)	tutte (*)
(P)	(P)	compatte di classe 1
(EP)	(EP)	tutte (*)

(*) per le sezioni di classe 4 la capacità resistente può essere calcolata con riferimento alla sezione efficace.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 36 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Nel caso in esame si adotta un metodo di verifica globale elastico. La verifica in campo elastico è ammessa per tutti i tipi di sezione, con l'avvertenza di tenere conto degli effetti di instabilità locale per le sezioni di classe 4. Pertanto di seguito viene riportata la classificazione delle sezioni condotta per le travi che costituiscono il ponte in esame.

Si omette la classificazione della sezione trasversale della trave secondaria centrale (trave di spina), che ricade evidentemente in Classe 3.

Tabella 15 – Classificazione delle piattabande superiori

	Concio	H	B _{sup}	t _{sup}	B _{inf}	t _{inf}	t _w	h _w	C _{sup}	ε	14 ε	C/t	Classe
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-	-	-
Ali superiori	B1	2700	900	30	1000	40	22	2630	439.0	0.71	10.0	14.6	4
	B2	2700	900	40	1000	50	22	2610	439.0	0.71	10.0	11.0	4
	B3	2700	900	70	1000	70	24	2560	438.0	0.71	10.0	6.3	3
	C1a	2700	600	25	750	30	20	2645	290.0	0.71	10.0	11.6	4
	C1	2700	600	20	750	25	20	2655	290.0	0.71	10.0	14.5	4
	C2	2700	600	70	750	70	24	2560	288.0	0.71	10.0	4.1	3
	C3	2700	600	20	750	30	20	2650	290.0	0.71	10.0	14.5	4
	C3a	2700	600	25	750	30	20	2645	290.0	0.71	10.0	11.6	4
	C3b	2700	600	30	750	40	20	2630	290.0	0.71	10.0	9.7	3

Tabella 16 – Classificazione delle piattabande inferiori

	Concio	H	B _{sup}	t _{sup}	B _{inf}	t _{inf}	t _w	h _w	C _{inf}	ε	14 ε	C/t	Classe
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-	-	-
Ali inferiori	B1	2700	600	30	1000	40	22	2630	489.0	0.71	10.0	12.2	4
	B2	2700	600	40	1000	50	22	2610	489.0	0.71	10.0	9.8	3
	B3	2700	600	70	1000	70	24	2560	488.0	0.71	10.0	7.0	3
	C1a	2700	600	25	750	30	20	2645	365.0	0.71	10.0	12.2	4
	C1	2700	600	20	750	25	20	2655	365.0	0.71	10.0	14.6	4
	C2	2700	600	70	750	70	24	2560	363.0	0.71	10.0	5.2	3
	C3	2700	600	20	750	30	20	2650	365.0	0.71	10.0	12.2	4
	C3a	2700	600	25	750	30	20	2645	365.0	0.71	10.0	12.2	4
	C3b	2700	600	30	750	40	20	2630	365.0	0.71	10.0	9.1	3

Tabella 17 – Classificazione dei pannelli d'anima

Concio	=	B1	B2	B3	C1a	C1	C2	C3	C3a	C3b
H	mm	=	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
t _{f, sup}	mm	=	30	40	70	25	20	70	25	30
t _{f, inf}	mm	=	40	50	70	30	25	70	30	40
h _a	mm	=	2630	2610	2560	2645	2655	2560	2650	2645
t	mm	=	22	22	24	20	20	24	20	20
h _{ysup}	mm	=	1440	1437	1370	1400	1400	1370	1440	1444

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 37 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

h_{yinf}	mm	=	1260	1263	1330	1300	1300	1330	1260	1350	1256
ψ		=	-0.87	-0.87	-0.87	-0.87	-0.93	-0.93	-0.93	-0.87	-0.87
124 ε		=	0.0	0.0	0.0	88.6	88.6	0.0	0.0	88.6	0.0
κ		=	78.3	78.3	78.3	78.3	82.6	82.6	82.6	78.3	78.3
C/t		=	119.55	118.64	106.67	132.25	132.75	106.67	132.50	132.25	131.50
Classe Pannello		=	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 circoalre 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 sezioni in classe 4 verificandone la stabilità locale senza impiegare il metodo delle larghezze efficaci.

Nel caso in esame possono la verifica di instabilità locale sarà condotta per:

- le piattabande inferiori in zona appoggi in fase di esercizio;
- i pannelli d'anima compresi tra due irrigidimenti longitudinali e due irrigidimenti trasversali, soggetti a compressione.

Si precisa 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.

1.29 METODI DI VERIFICA

1.29.1 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-

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 38 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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 flesso-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 delle piattabande superiori e inferiori e le verifiche a fatica.

1.29.1.1 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.

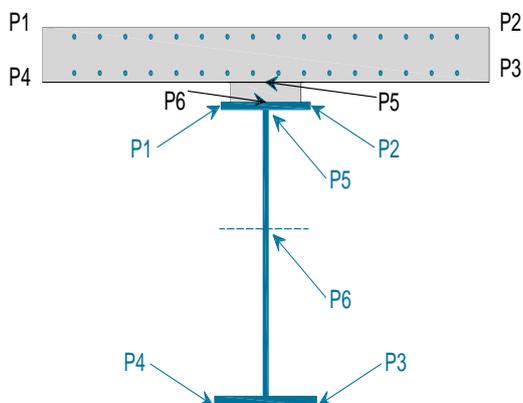


Figura 21 - Punti di verifica

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

Sec. Id.	Concio	Coordinate punti di verifica acciaio (rispetto al lembo inferiore)											
		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	B1	-450	2700	450	2700	500	0	-500	0	0	2670	0	1260
2	B2	-450	2700	450	2700	500	0	-500	0	0	2660	0	1263
3	B3	-450	2700	450	2700	500	0	-500	0	0	2630	0	1330
4	C1a	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2675	0	1300
5	C1	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2680	0	1300
6	C2	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2630	0	1330
7	C3	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2680	0	1260
8	C3a	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2675	0	1350
9	C3b	-300	2700	300	2700	375	0	-375	0	0	2670	0	1256

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

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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 39 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

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).

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

1.29.1.2 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 7/2009 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;
- $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0.81$;
- $\eta = 1.2 \cdot \gamma_{M1} / \gamma_{M0} = 1.2 \frac{1.1}{1.05} = 1.25$;
- 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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 40 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

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:

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

1.29.1.3 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.

1.29.1.4 Verifiche di stabilità delle piattabande compresse

In esercizio, il rischio di instabilità delle ali delle travi principali è limitato alle piattabande inferiori compresse nelle zone di momento negativo in prossimità degli appoggi intermedi. La presenza della soletta, infatti, impedisce che le piattabande superiori si instabilizzino.

La verifica delle piattabande inferiori è stata condotta secondo il metodo fornito dalla norma C.N.R. 10011 al punto 7.3.2.2.2 in base al quale la stabilità è affidata alla rigidità flessionale, intorno all'asse z-z, dell'ala compressa considerata isolata dall'anima.

I diaframmi trasversali, costituiti dai correnti e traversi diagonali, si oppongono allo sbandamento e rappresentano vincoli elastici discreti per l'ala inferiore della trave.

Si verifica quindi una porzione di ala, compresa tra due ritegni torsionali successivi, a carico di punta applicando una forza assiale N_{eq} :

La forza assiale agente nell'ala N_{eq} è pari a

$$N_{eq} = \frac{\eta M_{max}}{I_y} S_y$$

Con:

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 41 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

I_y : momento di inerzia di tutta la sezione rispetto all'asse y

S_y : momento statico dell'ala compressa rispetto all'asse y

$\eta = \frac{M_{eq}}{M_{max}}$; in cui M_{eq} è definito al punto 7.3.2.2.1 della citata norma.

Si verifica l'asta col metodo ω usando come lunghezza di libera inflessione la luce L tra due diaframmi trasversali e come momento d'inerzia quello dell'ala intorno all'asse z.

1.29.1.5 Verifiche delle connessioni trave-soletta

Le connessioni trave-soletta sono realizzate mediante pioli tipo Nelson, disposti in numero di 4 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 (cfr. par.C4.3.4.3.3):

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

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

$$S_C = S_{C_{ritiro}} + V_{Ed} S_G / I_G$$

1.29.2 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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 42 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

semplice, trascurando la deformabilità a taglio del collegamento, se gli interessi dei collegamenti soddisfano le limitazioni della tabella C4.2.III, riportata qui di seguito.

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.

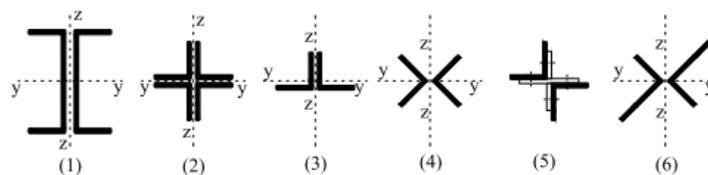


Figura C4.2.10 - Tipologie di aste composte costituite da elementi ravvicinati

Figura 22 – 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.

1.29.2.1 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:

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 43 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

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

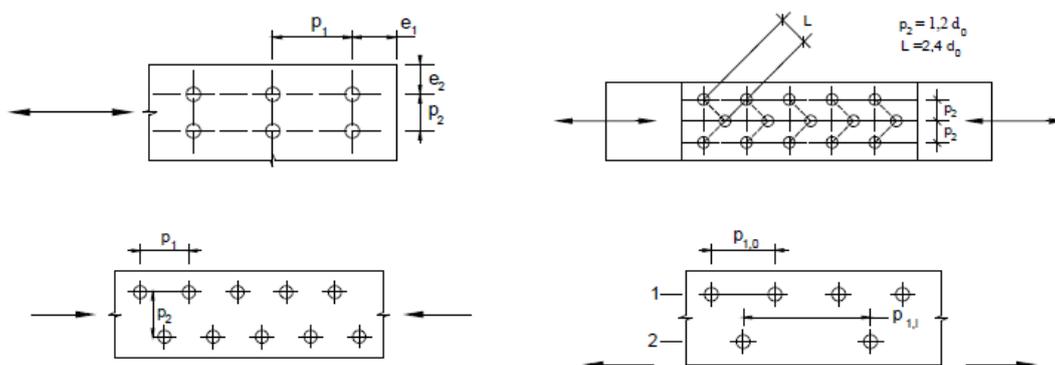
Il posizionamento dei bulloni viene realizzato nel rispetto dei minimi di normativa indicati in Tabella 4.2.XIII (riportata di seguito) in modo da garantire che non ci siano problemi relativi all'eccessiva vicinanza o lontananza tra i fori.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 44 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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

1.29.3 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 45 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

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

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;
 $\gamma_{Mf} = 1.15$.
- **limite su saldature degli irrigidenti longitudinali**
 $\Delta\sigma_C = 56$ MPa;
 $\Delta\sigma_D = 0.737 \Delta\sigma_C = 41.27$ MPa;
 $\gamma_{Mf} = 1.15$.

1.29.4 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.

1.29.4.1 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.

1.29.4.2 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.

1.29.4.3 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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 46 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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 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 V1500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 47 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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.

1.30 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.

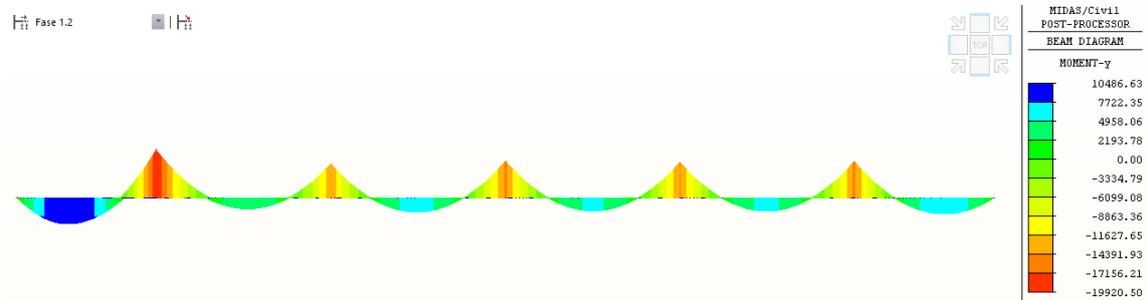


Figura 24 – G1.1+G1.2 – Momento flettente My

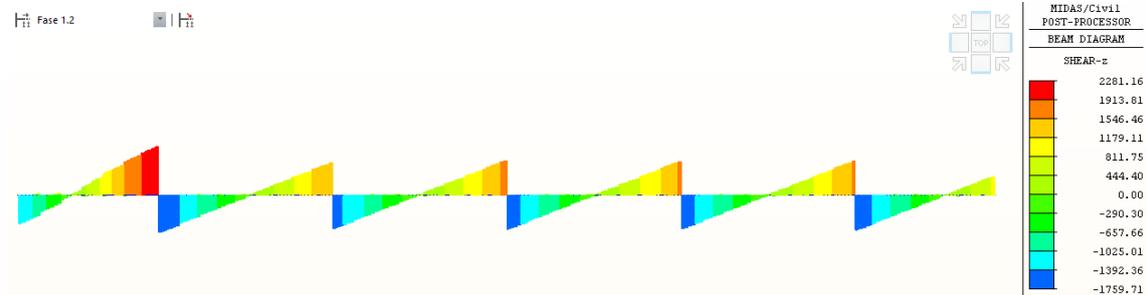


Figura 25 – G1.1+G1.2 – Taglio Vz

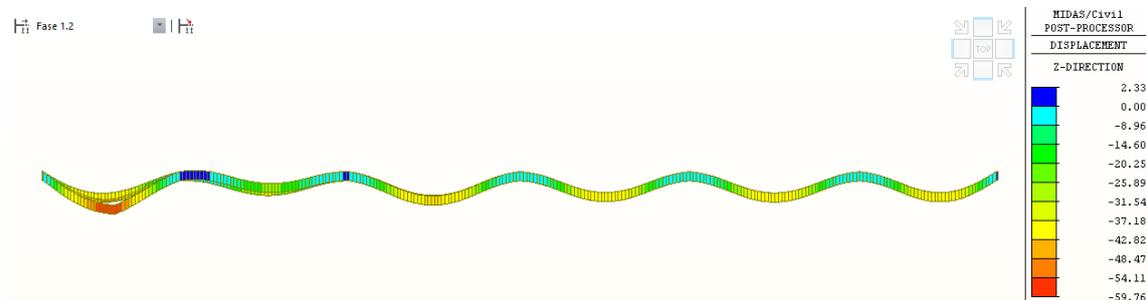


Figura 26 – G1.1+G1.2 – Spostamenti verticali DZ

1.31 RISULTATI A T₀₀

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	48 di 139

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).

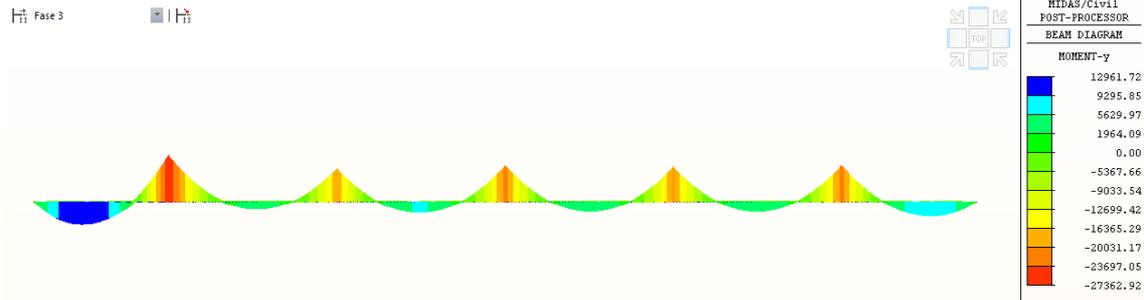


Figura 27 – G1+G2+E – Momento flettente My

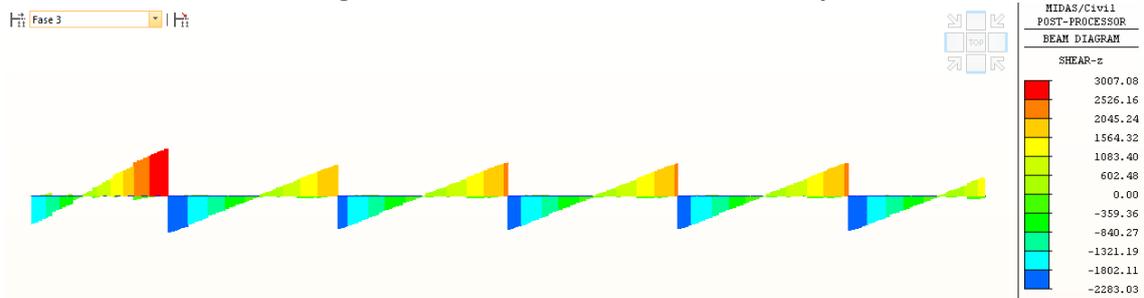


Figura 28 – G1+G2+E – Taglio Vz

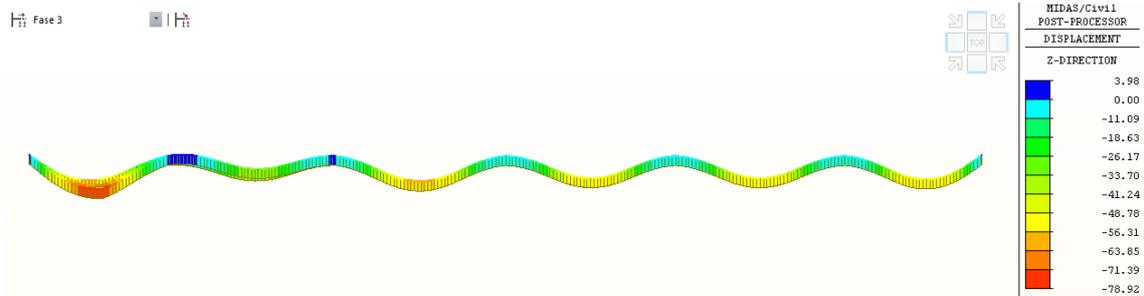


Figura 29 – G1+G2+E – Spostamenti verticali DZ

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	49 di 139

1.31.1 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).

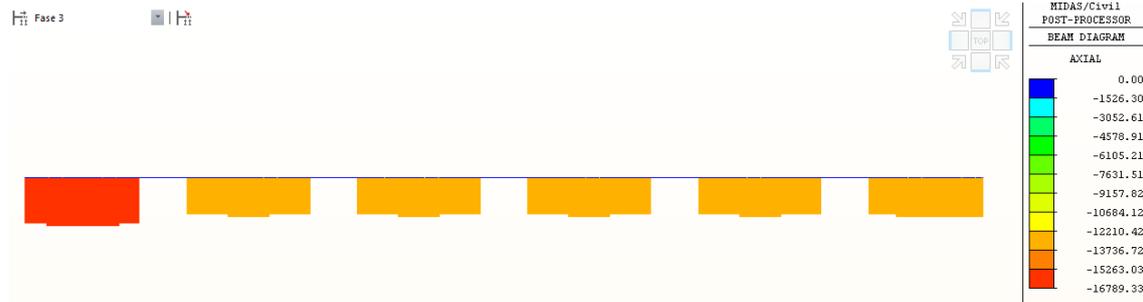


Figura 30 – Effetti primari da ritiro (E2.1) – Sforzo normale Fx

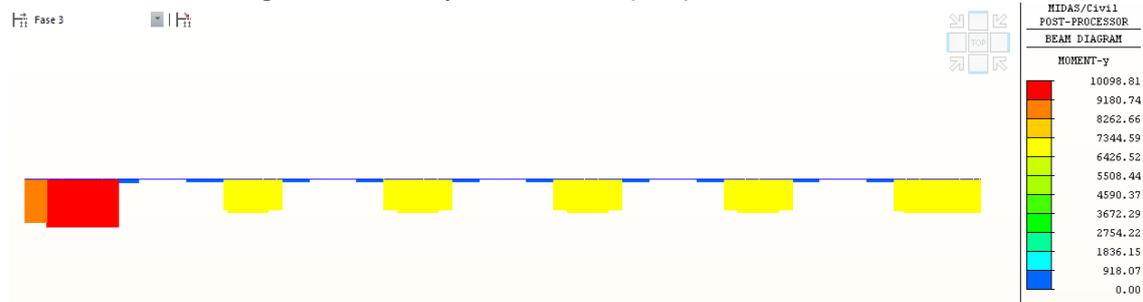


Figura 31 – Effetti primari da ritiro (E2.1) – Momento flettente My

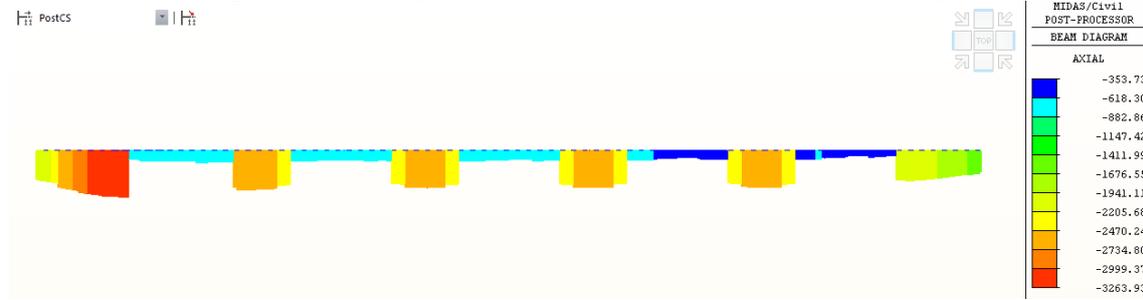


Figura 32 – Effetti secondari da ritiro e viscosità (E2.1+E2.2) – Sforzo normale nelle nervature Fx

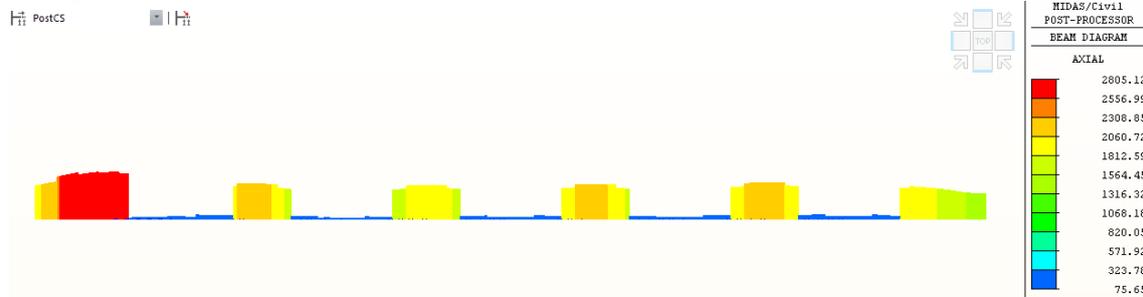


Figura 33 – Effetti secondari da ritiro e viscosità (E2.1+E2.2) – Sforzo normale nella soletta Fx

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	50 di 139

1.32 RISULTATI IN FASE FINALE

1.32.1 Stato limite ultimo (SLU)

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

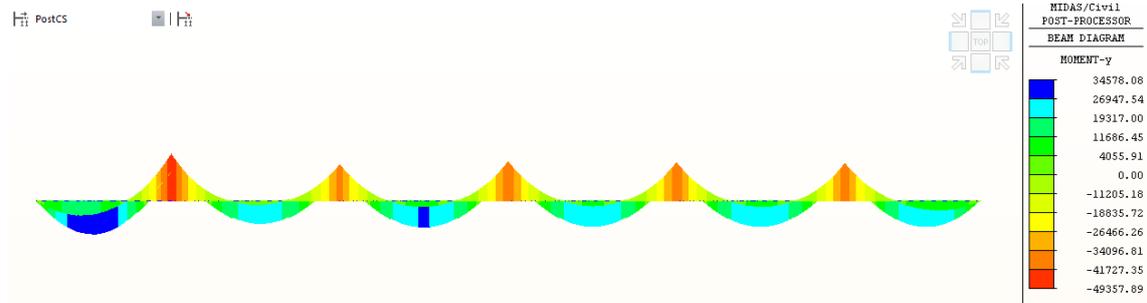


Figura 34 – Involuppo delle combinazioni SLU – Momento flettente My

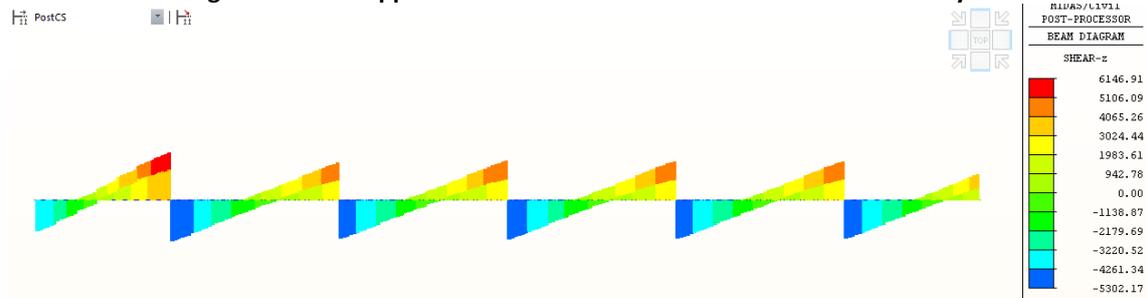


Figura 35 – Involuppo delle combinazioni SLU – Taglio Vz



Figura 36 – Involuppo delle combinazioni SLU – 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	51 di 139

1.32.2 Stato limite d'esercizio (SLE-R)

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

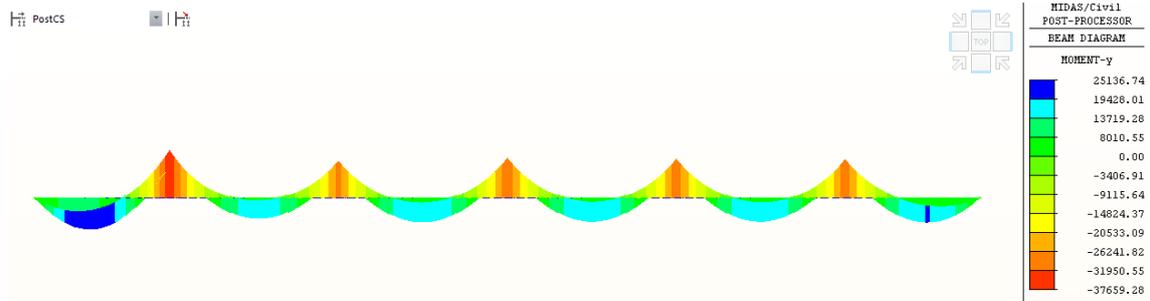


Figura 37 – Involuppo delle combinazioni SLE-R – Momento flettente My

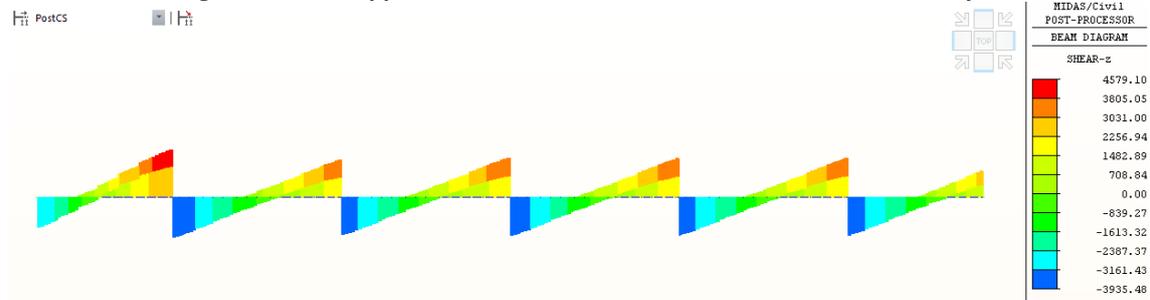


Figura 38 – Involuppo delle combinazioni SLE-R – Taglio Vz



Figura 39 – Involuppo delle combinazioni SLE-R – Sforzo normale Fx

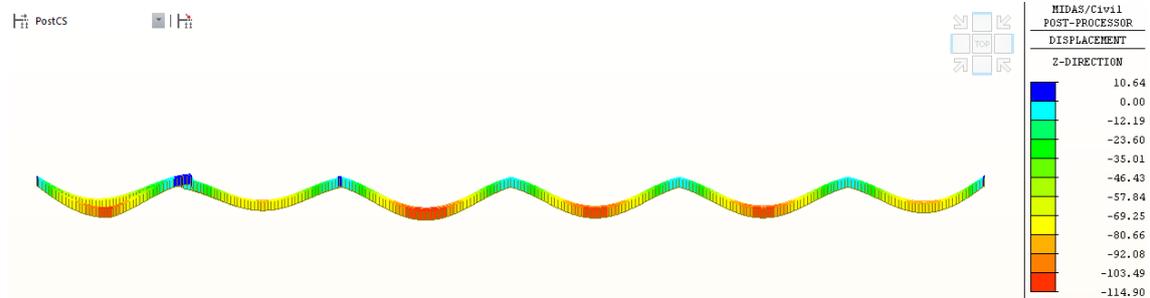


Figura 40 – Involuppo delle combinazioni SLE-R – Spostamenti verticali Dz

VERIFICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI

Nella seguente sezione vengono mostrate le verifiche di resistenza, fatica e deformabilità eseguite secondo i criteri esposti nei paragrafi 1.29.1, 1.29.2, 1.29.3 e 1.29.4.

1.33 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.

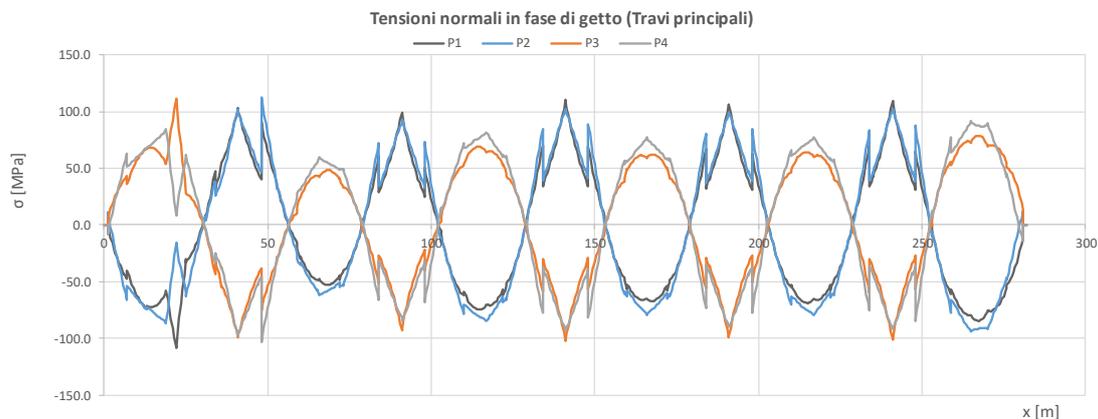


Figura 41 – Tensioni normali in fase di getto

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)
B1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-05	1.91E-05
B2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-05	1.88E-05
B3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-05	1.69E-05
C1a	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-05	2.18E-05
C1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.02E-05	2.22E-05
C2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.25E-05	1.73E-05
C3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.92E-06	2.21E-05
C3a	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-05	2.18E-05
C3b	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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 53 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------



Figura 42 – 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.

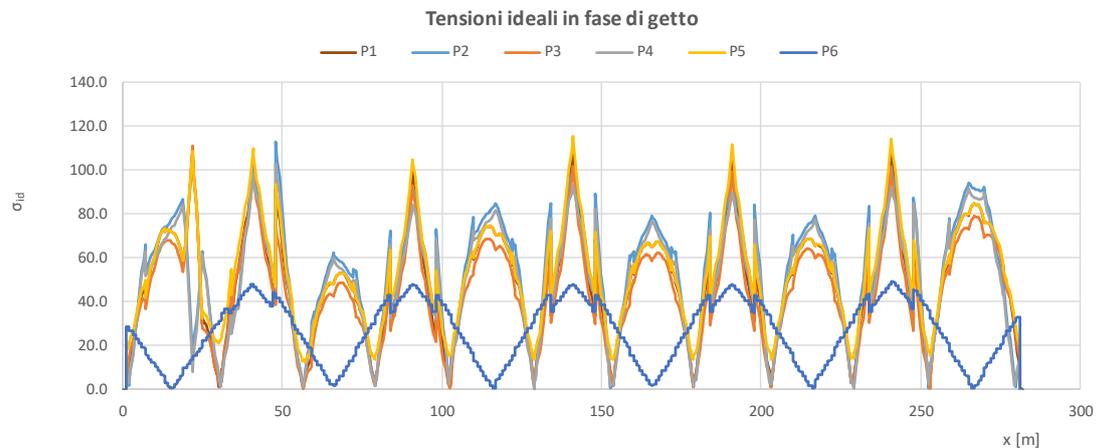


Figura 43 – Tensioni ideali in fase di getto

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 54 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

1.34 VERIFICHE ALLO SLU IN FASE FINALE

1.34.1 Verifiche di resistenza

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

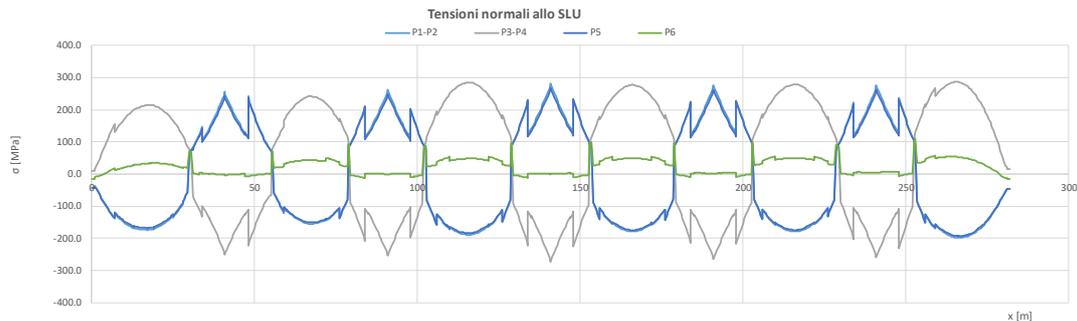


Figura 44 – Tensioni normali allo SLU

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

Sezione fessurata t0						
Concio	S1/(Iyyb1)	S2/(Iyyb2)	S3/(Iyyb3)	S4/(Iyyb4)	S5/(Iyyb5)	S6/(Iyyb6)
B1	1.59E-05	1.59E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.72E-05	1.59E-05
B2	1.52E-05	1.52E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.70E-05	1.60E-05
B3	1.28E-05	1.28E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.54E-05	1.49E-05
C1a	1.88E-05	1.88E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E-05	1.76E-05
C1	1.93E-05	1.93E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.01E-05	1.76E-05
C2	1.34E-05	1.34E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-05	1.49E-05
C3	1.89E-05	1.89E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E-05	1.73E-05
C3a	1.88E-05	1.88E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E-05	1.76E-05
C3b	1.80E-05	1.80E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.92E-05	1.74E-05
Sezione fessurata too,ritiro						
Concio	S1/(Iyyb1)	S2/(Iyyb2)	S3/(Iyyb3)	S4/(Iyyb4)	S5/(Iyyb5)	S6/(Iyyb6)
B1	1.31E-05	1.31E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.59E-05	1.58E-05
B2	1.22E-05	1.22E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.58E-05	1.59E-05
B3	9.65E-06	9.65E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.46E-05	1.49E-05
C1a	1.58E-05	1.58E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-05	1.74E-05
C1	1.64E-05	1.64E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.83E-05	1.74E-05
C2	1.04E-05	1.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-05	1.49E-05
C3	1.61E-05	1.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.79E-05	1.72E-05
C3a	1.58E-05	1.58E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-05	1.74E-05
C3b	1.50E-05	1.50E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.73E-05
Sezione fessurata too,permanenti						
Concio	S1/(Iyyb1)	S2/(Iyyb2)	S3/(Iyyb3)	S4/(Iyyb4)	S5/(Iyyb5)	S6/(Iyyb6)
B1	1.24E-05	1.24E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-05	1.58E-05
B2	1.15E-05	1.15E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-05	1.59E-05
B3	8.99E-06	8.99E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.44E-05	1.49E-05
C1a	1.51E-05	1.51E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.74E-05
C1	1.57E-05	1.57E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-05	1.73E-05
C2	9.70E-06	9.70E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.43E-05	1.49E-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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 55 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

C3	1.54E-05	1.54E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.75E-05	1.72E-05
C3a	1.51E-05	1.51E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.74E-05
C3b	1.43E-05	1.43E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.72E-05	1.73E-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})
B1	1.59E-05	1.59E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.72E-05	1.59E-05
B2	1.52E-05	1.52E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.70E-05	1.60E-05
B3	1.28E-05	1.28E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.54E-05	1.49E-05
C1a	1.88E-05	1.88E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E-05	1.76E-05
C1	1.93E-05	1.93E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.01E-05	1.76E-05
C2	1.34E-05	1.34E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-05	1.49E-05
C3	1.89E-05	1.89E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E-05	1.73E-05
C3a	1.88E-05	1.88E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E-05	1.76E-05
C3b	1.80E-05	1.80E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.92E-05	1.74E-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})
B1	1.31E-05	1.31E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.59E-05	1.58E-05
B2	1.22E-05	1.22E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.58E-05	1.59E-05
B3	9.65E-06	9.65E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.46E-05	1.49E-05
C1a	1.58E-05	1.58E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-05	1.74E-05
C1	1.64E-05	1.64E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.83E-05	1.74E-05
C2	1.04E-05	1.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-05	1.49E-05
C3	1.61E-05	1.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.79E-05	1.72E-05
C3a	1.58E-05	1.58E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-05	1.74E-05
C3b	1.50E-05	1.50E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.73E-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})
B1	1.24E-05	1.24E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-05	1.58E-05
B2	1.15E-05	1.15E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-05	1.59E-05
B3	8.99E-06	8.99E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.44E-05	1.49E-05
C1a	1.51E-05	1.51E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.74E-05
C1	1.57E-05	1.57E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-05	1.73E-05
C2	9.70E-06	9.70E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.43E-05	1.49E-05
C3	1.54E-05	1.54E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.75E-05	1.72E-05
C3a	1.51E-05	1.51E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-05	1.74E-05
C3b	1.43E-05	1.43E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.72E-05	1.73E-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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 56 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

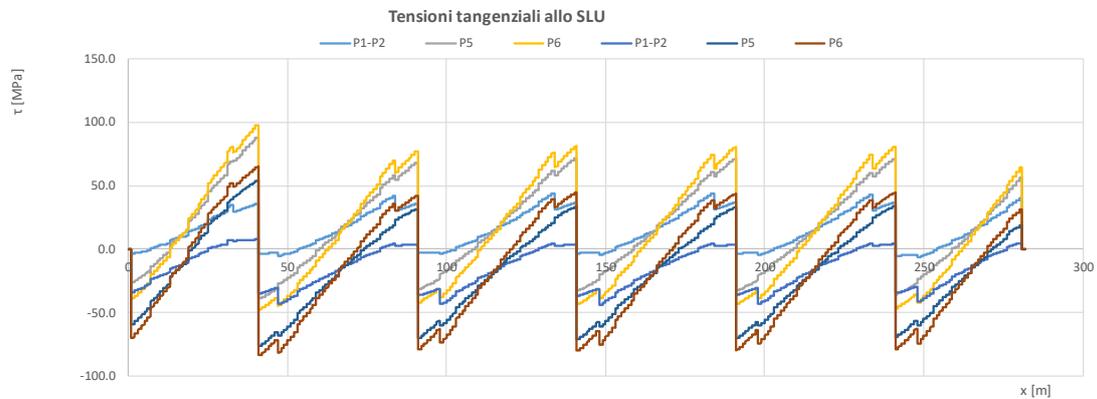


Figura 45 – Tensioni tangenziali allo SLU

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

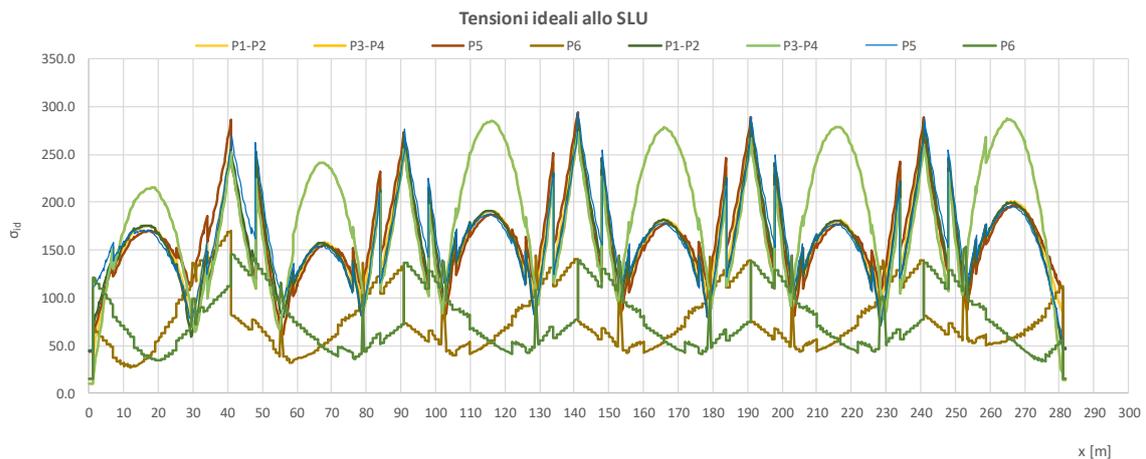


Figura 46 – Tensioni ideali allo SLU

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.

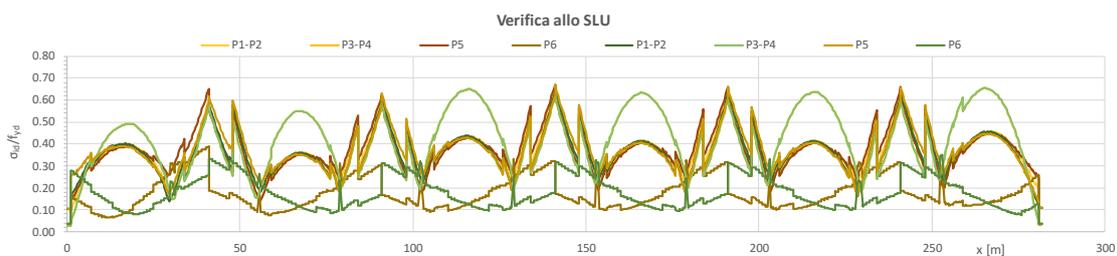


Figura 47 – Tasso di sfruttamento del materiale (SLU)

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	12	VI5500	REL	01	B	57 di 139

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} .

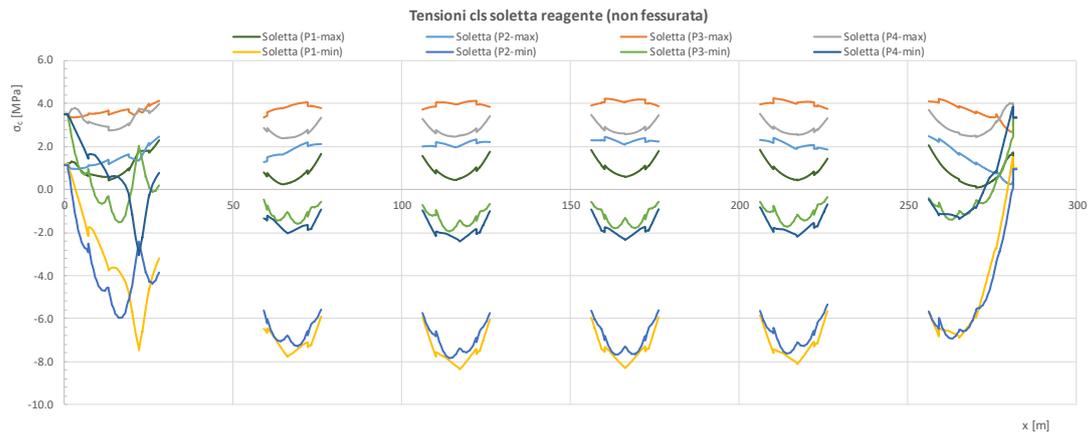


Figura 48 – Tensioni nella soletta nelle zone a calcestruzzo reagente (cls non fessurato)

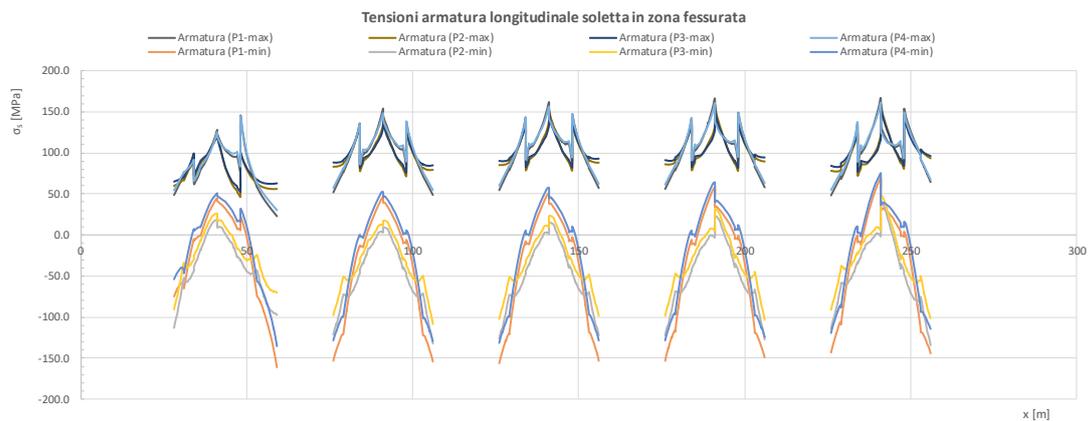


Figura 49 – Tensioni nelle barre di armatura longitudinali nella soletta (cls fessurato)

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 58 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

1.34.2 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 200 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 sui conci 2 e 3, 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 i conci B1, B2, 1a, 3a e per metà dei conci 3b e 3) e 2 (analogamente per il concio B3 e per metà dei conci 3b e 3):

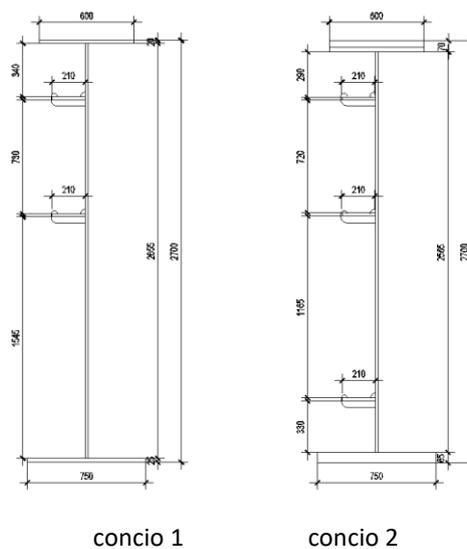


Figura 50 – Sezione trasversale dei concors 1 e 2 delle travi principali

In accordo a quanto illustrato al paragrafo 1.29.1.2, è stato preliminarmente verificato che per le anime di ciascun concors 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:

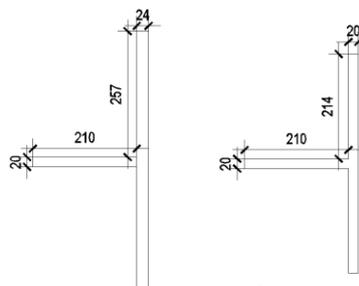


Figura 51 – Geometria per il calcolo dei momenti di inerzia degli irrigiditori longitudinali

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 59 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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

Tabella 21 – Verifica dei pannelli d'anima (Concio B1)

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito							Verifica di stabilità
h_w [mm]	t [mm]	h_w/t [-]	ϵ [-]	η [-]	$(h_w/t)_{lim}$ [-]		
2630	22	119.5	0.71	1.2	42.9		Necessaria

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito											Verifica di stabilità	
a [mm]	ϵ [-]	η [-]	α [-]	n_{irr} [-]	$15\epsilon t$ [mm]	$I_{sl,1}$ [mm ⁴]	I_{sl} [mm ⁴]	$k_{\tau 1}$ [-]	k_{τ} [-]	$(h_w/t)_{lim}$ [-]		
6000	0.71	1.2	2.28	2	235.9	5.29E+09	1.06E+10	-	34.3	108.1		Necessaria

Verifica di stabilità dei pannelli soggetti a taglio										
k_{τ} [-]	σ_E [MPa]	τ_{cr} [MPa]	λ_w [-]	η [-]	χ_w [-]	$V_{b,Rd,lim}$ [kN]	$V_{b,Rd}$ [kN]	$V_{ed,w}$ [kN]	F.S. [kN]	
34.3	13.3	455.8	0.76	1.2	1.09	16763	15187	4047	3.75	

Tabella 22 – Verifica dei pannelli d'anima (Concio B2)

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito							Verifica di stabilità
h_w [mm]	t [mm]	h_w/t [-]	ϵ [-]	η [-]	$(h_w/t)_{lim}$ [-]		
2610	22	118.6	0.71	1.2	42.9		Necessaria

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito											Verifica di stabilità	
a [mm]	ϵ [-]	η [-]	α [-]	n_{irr} [-]	$15\epsilon t$ [mm]	$I_{sl,1}$ [mm ⁴]	I_{sl} [mm ⁴]	$k_{\tau 1}$ [-]	k_{τ} [-]	$(h_w/t)_{lim}$ [-]		
6000	0.71	1.2	2.30	2	235.9	5.29E+09	1.06E+10	-	34.2	108.0		Necessaria

Verifica di stabilità dei pannelli soggetti a taglio										
k_{τ} [-]	σ_E [MPa]	τ_{cr} [MPa]	λ_w [-]	η [-]	χ_w [-]	$V_{b,Rd,lim}$ [kN]	$V_{b,Rd}$ [kN]	$V_{ed,w}$ [kN]	F.S. [kN]	
34.2	13.5	461.8	0.76	1.2	1.09	16636	15170	2600	5.83	

Tabella 23 – Verifica dei pannelli d'anima (Concio B3)

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito							Verifica di stabilità
h_w [mm]	t [mm]	h_w/t [-]	ϵ [-]	η [-]	$(h_w/t)_{lim}$ [-]		
2560	24	106.7	0.71	1.2	42.9		Necessaria

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito											Verifica di stabilità	
a [mm]	ϵ [-]	η [-]	α [-]	n_{irr} [-]	$15\epsilon t$ [mm]	$I_{sl,1}$ [mm ⁴]	I_{sl} [mm ⁴]	$k_{\tau 1}$ [-]	k_{τ} [-]	$(h_w/t)_{lim}$ [-]		
6000	0.71	1.2	2.34	2	257.3	1.02E+10	2.05E+10	-	42.5	120.4		Non necessaria

Tabella 24 – Verifica dei pannelli d'anima (Concio 1)

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito							Verifica di stabilità
h_w [mm]	t [mm]	h_w/t [-]	ϵ [-]	η [-]	$(h_w/t)_{lim}$ [-]		
2655	20	132.8	0.71	1.2	42.9		Necessaria

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 60 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito											
a	ε	η	α	n_{irr}	15 εt	$I_{sl,1}$	I_{sl}	$k_{\tau 1}$	k_{τ}	$(h_w/t)_{lim}$	Verifica di stabilità
[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[-]	[-]	[-]	
3000	0.71	1.2	1.13	2	214.4	4.94E+07	9.88E+07	-	13.4	67.5	Necessaria

Verifica di stabilità dei pannelli soggetti a taglio										
k_{τ}	σ_E	τ_{cr}	λ_w	η	χ_w	$V_{b,Rd,lim}$	$V_{b,Rd}$	$V_{ed,w}$	F.S.	
[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
13.4	10.8	144.1	1.36	1.2	0.61	15384	7836	3826	2.05	

Tabella 25 – Verifica dei pannelli d'anima (Concio 1a)

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito						
h_w	t	h_w/t	ε	η	$(h_w/t)_{lim}$	Verifica di stabilità
[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	
2645	20	132.3	0.71	1.2	42.9	Necessaria

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito											
a	ε	η	α	n_{irr}	15 εt	$I_{sl,1}$	I_{sl}	$k_{\tau 1}$	k_{τ}	$(h_w/t)_{lim}$	Verifica di stabilità
[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[-]	[-]	[-]	
3000	0.71	1.2	1.13	2	214.4	4.94E+07	9.88E+07	-	13.3	67.4	Necessaria

Verifica di stabilità dei pannelli soggetti a taglio										
k_{τ}	σ_E	τ_{cr}	λ_w	η	χ_w	$V_{b,Rd,lim}$	$V_{b,Rd}$	$V_{ed,w}$	F.S.	
[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
13.3	10.9	144.8	1.35	1.2	0.61	15326	7825	3400	2.30	

Tabella 26 – Verifica dei pannelli d'anima (Concio 2)

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito						
h_w	t	h_w/t	ε	η	$(h_w/t)_{lim}$	Verifica di stabilità
[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	
2560	24	106.9	0.71	1.2	42.9	Necessaria

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito											
a	ε	η	α	n_{irr}	15 εt	$I_{sl,1}$	I_{sl}	$k_{\tau 1}$	k_{τ}	$(h_w/t)_{lim}$	Verifica di stabilità
[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[-]	[-]	[-]	
3000	0.71	1.2	1.17	2	257.3	5.94E+07	1.19E+08	-	12.4	65.1	Necessaria

Verifica di stabilità dei pannelli soggetti a taglio										
k_{τ}	σ_E	τ_{cr}	λ_w	η	χ_w	$V_{b,Rd,lim}$	$V_{b,Rd}$	$V_{ed,w}$	F.S.	
[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
12.4	16.6	206.9	1.13	1.2	0.73	17835	10885	5094	2.14	

Tabella 27 – Verifica dei pannelli d'anima (Concio 3)

Verifica geometrica pannello d'anima non irrigidito						
h_w	t	h_w/t	ε	η	$(h_w/t)_{lim}$	Verifica di stabilità
[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	
2655	20	132.8	0.71	1.2	42.9	Necessaria

Verifica geometrica pannello d'anima irrigidito											
a	ε	η	α	n_{irr}	15 εt	$I_{sl,1}$	I_{sl}	$k_{\tau 1}$	k_{τ}	$(h_w/t)_{lim}$	Verifica di stabilità

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 61 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[-]	[-]	[-]	
3000	0.71	1.2	1.13	2	214.4	4.94E+07	9.88E+07	-	13.4	67.5	Necessaria

Verifica di stabilità dei pannelli soggetti a taglio									
k_{τ}	σ_E	τ_{cr}	λ_w	η	χ_w	$V_{b,Rd,lim}$	$V_{b,Rd}$	$V_{ed,w}$	F.S.
[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
13.4	10.8	144.1	1.36	1.2	0.61	15384	7836	3951	1.98

La verifica del pannello del concio 3a si considera soddisfatta poiché il concio 3a ha le medesime caratteristiche geometriche del concio 1a, maggiormente sollecitato a taglio.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 62 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

1.34.3 Stabilità all'imbozzamento dei pannelli d'anima

Nel seguito si riportano le tabelle di calcolo utilizzate per la verifica di instabilità all'imbozzamento, per ciascuno dei conci che costituiscono la trave in acciaio. In particolare la verifica, coerentemente con quanto prescritto dalla norma CNR10011, è stata condotta su ciascun campo rettangolare avente altezza pari a "h" e lunghezza pari a "a", intendendosi con a l'interasse degli irrigidimenti trasversali dell'anima e con h la distanza netta tra gli irrigidimenti longitudinali contigui (cfr. Figura 50).

B1 - I campo

Acciaio :	S	460	
σ_{amm} =		418.2	Mpa
τ_{amm} =		241.4	Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) =	270	
a (cm) =	600	
h (cm) =	33	
s(mm) =	22	(spessore)
α =	18.182	

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa)=	152.00	COMPRESSIONE	+
σ_{inf}^I (MPa) =	108	TRAZIONE	-
ψ_1 =	0.7		
Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) I			
$K\sigma$ =	4.7		
$K\tau$ =	5.4		

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa)=	827.6
σ_{cr} (Mpa)=	3861.93
τ_{cr} (Mpa)=	4429.16

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa)=	152.00	σ_N (Mpa)=	0
		σ_M (Mpa)=	152.00

T (KN)=	4047
At (mm ²)=	59400
τ (Mpa)=	68.1
$\sigma_{crit id}$ (Mpa)=	4364.4

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}} = 2.39$$

β =	1.0
ν =	1
$\beta\nu$ =	1.00

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 63 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

VERIFICATO

B1- Il campo

Acciaio :	S	460	
σ_{amm} =		418.2	Mpa
τ_{amm} =		241.4	Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) =	270	
a (cm) =	600	
h (cm) =	73	
s(mm) =	22	(spessore)
α =	8.219	

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa)=	108.00	COMPRESSIONE	+
σ_{inf}^I (MPa) =	19	TRAZIONE	-
ψ_I =	0.5		

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) I

$K\sigma$ =	7.6
$K\tau$ =	5.4

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa)=	169.1
σ_{cr} (Mpa)=	1291.42
τ_{cr} (Mpa)=	913.08

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_I (Mpa)=	108.00	σ_N (Mpa)=	0
		σ_M (Mpa)=	108.00
T (KN)=	4047		
At (mm ²)=	32120		
τ (Mpa)=	126.0		
$\sigma_{crit, id}$ (Mpa)=	1360.9		
$\sigma_{cr, red}$ (Mpa)=	454.71		

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \tau^2}} = 1.87$$

β =	0.8
ν =	1
$\beta\nu$ =	0.80

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 64 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

B2 - I campo

Acciaio :	S	460	
σ_{amm} =		418.2	Mpa
τ_{amm} =		241.4	Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) =	270	
a (cm) =	600	
h (cm) =	32	
s(mm) =	22	(spessore)
α =	18.750	

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa)=	222.00	COMPRESSIONE	+
σ_{inf}^I (MPa) =	164	TRAZIONE	-
ψ_1 =	0.7		

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) I

$K\sigma$ =	4.7
$K\tau$ =	5.4

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa)=	880.1
σ_{cr} (Mpa)=	4107.07
τ_{cr} (Mpa)=	4709.67

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa)=	222.00	σ_N (Mpa)=	0
		σ_M (Mpa)=	222.00

T(KN)=	2600
At(mm ²)=	59400
τ (Mpa)=	43.8
$\sigma_{crit id}$ (Mpa)=	4233.5

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}} = 1.96$$

β =	1.0
ν =	1
$\beta\nu$ =	1.00

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 65 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

B2- Il campo

Acciaio :	S	460	
σ_{amm} =		418.2	Mpa
τ_{amm} =		241.4	Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) =	270	
a (cm) =	600	
h (cm) =	73	
s(mm) =	22	(spessore)
α =	8.219	

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa)=	164.00	COMPRESSIONE	+
σ_{inf}^I (MPa) =	47	TRAZIONE	-
ψ_1 =	0.7		

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) I

$K\sigma$ =	4.7
$K\tau$ =	5.4

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa)=	169.1
σ_{cr} (Mpa)=	789.20
τ_{cr} (Mpa)=	913.08

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa)=	164.00	σ_N (Mpa)=	0
		σ_M (Mpa)=	164.00

T(KN)=	2600
At(mm ²)=	59400
τ (Mpa)=	43.8
$\sigma_{crit id}$ (Mpa)=	832.4

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}} = 2.47$$

β =	1.0
ν =	1
$\beta\nu$ =	1.00

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 68 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

C1a - I campo

Acciaio : S **355**
 $\sigma_{amm} =$ **322.7** Mpa
 $\tau_{amm} =$ **186.3** Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) = **270**
 a (cm) = **300**
 h (cm) = **34.5**
 s(mm) = **20** (spessore)
 $\alpha =$ **8.696**

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^{I} (MPa) = **199.00** COMPRESSIONE +
 σ_{inf}^{I} (MPa) = **132** TRAZIONE -
 $\psi_i =$ **0.7**

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) **I**

$K\sigma =$ **4.7**
 $K\tau =$ **5.4**

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa) = **625.8**
 σ_{cr} (Mpa) = **2920.17**
 τ_{cr} (Mpa) = **3374.61**

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa) = **199.00** σ_N (Mpa) = **0**
 σ_M (Mpa) = **199.00**

T (KN) = **3200**
 At (mm²) = **54000**
 τ (Mpa) = **59.3**
 $\sigma_{crit id}$ (Mpa) = **3114.1**

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}} = 1.58$$

$\beta =$ **0.8**
 $v =$ **1**
 $\beta v =$ **0.80**

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 69 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

C1a - Il campo

Acciaio : S **355**
 $\sigma_{amm} =$ **322.7** Mpa
 $\tau_{amm} =$ **186.3** Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) = **270**
 a (cm) = **300**
 h (cm) = **73**
 s(mm) = **20** (spessore)
 $\alpha =$ **4.110**

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa) = **132.00** COMPRESSIONE +
 σ_{inf}^I (MPa) = **0** TRAZIONE -
 $\psi_1 =$ **0.5**

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) **I**

$K_\sigma =$ **7.6**
 $K_\tau =$ **5.6**

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa) = **139.8**
 σ_{cr} (Mpa) = **1067.29**
 τ_{cr} (Mpa) = **779.44**

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa) = **132.00** σ_N (Mpa) = **0**
 σ_M (Mpa) = **132.00**
 T (KN) = **3200**
 At (mm²) = **29200**
 τ (Mpa) = **109.6**
 $\sigma_{crit, id}$ (Mpa) = **1117.8**
 $\sigma_{cr, red}$ (Mpa) = **351.40**

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}} = 1.52$$

$v =$ **1**
 $\beta v =$ **0.80**

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 70 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

C1 - I campo

Acciaio : S **355**
 $\sigma_{amm} =$ **322.7** Mpa
 $\tau_{amm} =$ **186.3** Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) = **270**
 a (cm) = **300**
 h (cm) = **34**
 s(mm) = **20** (spessore)
 $\alpha =$ **8.824**

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa) = **178.00** COMPRESSIONE +
 σ_{inf}^I (MPa) = **116** TRAZIONE -
 $\psi_1 =$ **0.7**

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) I

$K\sigma =$ **7.6**
 $K\tau =$ **5.4**

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa) = **644.3**
 σ_{cr} (Mpa) = **4920.04**
 τ_{cr} (Mpa) = **3473.61**

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa) = **178.00** σ_N (Mpa) = **0**
 σ_M (Mpa) = **178.00**
 T (KN) = **3400**
 At (mm²) = **54000**
 τ (Mpa) = **63.0**
 $\sigma_{crit, id}$ (Mpa) = **4870.3**
 $\sigma_{cr, red}$ (Mpa) = **354.81**

C1

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{v} + 3 \frac{\tau^2}{\beta v}}} = 1.70$$

v = **1**
 $\beta v =$ **0.8**

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 73 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

C2 - Il campo

Acciaio : S **355**
 $\sigma_{amm} =$ **322.7** Mpa
 $\tau_{amm} =$ **186.3** Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) = **270**
 a (cm) = **300**
 h (cm) = **116.5**
 s(mm) = **24** (spessore)
 $\alpha =$ **2.575**

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa) = **203.00** COMPRESSIONE +
 σ_{inf}^I (MPa) = **-45** TRAZIONE -
 $\psi_1 =$ **-0.2**

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) **II**

$K\sigma =$ **2.9**
 $K\tau =$ **5.9**

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa) = **79.0**
 σ_{cr} (Mpa) = **227.58**
 τ_{cr} (Mpa) = **469.65**

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa) = **203.00** σ_N (Mpa) = **0**
 σ_M (Mpa) = **203.00**
 T (KN) = **5000**
 At (mm²) = **64800**
 τ (Mpa) = **77.2**
 $\sigma_{crit, id}$ (Mpa) = **266.9**
 $\sigma_{cr, red}$ (Mpa) = **#NUM!**

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}} = 1.10$$

v = 1
 $\beta v = 0.8$

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 75 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

C3 - Il campo

Acciaio : S **355**
 $\sigma_{amm} =$ **322.7** Mpa
 $\tau_{amm} =$ **186.3** Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) = **270**
a (cm) = **300**
h (cm) = **115**
s(mm) = **20** (spessore)
 $\alpha =$ **2.609**

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^I (MPa) = **156.00** COMPRESSIONE +
 σ_{inf}^I (MPa) = **-43** TRAZIONE -
 $\psi_1 =$ **-0.3**

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) **II** $K\sigma =$ **3.5** $K\tau =$ **5.9****TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO**

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa) = **56.3**
 σ_{cr} (Mpa) = **196.34**
 τ_{cr} (Mpa) = **333.84**

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa) = **156.00** σ_N (Mpa) =
 σ_M (Mpa) = **156.00**
T (KN) = **3300**
At (mm²) = **46000**
 τ (Mpa) = **71.7**
 $\sigma_{crit id}$ (Mpa) = **240.5**
 $\sigma_{cr,red}$ (Mpa) = -

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}} = 1.21$$

v = **1**
 $\beta v =$ **0.8**

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 76 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

C3a - I campo

Acciaio : S **355**
 $\sigma_{amm} = 322.7$ Mpa
 $\tau_{amm} = 186.3$ Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) = 270
 a (cm) = 300
 h (cm) = 33.5
 s(mm) = 20 (spessore)
 $\alpha = 8.955$

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ_{sup}^{I} (MPa) = **185.00** COMPRESSIONE +
 σ_{inf}^{I} (MPa) = **121** TRAZIONE -
 $\psi_1 = 0.7$

Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II - III ?) I

$K\sigma = 7.6$
 $K\tau = 5.4$

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa) = **663.7**
 σ_{cr} (Mpa) = **5068.00**
 τ_{cr} (Mpa) = **3577.08**

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa) = **185.00** σ_N (Mpa) = **0**
 σ_M (Mpa) = **185.00**
 T (KN) = **2841**
 At (mm²) = **54000**
 τ (Mpa) = **52.6**
 $\sigma_{crit, id}$ (Mpa) = **5021.4**
 $\sigma_{cr, red}$ (Mpa) = **354.82**

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}} = 1.72$$

v = 1
 $\beta_v = 0.8$

VERIFICATO

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 77 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

C3a - Il campo

Acciaio : S **355**
 $\sigma_{amm} =$ **322.7** Mpa
 $\tau_{amm} =$ **186.3** Mpa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PANNELLO

H (cm) = **270**
 a (cm) = **300**
 h (cm) = **73**
 s(mm) = **20** (spessore)
 $\alpha =$ **4.110**

DETERMINAZIONE COEFFICIENTI DI IMBOZZAMENTO

σ^1_{sup} (MPa) = **121.00** COMPRESSIONE **+**
 σ^1_{inf} (MPa) = **0** TRAZIONE **-**
 $\psi_1 =$ **0.0**
 Condizione di carico di riferimento per tensioni normali (I - II -III ?) **II**
 $K\sigma =$ **1.0**
 $K\tau =$ **5.6**

TENSIONI IDEALI DI IMBOZZAMENTO

$\sigma_{cr,0}$ (Mpa) = **139.8**
 σ_{cr} (Mpa) = **139.76**
 τ_{cr} (Mpa) = **779.44**

TENSIONI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA

σ_1 (Mpa) = **121.00** σ_N (Mpa) = **0**
 σ_M (Mpa) = **121.00**
 T (KN) = **2841**
 At (mm²) = **54000**
 τ (Mpa) = **52.6**
 $\sigma_{crit, id}$ (Mpa) = **174.3**
 $\sigma_{cr, red}$ (Mpa) = **-**

$$\frac{\sigma_{cr, id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \tau^2}} = 1.15$$

$v =$ **1**
 $\beta v =$ **0.8**

VERIFICATO

1.34.4 Stabilità delle piattabande compresse

Nel seguito si riportano le tabelle di calcolo utilizzate per la verifica di instabilità delle ali compresse, per il concio 2 e per le porzioni dei conci 1 e 3 sollecitate da momento negativo. In particolare la verifica, coerentemente con quanto prescritto dalla norma CNR10011, è stata condotta su una lunghezza di inflessione pari a 6 metri, corrispondente all'interasse tra due diaframmi trasversali consecutivi.

B_{inf} t_{inf} L β L_0 I_{ala} A_{ala} i λ ω l_y trave S_y ala M_{max} M_{eq} η N_{eq} σ

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N,prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 78 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Conci o	mm	mm	m	-	m	mm ⁴	mm ²	mm	-	-	mm ⁴	mm ³	kNm	kNm	-	N	Mpa
1	750	25	6	1	6	878906250	18750	216.51	27.71	1.1	9.04E+10	25078125	15628	10158.2	0.65	2818542	165.4
2	750	65	6	1	6	2285156250	48750	216.51	27.71	1.1	1.95E+11	64228125	40935	38359.1	0.94	12623847	284.8
3	750	30	6	1	6	1054687500	22500	216.51	27.71	1.1	9.72E+10	30037500	16219	10542.35	0.65	3259385	159.3

1.34.5 Verifiche delle connessioni trave-soletta

Le verifiche dei connettori trave-soletta per i diversi conci delle travi in acciaio sono eseguite in accordo con quanto esplicitato nel paragrafo 1.29.1.5.

Tabella 28 – Verifica connettori trave-soletta

CARATTERISTICHE CONNETTORI TRAVE SOLETTA			
ϕ	19	mm	
$d_{x,min}$	150	mm	minima distanza tra i connettori in direzione longitudinale
$d_{y,min}$	120	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
$P_{RD,a}$	81.65627625	kN	Equazione 4.3.9 NTC2008
$P_{RD,c}$	91.46604196	kN	Equazione 4.3.10 NTC2008
P_{RD}	81.7	kN	Resistenza a taglio del singolo connettore
$N_{ritiro,SLU}$	20146.8	kN	Sforzo di trazione nella soletta dovuto alla contrazione da ritiro impedita
$S_{ritiro,SLU}$	504	kN	Sforzo di scorrimento dovuto alla contrazione da ritiro impedita
CONCIO B1			
$V_{z,SLU}$	4047.00	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
A_s	1.33E+05	mm ²	area della nervatura in acciaio
A_c	1410000.00	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
$n_0 = E_s/E_c$	6.20		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	3.72E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	573.00	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
$V_{z,SLU,trave}$	1495.24	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
$V_{z,SLU,sol}$	2551.76	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.35	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
$S_{Dx,SLU}$	1396.77	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_c	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	52.38	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.56	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO B2			
$V_{z,SLU}$	4840.00	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
A_s	1.52E+05	mm ²	area della nervatura in acciaio
A_c	1410000.00	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
$n_0 = E_s/E_c$	6.20		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	4.22E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 79 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Y_{sup}	6.20E+02	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
V_{z,SLU,trave}	1937.59	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
V_{z,SLU,sol}	2902.41	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.33	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1474.47	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	55.29	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.48	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO B3			
V_{z,SLU}	6146.00	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
As	2.03E+05	mm ²	area della nervatura in acciaio
Ac	1200000.00	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
n₀=Es/Ec	6.20		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	5.20E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	7.10E+02	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
V_{z,SLU,trave}	3145.03	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
V_{z,SLU,sol}	3000.97	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.26	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1297.34	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	48.65	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.68	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO 1a			
V_{z,SLU}	3400.00	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
As	98700.00	mm ²	area della nervatura in acciaio
Ac	1200000.00	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
n₀=Es/Ec	6.20		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	2.59E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	648.25	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
V_{z,SLU,trave}	1148.27	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
V_{z,SLU,sol}	2251.73	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.48	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1592.88	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	59.73	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.37	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO 1			
V_{z,SLU}	3826	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
As	92250	mm ²	area della nervatura in acciaio
Ac	1200000	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
n₀=Es/Ec	6.2		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	2.39158E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	621.9801014	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 80 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

V_{z,SLU,trave}	1234.956235	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
V_{z,SLU,sol}	2591.043765	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.503363557	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1807.91	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	67.80	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.20	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO 2			
V_{z,SLU}	5094	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
As	160710	mm ²	area della nervatura in acciaio
Ac	1200000	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
n₀ = Es/Es	6.2		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	3.93065E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	861.2241098	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
V_{z,SLU,trave}	2310.902917	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
V_{z,SLU,sol}	2783.097083	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.424073971	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1683.91	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	63.15	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.29	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO 3			
V_{z,SLU}	3951	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
As	96000	mm ²	area della nervatura in acciaio
Ac	1200000	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
n₀ = Es/Es	6.2		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	2.5907E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	651.5028143	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
V_{z,SLU,trave}	1309.957219	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
V_{z,SLU,sol}	2641.042781	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.486729906	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1789.144504	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	67.09	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.22	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO 3a			
V_{z,SLU}	1910	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
As	96000	mm ²	area della nervatura in acciaio
Ac	1200000	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
n₀ = Es/Es	6.2		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	2.5907E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	651.5028143	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
V_{z,SLU,trave}	633.2620321	kN	Taglio sulla sola nervatura 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 81 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

V_{z,SLU,sol}	1276.737968	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.49	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1125.10	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	42.19	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.94	-	Coefficiente di sicurezza
CONCIO 3b			
V_{z,SLU}	4122.00	kN	Taglio di totale di progetto agli SLU
A_s	96000	mm ²	area della nervatura in acciaio
A_c	1200000	mm ²	area della soletta in cls su ogni trave
n₀ = E_s/E_c	6.2		coefficiente di omogenizzazione per azioni istantanee
I_{yy}	2.5907E+11	mm ²	Inerzia complessiva della sezione composta per azioni istantanee
Y_{sup}	651.5028143	mm	distanza del baricento della soletta dal baricentro della sezione composta
V_{z,SLU,trave}	1366.652406	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLU
V_{z,SLU,sol}	2755.347594	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLU
S/I	0.49	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
S_{Dx,SLU}	1844.78	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto
N_C	26.67	-	Numero di connettori / m
P_{di}	69.18	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLU
P_{RD}/P_{Di}	1.18	-	Coefficiente di sicurezza

Di seguito è riportata la verifica allo SLE per i conci caratterizzati dai minori coefficienti di sicurezza nella verific agli SLU:

RISULTATI VERIFICHE SLE CONCIO 1

Sritiro,SLE	420	kN/m	Sforzo di scorrimento dovuto alla contrazione da ritiro impedita ($N_{r,SLE}/L_{sr}$)
V_{z,SLE}	3132	kN	Taglio totale massimo di progetto agli SLE
V_{z,SLE,trave}	1011	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLE
V_{z,SLE,sol}	2121	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLE
S/I	0.503	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
SD_{x,SLE}	509	kN/m	Scorrimento complessivo a taglio

SD_{x,SLE}	929	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto trave-soletta
NC	26.7	n°/m	Numero di connettori / m per singola trave
P_{di}	34.8	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLE
0,6•PRD/PDi	1.41	-	Coefficiente di sicurezza

RISULTATI VERIFICHE SLE CONCIO 3b

Sritiro,SLE	420	kN/m	Sforzo di scorrimento dovuto alla contrazione da ritiro impedita ($N_{r,SLE}/L_{sr}$)
V_{z,SLE}	3034	kN	Taglio totale massimo di progetto agli SLE
V_{z,SLE,trave}	1006	kN	Taglio sulla sola nervatura agli SLE
V_{z,SLE,sol}	2028	kN	Taglio di progetto per verifica connettori agli SLE
S/I	0.487	1/m	Momento Statico Finale / Inerzia Finale (x carichi breve durata)
SD_{x,SLE}	490	kN/m	Scorrimento complessivo a taglio

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	VI5500	REL	01	B	82 di 139

SDx,SLE	909	kN/m	Scorrimento complessivo di progetto trave-soletta
NC	26.7	n°/m	Numero di connettori / m per singola trave
Pdi	34.1	kN	Sforzo nel singolo connettore agli SLE
0,6-PRD/PDi	1.44	-	Coefficiente di sicurezza

1.34.6 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.

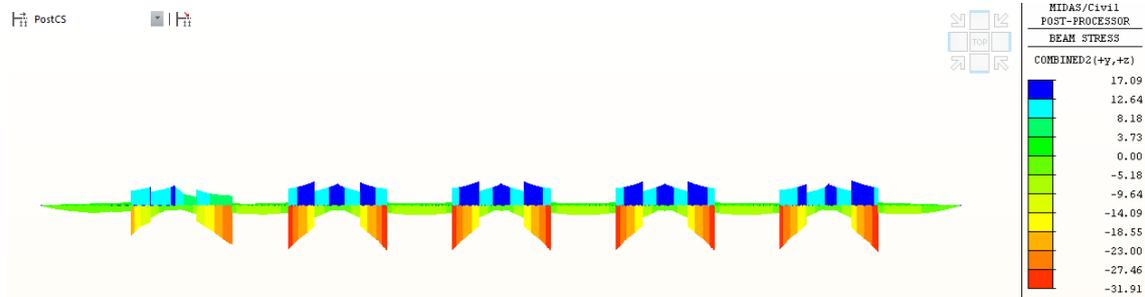


Figura 52 – Tensioni normali sulla piattabanda superiore (Modello di carico a fatica 1)

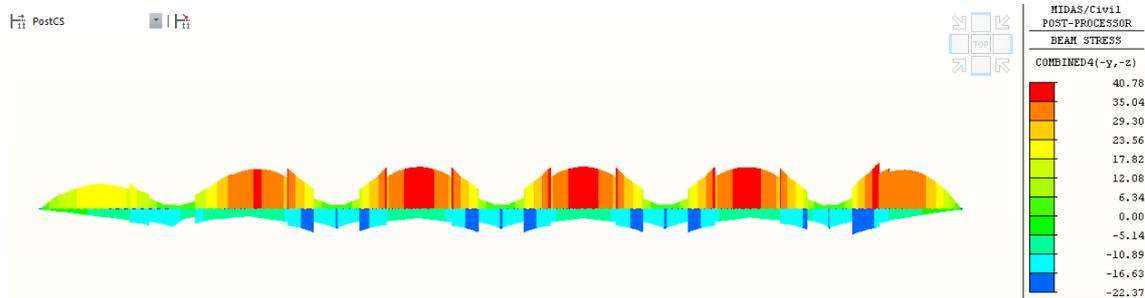


Figura 53 – Tensioni normali sulla piattabanda inferiore (Modello di carico a fatica 1)

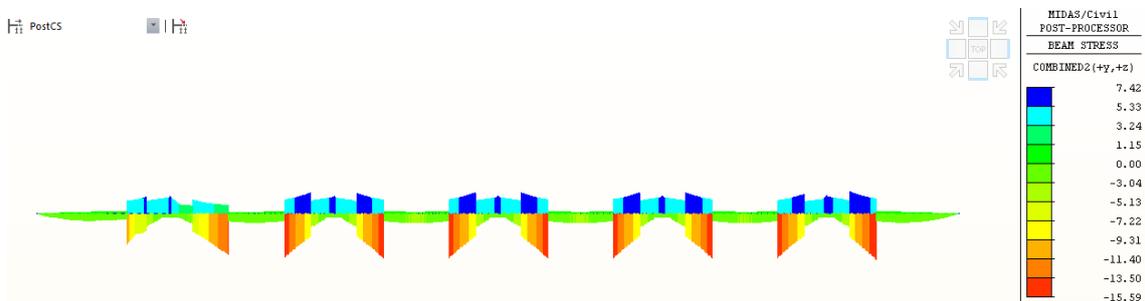


Figura 54 – Tensioni normali sulla piattabanda superiore (Modello di carico a fatica 2)

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 83 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

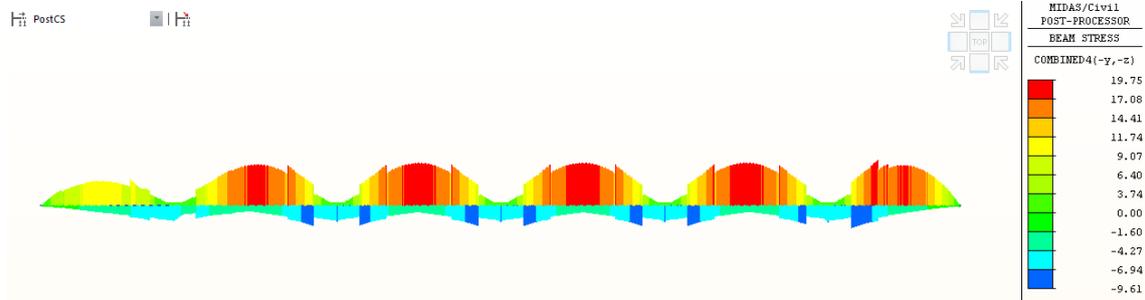


Figura 55 – Tensioni normali sulla piattabanda inferiore (Modello di carico a fatica 2)

Nella tabella sono riportate quindi le verifiche a fatica per i dettagli costruttivi richiamati al paragrafo 1.29.3.

Tabella 29 – Riepilogo verifiche a fatica

CONCIO B1						
Piattabanda superiore Concio 1	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	25	1	1.35	68.24	3.21
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	25	1	1.15	51.27	3.21
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	30	1	1.35	68.24	15.83
Anima Concio 1	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	20	1	1.15	35.89	4.45
CONCIO B2						
Piattabanda superiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	70	1	1.35	68.24	33.47
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	70	1	1.15	51.27	33.47
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	65	1	1.35	68.24	37.43
Anima Concio 2	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	24	1	1.15	35.89	8.96

CONCIO B3						
Piattabanda superiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	25	1	1.35	68.24	21.63
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	25	1	1.15	51.27	21.63
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 84 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	30	1	1.35	68.24	25.13
Anima Concio 3	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	20	1	1.15	35.89	2.06

CONCIO 1a						
Piattabanda superiore Concio 1	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	25	1	1.35	68.24	7.44
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	25	1	1.15	51.27	7.44
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	30	1	1.35	68.24	44.37
Anima Concio 1	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	20	1	1.15	35.89	13.68

CONCIO 1						
Piattabanda superiore Concio 1	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	20	1	1.35	68.24	45.00
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	20	1	1.15	51.27	45.00
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	25	1	1.35	68.24	58.00
Anima Concio 1	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	20	1	1.15	35.89	15.27

CONCIO 2						
Piattabanda superiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	70	1	1.35	68.24	24.28
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	70	1	1.15	51.27	24.28
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	65	1	1.35	68.24	27.62
Anima Concio 2	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	24	1	1.15	35.89	2.83

CONCIO 3a						
Piattabanda superiore	$\Delta\sigma_D$	t	k_t	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$	$\Delta\sigma_{max}$
	Mpa	mm	-	-	Mpa	Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	25	1	1.35	68.24	7.85

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 85 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	25	1	1.15	51.27	7.85
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	30	1	1.35	68.24	47.31
Anima Concio 3	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	20	1	1.15	35.89	14.62

CONCIO 3						
Piattabanda superiore	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	20	1	1.35	68.24	42.00
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	20	1	1.15	51.27	42.00
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	30	1	1.35	68.24	52.00
Anima Concio 3	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	20	1	1.15	35.89	4.79

CONCIO 3b						
Piattabanda superiore	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	20	1	1.35	68.24	39.00
Limite su saldature dei pioli alle piattabande superiori	58.96	20	1	1.15	51.27	39.00
Piattabanda inferiore	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldatura di composizione delle travi principali	92.13	30	1	1.35	68.24	43.00
Anima Concio 3	$\Delta\sigma_D$ Mpa	t mm	k_t -	γ_{Mf} -	$\Delta\sigma_D k_t / \gamma_{Mf}$ Mpa	$\Delta\sigma_{max}$ Mpa
Limite su saldature degli irrigidenti longitudinali	41.27	20	1	1.15	35.89	4.78

1.35 VERIFICHE ALLO SLE IN FASE FINALE

1.35.1 Verifiche di deformabilità

Come indicato al paragrafo 1.29.4.1, 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.

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 86 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

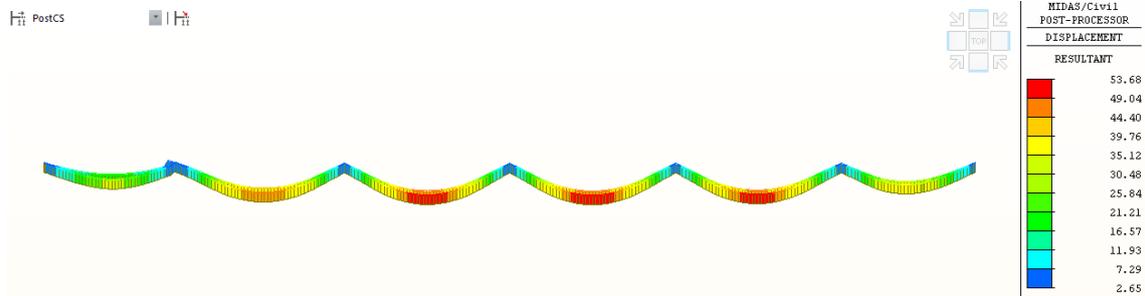


Figura 56 – Spostamenti verticali per effetto dei carichi mobili

Lo spostamento ottenuto è pari a 53.68 mm per la campata da 50 m e 35.5 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.

1.1.1.3 Contromonta

Nella seguente tabella si riportano i valori degli spostamenti ricavati per le condizioni di carico permanenti (cfr. Figura 26 e Figura 29), dai quali sono stati dedotti i valori delle contromonte.

Campata	Freccia pesi propri (G1) [mm]	Freccia totale (G1+G2) [mm]	CONTROMONTA [mm]
40 m (sx)	60	79	80
50 m	39.3	61.5	70
40 m (dx)	37.4	55.8	60

1.35.2 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.

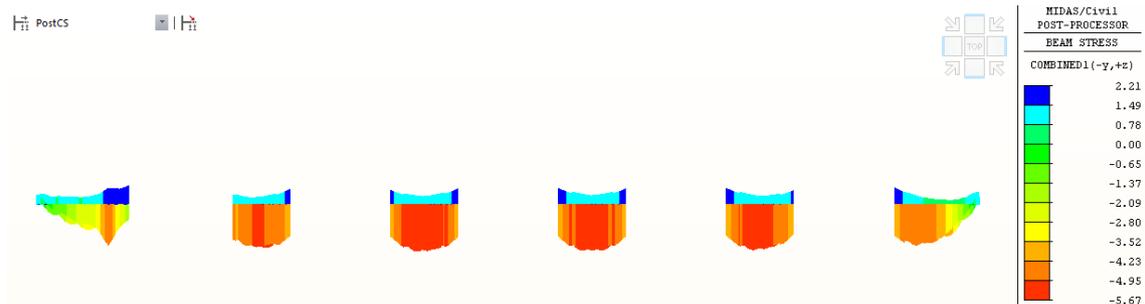


Figura 57 – Involuppo delle combinazioni rare (SLE-R) - Tensioni normali nella soletta (zone cls non fessurato reagente)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V1500	REL	01	B	87 di 139

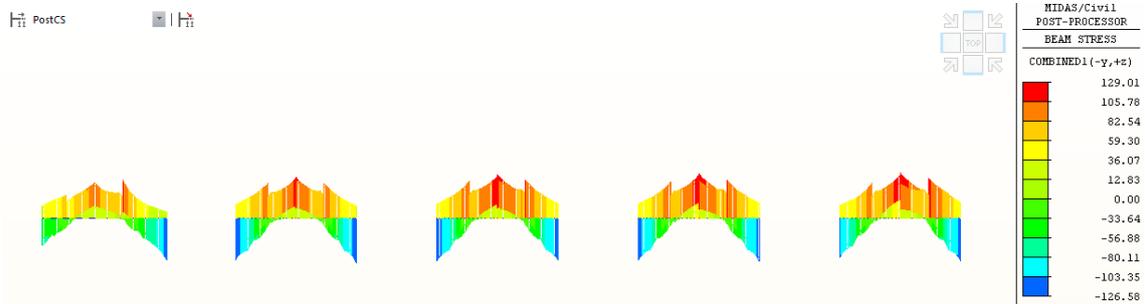


Figura 58 – Involuppo delle combinazioni rare (SLE-R) - Tensioni normali nella armatura di soletta (zone cls fessurato non reagente)

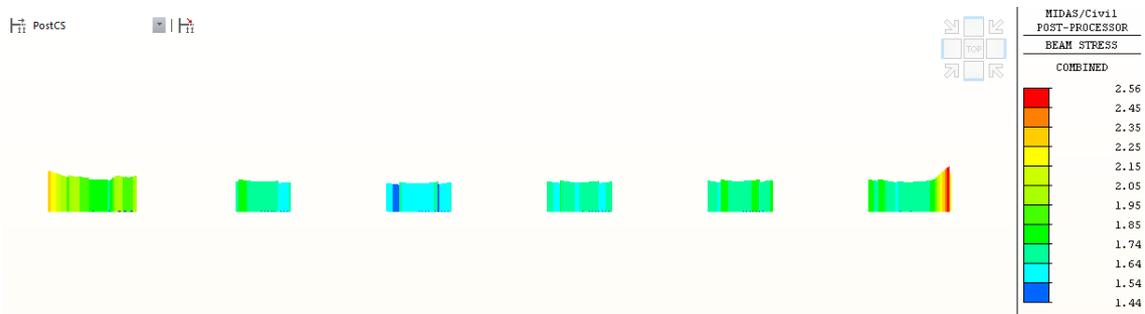


Figura 59 – Combinazione quasi permanente (SLE-QP) - Tensioni normali nella soletta (zone cls non fessurato reagente)

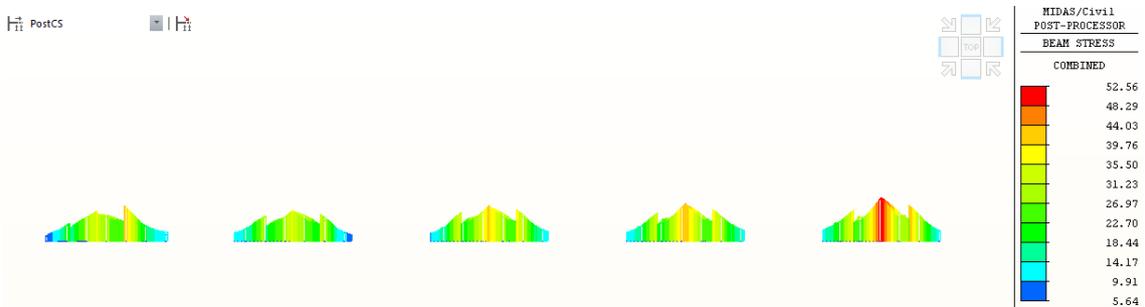


Figura 60 – Involuppo delle combinazioni rare (SLE-QP) - Tensioni normali nella armatura di soletta (zone cls fessurato non reagente)

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:

- $\sigma_c = 5.7 \text{ MPa} < \sigma_{c,R} = 21.0 \text{ MPa}$;
- $\sigma_s = 129 \text{ MPa} < \sigma_{s,R} = 360 \text{ MPa}$.

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 VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 88 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

VERIFICHE DEGLI ELEMENTI DI CARPENTERIA SECONDARIA

Nei paragrafi successivi sono riportate le verifiche di stabilità 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 tagliente 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:

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

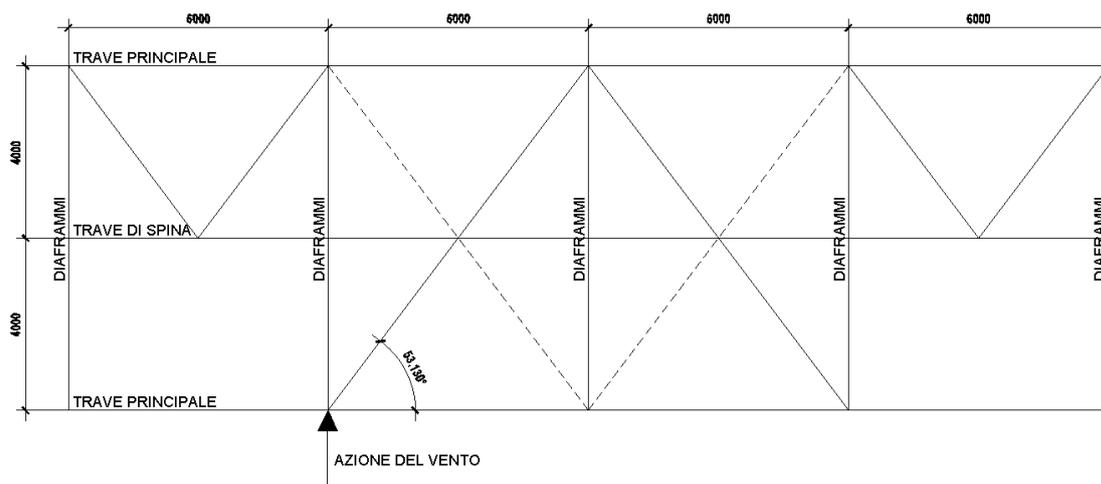


Figura 61 – Schema di calcolo controventatura superiore

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V1500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 89 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

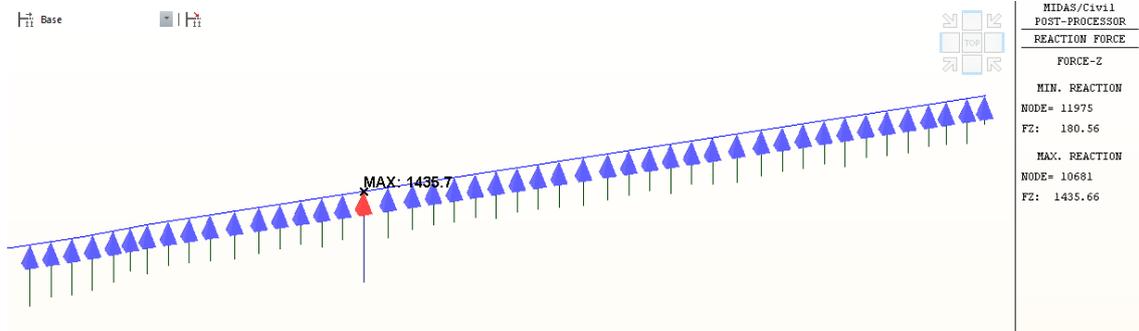


Figura 62 – Azione massima trasmessa dalla trave di spina allo SLU

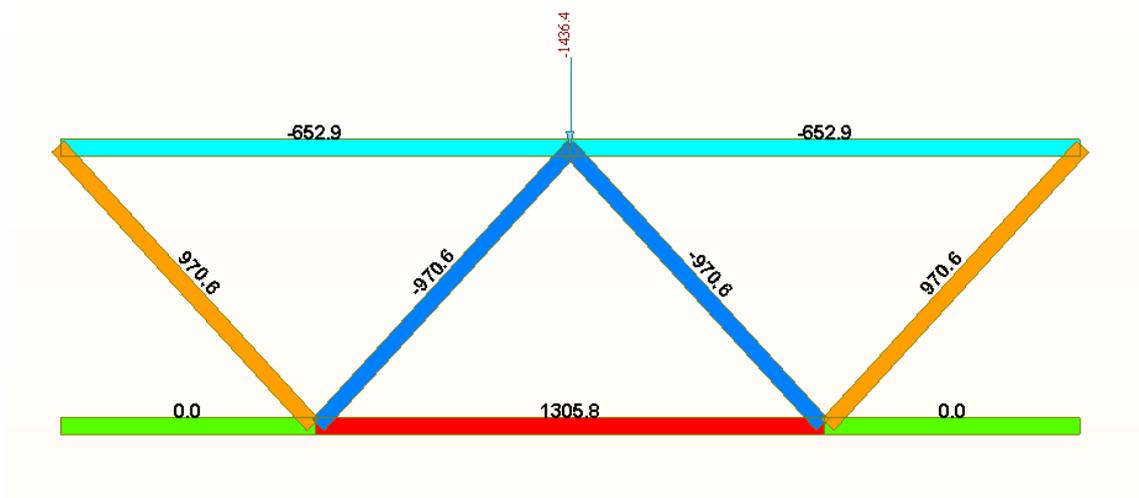


Figura 63 – Sforzi normali agenti nei diaframmi intermedi allo SLU

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 ($L_0/L = 1$).

1.36 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 30 – 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} [-]			

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 90 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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}	λ	α	ϕ	χ	γ_{M1}	$N_{b,Rd}$	N_{Ed}	σ_{Ed}
[-]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[MPa]
165.8	286.4	2.17	0.34	3.19	0.18	1.1	221.8	129	13.2

1.37 VERIFICA DEI CONTROVENTI INFERIORI

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

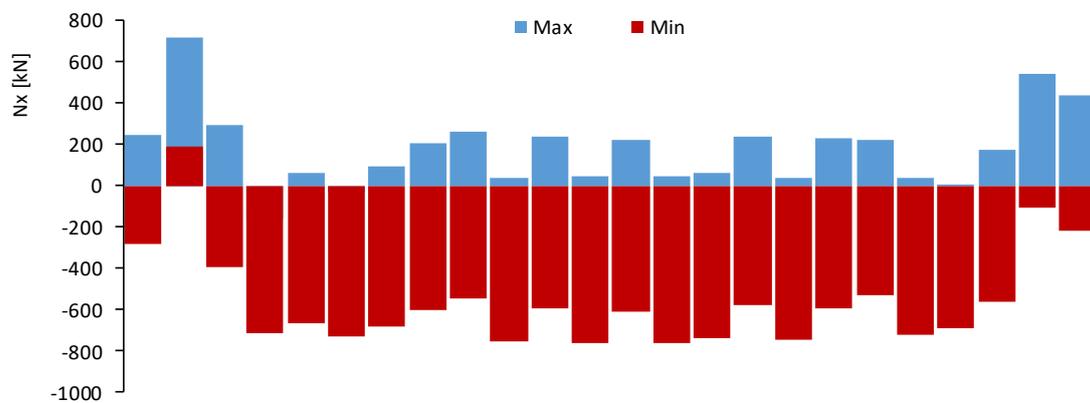


Figura 64 – Sforzi normali massimi e minimi nei controventi inferiori

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 31 – Verifica di stabilità per controventi inferiori

CONTROVENTI INFERIORI (2L 150x14)									
f_{yk}	E	h	b	t	h/t	(b+h)/(2t)	ϵ	14 ϵ	CLASSE
[MPa]	[kPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	
355	2.10E+08	150	150	14	10.71	10.71	0.81	11.34	3
A	J_{yy}	J_{zz}	J_{min}	L	L_0/L	L_0	i_{min}	15 i_{min}	
[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m]	[-]	[m]	[m]	[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	J_{min}	i_{min}	L_0	i_{min}	λ_1	λ	λ_{eq}		
[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]		
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}	λ	α	ϕ	χ	γ_{M1}	$N_{b,Rd}$	N_{Ed}	σ_{Ed}
[-]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[MPa]
110.1	1368.2	1.44	0.34	1.75	0.36	1.1	942.5	768.0	95.9

1.38 VERIFICA DEI CORRENTI SUPERIORI

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 91 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

Tabella 32 – 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
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			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} [-]		
3.00E+01	472	4.00	1	0.040	25.0	99.6	102.7		
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]
102.7	1169.4	1.34	0.34	1.60	0.41	1.1	780.2	653	12.8

1.39 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.

$$\sigma_{Ed} = N_{Ed}/A = 1306 \cdot 10^3 / 5950 = 219 \text{ MPa} < f_{yd}$$

1.40 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 33 – Verifica di stabilità per traversi 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			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} [-]		
3.00E+01	472	4.00	1	0.040	25.0	62.3	67.1		
CALCOLO DELLA RESISTENZA ALL'INSTABILITA' DELL'ASTA									
ω (λ)	N_{cr}	λ	α	ϕ	χ	γ_{M1}	$N_{b,Rd}$	N_{Ed}	σ_{Ed}

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 92 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

[-]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[MPa]
67.1	2740.3	0.88	0.34	1.00	0.68	1.1	1297.0	970.6	90.4

1.41 VERIFICA DEI TRAVERSI DI TESTATA

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 18 mm, eccetto che sul traverso in corrispondenza della pila 1 dove lo spessore dell'anima è pari a 20 mm. Le sollecitazioni massime allo stato limite ultimo da modello di calcolo risultano pari a:

- $M_y = 2650 \text{ kNm}$;
- $V_z = 808 \text{ kN}$;

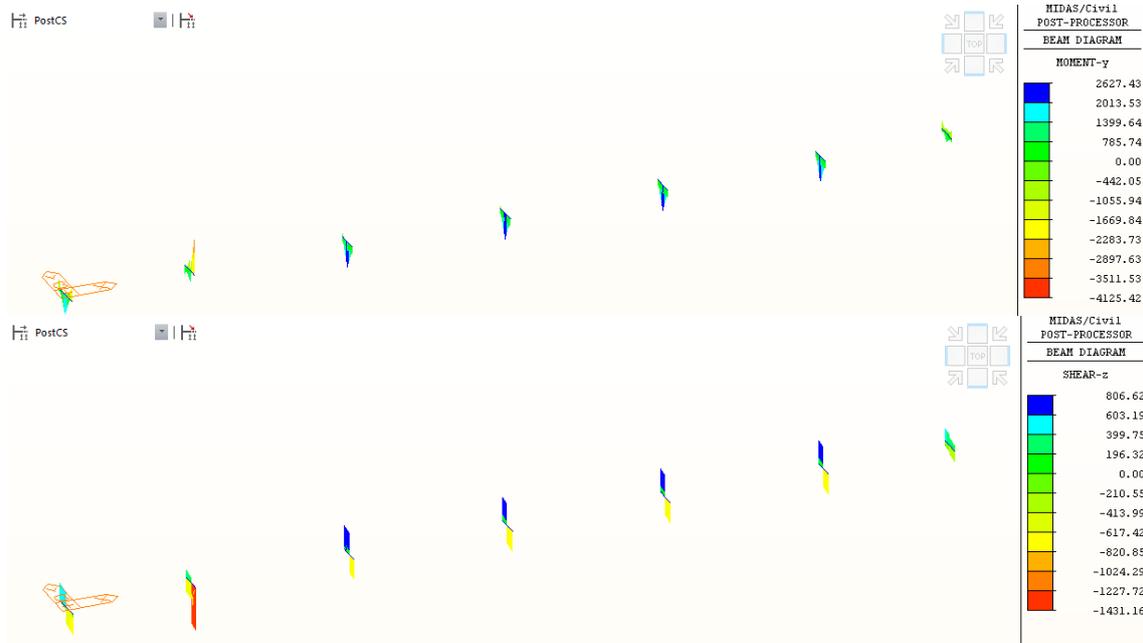
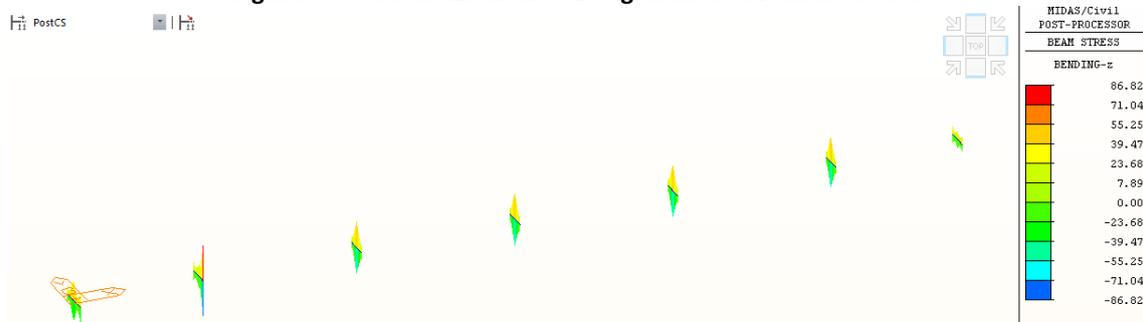


Figura 65 – Sollecitazioni allo SLU agenti nei traversi di testata



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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 93 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

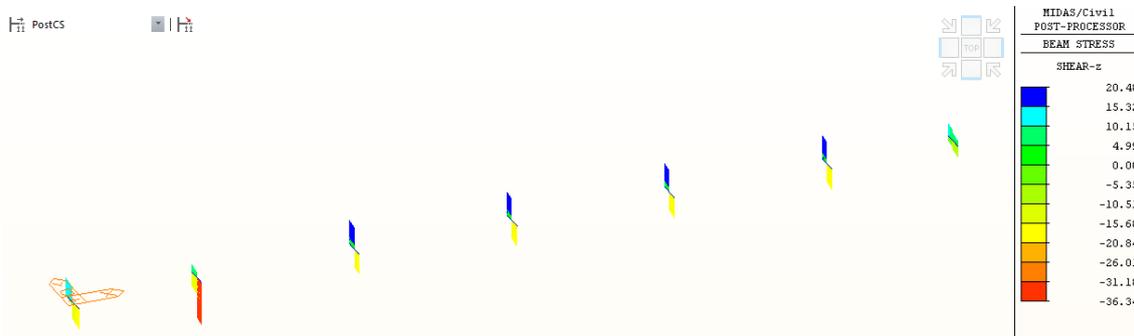


Figura 66 – Tensioni normali e tangenziali allo SLU agenti nei traversi di testata in esercizio

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

- $\sigma_{id} = (86^2 + 3 \cdot 36^2)^{0.5} = 106.2 \text{ MPa} < f_{yd} = 355/1.05 = 338 \text{ MPa}$

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 ($1.35 \cdot 5117 \text{ kN} = 6908 \text{ kN}$ sulle travi principali di bordo e $1.35 \cdot 312 \text{ kN} = 421 \text{ kN}$ sulla trave di spina), si ottengono i seguenti risultati (la verifica è stata condotta sul traverso più sollecitato ossia quello in corrispondenza della pila 1):

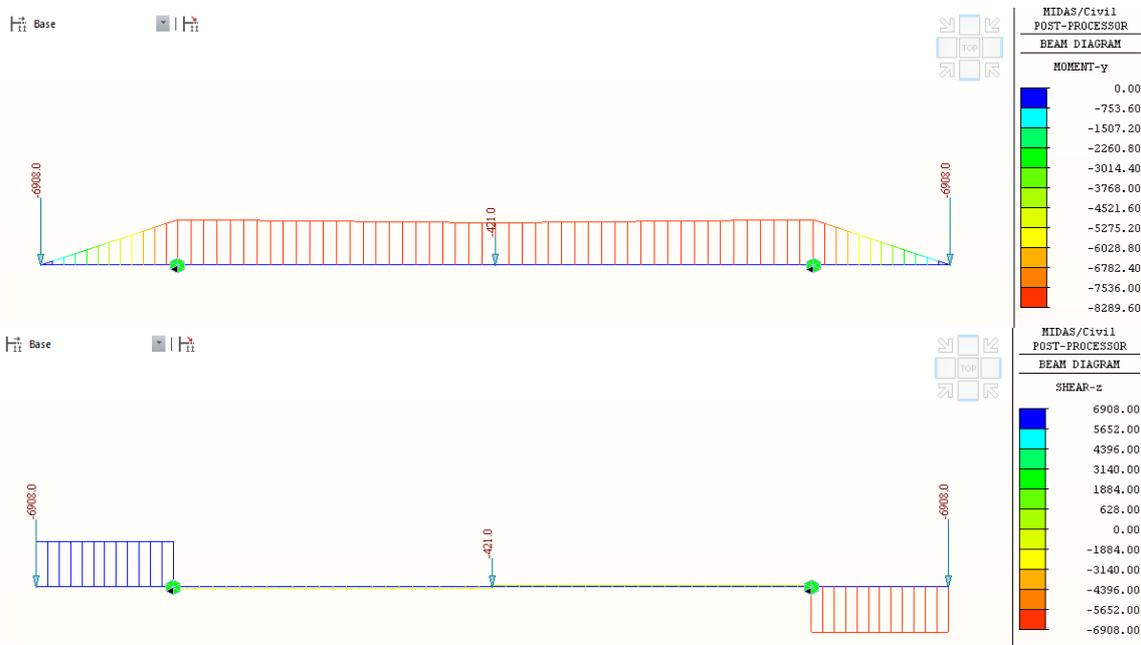


Figura 67 – Sollecitazioni allo SLU agenti nei traversi di testata in fase di sollevamento

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 94 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

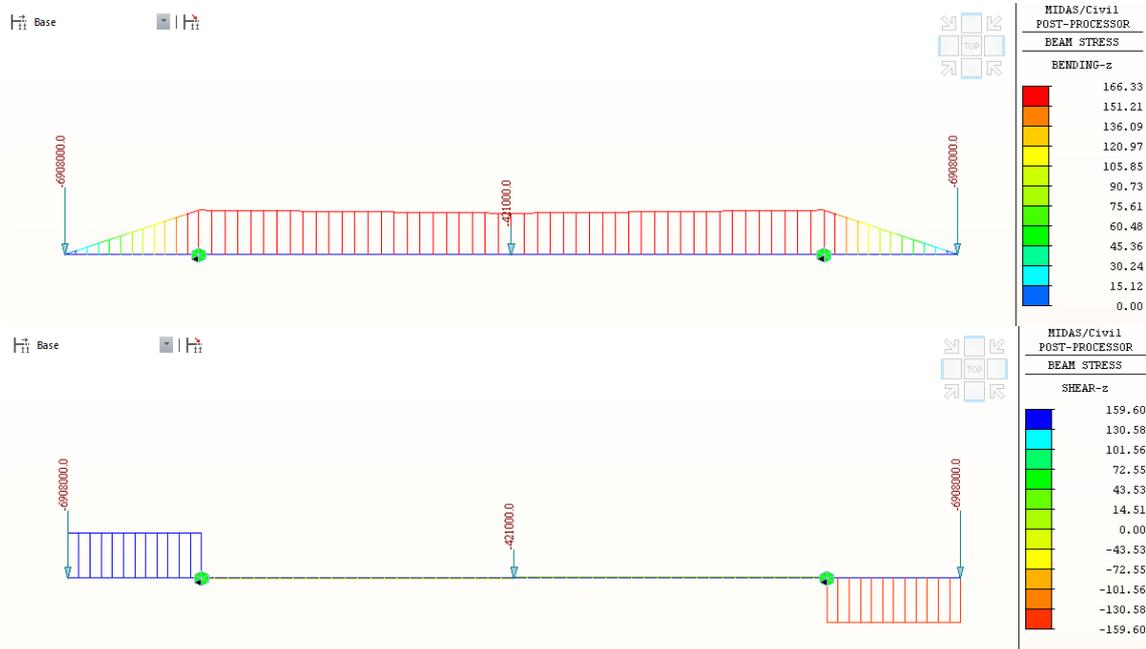


Figura 68 – Tensioni allo SLU agenti nei traversi di testata in fase di sollevamento

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

- $\sigma_{id} = (166^2 + 3 \cdot 160^2)^{0.5} = 323 \text{ MPa} < f_{yd} = 355/1.05 = 338 \text{ MPa}$

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

1.42 VERIFICA DEI COLLEGAMENTI BULLONATI

Le verifiche dei collegamenti bullonati sono eseguite in accordo con la normativa vigente secondo quanto riportato al paragrafo 1.29.2.1. Si ricorda che le giunzioni sono ad attrito ed è previsto un apposito trattamento di sabbiatura delle superfici collegate.

1.42.1 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]

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 95 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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

1.42.2 Controventi inferiori

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

SOLLECITAZIONI		
V_{Ed}	n_b	V_b
	[-]	[kN]
768	6	128

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	128	0.24

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	128.0	0.59

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	128.0	0.51

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLE)							
--	--	--	--	--	--	--	--

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 96 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

d_b [mm]	Classe [-]	n [-]	μ [-]	$F_{p,c}$ [kN]	$F_{s,Rd}$ [kN]	$F_{s,Sd}$ [kN]	ρ [D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	285.6	98.5	0.34

1.42.3 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]
653	3	218

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe [-]	n [-]	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{v,Sd}$ [kN]	ρ [D/C]
30	10.9	2	538.6	218	0.40

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELLA LAMIERA						
d_b [mm]	Classe [-]	α [-]	k	$F_{b,Rd}$ [kN]	$F_{v,Sd}$ [kN]	ρ [D/C]
30	10.9	0.5	2.30	268.1	217.7	0.81

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLU)							
d_b [mm]	Classe [-]	n [-]	μ [-]	$F_{p,c}$ [kN]	$F_{s,Rd}$ [kN]	$F_{s,Sd}$ [kN]	ρ [D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	251.3	217.7	0.87

VERIFICA A SCORRIMENTO DEI BULLONI (SLE)							
d_b [mm]	Classe [-]	n [-]	μ [-]	$F_{p,c}$ [kN]	$F_{s,Rd}$ [kN]	$F_{s,Sd}$ [kN]	ρ [D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	285.6	167.4	0.59

1.42.4 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]
1306	6	218

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 97 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe	n	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	538.6	218	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	217.7	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	217.7	0.87

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	167.4	0.59

1.42.5 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]
971	4	243

VERIFICA A TAGLIO DEI BULLONI					
d_b	Classe	n	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Sd}$	ρ
[mm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	538.6	243	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	242.8	0.91

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	217.7	0.87

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 98 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

[mm]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[D/C]
30	10.9	2	0.40	392.7	251.3	242.8	0.97

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	186.7	0.65

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 99 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

VERIFICA DELLA SOLETTA

L'analisi delle sollecitazioni flettenti e taglianti nella direzione trasversale della soletta di larghezza pari a 13.35 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.

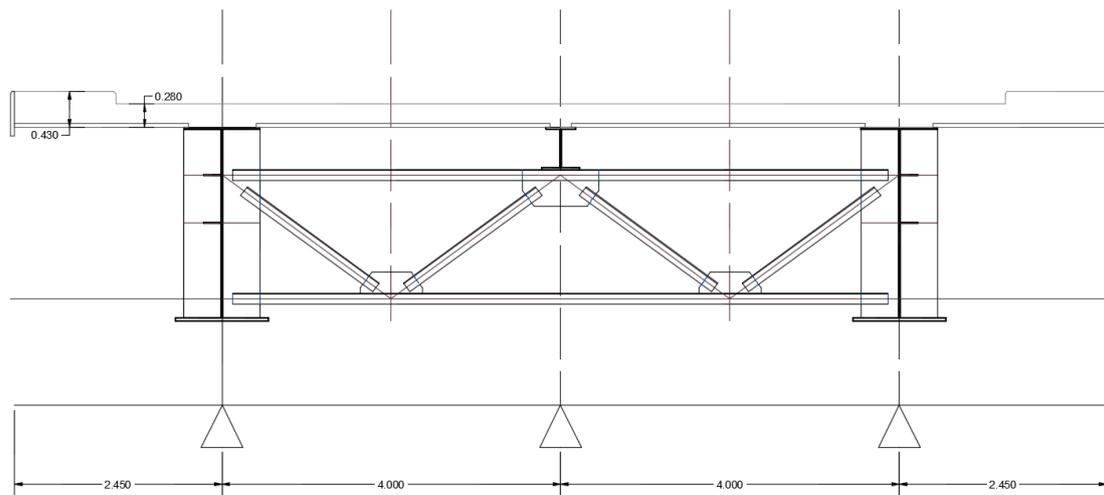


Figura 69 – Schema di calcolo della soletta in direzione trasversale

1.43 CARICHI APPLICATI

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

1.43.1 *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.

1.43.2 *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

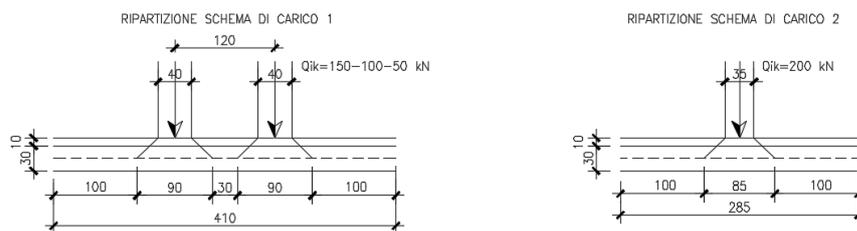
OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 100 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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

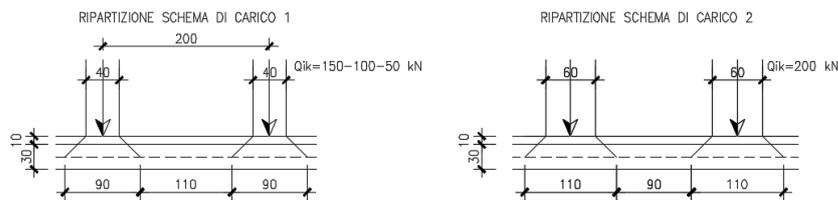


Figura 70 – Diffusione dei carichi stradali in senso longitudinale e trasversale

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 101 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

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.

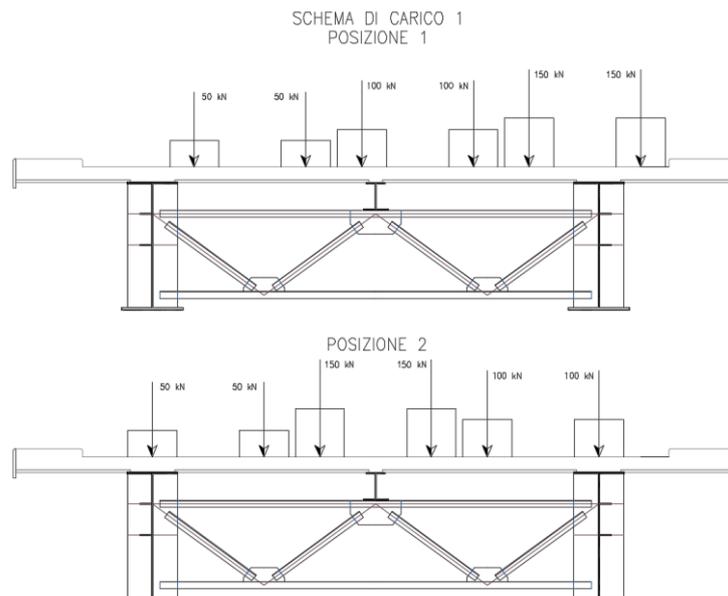


Figura 71 – Posizione trasversale dei carichi mobili concentrati (schema di carico 1)

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 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 102 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

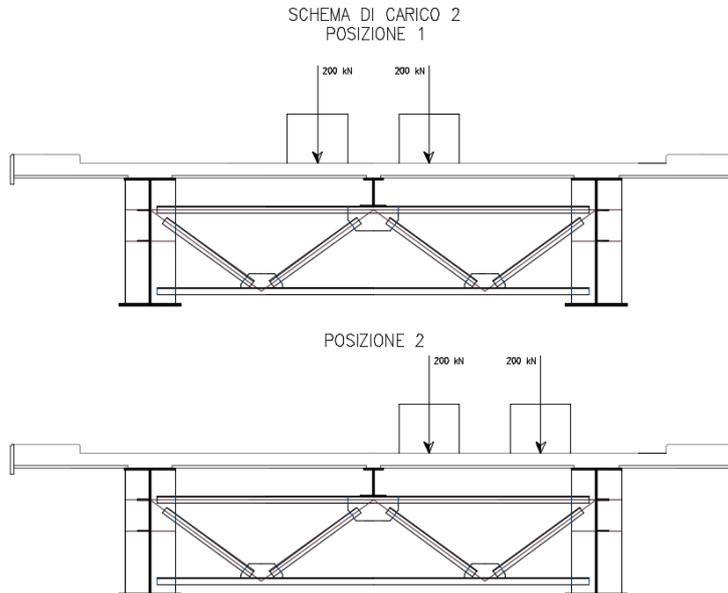


Figura 72 – Posizione trasversale dei carichi mobili (schema di carico 2)

1.43.3 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.

1.43.4 Combinazioni di carico

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

Tabella 34 – 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.

1.44 RISULTATI DELL'ANALISI

Nel presente paragrafo si riportano i diagrammi involuppo di momento flettente e taglio per le diverse

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	103 di 139

combinazioni di carico. Si nota che i diagrammi sono stati spuntati in corrispondenza della piattabanda superiore delle travi principali di impalcato.

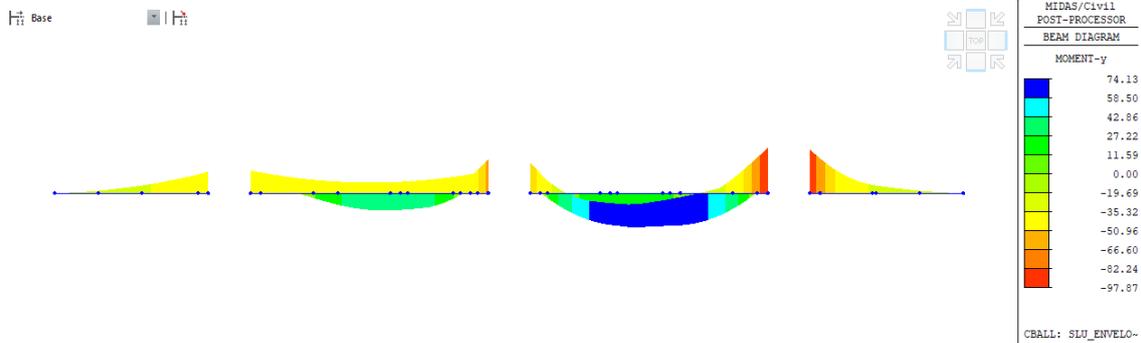


Figura 73 – Involuppo SLU – Momento flettente

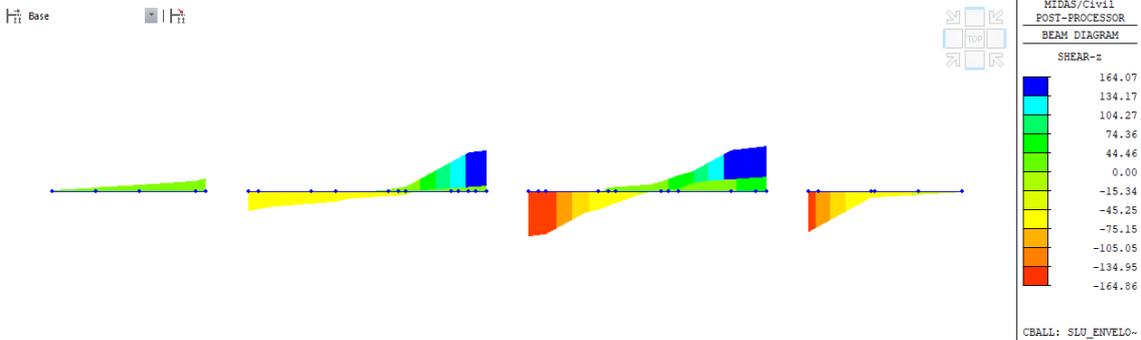


Figura 74 – Involuppo SLU – Taglio

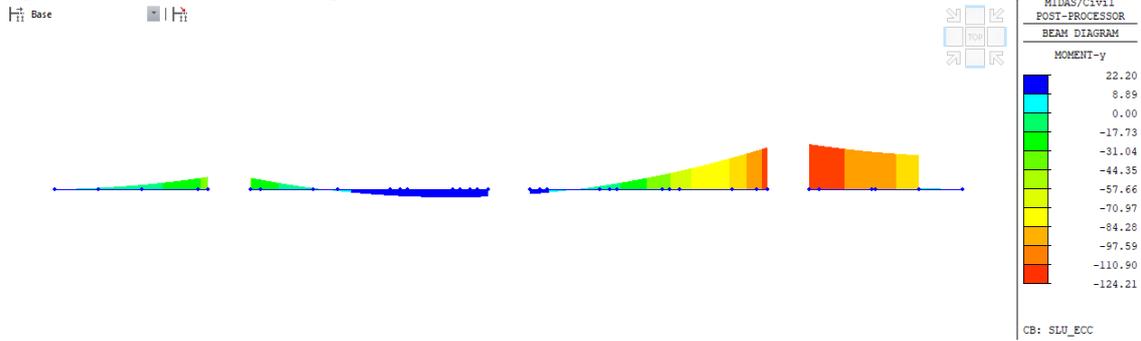


Figura 75 – Involuppo SLU-E – Momento flettente

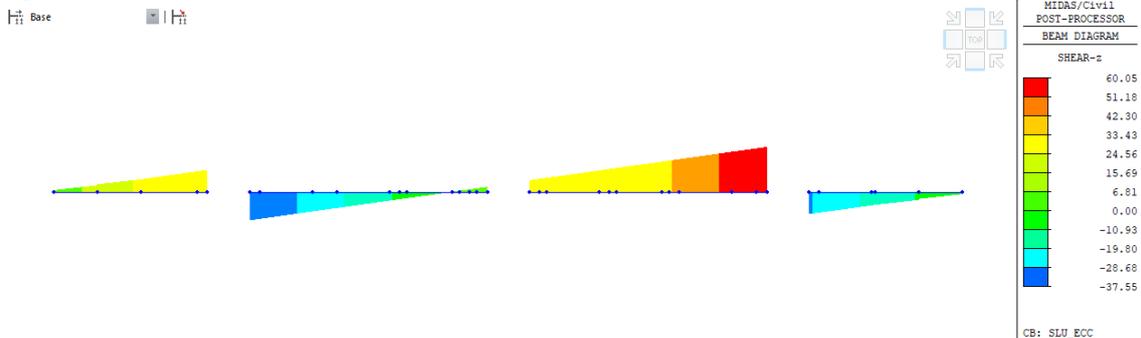


Figura 76 – Involuppo SLU-E – Taglio

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 104 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

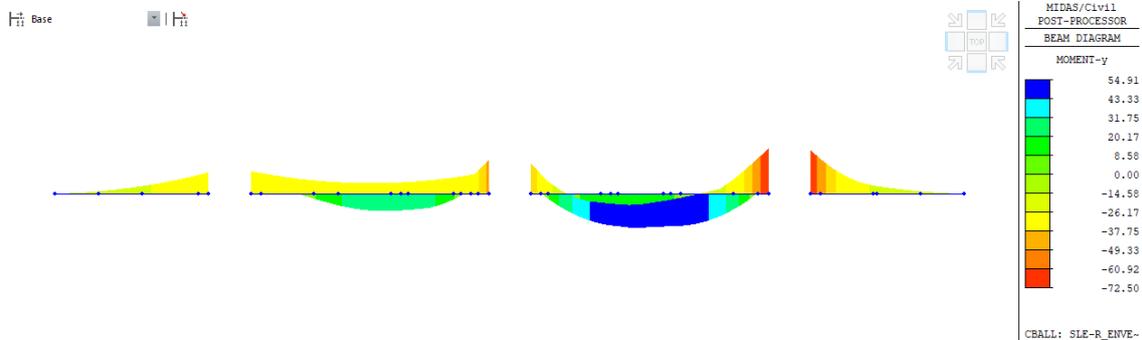


Figura 77 – Involuppo SLE-R – Momento flettente

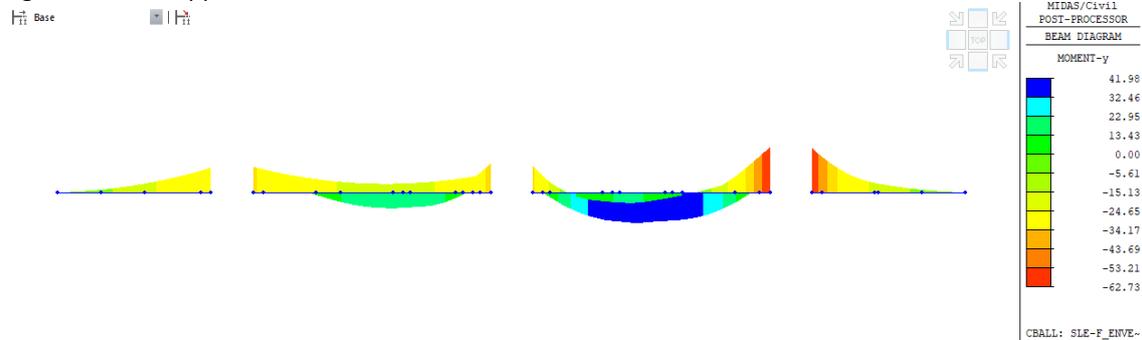


Figura 78 – Involuppo SLE-F – Momento flettente

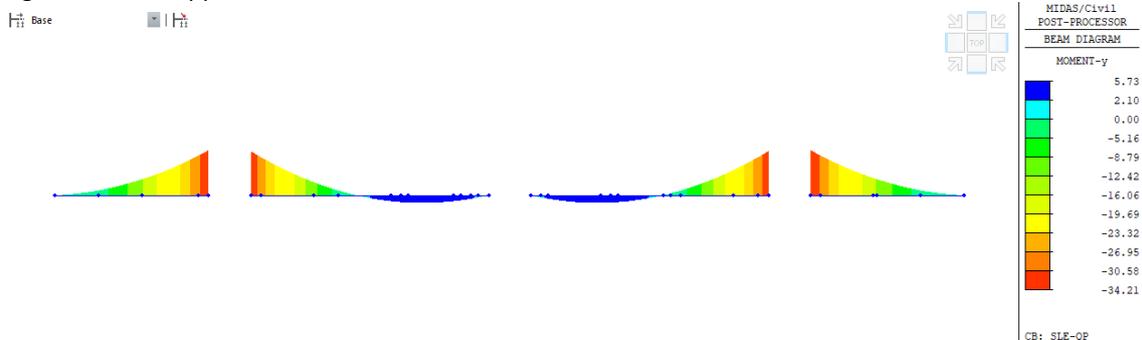


Figura 79 – Involuppo SLE-QP – Momento flettente

1.45 VERIFICHE STRUTTURALI

1.45.1 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

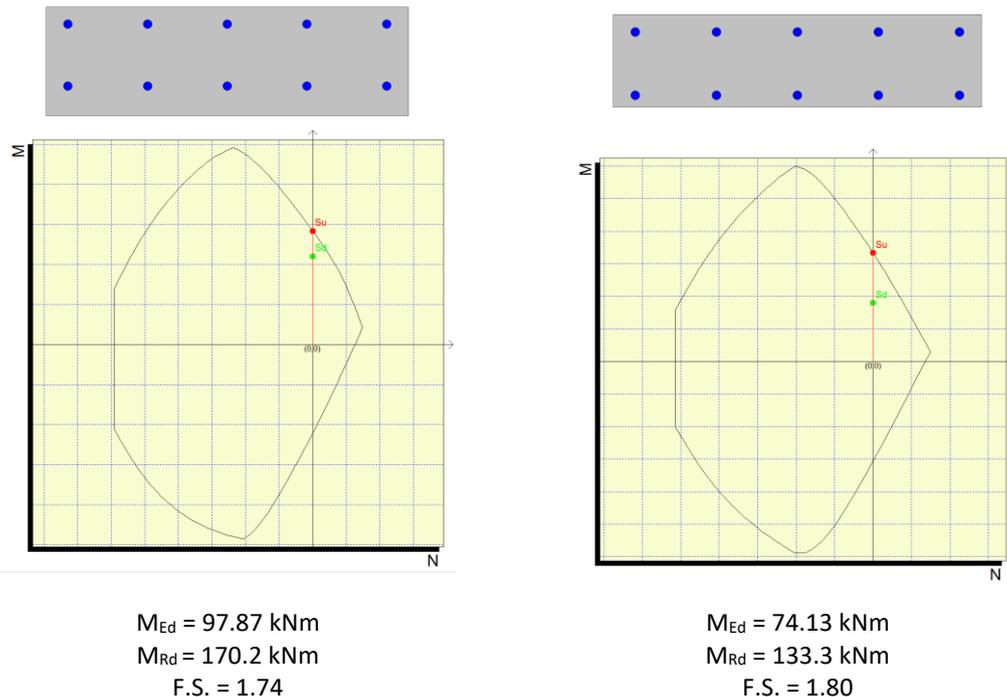
OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 105 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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

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



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: $V_{\text{Ed}} < V_{\text{Rd}}$													
$V_{\text{Ed,max}}$	b	h	c	d	k	Armatura	A_l	ρ_l	$N_{\text{Ed,min}}$	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

1.45.2 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

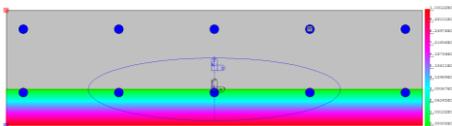
OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V1500	REL	01	B	106 di 139

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

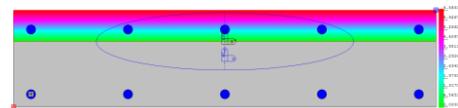
Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio



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

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

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

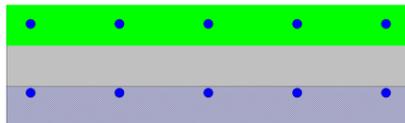


$$M_{Ed} = 54.91 \text{ kNm}$$

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

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

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)



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

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



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

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

1.45.3 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 107 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	108 di 139

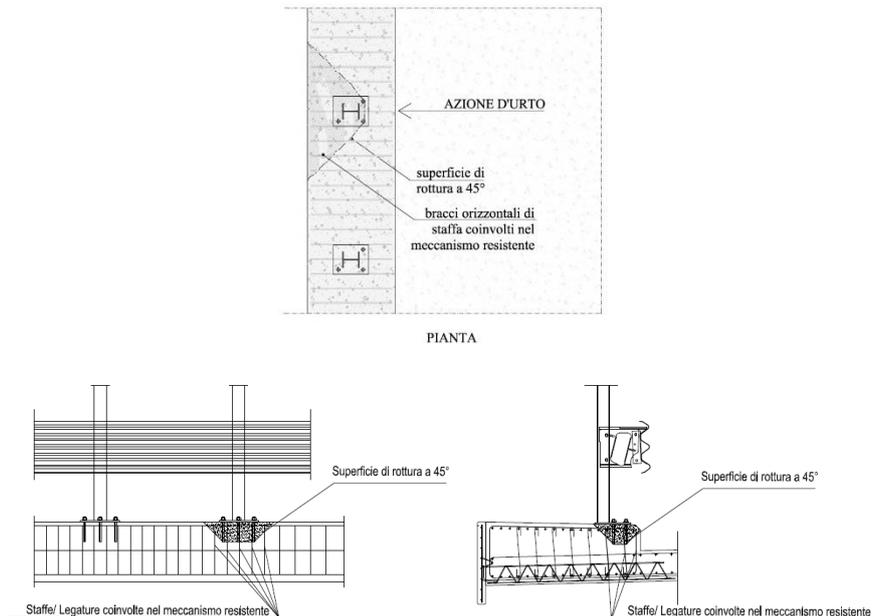


Figura 80 – Meccanismi di rottura locali per azioni d'urto – schemi tipo

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 :

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

1.45.4 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 POTENZA

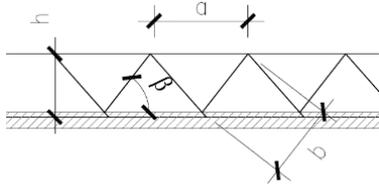
Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 109 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

- 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 predalla 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	VI5500	REL	01	B	110 di 139

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	VI5500	REL	01	B	111 di 139

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	

1.45.5 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 mezzera 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 mezzera dell'impalcato.

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

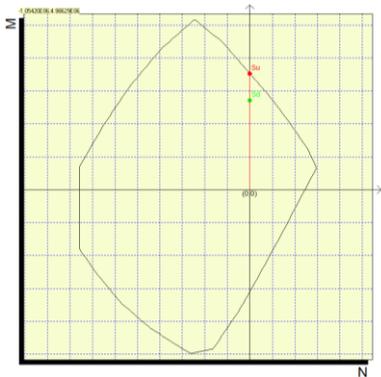
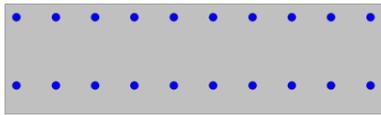
In dettaglio, in prossimità degli appoggi, è stata prevista la seguente armatura:

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

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 112 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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

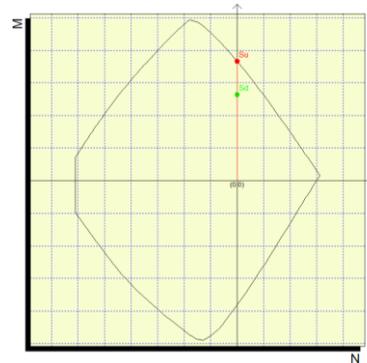
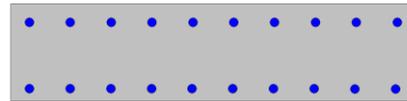
Verifica SLU



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

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

$$F.S. = 1.62$$



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

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

$$F.S. = 1.73$$

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
e_{1-lim,acc}=	0.07	m	Eccentricità massima di decompressione della prima fila di barre
e_{2-lim,acc}=	0.07	m	Eccentricità massima di decompressione della seconda fila di barre

Armatura Longitudinale Tesa

I° Strato

n° barre=	10		Numero Barre
φ =	22	mm	Diametro Barre dello strato

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 113 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	---------------------------

$A_f =$	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 Compresa

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 Compresa dal Lembo Compreso (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 Compresa dal Lembo Compreso (Asse Barre)
$A_{f,tot} =$	0.00380	m ²	Area Armatura compressa totale
$C_{tot} =$	0.07	m	Copriferro Baricentro Armatura Tesa dal Lembo Compreso

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 114 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

$$\gamma_s = 1.15$$

$$f_{yd} = 391.30 \text{ Mpa}$$

Coefficiente parziale di sicurezza sull'acciaio

Resistenza di calcolo

Verifica per Elementi che richiedono Armatura a Taglio

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\theta = 32^\circ$$

$$f_{y,staffe}/f_{yk} = 1.00$$

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

$$V_{Rd,s} = 459.82 \text{ kN}$$

Resistenza a taglio della sola armatura

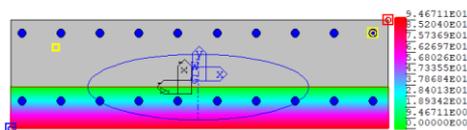
Taglio in corrispondenza dei giunti di espansione

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

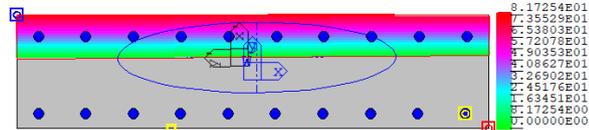
Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio



$$M_{Ed} = 145 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = -9.5 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck}$$

$$\sigma_s = 183.8 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk}$$

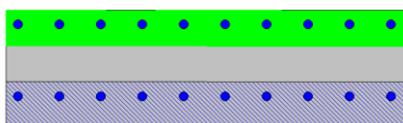


$$M_{Ed} = 110 \text{ kNm}$$

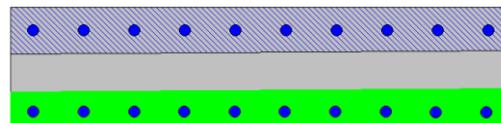
$$\sigma_c = -8.2 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck}$$

$$\sigma_s = 173.9 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk}$$

Verifica di fessurazione (SLE-F)



$$M_{Ed} = 126 \text{ kNm}$$



$$M_{Ed} = 84 \text{ kNm}$$

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 POTENZA

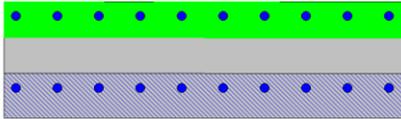
Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 115 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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

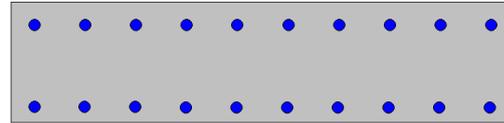
$$w_k = 0.06 \text{ mm} < w_2$$

Verifica di fessurazione (SLE-QP)



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

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



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

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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 116 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

VERIFICA DELLA SOLETTA DELLA CAMPATA DI RIVA

L'analisi delle sollecitazioni flettenti e taglianti nella direzione trasversale della soletta di larghezza mediamente pari a 16.5 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. Il modello di calcolo è stato realizzato tramite il software di calcolo Midas Civil 2016.

1.46 CARICHI APPLICATI

La trave è soggetta ai carichi permanenti (G1, G2) ed ai carichi mobili di tipo concentrato (Q_{ik}) previsti dal D.M. 14/01/2008.

1.46.1 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/m^3 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 3 kN/m .

1.46.2 Carichi stradali

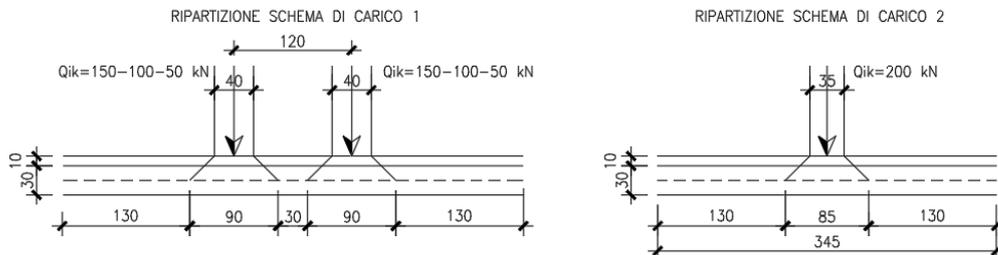
I carichi applicati e la larghezza della striscia di soletta collaborante su cui si considera ripartito l'effetto di tali carichi sono stati definiti con le seguenti modalità. Sono state considerate le azioni Q_k e q_k con gli schemi di carico 1 e 2, così come definiti nel punto 5.1.3.3.3 del D.M. 14/01/08. In particolare, delle azioni dello schema 1 sono state considerate solo le quattro forze concentrate posizionate a 2 m di distanza nella direzione trasversale e 1.2 m nella direzione longitudinale.

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.

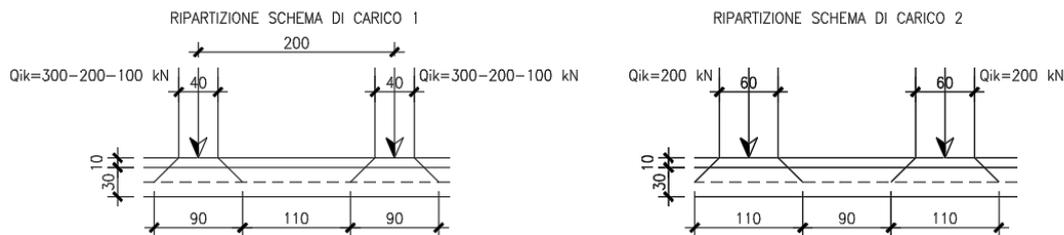
In direzione trasversale la diffusione del carico attraverso la pavimentazione e la soletta è assunta, a partire dall'impronta dei pneumatici, con inclinazione a 45° fino al piano medio della soletta. Studi sperimentali hanno dimostrato che in direzione longitudinale si può considerare un'ulteriore diffusione 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 5.25 m). La ripartizione avviene quindi secondo gli schemi rappresentati nella seguente figura.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 117 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

RIPARTIZIONE IN DIREZIONE LONGITUDINALE



RIPARTIZIONE IN DIREZIONE TRASVERSALE


Figura 81 – 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 $0.40 \times 0.40 \text{ m}^2$. La diffusione a 45° fino al piano medio della soletta permette di applicare il carico su una superficie pari a $0.90 \times 0.90 \text{ m}^2$. 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 $L/4 = 5.25/4 \approx 1.30 \text{ m}$ 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 4.70 m.

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

- Corsia 1 $q_1 = 300 / (4.70 \times 0.90) = 70.92 \text{ KN/m/m}$;
- Corsia 2 $q_2 = 200 / (4.70 \times 0.90) = 47.28 \text{ KN/m/m}$;
- Corsia 3 $q_3 = 100 / (4.70 \times 0.90) = 23.64 \text{ KN/m/m}$.

Ai carichi tandem sono stati aggiunti i carichi distribuiti previsti dallo schema di carico 1, proposto dalla normativa. Conseguentemente in corrispondenza del carico Q_{1k} è stato applicato un carico pari a 9 kN/m^2 sull'intera larghezza della corsia e, analogamente, è stato applicato un carico distribuito pari a 2.5 kN/m^2 in corrispondenza di Q_{2k} e Q_{3k} .

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 118 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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

- 1^a condizione: presenza di una sola colonna di carico (corsia 1);
- 2^a condizione: presenza di due colonne di carico (corsie 1 e 2);
- 3^a condizione: presenza di tre colonne di carico (corsie 1, 2 e 3).

Allo scopo di massimizzare le sollecitazioni nella soletta, l'analisi statica della trave continua è stata condotta considerando le condizioni di carico viaggianti nel senso trasversale dell'impalcato.

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 3.45 x 1.10 m².

- $q_1 = 200 / (3.45 \times 1.10) = 58.0 \text{ KN/m/m}$;

1.46.3 Urto di un veicolo in svio

Le azioni di progetto sono state definite secondo le indicazioni del paragrafo 3.6.3.3.2 delle NTC08. Il carico di progetto è costituito da una forza orizzontale di $A_k = 100 \text{ KN}$, 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.

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.

1.46.4 Combinazioni di carico

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

Tabella 35 – Combinazioni di carico per la verifica della soletta

COMBINAZIONE	G ₁	G ₂	Q _k	A _k
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

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 POTENZA
 Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 119 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

1.47 RISULTATI DELL'ANALISI

Nel presente paragrafo si riportano i diagrammi involuppo di momento flettente e taglio per le diverse combinazioni di carico.

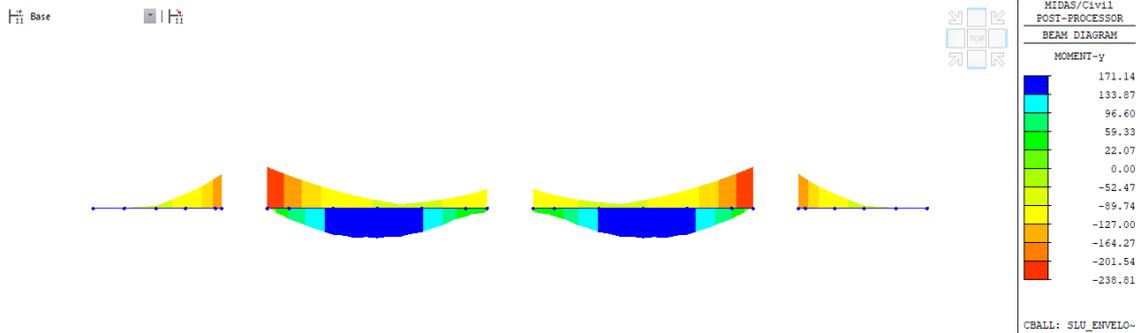


Figura 82 – Involuppo SLU – Momento flettente

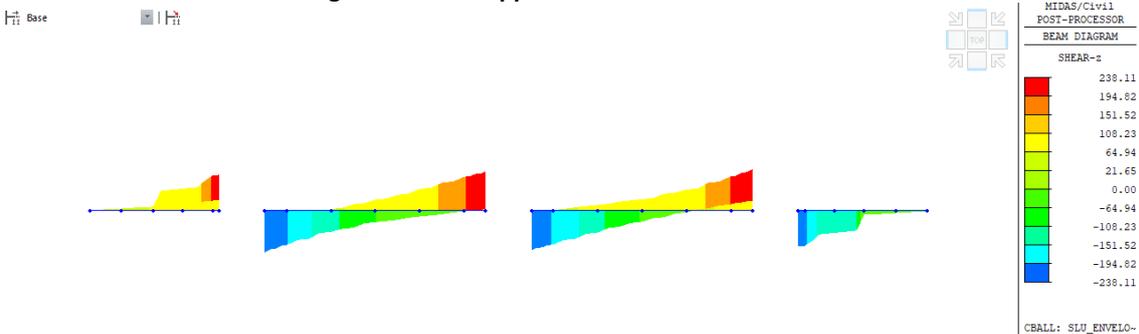


Figura 83 – Involuppo SLU – Taglio

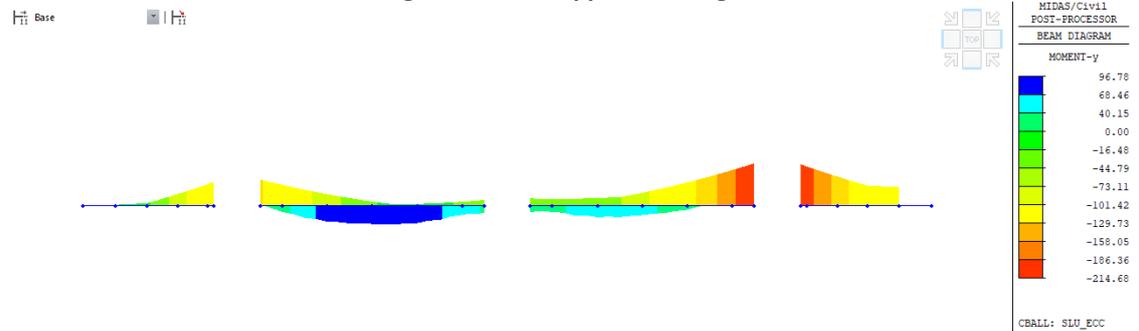


Figura 84 – Involuppo SLU-E – Momento flettente

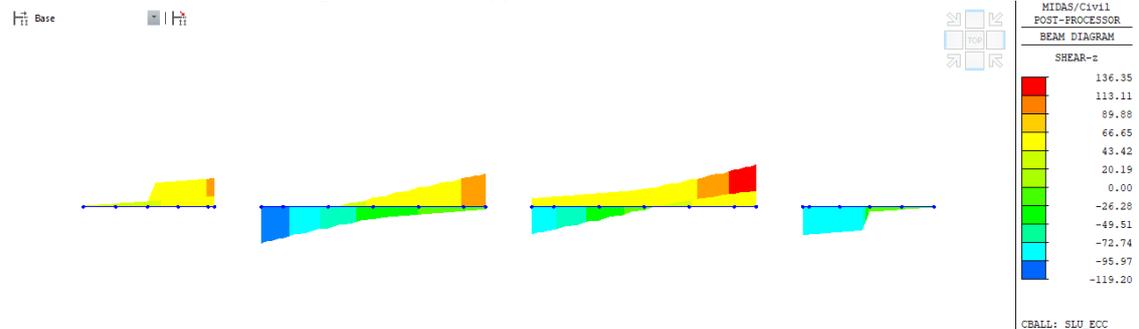
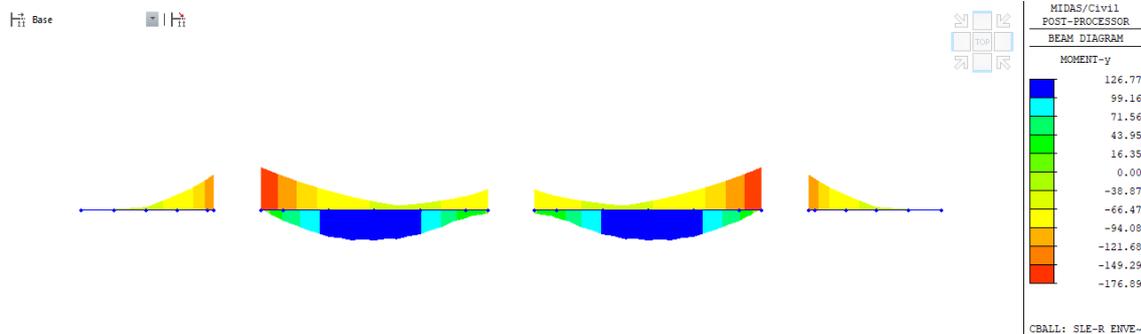
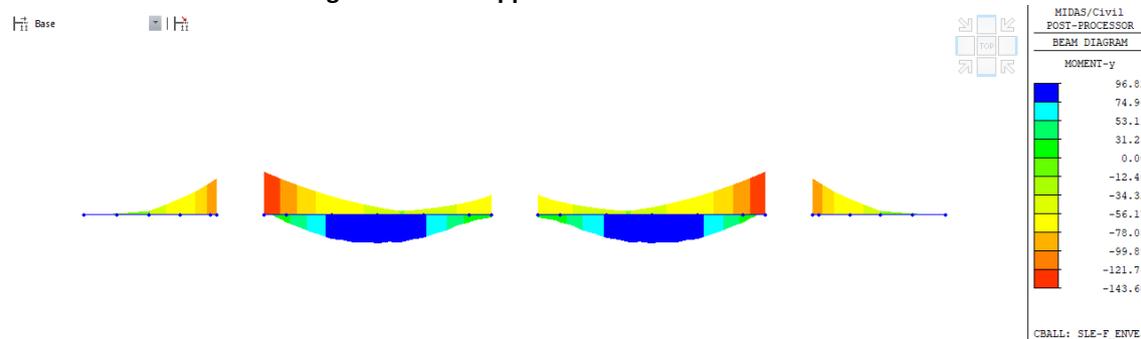
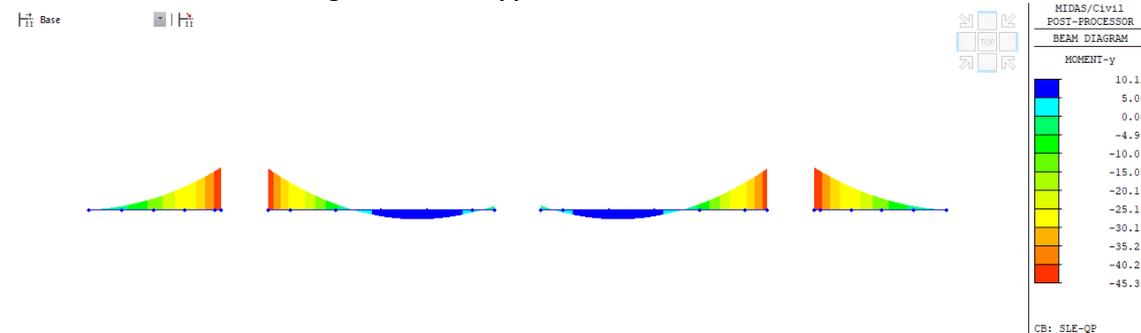


Figura 85 – Involuppo SLU-E – Taglio

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 120 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------


Figura 86 – Inviluppo SLE-R – Momento flettente

Figura 87 – Inviluppo SLE-F – Momento flettente

Figura 88 – Inviluppo SLE-QP – Momento flettente

1.48 VERIFICHE STRUTTURALI

1.48.1 Verifiche allo SLU

Di seguito sono riportate le verifiche a flessione e taglio allo SLU. Ai fini delle verifiche a taglio si considerano significative quelle zone di soletta che ricadono al di fuori delle zone di appoggio costituite dalle ali superiori delle travi, che per la modellazione assunta sono sedi di concentrazione di sollecitazioni. I valori dei tagli sollecitanti, dunque, sono indicati di seguito.

Combinazione	$M_{\max, \text{sup}}$ [kNm]	$M_{\max, \text{inf}}$ [kNm]	V_{\max} [kN]
SLU	-238.81	171.14	238.11
SLU-E	-214.68	96.78	136.35

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 POTENZA

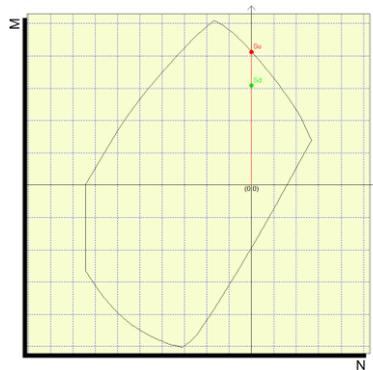
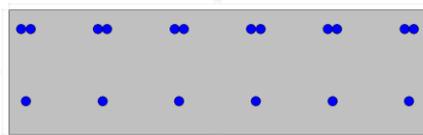
Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 121 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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

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

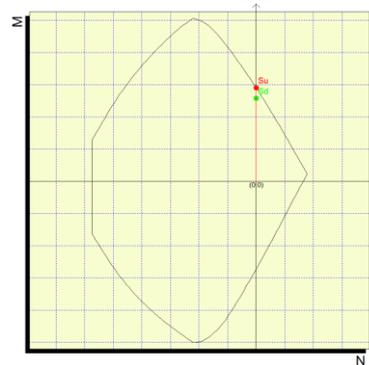
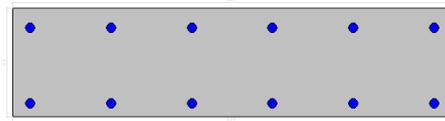
L'armatura considerata in appoggio al lembo superiore è $2\Phi 22/15$ (accoppiati), mentre al lembo inferiore è $1\Phi 22/15$. L'armatura inserita in campata è $1\Phi 22/15$ superiormente e inferiormente.



$$M_{Ed} = 238.81 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 371.3 \text{ kNm}$$

$$F.S. = 1.55$$



$$M_{Ed} = 171.14 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 175.1 \text{ kNm}$$

$$F.S. = 1.02$$

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 232 kN, la verifica, riportata nella seguente tabella, risulta soddisfatta.

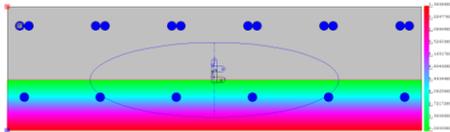
$V_{Ed,max}$ [kN]	b [mm]	h [mm]	c [mm]	d [mm]	k [-]	Armatura tesa	A_l [mm ²]	ρ_l [-]	$N_{Ed,min}$ [kN]	σ_{cp} [MPa]	V_{min} [-]	V_{Rd} [kN]	FS
231.6	1000	300	35	265	1.87	$2\Phi 22/15$	5094	1.9E-02	0.0	0.000	0.53	241.7	1.02

1.48.2 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.

Combinazione	$M_{max,sup}$ [kNm]	$M_{max,inf}$ [kNm]
SLE-R	-176.89	126.77
SLE-F	-143.60	96.82
SLE-QP	-45.30	10.12

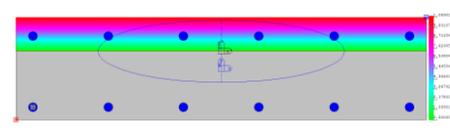
Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 122 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio (SLE-R)


$$M_{Ed} = 205.5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = -11.4 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck}$$

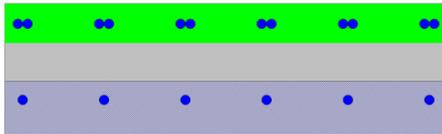
$$\sigma_s = 185.7 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk}$$



$$M_{Ed} = 126.8 \text{ kNm}$$

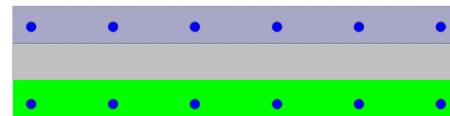
$$\sigma_c = -11.9 \text{ MPa} < 0.6 f_{ck}$$

$$\sigma_s = 296.6 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk}$$

Verifica di fessurazione (SLE-F)


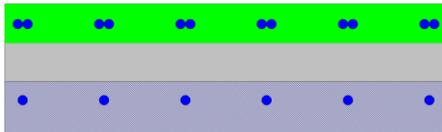
$$M_{Ed} = 143.6 \text{ kNm}$$

$$w_k = 0.023 \text{ mm} < w_2$$



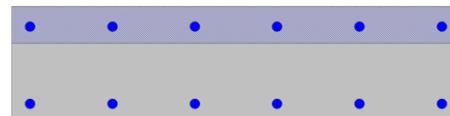
$$M_{Ed} = 96.82 \text{ kNm}$$

$$w_k = 0.1 \text{ mm} < w_2$$

Verifica di fessurazione (SLE-QP)


$$M_{Ed} = 45.3 \text{ kNm}$$

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



$$M_{Ed} = 10.1 \text{ kNm}$$

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

1.48.3 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 NTC08. 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 $s = 0.30$, mentre lo spessore (medio) del cordolo a 0.465 m per cui l'estradosso del cordolo si trova ad una distanza sopra l'estradosso di soletta pari a $c = 0.165 \text{ m}$.

Verifica a tenso-flessione della soletta

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

- $\Delta M = F \cdot (d + c + 0.5s) = F \cdot 1.215 = 121.5 \text{ kNm}$

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 123 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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:

$$B = 0.4 \text{ m} + 2(c + 0.5s) = 1.03 \text{ m}$$

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 $M_{perm} = 3.6 \text{ KNm}$. Il momento totale, dunque, vale:

$$M = 121.5 + 3.6 = 125.1 \text{ KNm}$$

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:

$$T_d = M / (0.9s) = 463.3 \text{ kN}$$

Tale trazione è equilibrata dalle barre $\Phi 22/15$, disposte in estradosso, che riescono a fornire una trazione resistente pari a:

$$T_r = 380.1 \cdot (1.00/0.15) \cdot 391.3 \cdot 10^{-3} = 991.5 \text{ KN} > T_d.$$

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 $\Phi 12/15$ 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:

$$F_{rd} = 391.3 \times 13 \times 113 / 1.73 \times 10^{-3} = 338.13 \text{ kN}$$

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	124 di 139

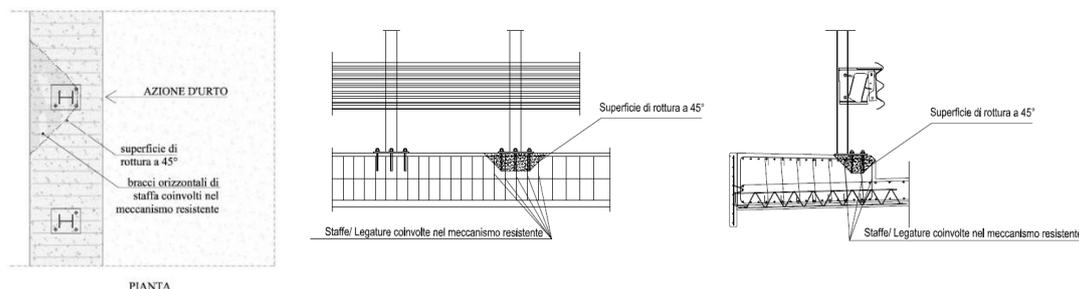


Figura 89 – Meccanismi di rottura locali per azioni d’urto – schemi tipo

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:

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

Avendo disposto le staffe e legature $\Phi 12/15$ 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:

$$n = 3 \cdot (1 \cdot 0.30 \text{ m} + 2 \cdot 0.19 \text{ m}) / 15 \text{ cm} = 13.6 \text{ bracci}$$

che corrisponde ad una trazione resistente pari a :

$$T_r = n \cdot 113.1 \cdot f_{yd} \cdot 10^{-3} = 602 \text{ kN} > T_d$$

1.48.4 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:

- 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.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

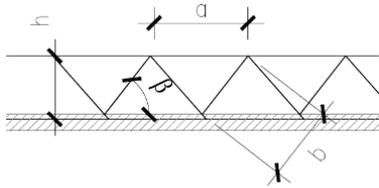
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 125 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------



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

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

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	12	V15500	REL	01	B	126 di 139

VERIFICA LASTRE DI CEMENTO TRALICCIATE (SCHEMA 1)	
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 30.00
H soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)	cm 30.00
Peso specifico calcestruzzo	KN/mc 25.00
Luce netta della soletta	cm. 475.00
Luce di calcolo	cm 480.00
Interasse staffe sui tralicci	cm 20.00
Diametro barra superiore	cm 1.6
area barra superiore As	cmq 2.01
diametro barre inferiori	cm 1.4
area barre inferiore Ai	cmq 1.54
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 6.48
braccio tra barre longitudinali sup e inf del traliccio	cm 18.40
Sforzo risultante nei correnti superiore ed inferiore	KN 35.22
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
vincolo unico tipo incastro	2
	Coefficiente b scelto 1.00
Raggio minimo d'inerzia della barra compressa	0.40
Lunghezza libera d'inflessione	20.00
Snellezza dell'asta compressa	50.0
Inserisci coefficiente omega	1.29 (Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)
Tensioni Risultanti nelle barre di armatura longitudinali	
Tensione armature tesa (inferiore)	S _{inf} = 11.44 KN/cm ² = 114.39 MPa
Tensione armatura compressa (superiore)	S _{sup} = 22.60 KN/cm ² = 225.95 MPa
Verifica sezione di estremità	
Sforzo di Taglio all'appoggio:	5.40 KN
Sforzo N risultante nella staffa: T/sen66° =	5.91 KN
Sforzo in ciascun braccio (N/2)/cos15° =	3.06 KN
Diametro diagonale	0.80 cm
Area diagonale	0.50 cm ²
Raggio minimo d'inerzia	0.20 cm
Coefficiente b	
vincoli tipo cerniera	1
vincoli tipo incastri	0.7
vincoli tipo cerniera + incastri	0.8
vincolo unico tipo incastro	2
	Coefficiente b scelto 1.00
Lunghezza braccio staffa staffe sui tralicci	cm 22.50
Lunghezza libera d'inflessione	cm 22.50
Snellezza	112.50
Inserisci coefficiente omega	2.31 (Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	12	V1500	REL	01	B	127 di 139

Tensione diagonale compresso	$\frac{14.0}{6}$	KN/cm ²	=	140.62	MPa
------------------------------	------------------	--------------------	---	----------	-----

VERIFICA LASTRE DI CEMENTO TRALICCIAE (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	30.00	
H soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera) -valore medio	cm	36.70	
Peso specifico calcestruzzo	KN/mc	25.00	
Luce sbalzo	cm	280.00	
Interasse staffe sui tralicci	cm	20.00	
Luce di riferimento per verifiche di stabilità armature inferiori	cm	20.00	
Diametro barra superiore	cm	1.6	
area barra superiore	As	cmq	2.01
Diametro barre inferiori	cm	1.4	
Area barre inferiori	Ai	cmq	1.54
numero barre inferiori traliccio			2

Peso soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)/traliccio	KN/m/tral	2.75	
Momento flettente in fase di getto	(p ² /2)	KNm/tral	10.79
braccio tra barre longitudinali sup e inf del traliccio	cm	18.40	
Sforzo risultante nei correnti superiore ed inferiore	KN	58.64	

Verifica sezione centrale

Valutazione coefficiente ω per verifica instabilità armature inferiori

Coefficiente b

vincoli tipo cerniera	1	Coefficiente b scelto	1.00
vincoli tipo incastri	0.7		
vincoli tipo cerniera + incastri	0.8		
vincolo unico tipo incastro	2		

Raggio minimo d'inerzia della barre compresse (inf.)	0.35	
Lunghezza libera d'inflessione	20.00	
Snellezza dell'asta compressa	l	57.14
Inserisci coefficiente omega	v	1.29 (Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)

Tensioni Risultanti nelle barre di armatura longitudinali

Tensione armatura tesa (superiore)	S _{inf} =	29.17	KN/cmq	=	291.65	MPa
Tensione armatura compressa (inferiore)	S _{sup} =	24.57	KN/cmq	=	245.70	MPa

Verifica sezione di estremità

Sforzo di Taglio all'appoggio:	7.71	KN
Sforzo N risultante nella staffa: T/sen66° =	8.44	KN
Sforzo in ciascun braccio (N/2)/cos15° =	4.37	KN

Diametro diagonale	1.00	cm
Area diagonale	0.79	cm ²

Raggio minimo d'inerzia	0.25	cm
-------------------------	-------------	----

Coefficiente b

vincoli tipo cerniera	1	Coefficiente b scelto	1.00
vincoli tipo incastri	0.7		
vincoli tipo cerniera + incastri	0.8		
vincolo unico tipo incastro	2		

Lunghezza braccio staffa staffe sui tralicci	cm	22.50
Lunghezza libera d'inflessione	cm	22.50

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 128 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Snellezza	l	90.00	(Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)		
Inserisci coefficiente omega	v	1.81			
Tensione diagonale compresso	10.06	KN/cm ²	=	100.64	MPa

1.48.5 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 mezzera 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:

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

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 2,5 volte quelle ottenute in mezzera dell'impalcato.

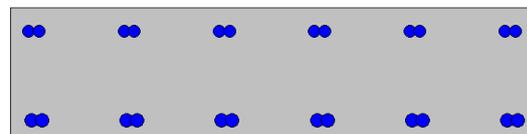
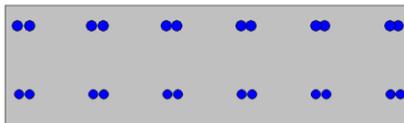
Conseguentemente, in tali zone, l'armatura a flessione è stata incrementata ed è stata aggiunta un'armatura per le sollecitazioni taglianti.

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 2 Φ 26/15 superiormente e 2 Φ 22/15 inferiormente in corrispondenza degli appoggi (ossia delle travi), 2 Φ 22/15 superiormente e 2 Φ 26/15 inferiormente in campata

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

Verifica a flessione



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

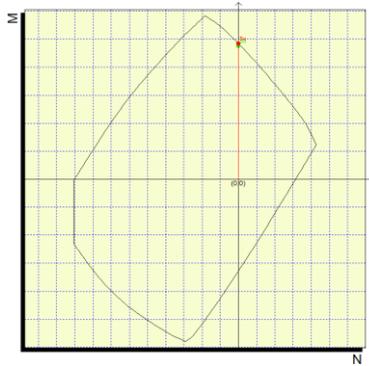
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTO POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

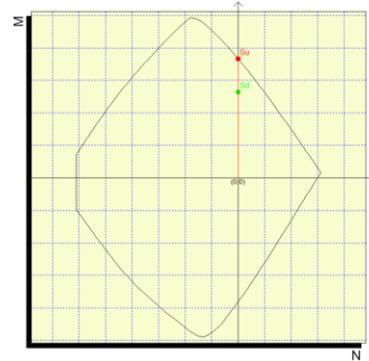
Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 129 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	----------------------------



$$M_{Ed} = 476 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 484.6 \text{ kNm}$$

$$F.S. = 1.02$$



$$M_{Ed} = 342.28 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 438.98 \text{ Nm}$$

$$F.S. = 1.28$$

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}=	0.51	m ²	Area della Sezione (omogeneizzata)
x_g=	0.17	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}=	0.03	m ³	
e_{lim,cls}=	0.07	m	Eccentricità massima di decompressione fibra inferiore del cls
e1-lim,acc=	0.09	m	Eccentricità massima di decompressione della prima fila di barre
e2-lim,acc=	0.09	m	Eccentricità massima di decompressione della seconda fila di barre

Armatura Longitudinale Tesa

I° Strato

n° barre=	12		Numero Barre
φ =	26	mm	Diametro Barre dello strato
A_f=	0.00912	m ²	Area Armatura dello strato
c_{teso}=	0.04	m	Copriferro Armatura Tesa dal Lembo Teso (Asse Barre)

II° Strato

n° 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}=	0.01	m ²	Area Armatura tesa 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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS VI5500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 130 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

$c_{tot} = 0.04$ m Copriferro Baricentro Armatura Tesa dal Lembo Teso

Armatura Longitudinale Compresa

I° Strato

$n^{\circ}_{barre} = 12$ Numero Barre
 $\varphi = 26$ mm Diametro Barre dello strato
 $A_f = 0.00456$ m² Area Armatura dello strato
 $c_{comp} = 0.07$ m Copriferro Armatura Compresa dal Lembo Compreso (Asse Barre)

II° Strato

$n^{\circ}_{barre} = 0$ Numero Barre
 $f = 25$ mm Diametro Barre dello strato
 $A_f = 0.00000$ m² Area Armatura dello strato
 $c_{comp} = 0.15$ m Copriferro Armatura Compresa dal Lembo Compreso (Asse Barre)
 $A_{f,tot} = 0.00456$ m² Area Armatura compressa totale
 Copriferro Baricentro Armatura Tesa dal Lembo Compreso
 $c_{tot} = 0.07$ m

Armatura Trasversale

$\varphi = 14$ mm Diametro Staffe
 $n_b = 4.00$ Numero bracci
 $A_{sw} = 0.00062$ m² Area dell'armatura trasversale posta all'interasse s
 $s = 0.15$ 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
 $\gamma_s = 1.15$ Coefficiente parziale di sicurezza sull'acciaio
 $f_{yd} = 391.30$ Mpa Resistenza di calcolo

Verifica per Elementi che richiedono Armatura a Taglio

$\alpha = 90$ ° Inclinazione delle staffe
 $[45^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}]$
 $\theta = 32$ ° Inclinazione del puntone compresso $[45^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}]$
 $f_{y,staffe}/f_{yk} = 1.00$

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 131 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Verifica dell'Armatura Trasversale d'Anima

$V_{Rd,s} = 613.10$ kN

Resistenza a taglio della sola armatura

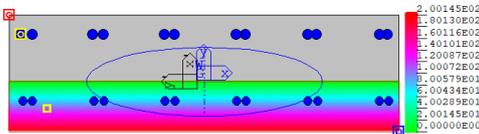
Taglio in corrispondenza dei giunti di espansione

V_{max} [kN]	V_{Rd} [kN]	C.S. [-]
476	613.10	1.28

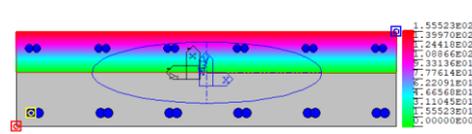
Verifiche SLE

Combinazione	$M_{max,sup}$ [kNm]	$M_{max,inf}$ [kNm]
SLE-R	-354	254
SLE-F	-288	194
SLE-QP	-91	21

Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio (SLE-R)

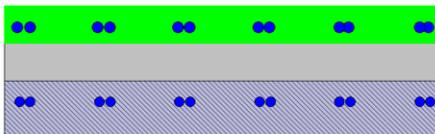


$M_{Ed} = 354$ kNm
 $\sigma_c = -20$ MPa < $0.45 f_{ck}$
 $\sigma_s = 283.3$ MPa < $0.8 f_{yk}$

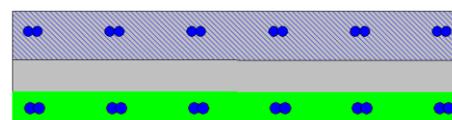


$M_{Ed} = 254$ kNm
 $\sigma_c = -15.5$ MPa < $0.6 f_{ck}$
 $\sigma_s = 229.7$ MPa < $0.8 f_{yk}$

Verifica di fessurazione (SLE-F)

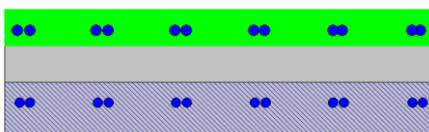


$M_{Ed} = 288$ kNm
 $w_k = 0.1$ mm < w_2

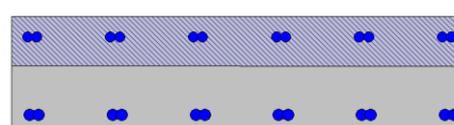


$M_{Ed} = 194$ kNm
 $w_k = 0.6$ mm < w_2

Verifica di fessurazione (SLE-QP)



$M_{Ed} = 91$ kNm
 $w_k = 0.02$ mm



$M_{Ed} = 21$ kNm
 $w_k = 0.0$ mm



QUADRILATERO

Marche Umbria S.p.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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 2B	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 132 di 139
---------------	--------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 133 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

APPENDICE A: DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI PER SINGOLA CONDIZIONE DI CARICO

Peso proprio della struttura G1

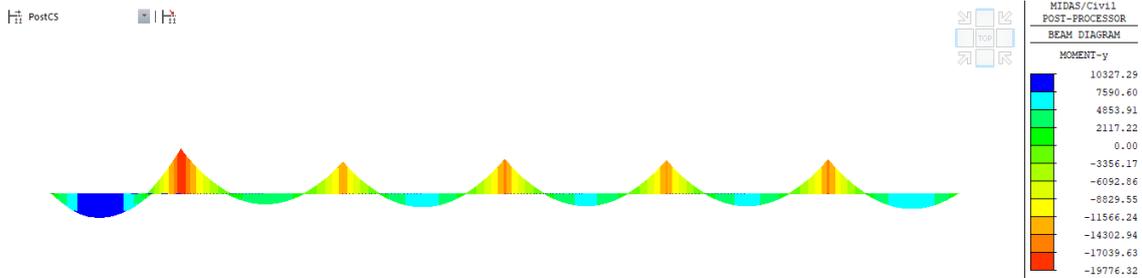


Figura 90 – G1 – Momento flettente M_y

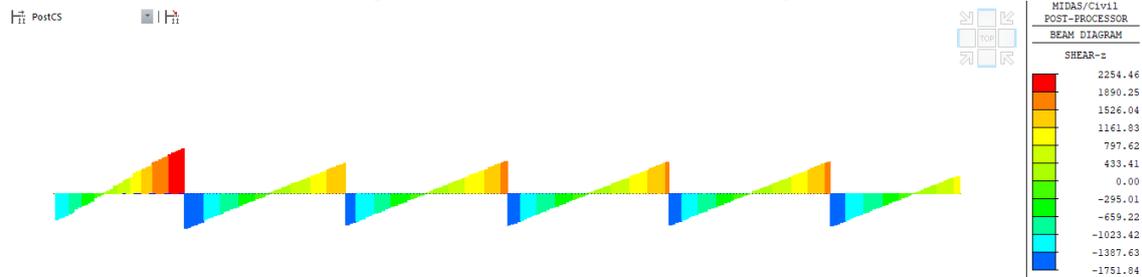


Figura 91 – G1 – Taglio V_z

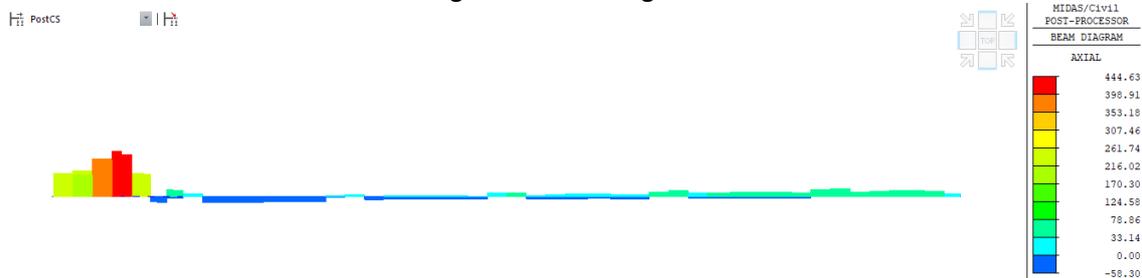


Figura 92 – G1 – Sforzo normale F_x

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 134 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Peso proprio della struttura G2

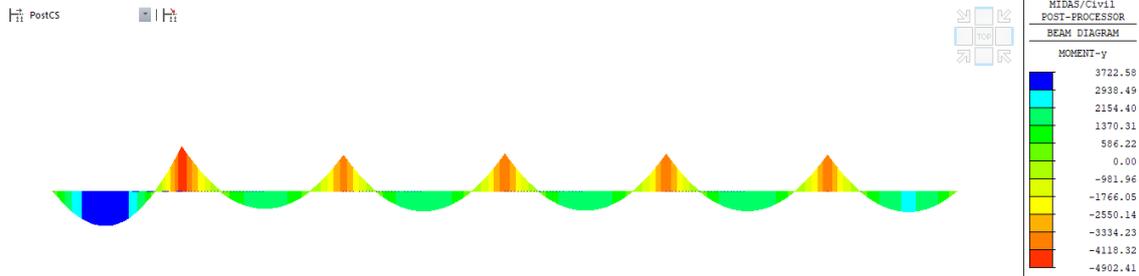


Figura 93 – G2 – Momento flettente M_y

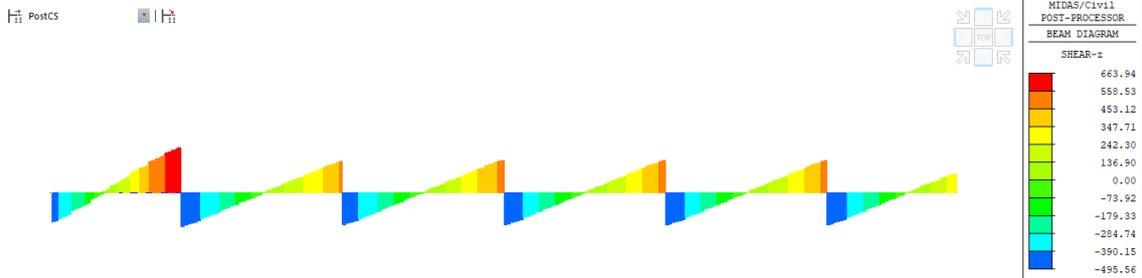


Figura 94 – G2 – Taglio V_z

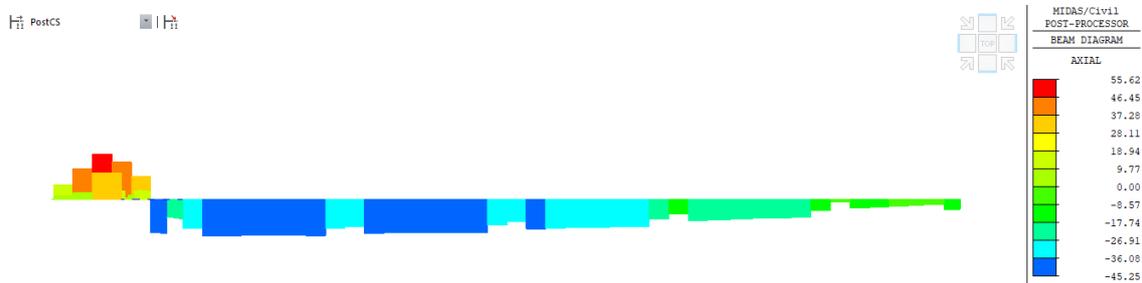


Figura 95 – G2 – Sforzo normale F_x

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 135 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Variazione termica E3

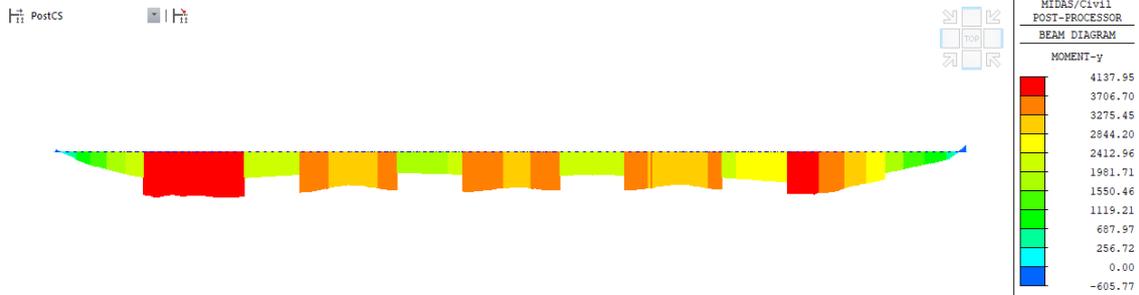


Figura 96 – E3 – Momento flettente My

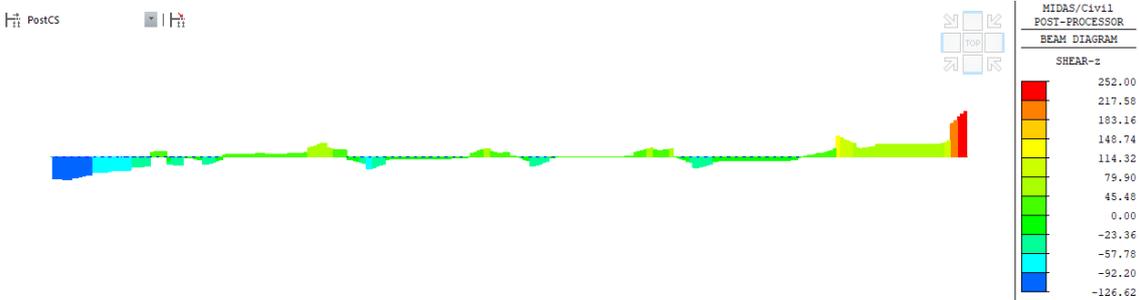


Figura 97 – E3 – Taglio Vz

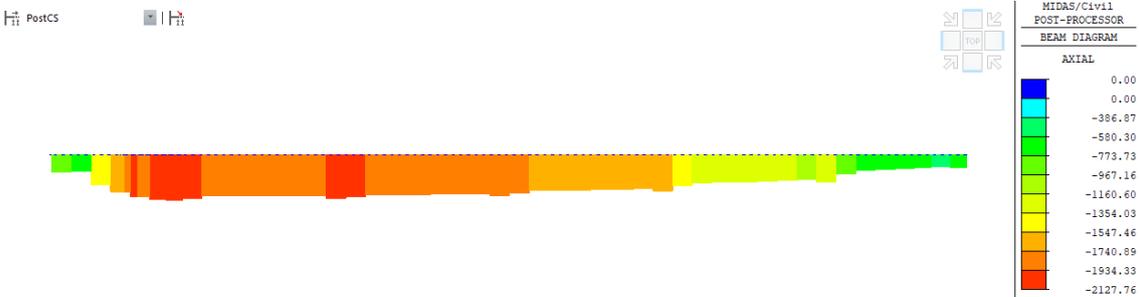


Figura 98 – E3 – Sforzo normale Fx

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 136 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Azioni variabili da traffico Q1

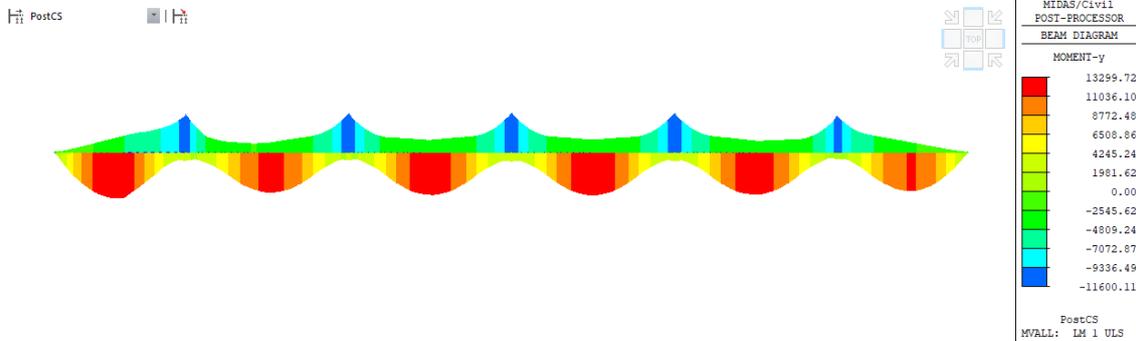


Figura 99 – Involuppo delle condizioni di carico da traffico – Momento flettente M_y

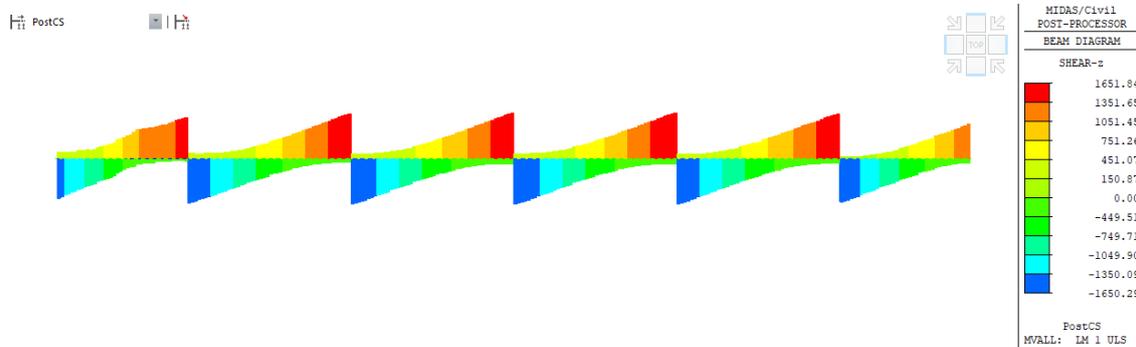


Figura 100 – Involuppo delle condizioni di carico da traffico – Taglio V_z

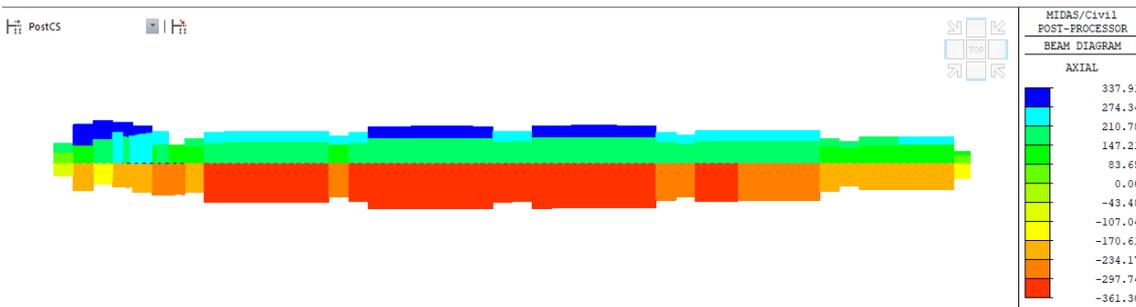


Figura 101 – Involuppo delle condizioni di carico da traffico – Sforzo normale F_x

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 137 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	----------------------------

Azioni di frenamento e avviamento Q3

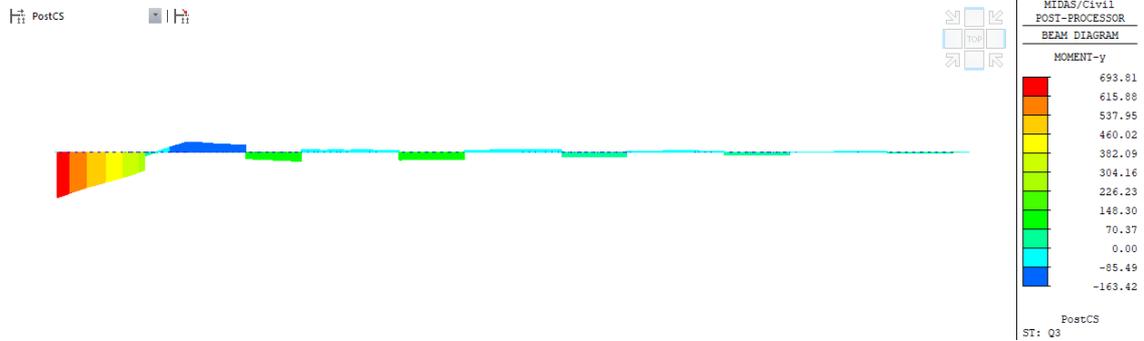


Figura 102 – Q3 – Momento flettente My

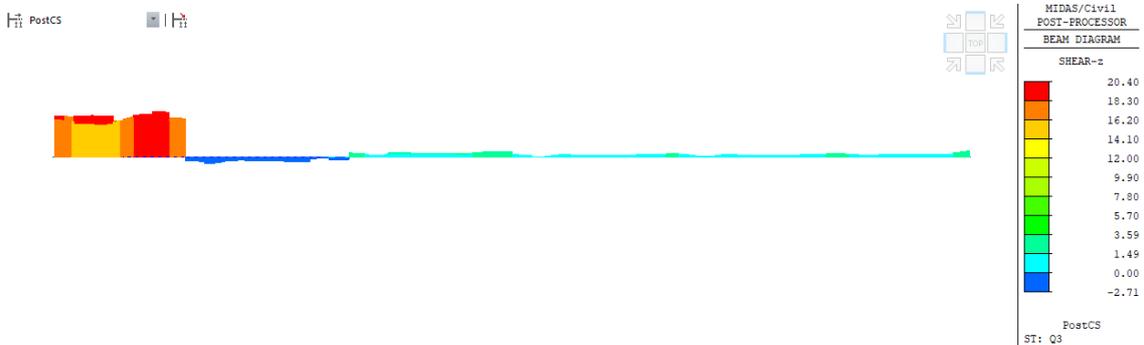


Figura 103 – Q3 – Taglio Vz

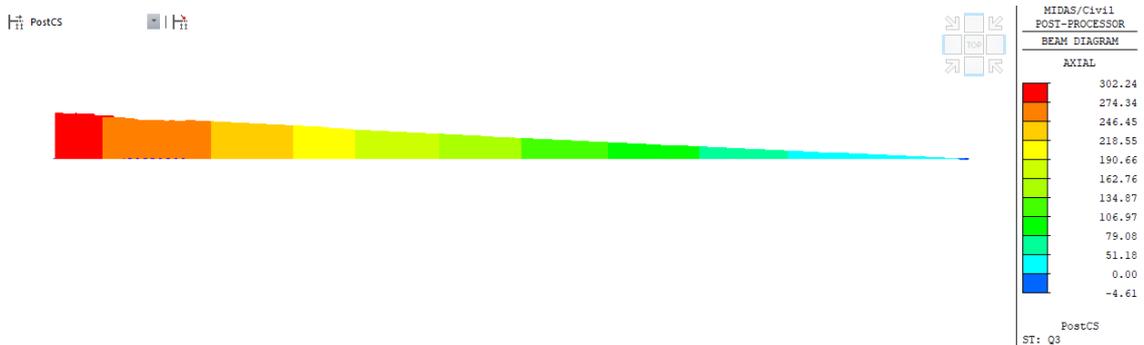


Figura 104 – Q3 – Sforzo normale Fx

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 138 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Azioni centrifuga Q4

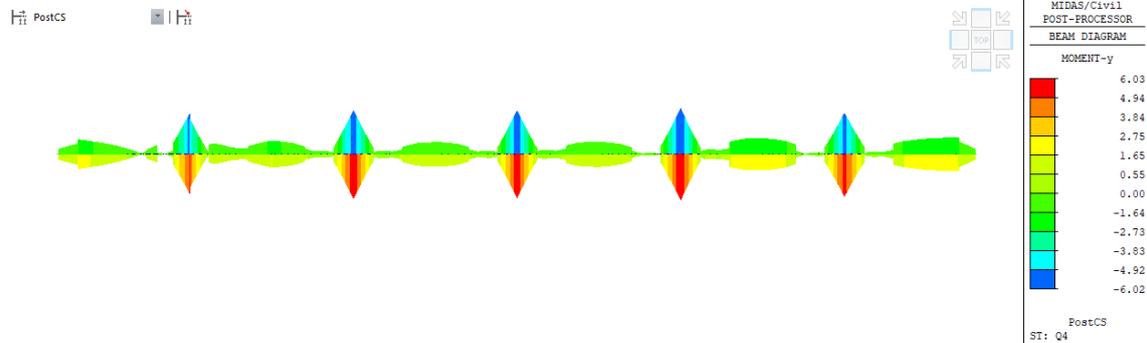


Figura 105 – Q4 – Momento flettente My

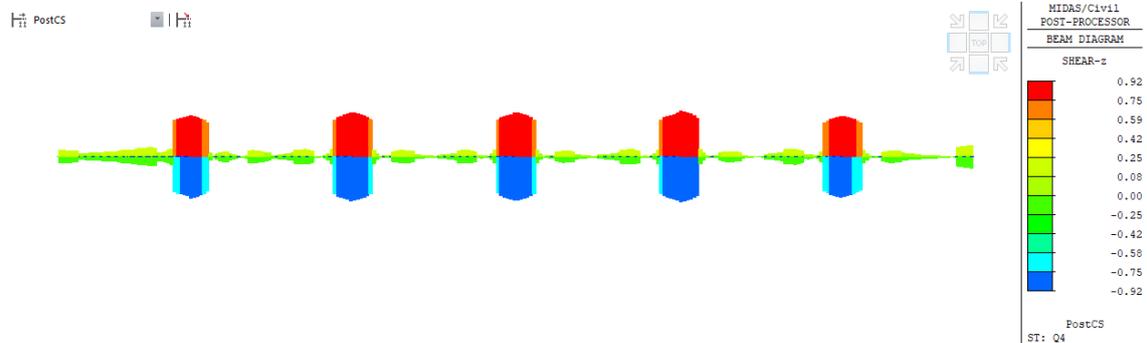


Figura 106 – Q4 – Taglio Vz

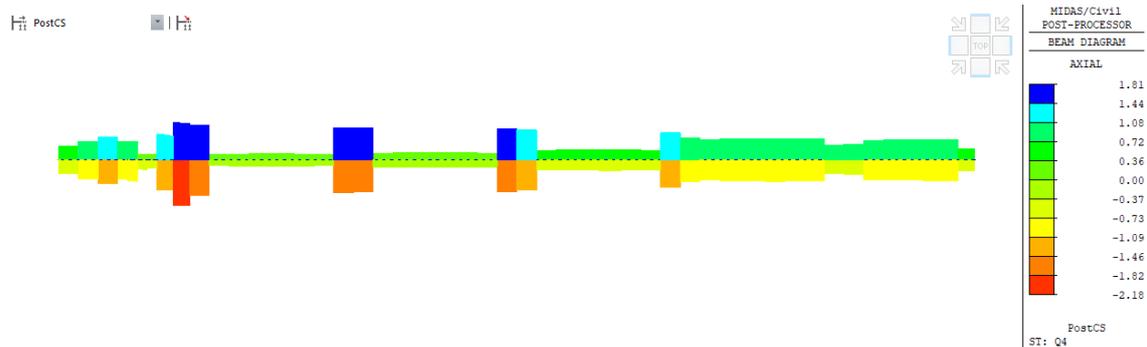


Figura 107 – Q4 – Sforzo normale Fx

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 POTENZA

Relazione di calcolo impalcato

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 12	WBS V15500	Id.doc REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 139 di 139
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	----------------------------

Azioni del vento Q5

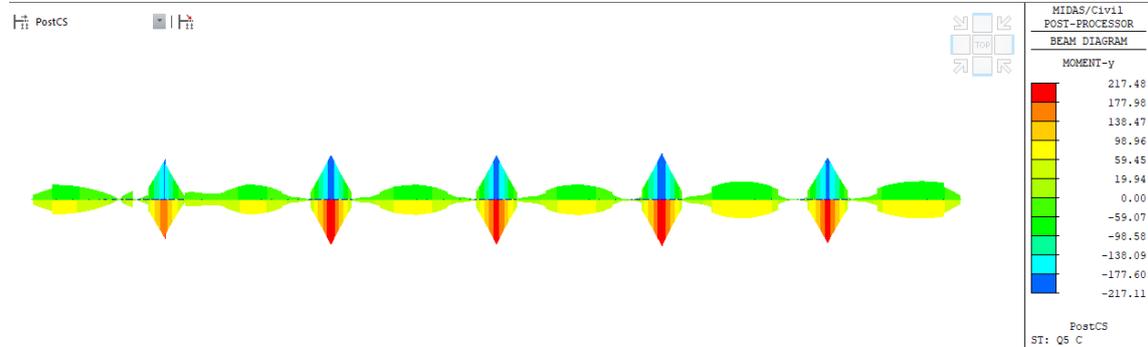


Figura 108 – Q5 – Momento flettente My

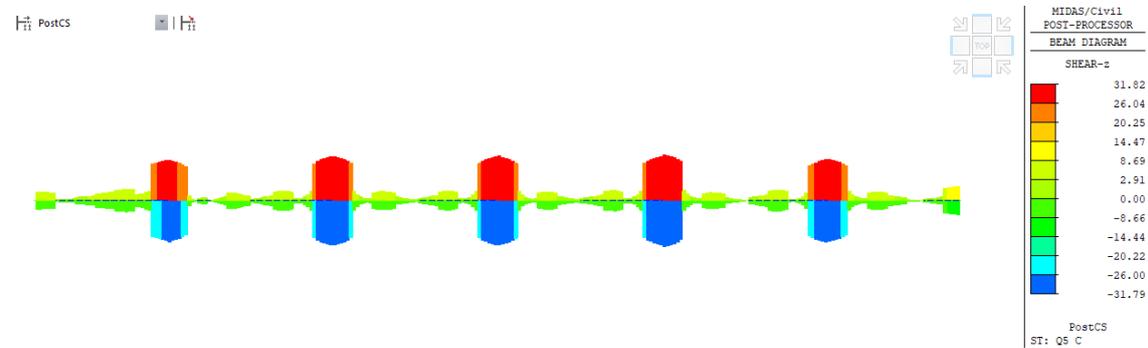


Figura 109 – Q5 – Taglio Vz

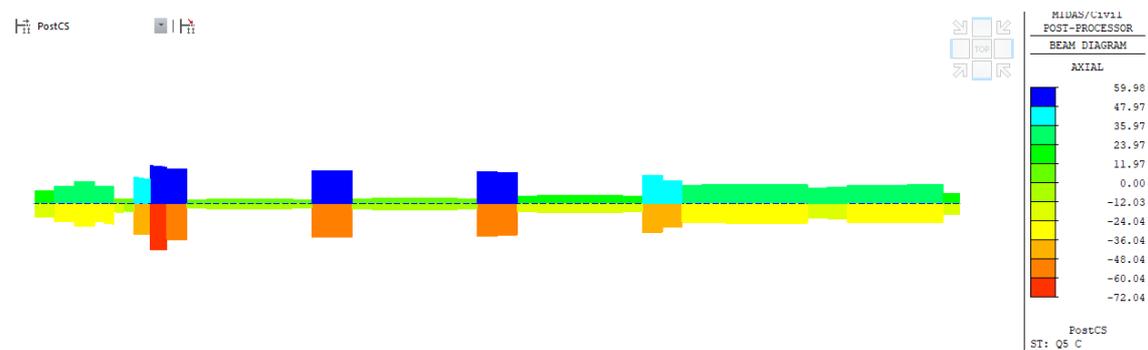


Figura 110 – Q5 – Sforzo normale Fx