

## 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.

### PERIZIA DI VARIANTE

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p>  <p><b>DIRPA 2</b> s.c.a.r.l.</p>	<p>Il Responsabile del Contraente Generale:</p>
--	---

<p>PROGETTAZIONE:</p> <p><b>Partecipazioni Italia S.p.A.</b></p> <p>IL PROGETTISTA: Dott. Ing. Salvatore Lieto Ordine degli Ingegneri Prov. di Mantova n.1147</p> <p>IL GEOLOGO: Geol. Amedeo Babbini Ordine dei Geologi Regione Toscana n.1032</p>	<p>ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE:</p>  <p><b>TECNOSTRUTTURE S.r.l.</b> SEDE LEGALE: Piazza Regina Margherita n.27 - 00198 ROMA SEDE OPERATIVA: Via delle Querciole n. 13 - 00037 Segni (RM)</p> <p>IL PROGETTISTA: Dott. Ing. Antonio Tosiani</p>
---	---

<p>VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:</p> <p>Ing. Iginio Farotti</p>	
---	--

<p><b>2.1.3 - PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b></p> <p>3° Stralcio funzionale - Castelraimondo Nord - Castelraimondo Sud 4° Stralcio funzionale - Castelraimondo Sud - Innesto SS77 a Muccia <b>OPERE D'ARTE MINORI: CAVALCAVIA</b> Cavalcavia Seano - Km 2+888 <i>Relazione tecnica e di calcolo impalcato</i></p>	<p>SCALA: -</p> <p>DATA: <b>Gennaio 2022</b></p>
--	--

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (assegnato CIPE 20.04.2015)

CODICE ELABORATO:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	n° progr	Rev.
	L O 7 0 3	2 1 3	E	1 6	O M 0 0 0 8	R E L	0 1	C

Rev.	Data	Descrizione	Redatto		Controllato	Approvato
A	Marzo 2020	Emissione PE	PROGIN	A. Della Rocca	S. Lieto	A. Grimaldi
B	Ott. 2020	Emissione a seguito validazione RINA	PROGIN	A. Ricci	S. Lieto	A. Grimaldi
C	Genn. 2022	Emissione Perizia di Variante	Tecnostrutture	Tecnostrutture	A. Tosiani	S. Lieto

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 1 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

**INDICE**

<b>INDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
1.1 OGGETTO .....	3
1.2 DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	5
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>6</b>
2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI .....	6
<b>3. MATERIALI</b> .....	<b>7</b>
3.1 CALCESTRUZZO .....	7
3.2 ACCIAIO PER ARMATURE .....	7
3.3 ACCIAIO ARMONICO PER TREFOLI DI PRECOMPRESSIONE .....	8
3.4 COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA .....	8
<b>4. ANALISI DEI CARICHI IMPALCATO</b> .....	<b>9</b>
4.1 CARICHI AGENTI .....	9
4.1.1 Carichi permanenti (g <sub>1</sub> ) .....	9
4.1.2 Carichi permanenti portati (g <sub>2</sub> ) .....	9
4.1.3 Ritiro (e <sub>2</sub> ), variazione termiche (e <sub>3</sub> ), viscosità (e <sub>4</sub> ) .....	10
4.1.4 Carichi mobili (Q <sub>k</sub> ) .....	16
4.1.5 Azioni di frenatura (q <sub>3</sub> ) .....	20
4.1.6 Azioni del vento (q <sub>5</sub> ) .....	21
4.1.7 Azione sismica (q <sub>6</sub> ) .....	23
4.1.8 Azioni parassite per attrito degli apparecchi d'appoggio (q <sub>7</sub> ) .....	26
4.1.9 Urto sulle barriere di sicurezza posti sui cordoli (q <sub>8</sub> ) .....	26
4.2 COMBINAZIONI .....	27
4.2.1 Verifiche agli stati limite ultimi .....	27
4.2.2 Verifiche agli stati limite di esercizio .....	27
4.2.3 Verifiche a fessurazione .....	28
<b>5. MODELLO DI CALCOLO IMPALCATO</b> .....	<b>29</b>
5.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	29
5.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO AGLI E.F. ....	29
5.2.1 Codici di calcolo .....	36
5.3 FASI ESECUTIVE IMPALCATO .....	37
5.4 RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI PRODOTTE DALLE CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI .....	39
5.5 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI .....	40
5.6 DIAGRAMMI DELLE DEFORMAZIONI .....	41
5.7 ANALISI DELLA PRECOMPRESSIONE .....	42
5.7.1 Descrizione .....	42
5.7.2 Perdite immediate nella precompressione con armature pre-tese .....	44
5.7.3 Perdite per ritiro, viscosità e rilassamento .....	44
5.7.4 Verifiche del calcestruzzo per presso flessione .....	46
5.8 RIEPILOGO DELLE VERIFICHE .....	57

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	2 di 100

5.8.1	Verifica delle tensioni - SLE.....	57
5.8.2	Verifica a fessurazione –FR.....	58
5.8.3	Verifica a fessurazione –QP.....	60
5.8.4	Verifiche a rottura dell'impalcato -SLU.....	62
5.8.5	Verifica a taglio.....	68
5.8.6	Verifica dell'armatura lenta longitudinale.....	75
5.8.7	Verifica dell'armatura in corrispondenza degli appoggi.....	76
5.8.8	Verifica a scorrimento tra trave e soletta.....	77
5.8.9	Verifica all'azione combinata taglio longitudinale trave-flessione trasversale soletta.....	78
5.9	VERIFICHE A FATICA.....	80
5.10	CALCOLO E VERIFICA DELLE SOLETTA.....	83
5.10.1	Fase I – calcolo e verifica delle predalles in fase di getto.....	84
5.10.2	Fase II – calcolo e verifica della soletta in fase di esercizio.....	86
5.11	TRAVERSI DI TESTATA.....	92
5.11.1	Calcolo del traverso.....	92
5.11.2	Verifiche agli stati limite.....	94
6.	VERIFICHE DEI CORDOLI IMPALCATO PER AZIONI D'URTO.....	96
7.	APPOGGI E GIUNTI.....	98
8.	SCARICHI APPOGGI.....	100

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	3 di 100

## 1. PREMESSA

### 1.1 OGGETTO

Il presente documento rientra nell'ambito della redazione degli Elaborati tecnici di Progetto di Dettaglio della strada Pedemontana Marchigiana, che costituisce l'elemento di completamento tra le due direttrici "S.S.76" Valnerina e "S.S.77" Val di Chienti, relativamente agli stralci funzionali n°3 (Svincolo di Castelraimondo nord – Svincolo di Castelraimondo sud) e n°4 (Svincolo di Castelraimondo sud - innesto con la S.S. 77 a Muccia).

Oggetto della trattazione nel seguito esposta è in particolare il dimensionamento strutturale e dell'impalcato in c.a.p. del Cavalcavio denominato Seano al km 2+888.00 della Pedemontana.

Il cavalcavia in oggetto è realizzato in sistema con travi prefabbricate in cap con schema statico appoggio-appoggio con campata di luce di 23.0 m in asse appoggi spalle.

I carichi agenti sulle strutture sono stati valutati con riferimento al caso di "ponti di prima categoria" secondo la normativa vigente in materia di ponti stradali.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, secondo quanto previsto dal D.M. 14-01-2008

Si riporta uno stralcio piano altimetrico dell'opera (Figura 1.1, 1.2):

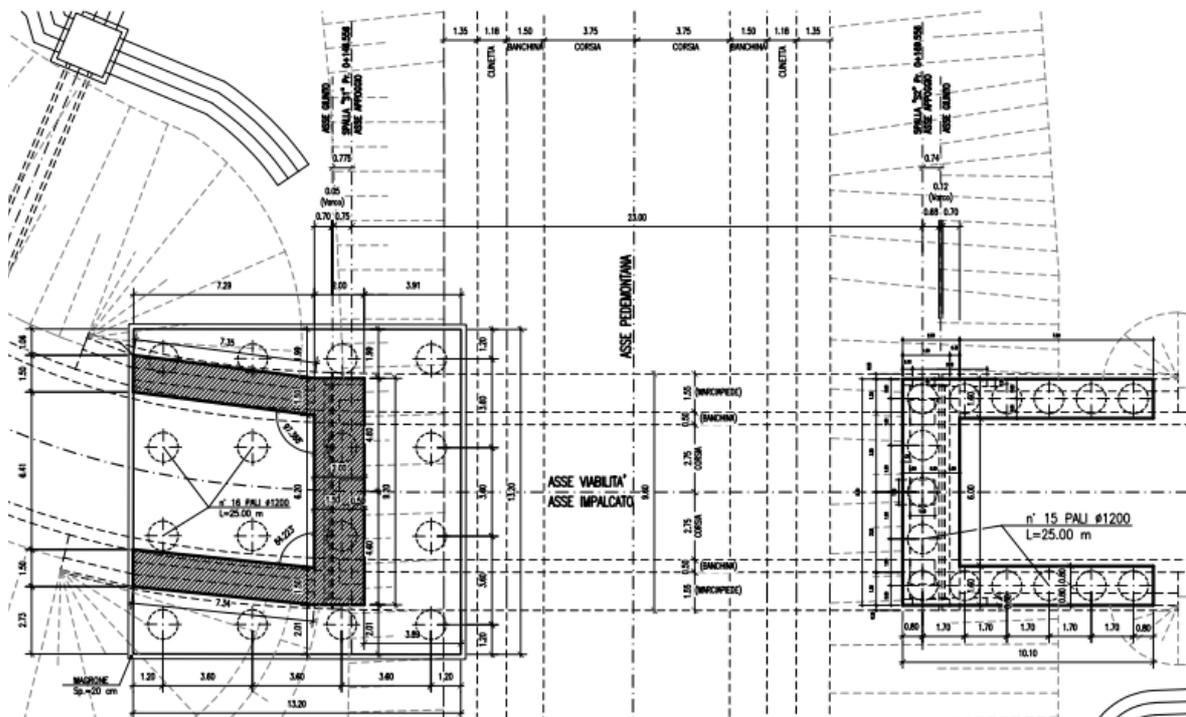


Fig. 1.1 - Planimetria di inquadramento del ponte

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	4 di 100

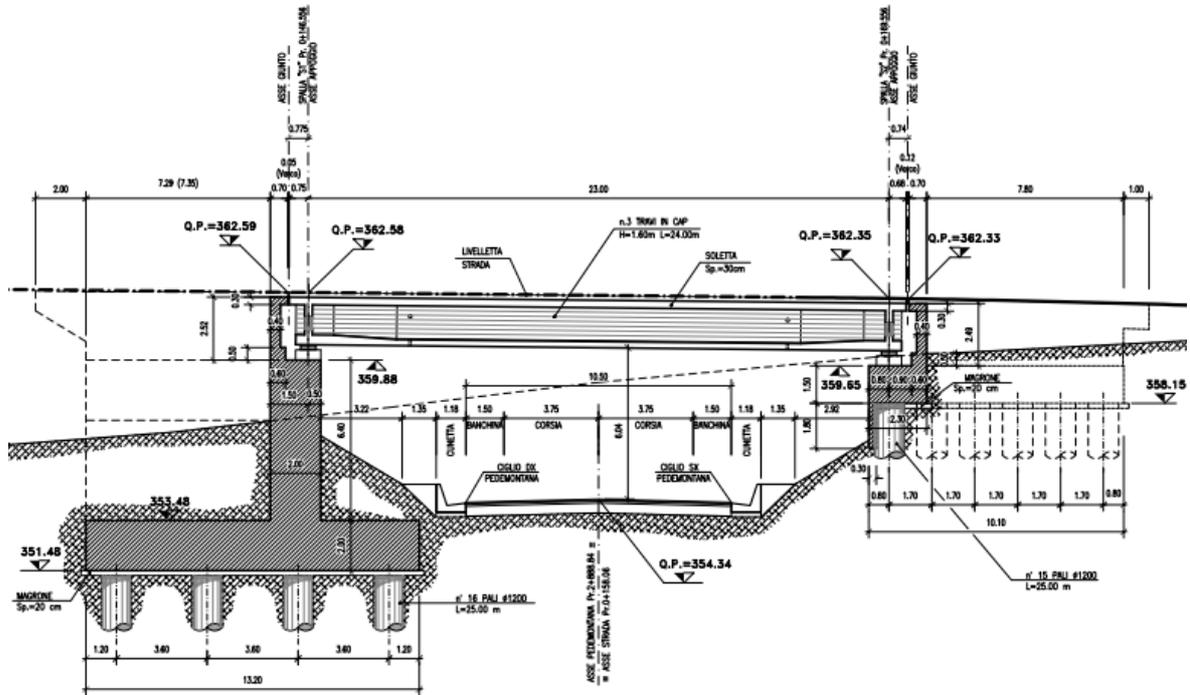


Fig. 1.2 - Profilo longitudinale del ponte

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 5 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

## 1.2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'impalcato, avente dimensione trasversale complessiva di 9.60 m, è costituito da una soletta in calcestruzzo e predalle prefabbricate per uno spessore complessivo di 30 cm. Tale impalcato è sostenuto da tre travi in c.a.p. a cassoncino aventi altezza complessiva pari a 1.60m. Tali travi sono appoggiate alle sottostrutture e sono collegate da trasversi di testata gettati in opera che hanno spessore pari a 30 cm. Gli appoggi delle travi, sulle spalle sono costituiti da appoggi in acciaio teflon: 1 fisso e 2 unidirezionali trasversali sulla spalla "S1"; 1 unidirezionale longitudinale e 2 multidirezionali sulla spalla "S2".

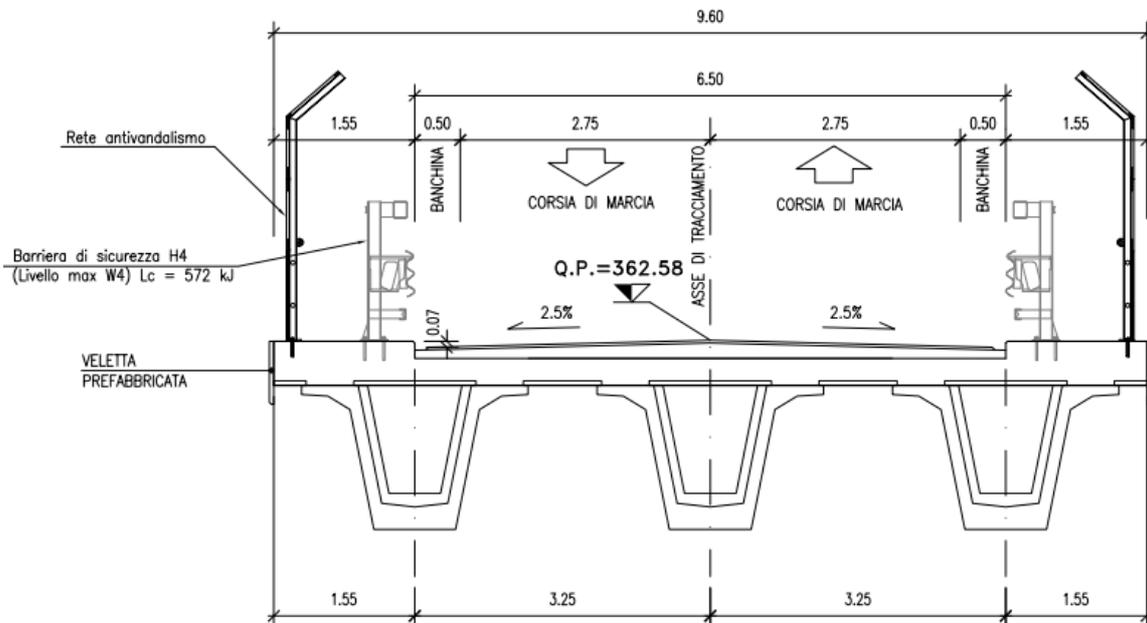


Fig. 1.3 - Sezione trasversale dell'impalcato in campata

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 6 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

**2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO****2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI**

La redazione della presente relazione è stata condotta nel rispetto della normativa in vigore, in particolare:

- D. Min. Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- CNR 10011/97, “Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione”;
- CNR 10016/2000, “Strutture composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni”;
- CNR 10018/1999, “Apparecchi d'appoggio per le costruzioni – Istruzioni per l'impiego”;
- CNR 10030/93, “Anime irrigidite di travi a parete piena”;
- UNI EN 1991-1-5:2004 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche”;
- UNI EN 1992-1-1:2005, “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - parte 1 - Regole generali e regole per edifici”;
- UNI EN 1993-1-1:2005, “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1993-1-5:2007, “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra”;
- UNI EN 1994-2:2006, “Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti”;
- UNI EN 1998-2:2006, “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti”;
- Model Code 1990, CEB-FIP.
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce”, Maggio 1993.

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	7 di 100

### 3. MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZO

##### Calcestruzzo travi in c.a.p.

$R_{ck}$	55	[MPa]	Resistenza a compres. caratteristica cubica
$f_{ck} = 0.83R_{ck}$	45	[MPa]	Resistenza a compres. caratteristica cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	53	[MPa]	Resistenza a compres. media cilindrica
$f_{ctm} = 0.30(f_{ck})^{2/3}$ (per $R_{ck} < 60\text{MPa}$ ) 3.8		[MPa]	Resistenza a trazione media
$f_{ctm} = 1.2f_{ctm}$	4.55	[MPa]	Resistenza a trazione per flessione media
$f_{ctk} = 0.7f_{ctm}$	3.19	[MPa]	Resistenza a trazione caratteristica per flessione
$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3}$	36283	[MPa]	Modulo elastico istantaneo
$R_{ckj}$	40	[MPa]	Resistenza del cls al taglio del trefolo

##### Valori di calcolo

$f_{cd} = 0.85f_{ck}/1.5$	25.5	[MPa]	Resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd} = f_{ctk}/1.5$	2.11	[MPa]	Resistenza di calcolo a trazione

##### Calcestruzzo impalcato (soletta, traversi, predalles, cordoli)

$R_{ck}$	45	[MPa]	Resistenza a compres. caratteristica cubica
$f_{ck} = 0.83R_{ck}$	37	[MPa]	Resistenza a compres. caratteristica cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	45	[MPa]	Resistenza a compres. media cilindrica
$f_{ctm} = 0.30(f_{ck})^{2/3}$ (per $R_{ck} < 60\text{MPa}$ ) 3.4		[MPa]	Resistenza a trazione media
$f_{ctm} = 1.2f_{ctm}$	4.0	[MPa]	Resistenza a trazione per flessione media
$f_{ctk} = 0.7f_{ctm}$	2.8	[MPa]	Resistenza a trazione caratteristica per flessione
$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3}$	34625	[MPa]	Modulo elastico istantaneo

##### Valori di calcolo

$f_{cd} = 0.85f_{ck}/1.5$	21.2	[MPa]	Resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd} = f_{ctk}/1.5$	1.9	[MPa]	Resistenza di calcolo a trazione

#### 3.2 ACCIAIO PER ARMATURE

##### Barre in acciaio ad aderenza migliorata tipo B450C controllate in stabilimento

$f_{tk}$	$\geq 540$	[MPa]	Tensione caratteristica di rottura
$f_{yk}$	$\geq 450$	[MPa]	Tensione caratteristica di snervamento

##### Valori di calcolo

$f_{yd} = f_{yk}/1.15$	391	[MPa]	Resistenza di calcolo
------------------------	-----	-------	-----------------------

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 8 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

### 3.3 ACCIAIO ARMONICO PER TREFOLI DI PRECOMPRESSIONE

Per le armature di precompressione delle travi prefabbricate si adottano trefoli da 0.6"tondini in acciaio con  $f_t = 1860$  Mpa , che presentano le seguenti caratteristiche:

Limite di snervamento $f_y$ all'1%	1670 MPa
Limite di rottura $f_t$	1860 MPa
Allungamento totale al carico massimo $\Delta$	3.5%

Tensione dell'acciaio nel martinetto 1425 MPa

### 3.4 COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

Relativamente ai coefficienti parziali dei materiali si fa riferimento, nell'ambito delle rispettive verifiche, a quanto contenuto in tabella.

#### Calcestruzzo

$\alpha_{cc}$	0.85 carichi di lunga durata (quando rilevante)
$\gamma_c$	1.50 S.L.U.

riferimenti:

NTC 08 cap. 4.1.2.1.1.1  
 NTC 08 cap. 4.3.3  
 EN 1992-1-1 2.4.2.4

#### Acciaio in barre

$\gamma_s$	1.15 S.L.U.
------------	-------------

riferimenti:

NTC 08 cap. 4.1.2.1.1.3  
 NTC 08 cap. 4.3.3

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 9 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	------------------------

## 4. ANALISI DEI CARICHI IMPALCATO

### 4.1 CARICHI AGENTI

#### 4.1.1 Carichi permanenti (g1)

Peso proprio trave Appoggio:  $25\text{kN/m}^3 \cdot 1.1235\text{m}^2 =$  28.09 kN/m

Peso proprio trave Campata:  $25\text{kN/m}^3 \cdot 0.782\text{m}^2 =$  19.55 kN/m

Peso trasverso di appoggio:  $25\text{kN/m}^3 \cdot 0.3\text{m} \cdot 1.30\text{m} =$  9.75 kN/m

Peso della soletta sulla singola trave:  $25\text{kN/m}^3 \cdot 0.3\text{m} \cdot 9.6\text{m}/3 =$  24.00 kN/m

#### 4.1.2 Carichi permanenti portati (g2)

Per i carichi permanenti su ciascuna trave si considera:

Pavimentazione:  $4.00\text{kN/m}^2 \cdot 6.5\text{m}/3 =$  8.67 kN/m

Peso dei cordoli:  $2 \cdot 25\text{kN/m}^3 \cdot 0.20\text{m} \cdot 1.55\text{m}/3 =$  5.17 kN/m

Peso delle velette prefabbricate laterali  $2 \cdot 25 \cdot 0.7 \cdot 0.05/3 =$  0.60 kN/m

Guard rail:  $2 \cdot 1.5\text{kN/m}/3 =$  1.00 kN/m

Rette di protezione:  $2 \cdot 1.5\text{kN/m}/3 =$  1.00 kN/m

**Carichi agenti sulla singola trave** **17.44 kN/m**

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 10 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

#### 4.1.3 Ritiro ( $\epsilon_2$ ), variazione termiche ( $\epsilon_3$ ), viscosità ( $\epsilon_4$ )

##### - Ritiro ( $\epsilon_2$ )

La deformazione da ritiro  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  è calcolata secondo quanto prescritto nell'Appendice B della norma UNI EN 1992-1-1:2005:

$$\epsilon_{cs}(t, t_s) = \epsilon_{ca}(t) + \epsilon_{cd}(t, t_s)$$

dove:

- $\epsilon_{ca}(t)$  è la deformazione del calcestruzzo per ritiro autogeno al tempo  $t$ ;
- $\epsilon_{cd}(t, t_s)$  è la deformazione di base dovuta a ritiro per essiccamento.

Si valuta il ritiro sia sulla trave che sulla soletta:

##### RITIRO TRAVE

Calcolo della deformazione da ritiro al tempo  $t$  (secondo EC-2 - Parte 1.1+Appendice B)

$f_{ck}=0.83 \cdot R_{ck}$	45 [Mpa]	Resistenza a compressione cilindrica
$f_{cm}=f_{ck}+8$	53 [Mpa]	Resistenza a compressione media
$E_{cm}=22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.5}$	36283 [Mpa]	Modulo elastico cls
$A_c$	0.782 [m <sup>2</sup> ]	Area elemento
$u$	4.96 [m]	Perimetro elemento a contatto con atmosfera
$h_0=2 \cdot A_c/u$	315 [mm]	dimensione fittizia elemento
$t$	10000 gg	Età del calcestruzzo al momento considerato 30 anni
$t_s$	1 gg	Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento 1g
RH	75 %	Umidità ambientale
C	3	Classe del cemento (S=1; N=2; R=3)

##### Deformazione da ritiro autogeno

$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \epsilon_{ca}(\infty)$	0.0000875
Dove:	
$\epsilon_{ca}(\infty) = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$	0.0000875
$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5})$	1

##### Deformazione da ritiro per essiccamento

$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0}$	0.0002818	
$k_h$	0.77	Coefficiente dipendente dalla dimensione fittizia (vedi prospetto 3.3 EC-2)
$\beta_{ds}(t, t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0.04 \cdot \sqrt{h_0^3}]$	0.978	
$f_{cm0}$	10 [Mpa]	
$\epsilon_{cd,0} = 0.85 \cdot [(220 + 110 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm}(f_{cm0})) \cdot 10^{-6}] \cdot \beta_{RH}$	0.000374	
$\beta_{RH} = 1.55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3]$	0.8960938	
$\alpha_{ds1}$	6	Dipendente dal tipo di cemento 3, 4 e 6 per cemento ad indurimento lento, normale o rapido e rapido ad alta resistenza
$\alpha_{ds2}$	0.11	Dipendente dal tipo di cemento 0.13, 0.12 e 0.11 per cemento ad indurimento lento, normale o rapido e rapido ad alta resistenza
RH <sub>0</sub>	100	

##### Deformazione totale da ritiro

$\epsilon_{cs}(t) = \epsilon_{ca}(t) + \epsilon_{cd}(t)$	0.0003693
--	-----------

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 11 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

### RITIRO SOLETTA

Calcolo della deformazione da ritiro al tempo t (secondo EC-2 - Parte 1.1+Appendice B)

$f_{ck}=0.83 \cdot R_{ck}$	37.35 [Mpa]	Resistenza a compressione cilindrica
$f_{cm}=f_{ck}+8$	45.35 [Mpa]	Resistenza a compressione media
$E_{cm}=22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3}$	34625 [Mpa]	Modulo elastico cls
$A_c$	3.73 [m <sup>2</sup> ]	Area elemento
$u$	5.1 [m]	Perimetro elemento a contatto con atmosfera
$h_0=2 \cdot A_c/u$	1463 [mm]	dimensione fittizia elemento
$t$	10000 gg	Età del calcestruzzo al momento considerato 30 anni
$t_s$	1 gg	Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento 1g
RH	75 %	Umidità ambientale
C	3	Classe del cemento (S=1; N=2; R=3)

### Deformazione da ritiro autogeno

$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \epsilon_{ca}(\infty)$	0.0000684
Dove:	
$\epsilon_{ca}(\infty) = 2.5 \cdot (f_{ck}-10) \cdot 10^{-6}$	6.838E-05
$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5})$	1

### Deformazione da ritiro per essiccamento

$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0}$	0.0002328	
$k_h$	0.7	Coefficiente dipendente dalla dimensione fittizia
$\beta_{ds}(t, t_s) = (t-t_s) / [(t-t_s) + 0.04 \cdot \sqrt{h_0^3}]$	0.817	
$f_{cm0}$	10 [Mpa]	
$\epsilon_{cd,0} = 0.85 \cdot [(220 + 110 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm}(f_{cm0}))] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$	0.000407	
$\beta_{RH} = 1.55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3]$	0.8960938	
$\alpha_{ds1}$	6	Dipendente dal tipo di cemento 3, 4 e 6 per cemento ad iindurimento lento, normale o rapido e rapido ad alta resistenza
$\alpha_{ds2}$	0.11	Dipendente dal tipo di cemento 0.13, 0.12 e 0.11 per cemento ad iindurimento lento, normale o rapido e rapido ad alta resistenza
$RH_0$	100	

### Deformazione totale da ritiro

$\epsilon_{cs}(t) = \epsilon_{ca}(t) + \epsilon_{cd}(t)$	0.0003012
--	-----------

### - Ritiro differenziale soletta trave

Quando si esegue il getto della soletta la trave in c.a.p. ha già subito una parte del ritiro, circa il 30% vedi calcolo del ritiro trave a 28 gg, mentre la soletta deve ancora subirlo per intero. Nasce così uno stato di coazione per effetto del ritiro differenziale tra trave e 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	12 di 100

### RITIRO TRAVE a 28 gg

Calcolo della deformazione da ritiro al tempo t (secondo EC-2 - Parte 1.1+Appendice B)

$f_{ck}=0.83 \cdot R_{ck}$	45 [Mpa]	Resistenza a compressione cilindrica
$f_{cm}=f_{ck}+8$	53 [Mpa]	Resistenza a compressione media
$E_{cm}=22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3}$	36283 [Mpa]	Modulo elastico cls
$A_c$	0.782 [m <sup>2</sup> ]	Area elemento
$u$	4.96 [m]	Perimetro elemento a contatto con atmosfera
$h_0=2 \cdot A_c/u$	315 [mm]	dimensione fittizia elemento
$t$	28 gg	Età del calcestruzzo al momento considerato 30 anni
$t_s$	1 gg	Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento 1g
$RH$	75 %	Umidità ambientale
$C$	3	Classe del cemento (S=1; N=2; R=3)

### Deformazione da ritiro autogeno

$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \epsilon_{ca}(\infty)$	0.0000571
Dove:	
$\epsilon_{ca}(\infty) = 2.5 \cdot (f_{ck}-10) \cdot 10^{-6}$	0.0000875
$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5})$	0.6529549

### Deformazione da ritiro per essiccamento

$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0}$	3.099E-05	
$k_h$	0.77	Coefficiente dipendente dalla dimensione fittizia
$\beta_{ds}(t, t_s) = (t-t_s)/[(t-t_s)+0.04 \cdot \sqrt{h_0^3}]$	0.108	
$f_{cm0}$	10 [Mpa]	
$\epsilon_{cd,0} = 0.85 \cdot [(220+110 \cdot \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm}(f_{cm0})) 10^{-6} \cdot \beta_{RH}]$	0.000374	
$\beta_{RH} = 1.55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3]$	0.8960938	
$\alpha_{ds1}$	6	Dipendente dal tipo di cemento 3, 4 e 6 per cemento ad indurimento lento, normale o rapido e rapido ad alta resistenza
$\alpha_{ds2}$	0.11	Dipendente dal tipo di cemento 0.13, 0.12 e 0.11 per cemento ad indurimento lento, normale o rapido e rapido ad alta resistenza
$RH_0$	100	

### Deformazione totale da ritiro

$\epsilon_{cs}(t) = \epsilon_{ca}(t) + \epsilon_{cd}(t)$	0.0000881
--	-----------

$$\epsilon_{r,diff} = \epsilon_{r,soletta} - \epsilon_{r,trave \text{ a } 28gg} = 0.0002131$$

In cui:

$\epsilon_{r,soletta} = 0.0003012$	-deformazione dovuta al ritiro della soletta
$\epsilon_{r,trave} = 0.0000881$	-deformazione dovuta al ritiro della trave a 28 gg

Ponendo:

$e = 97 \text{ cm}$	-distanza tra i baricentri di trave e soletta
$k = 0.027$	$-E_{soletta} \cdot J_{soletta} / E_{trave} \cdot J_{trave}$

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{A_{sol} \times E_{sol}} + \frac{1}{A_{trave} \times E_{trave}} + \frac{e^2}{(1+k) \times J_{trave} \times E_{trave}} = 1.65 \times 10^{-7} \text{ 1/daN}$$

Si ha:

forza di compressione sulla trave e di trazione sulla soletta:

$$N_{r,diff} = a \times \epsilon_{r,diff} = 129150 \text{ daN}$$

Momento flettente agente sulla trave prefabbricata:

$$M_{trave,r,diff} = N_{r,diff} \times e / (1+k) = 12190573 \text{ daNcm}$$

Momento flettente agente sulla soletta:

$$M_{soletta,r,diff} = N_{r,diff} \times e \times k / (1+k) = 336873 \text{ daNcm}$$

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 13 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

**- Variazioni termiche (ε3)**

Sono state considerate variazioni di temperatura pari a:

Variazione termica uniforme di  $\pm 25$  °CDifferenziale tra la trave d'acciaio e la soletta di  $\pm 5$  °C.**- Viscosità (ε4)**

Gli effetti della viscosità sulla soletta sono valutati mediante l'adozione di un modulo elastico del calcestruzzo corretto.

$$E^*_c = \frac{E_c}{1 + \varphi(t)}$$

dove:

- $E^*_c$  è il valore medio del modulo elastico del calcestruzzo;
- $\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t - t_0)$  è il coefficiente di viscosità definito nell'Appendice B della norma UNI EN 1992-1-1:2005;
- $t_0$  è l'età del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione del carico (per i carichi permanenti è assunto  $t_0 = 28$  gg e per azioni lente da effetti primari e secondari da ritiro  $t_0 = 1$  g);
- $t$  è l'età del calcestruzzo in giorni all'istante considerato;
- $\varphi_0$  e  $\beta_c(t - t_0)$  sono coefficienti funzioni della resistenza media a compressione del calcestruzzo  $f_{cm}$ , dell'umidità relativa ambientale RH e della dimensione convenzionale della sezione  $h_0 = 2A_c / u$  ( $A_c$  è l'area della sezione trasversale di calcestruzzo ed  $u$  è il perimetro esposto ad essiccamento).

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 14 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

### VISCOSITA' TRAVE

Calcolo del coefficiente di viscosità al tempo t (secondo EC-2 - Parte 1.1+Appendice B)

(Azioni lente da carichi permanenti)

$\phi(t, t_0) = \phi_0 * \beta_c(t, t_0)$	<b>1.09</b>	
$\phi_0 = \phi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0)$	1.09	coefficiente
$\phi_{RH} = 1 + 1(1 - RH/100) / (0.1 * \sqrt[3]{h_0})$ per $f_{cm} \leq 35$ MPa	0.00	coefficiente
$\phi_{RH} = [1 + 1(1 - RH/100) / (0.1 * \sqrt[3]{h_0}) * \alpha_1] * \alpha_2$ per $f_{cm} > 35$ MPa	0.97	coefficiente
$f_{ck} = 0.83 * f_{ck}$	<b>45</b> [Mpa]	Resistenza a compressione cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	<b>53</b> [Mpa]	Resistenza a compressione media
$\beta(f_{cm}) = 16.8 / \sqrt[3]{f_{cm}}$	2.31	coefficiente
$\beta(t_0) = 1 / (0.1 + t_0^{0.20})$	0.49	coefficiente
Ac	<b>0.782</b> [m <sup>2</sup> ]	Area elemento
u	<b>4.96</b> [m]	Perimetro elemento a contatto con atmosfera
$h_0 = 2 * Ac / u$	<b>315</b> [mm]	dimensione fittizia elemento
t	<b>10000</b> gg	Età del calcestruzzo al momento considerato 30 anni
ts	<b>28</b> gg	Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento 1g
RH	<b>75</b> %	Umidità ambientale
C	<b>3</b>	Classe del cemento (S=1; N=2; R=3)
$\beta(t, t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + (t - t_0))]^{0.3}$	1.00	
t	<b>10000</b> gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento considerato
t <sub>0</sub>	<b>28</b> gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento dell'applicazione del carico
(t - t <sub>0</sub> )	<b>9972</b> gg	è la durata del carico in giorni
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500$ per $f_{cm} \leq 35$	0.00	coefficiente
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 * \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3$ per $f_{cm} > 35$	764	coefficiente
$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0.7}$	0.747919	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0.2}$	0.950979	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0.5}$	0.881917	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls

(azioni lente da effetti primari e secondari da ritiro)

$\phi(t, t_0) = \phi_0 * \beta_c(t, t_0)$	<b>2.07</b>	
$\phi_0 = \phi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0)$	2.07	coefficiente
$\phi_{RH} = 1 + 1(1 - RH/100) / (0.1 * \sqrt[3]{h_0})$ per $f_{cm} \leq 35$ MPa	0.00	coefficiente
$\phi_{RH} = [1 + 1(1 - RH/100) / (0.1 * \sqrt[3]{h_0}) * \alpha_1] * \alpha_2$ per $f_{cm} > 35$ MPa	0.99	coefficiente
$f_{ck} = 0.83 * f_{ck}$	<b>45</b> [Mpa]	Resistenza a compressione cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	<b>53</b> [Mpa]	Resistenza a compressione media
$\beta(f_{cm}) = 16.8 / \sqrt[3]{f_{cm}}$	2.31	coefficiente
$\beta(t_0) = 1 / (0.1 + t_0^{0.20})$	0.91	coefficiente
Ac	<b>0.75</b> [m <sup>2</sup> ]	Area elemento
u	<b>9.9</b> [m]	Perimetro elemento a contatto con atmosfera
$h_0 = 2 * Ac / u$	<b>152</b> [mm]	dimensione fittizia elemento
t	<b>10000</b> gg	Età del calcestruzzo al momento considerato 30 anni
ts	<b>28</b> gg	Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento 1g
RH	<b>75</b> %	Umidità ambientale
C	<b>3</b>	Classe del cemento (S=1; N=2; R=3)
$\beta(t, t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + (t - t_0))]^{0.3}$	1.00	
t	<b>10000</b> gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento considerato
t <sub>0</sub>	<b>1</b> gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento dell'applicazione del carico
(t - t <sub>0</sub> )	<b>9999</b> gg	è la durata del carico in giorni
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500$ per $f_{cm} \leq 35$	0.00	coefficiente
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 * \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3$ per $f_{cm} > 35$	482	coefficiente
$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0.7}$	0.747919	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0.2}$	0.950979	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0.5}$	0.881917	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls

Coefficiente di viscosità medio

**1.58**

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	15 di 100

### VISCOSITA' SOLETTA

Calcolo del coefficiente di viscosità al tempo t (secondo EC-2 - Parte 1.1+Appendice B)

(Azioni lente da carichi permanenti)

$\phi(t, t_0) = \phi_0 * \beta_c(t, t_0)$	1.22	
$\phi_0 = \phi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0)$	1.22	coefficiente
$\phi_{RH} = 1 + 1(1 - RH/100) / (0.1^{3\sqrt{h_0}})$ per $f_{cm} \leq 35$ MPa	0.00	coefficiente
$\phi_{RH} = [1 + 1(1 - RH/100) / (0.1^{3\sqrt{h_0}}) * \alpha_1] * \alpha_2$ per $f_{cm} > 35$ MPa	1.00	coefficiente
$f_{ck} = 0.83 * R_{ck}$	37 [Mpa]	Resistenza a compressione cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	45 [Mpa]	Resistenza a compressione media
$\beta(f_{cm}) = 16.8 / \sqrt{f_{cm}}$	2.50	coefficiente
$\beta(t_0) = 1 / (0.1 + t_0^{0.20})$	0.49	coefficiente
Ac	3.728 [m <sup>2</sup> ]	Area elemento
u	8.794 [m]	Perimetro elemento a contatto con atmosfera
$h_0 = 2 * Ac / u$	848 [mm]	dimensione fittizia elemento
t	10000 gg	Età del calcestruzzo al momento considerato 30 anni
ts	28 gg	Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento 1g
RH	75 %	Umidità ambientale
C	3	Classe del cemento (S=1; N=2; R=3)
$\beta(t, t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + (t - t_0))]^{0.3}$	1.00	
t	10000 gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento considerato
t <sub>0</sub>	28 gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento dell'applicazione del carico
(t-t <sub>0</sub> )	9972 gg	è la durata del carico in giorni
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500$ per $f_{cm} \leq 35$	0.00	coefficiente
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 * \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3$ per $f_{cm} > 35$	1459	coefficiente
$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0.7}$	0.838685	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0.2}$	0.988948	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0.5}$	0.972598	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls

(azioni lente da effetti primari e secondari da ritiro)

$\phi(t, t_0) = \phi_0 * \beta_c(t, t_0)$	2.26	
$\phi_0 = \phi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0)$	2.26	coefficiente
$\phi_{RH} = 1 + 1(1 - RH/100) / (0.1^{3\sqrt{h_0}})$ per $f_{cm} \leq 35$ MPa	0.00	coefficiente
$\phi_{RH} = [1 + 1(1 - RH/100) / (0.1^{3\sqrt{h_0}}) * \alpha_1] * \alpha_2$ per $f_{cm} > 35$ MPa	0.99	coefficiente
$f_{ck} = 0.83 * R_{ck}$	37 [Mpa]	Resistenza a compressione cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	45 [Mpa]	Resistenza a compressione media
$\beta(f_{cm}) = 16.8 / \sqrt{f_{cm}}$	2.50	coefficiente
$\beta(t_0) = 1 / (0.1 + t_0^{0.20})$	0.91	coefficiente
Ac	3.73 [m <sup>2</sup> ]	Area elemento
u	5.1 [m]	Perimetro elemento a contatto con atmosfera
$h_0 = 2 * Ac / u$	1463 [mm]	dimensione fittizia elemento
t	10000 gg	Età del calcestruzzo al momento considerato 30 anni
ts	28 gg	Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento 1g
RH	80 %	Umidità ambientale
C	3	Classe del cemento (S=1; N=2; R=3)
$\beta(t, t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + (t - t_0))]^{0.3}$	1.00	
t	10000 gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento considerato
t <sub>0</sub>	1 gg	Età del cls, espresso in giorni, al momento dell'applicazione del carico
(t-t <sub>0</sub> )	9999 gg	è la durata del carico in giorni
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500$ per $f_{cm} \leq 35$	0.00	coefficiente
$\beta_H = 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 * \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3$ per $f_{cm} > 35$	1459	coefficiente
$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0.7}$	0.838685	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0.2}$	0.988948	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls
$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0.5}$	0.972598	Coefficiente dipendente dalla resistenza del cls

Coefficiente di viscosità medio

1.74

Si considera, in favore di sicurezza un valore di coefficiente di viscosità pari a:  $\phi(t, t_0) = 2.50$  superiore ai valori di calcolo sopra riportati.

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 16 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 4.1.4 Carichi mobili ( $Q_k$ )

Si seguono le disposizioni contenute in NTC-08, cap. 5.1.3.3.5, (EN 1991-2. capp.4/5 + N.A.D.), con riferimento a ponti di I categoria.

Nel caso in esame, la carreggiata, di larghezza utile pari a 6.50 m, è in grado di ospitare 2 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.0 m. La parte utile rimanente risulta pari a 0.50 m.

#### 4.1.4.1 Verifiche globali

Ai fini delle verifiche globali dell'impalcato si considera il carico TS e UDL, riferendo le rispettive intensità a quanto riportato in tabella.

Location	Tandem system <i>TS</i>	<i>UDL</i> system
	Axle loads $Q_{1k}$ (kN)	$q_{1k}$ (or $q_k$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Lane Number 1	300	9
Lane Number 2	200	2,5
Lane Number 3	100	2,5
Other lanes	0	2,5
Remaining area ( $q_k$ )	0	2,5

Compatibilmente con la larghezza complessiva della piattaforma carrabile, vengono considerati:

- Una colonna di carico costituita da un solo mezzo  $Q_{1k}$  (600 kN) e da uno o più tratti di carico  $q_{1k}$  (9 kN/mq), disposti ai fini del calcolo delle strutture principali, lungo l'asse della corsia più sfavorevole;
- Una seconda colonna di carico analoga alla precedente ma con intensità dei carichi ridotta ( $Q_{1k}=400$  kN;  $q_{1k}=2.5$  kN/mq);
- Una quarta colonna di carico pari a 2.5 kN/ mq (zona rimanente);

Tali carichi in direzione longitudinale sono considerati viaggianti sull'intero impalcato e in direzione trasversale considerati nelle configurazioni che massimizzano le sollecitazioni di verifica come meglio specificato nel cap. 5.

Di seguito le disposizioni del carico al fine di ottenere le massime sollecitazioni.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

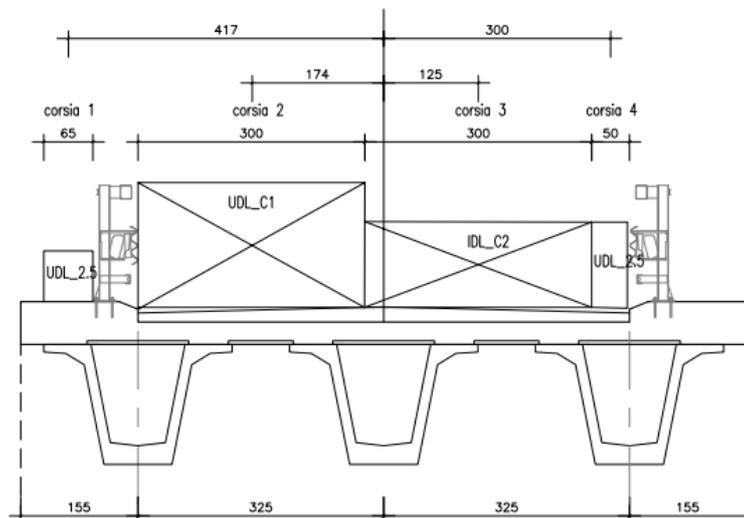
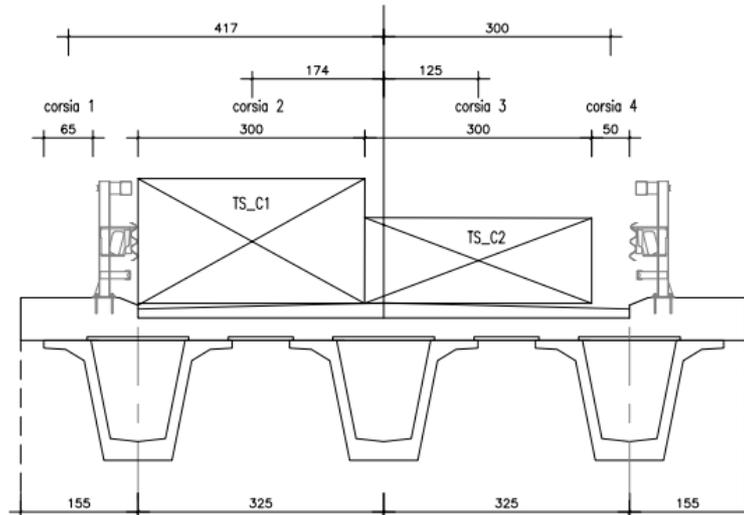
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 17 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

#### Condizioni A/max

In figura si riporta la configurazione schematica della disposizione tipo A/max in corrispondenza della sezione tipo dell'impalcato.



Rispetto all'asse impalcato le corsie presentano la seguente eccentricità:

Corsia 1:	$e = +4.17$ m	- carico su marciapiede
Corsia 2:	$e = +1.74$ m	
Corsia 3:	$e = -1.25$ m	
Corsia 4:	$e = -3.00$ m	- solo carico ripartito su 2.50 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

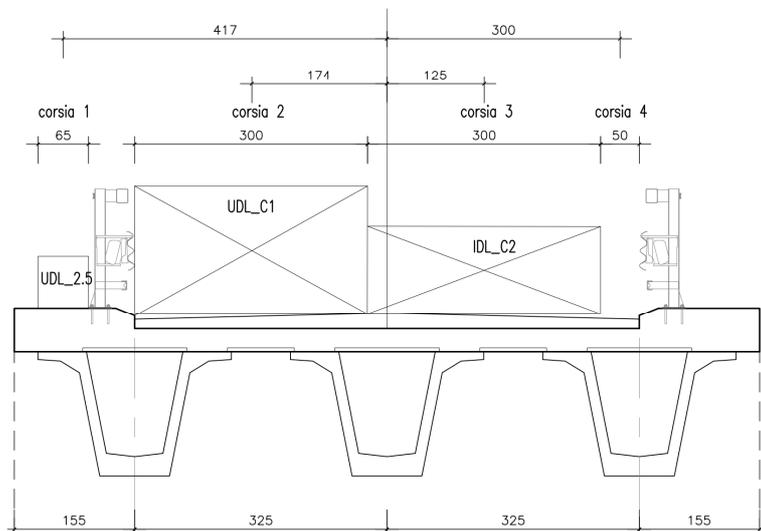
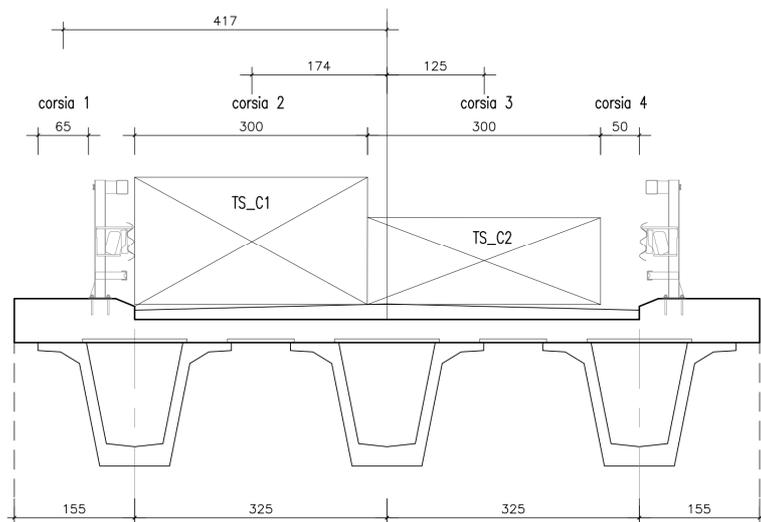
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	18 di 100

#### Condizioni B/max

In figura si riporta la configurazione schematica della disposizione tipo B/max in corrispondenza della sezione tipo dell'impalcato.



Rispetto all'asse impalcato le corsie presentano la seguente eccentricità:

- Corsia 1:  $e = +4.17 \text{ m}$  - carico su marciapiede
- Corsia 2:  $e = +1.74 \text{ m}$
- Corsia 3:  $e = -1.25 \text{ m}$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

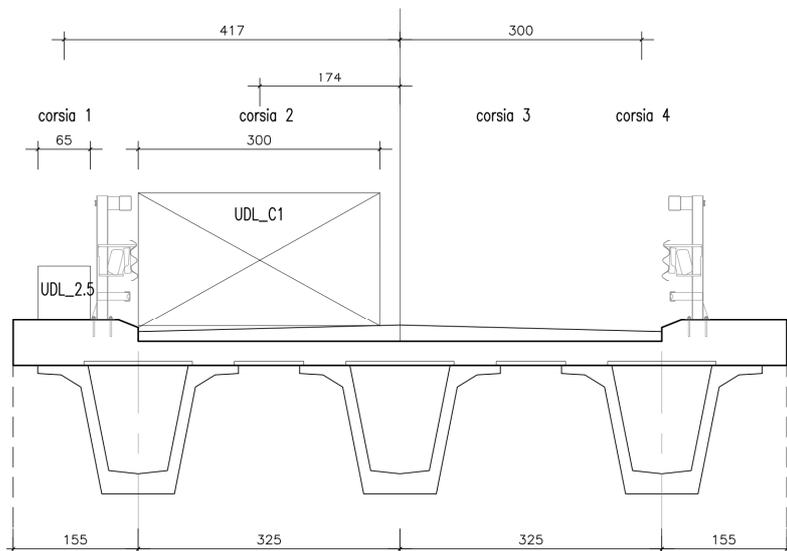
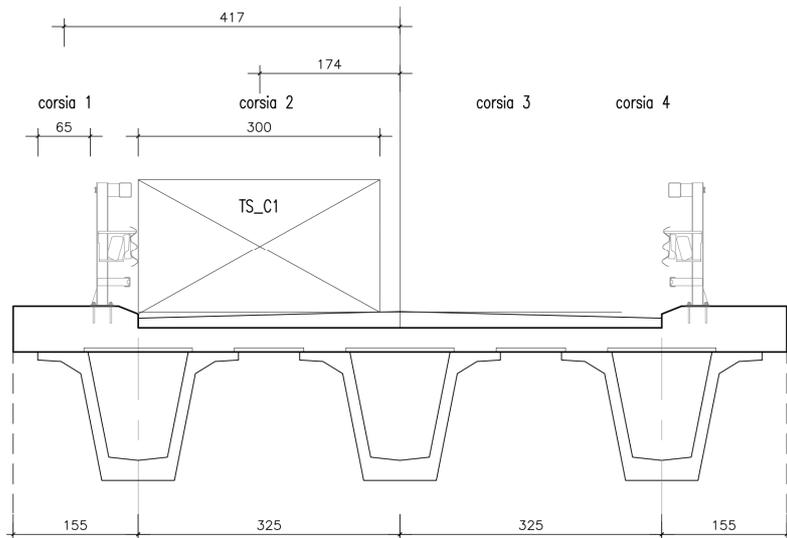
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	19 di 100

#### Condizioni C/max

In figura si riporta la configurazione schematica della disposizione tipo A/max in corrispondenza della sezione tipo dell'impalcato.



Rispetto all'asse impalcato le corsie presentano la seguente eccentricità:

Corsia 1:  $e = +4.17 \text{ m}$  - carico su marciapiede

Corsia 2:  $e = +1.74 \text{ m}$

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 20 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

**4.1.5 Azioni di frenatura ( $q_3$ )**

Per l'azione di frenatura si fa riferimento a quanto indicato in D.M. 2008, cap. 5.1.3.5.

Si ha pertanto che l'azione complessiva, funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n°1, applicata al livello della pavimentazione è pari a :

$$q_3 = 0.6 \times (2 \times Q_{1k}) + 0.10 \times q_{1k} \times w_1 \times L < 900 \text{ kN} \quad \text{cfr. NTC-08, eq. 5.1.4 / EN 1991-2, 4.4.1.(2)}$$

dove:

$$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$$

$$q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$$

$$w_1 = 3.0 \text{ m}$$

$$L = 24 \text{ m}$$

Tale valore deve inoltre risultare:  $180 \leq Q_{ik} \leq 900 \text{ kN}$

Tale forza risultante agente lungo l'asse della corsia 1 posta nella posizione più eccentrica (1.74m) rispetto all'asse dell'impalcato è pari a:

$$Q_3 = 0.6 \times (2 \times 300 \text{ kN}) + 0.10 \times 9 \text{ kN/m}^2 \times 3.0 \text{ m} \times 24 \text{ m} = 360 \text{ kN} + 64.8 \text{ kN} = 424.8 \text{ kN}$$

Il momento torcente risultante è pari:

$$M_{Q_3} = Q_3 \times 1.74 \text{ m} = 424.8 \text{ kN} \times 1.74 \text{ m} = 739.15 \text{ kNm}$$

La forza di frenatura distribuita uniformemente su ciascuna trave risulta quindi:

**Trave 1:**

$$N_{q_3} = [Q_3/3 + M_{Q_3} \cdot 3.25 / (2 \times 3.25^2)] / 24 \text{ m} = [424.8 \text{ kN} / 3 + 739.15 \text{ kNm} \cdot 0.153] / 24 \text{ m} = 10.67 \text{ kN/m}$$

**Trave 2:**

$$N_{q_3} = [Q_3/3] / 24 \text{ m} = [424.8 \text{ kN} / 3] / 24 \text{ m} = 5.90 \text{ kN/m}$$

**Trave 3:**

$$N_{q_3} = [Q_3/3 - M_{Q_3} \cdot 3.25 / (2 \times 3.25^2)] / 24 \text{ m} = [424.8 \text{ kN} / 3 - 739.15 \text{ kNm} \cdot 0.153] / 24 \text{ m} = 1.19 \text{ kN/m}$$

L'azione di frenatura si accompagna ai carichi da traffico, presi con il relativo valore frequente, a formare i carichi di gruppo 2 (cfr. NTC-08, tab. 5.1.IV / EN 1991-2, tab. 4.4.a).

Tali azioni sono ininfluenti ai fini del calcolo dell'impalcato essendo azioni orizzontali.

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 21 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 4.1.6 Azioni del vento ( $q_5$ )

La superficie dei carichi transienti esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale.

Si riporta di seguito il calcolo della pressione del vento per unità di superficie.

$V_{ref}$	27	m/s	Velocità di riferimento (Macrozonazione)
$\alpha_r$	1.10		Coefficiente funzione del periodo di ritorno
$V_r(Tr)$	29.7	m/s	Velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno
<b>Calcolo della velocità media del vento</b>			
Classe di rugosità :C; Zona 3; Categoria III			
$K_r$	0.2		Coefficiente funzione della categoria di esposizione del sito
$Z_0$	0.1	m	Coefficiente funzione della categoria di esposizione del sito
$z_{min}$	5	m	Coefficiente funzione della categoria di esposizione del sito
$\beta$	0.5		Coefficiente funzione dell'altezza della costruzione
$\gamma$	1		
$C_t$	1.5		Coefficiente di topografia
$z$	10	m	Altezza della costruzione
$\alpha(z)$	4.61		Funzione logaritmica dell'altezza dell'opera
$V_m(z)$	41.0	m/s	Velocità media del vento
<b>Calcolo della velocità di picco del vento</b>			
$c_{ev}(z)$	1.96		Coefficiente di esposizione
$V_p(z)$	58.2	m/s	Velocità di picco del vento
<b>Calcolo della pressione cinetica di picco</b>			
$q(z)$	2.1	kN/mq	Pressione cinetica di picco
<b>Calcolo della pressione del vento</b>			
$C_{pe}$	1		Coefficiente di pressione
$C_d$	1		Coefficiente dinamico
$W$	2.1	kN/mq	Pressione del vento

A vantaggio di sicurezza si assume comunque una pressione da vento pari a 2.5 kN/mq

I criteri per la determinazione degli effetti del vento sono contenuti in NTC-08, cap. 3.3 (rif. Eurocodici EN 1991-1-4).

Pertanto essendo la pressione del vento pari a  $p=2.5$  KN/m<sup>2</sup> considerata agente a ponte carico, la risultante trasversale per unità di lunghezza è pari a:

$$q_5 = (H_{trave} + H_{soletta} + H_{pavimentazione} + H_{carico}) \times 2.50 \text{ kN/m}^2 = (1.60 + 0.30 + 0.12 + 3.0) \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 12.55 \text{ kN/m}$$

Il momento prodotto dal vento sull' impalcato, è pari a:

$$M_{q_5} = 5.02 \times 1.73 \times 2.50 \text{ kN/m}^2 = 21.72 \text{ kNm/m}$$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

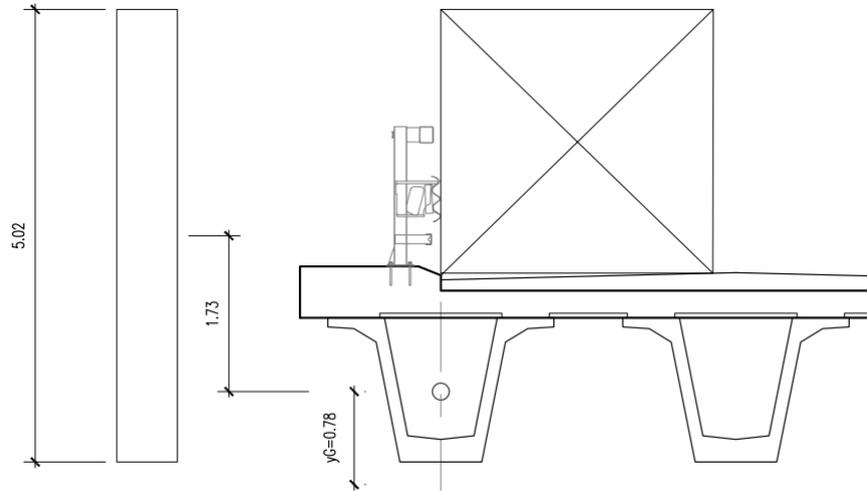
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 22 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------



Si evidenzia che l'azione del vento non assume valori particolarmente significativi sia per la statica dell'impalcato, sia per la statica delle spalle, pertanto nelle combinazioni di carico non è stata considerata come fondamentale.

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 23 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 4.1.7 Azione sismica ( $q_0$ )

I viadotti in oggetto sono progettati per una vita nominale  $V_N$  pari a 50 anni. Gli si attribuisce inoltre una classe d'uso III ("Ponti la cui interruzione non 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 definita per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV). Il periodo di ritorno di quest'ultima - in funzione della vita utile, della classe d'uso, del tipo di costruzione e dello stato limite di riferimento (prima definiti) - è di 712 anni circa.

Essa, conformemente a quanto prescritto dalle Nuove Norme Tecniche, non è definita in funzione dell'appartenenza dell'opera ad una zona sismica bensì è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste. Tale pericolosità sismica è 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 PVR.

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

- $a_g$ , accelerazione orizzontale massima del terreno
- $F_0$ , 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. Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

$V_N$ [anni]	$C_U$	$V_R$ [anni]	$T_R$ [anni]	Località	$a_{g,orizz}$ [g]	$F_0$	$a_{g,vert}$ [g]	$F_v$	$T_C^*$ [s]
50	1.5	75	712.00	Camerino (MC)	0.220	2.544	0.140	1.613	0.333

Tabella 1: Parametri per la definizione della massima accelerazione locale

In quest'ultima  $V_N$  è la vita nominale dell'opera;  $C_U$  è il coefficiente relativo alla classe d'uso;  $V_R$  è il periodo di riferimento per l'azione sismica;  $T_R$  è il periodo di ritorno associato alla probabilità di non superamento dello stato limite della salvaguardia della vita;  $a_g$  è la massima accelerazione riferita a quella di gravità attesa sul sito su suolo di riferimento;  $F_0$  è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;  $F_v$  è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale;  $T_C^*$  è il periodo, espresso in secondi, corrispondente alla fine del tratto orizzontale dello spettro su suolo di riferimento.

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Suolo	$S_S$	$S_T$	$S$	$C_C$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
C	1.364	1	1.364	1.51	0.167	0.502	2.482

Tabella 2: Parametri per la definizione dello spettro elastico orizzontale

In quest'ultima  $S_S$  ed  $S_T$  sono rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione  $S$ ;  $C_C$  è il coefficiente che modifica il valore del periodo  $T_C^*$ ;  $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente orizzontale;  $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità;  $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 24 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

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

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \quad \text{se} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{se} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

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

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente verticale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Suolo	S <sub>S</sub>	S <sub>T</sub>	S	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
C	1	1	1	0.05	0.15	1

Tabella 3: Parametri per la definizione dello spettro elastico verticale

In quest'ultima S<sub>S</sub> ed S<sub>T</sub>, S e C<sub>C</sub> hanno i significati prima descritti; T<sub>B</sub> è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro per la componente verticale; T<sub>C</sub> è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante; T<sub>D</sub> è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{se} \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \quad \text{se} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{se} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{se} \quad T_D \leq T$$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

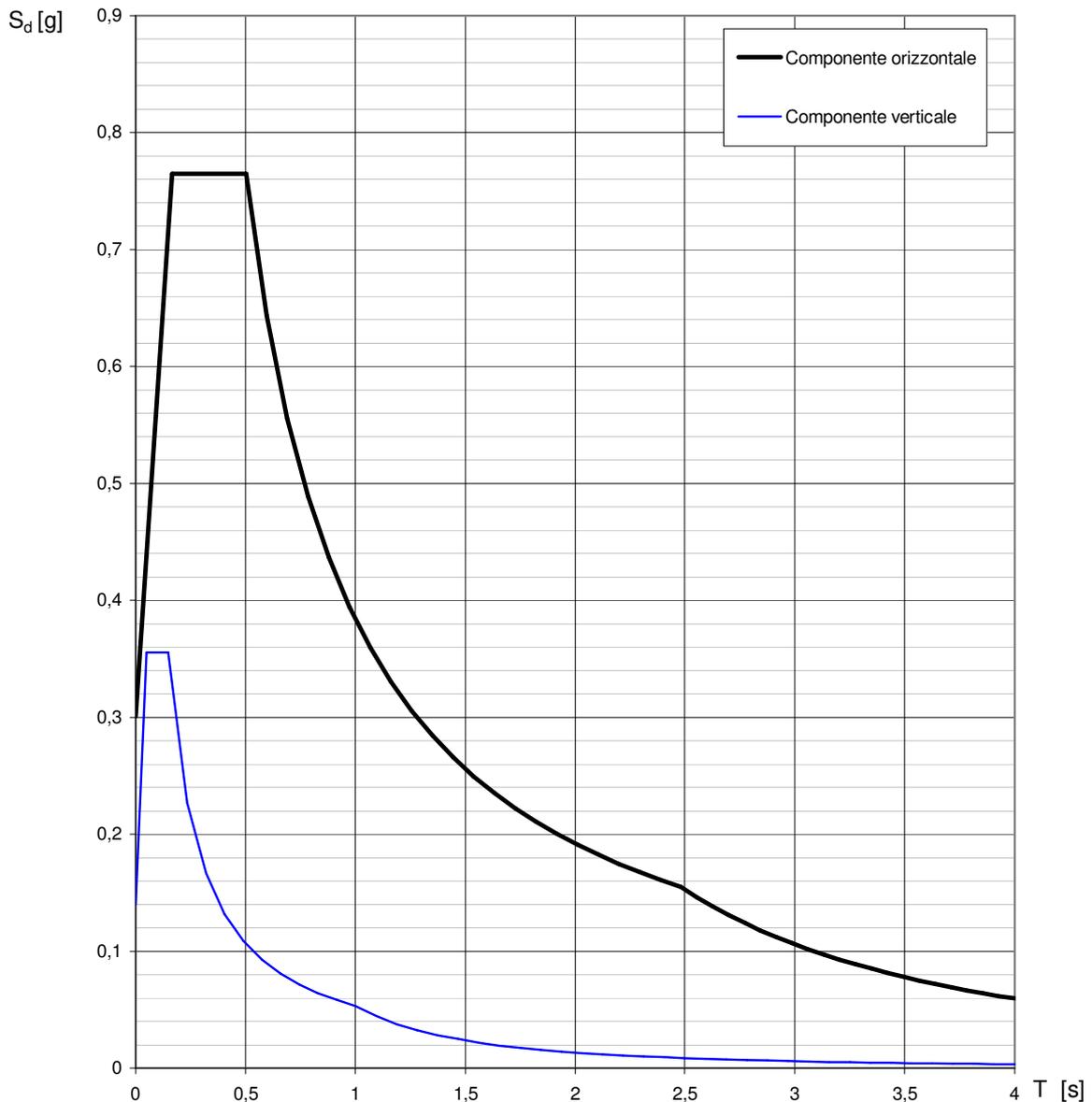
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 25 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

#### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Il metodo di analisi scelto per lo studio degli effetti del sisma è la analisi lineare statica.

L'analisi lineare statica consiste sostanzialmente in una analisi lineare dinamica semplificata in cui:

- 1) non si effettua l'analisi dinamica della costruzione per determinare i modi di vibrare "naturali" della costruzione e si ipotizza un modo di vibrare principale della costruzione caratterizzato da un periodo  $T_1$  calcolato in maniera approssimata. A questo modo di vibrare si associa un'aliquota di massa partecipante pari a 1,0 in tutti gli altri casi;
- 2) si calcolano gli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per il solo modo di vibrare principale considerato;
- 3) non si effettua alcuna combinazione degli effetti in quanto non si considerano modi di vibrare secondari.

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 26 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Per i manufatti in esame è possibile applicare l'analisi statica lineare in quanto sono soddisfatti il punto c) del D.M. 14/01/2008, che vengono riportati in calce.

Il punto a) In ponti a travata semplicemente appoggiata, per entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, purchè la massa efficace di ciascuna pila non sia superiore ad 1/5 della massa da essa portata

Il punto c) è automaticamente verificato per ponti a campata unica, privi di pile, quale quelli in esame, in quanto, essendo le pile assenti, la loro massa è nulla, e pertanto certamente non superiore ad 1/5 della massa dell'impalcato. Infatti, in accordo con la terminologia tecnica comunemente adottata, alla quale certamente intende riferirsi la Normativa l'elemento strutturale che sostiene l'estremità del ponte e separa la luce libera dal terreno retrostante è da considerarsi "spalla", indipendentemente dalla sua forma e dal tipo di fondazioni.

- Per le strutture a comportamento strutturale non dissipativo, si adotta l'accelerazione di plateau dello spettro elastico:

$$k_H = a_g \cdot S \cdot F_0 = 1.364 \cdot 0.22 \cdot 2.544 = 0.763g.$$

In accordo a quanto previsto al punto 7.2.1 del D. Min. 14/01/2008 si prende in considerazione nel seguito, ai fini della verifica dell'impalcato, la sola azione sismica verticale rappresentata dallo spettro SLV con fattore di struttura  $q = 1$ :

$$k_V = 0.5 \cdot k_H = 0.381g$$

#### 4.1.8 Azioni parassite per attrito degli apparecchi d'appoggio ( $q_7$ )

Per effetto degli spostamenti orizzontali dell'impalcato in corrispondenza degli appoggi si sviluppano azioni orizzontali di attrito, funzione delle caratteristiche degli appoggi impiegati e del carico permanente verticale.

Sulla struttura sono presenti come apparecchi di appoggio in acciaio teflon il cui coefficiente di attrito è pari a 0.03.

Pertanto la forza orizzontale  $F_{res.passive}$  esercitata sul singolo appoggio risulta essere pari a:

$$F_{res.passive\_appoggio\_spalla} = 0.03 \cdot 800 = 24 \text{ kN (su ciascun appoggio)}$$

Tali azioni sono ininfluenti ai fini del calcolo dell'impalcato essendo azioni orizzontali applicate a quota baggioli

#### 4.1.9 Urto sulle barriere di sicurezza posti sui cordoli ( $q_8$ )

Nel caso in cui possa verificarsi l'urto di un veicolo su di un elemento strutturale si dovrà considerare agente sull'elemento stesso una forza orizzontale concentrata di 100 kN distribuita su 0.5 m ed applicata ad una quota  $h$ , misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni  $h_1$ ,  $h_2$  ove  $h_1$  (altezza delle barriere – 0.10 m),  $h_2 = 1.00$  m.

Tale azione si applica nelle verifiche locali dei cordoli.

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 27 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

## 4.2 COMBINAZIONI

Le azioni di cui ai paragrafi precedenti sono combinate tra loro, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto utili alle verifiche di stabilità o alle verifiche di resistenza dei singoli elementi strutturali. Le combinazioni di carico considerate sono riportate nella seguente tabella:

### 4.2.1 Verifiche agli stati limite ultimi

COMBINAZIONE	Dead (g1)	Perm (g2)	Precomp. (p)	Ritiro ( $\epsilon_1$ )	Acc (q1)	Vento (q5)	Sisma (q6)	Urto (q8)
SLU_I	1.35	1.35	1.00	0.72	1.35	0.9	0	0
SLU_II	1.35	1.35	1.00	0.00	1.35	0.9	0	0
SLU_III	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.0	0	1

### 4.2.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

COMBINAZIONE	Dead (g1)	Perm (g2)	Precomp. (p)	Ritiro ( $\epsilon_1$ )	Acc (q1)	Vento (q5)	Sisma (q6)	Urto (q8)
SLE_I	1.00	1.00	1.00	0.6	1	0.6	0	0
SLE_II	1.00	1.00	1.00	0.0	1	0.6	0	0
QP_I	1.00	1.00	1.00	0.5	0	0	0	0
QP_II	1.00	1.00	1.00	0.0	0	0	0	0
FR_I	1.00	1.00	1.00	0.6	0.75	0.2	0	0
FR_II	1.00	1.00	1.00	0.0	0.75	0.2	0	0

	<b>2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888 Relazione di calcolo impalcato								
	Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 28 di 100

#### 4.2.3 Verifiche a fessurazione

Nella tabella seguente sono riportati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione:

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

Le condizioni ambientali per i calcestruzzi dell'impalcato sono aggressive (tipo b). Pertanto avremo:

#### **Stato limite di apertura delle aperture (armature poco sensibili: acciaio ordinario della soletta)**

Il limite di apertura delle fessure imposto dalla normativa vigente è pari a 0.200 mm per combinazioni di carico QP e pari a 0.300 mm per combinazioni di carico FR.

#### **Stato limite di apertura delle aperture (armature sensibili: acciaio da precompresso delle travi)**

Il limite di apertura delle fessure imposto dalla normativa vigente è pari a 0.200 mm per combinazioni di carico FR.

#### **Stato limite di decompressione**

Nel caso di combinazioni quasi permanenti (QP) per le armature sensibili (acciaio da precompresso) viene riportato il valore della tensione minima del calcestruzzo che non deve essere superiore  $f_{ctm}/1.2 = 3.83/1.2 = 3.19$  MPa per  $R_{ck} = 55$  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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 29 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

## 5. MODELLO DI CALCOLO IMPALCATO

### 5.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'impalcato, avente dimensione trasversale complessiva di 9.60 m, è costituito da una soletta in calcestruzzo e predelle prefabbricate per uno spessore complessivo di 30 cm. Tale impalcato è sostenuto da tre travi in c.a.p. a cassoncino aventi altezza complessiva pari a 1.60m. Tali travi sono appoggiate alle sottostrutture e sono collegate da trasversi di testata gettati in opera che hanno spessore pari a 30 cm. Gli appoggi delle travi, sulle spalle sono costituiti da appoggi in acciaio teflon.

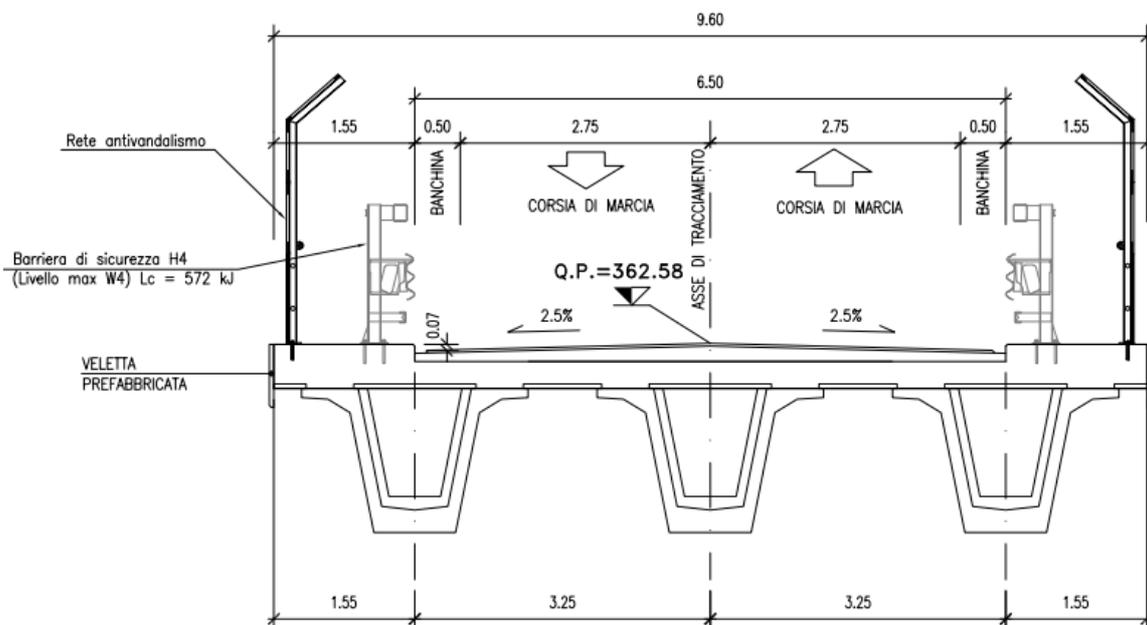


Fig. 5.1 - Sezione trasversale dell'impalcato in campata

### 5.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO AGLI E.F.

Le analisi eseguite sul viadotto in oggetto, sono state condotte mediante apposito modello matematico

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 30 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

tridimensionale agli elementi finiti (E.F.), esteso all'impalcato con vincoli esterni in corrispondenza degli apparecchi di appoggio.

L'impalcato viene schematizzato con quattro travi longitudinali, aventi le caratteristiche che si ottengono omogeneizzando la soletta in c.a. gettata in opera con la trave sottostante, posizionate nel baricentro della sezione omogeneizzata.

Per quanto riguarda la schematizzazione della soletta+trave nel modello di calcolo è stata individuata la seguente tipologia:

Trave centrale + soletta collaborante: la larghezza della soletta collaborante è pari a 3.25 m (interasse travi),.

Il coefficiente di omogeneizzazione tra la soletta e la trave è pari a  $\sqrt{R_{ck,sol} / R_{ck,trave}} = \sqrt{45 / 55} = 0.905$

Di seguito vengono riportate le caratteristiche meccaniche della solo trave e delle trave+soletta utilizzate nel modello sia in campata che agli appoggi:

### 1-Trave c.a.p. in campata

Ap	<b>7820</b> cmq	Area
Sxp	610273 cm <sup>3</sup>	Momento statico rispetto a x
ygp	<b>78.04</b> cm	Y baricentro
Jxp	72835689 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jg	<b>25210000</b> cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Jtor	460000 cm <sup>4</sup>	Momento torsionale

### Trave in campata+soletta collaborante

Ato	16639 cmq	Area
Sxto	2153634 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygto	129.43 cm	Y baricentro
Jxto	343585339 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jgto	64837714 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Wito	500943 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore
Wsto	2121048 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore
Wsolo	1070482 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore soletta

### 2-Trave c.a.p. sull'appoggio

Ap	<b>11235</b> cmq	Area		
Sxp	887340 cm <sup>3</sup>	Momento statico rispetto a x		
ygp	<b>78.98</b> cm	Y baricentro		
Jxp	101332137 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x		
Jg	<b>31250000</b> cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G		
Jtor	7730000 cm <sup>4</sup>	Momento torsionale		

### Trave sull'appoggio+soletta collaborante

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 31 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

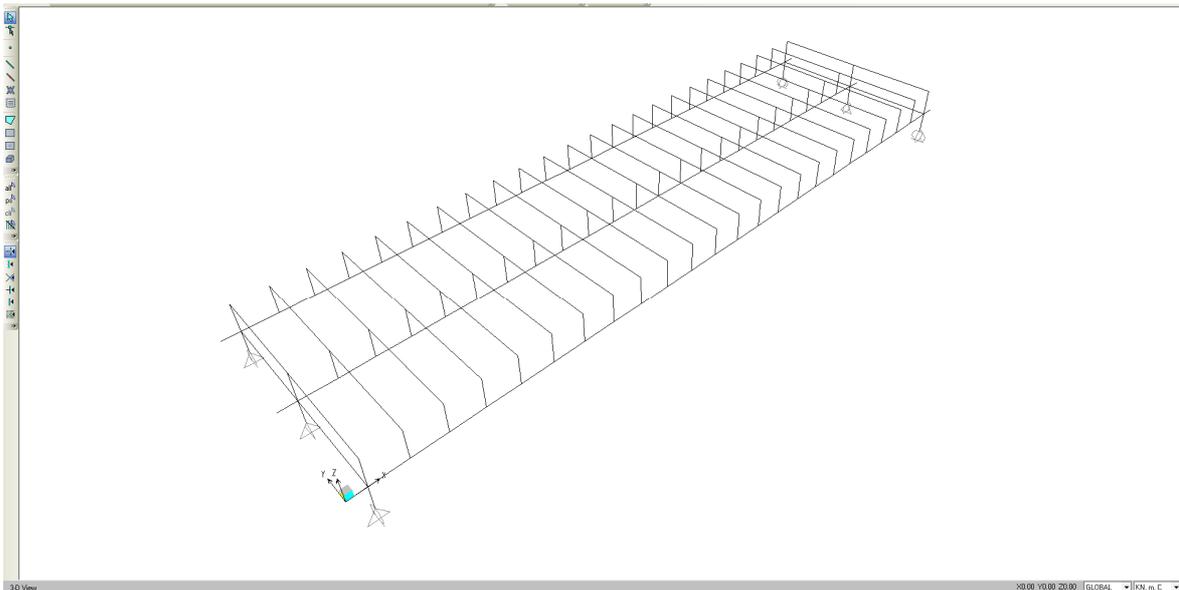
Apo	11235	cmq	Area			
Sxpo	887340	cm <sup>3</sup>	Momento statico			
ygpo	78.98	cm	Y baricentro			
Jxpo	101332137	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x			
Jgpo	31250000	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G			
Wipo	395670	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore			
Wspo	385707	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore			

Le rigidezze torsionali delle travi vengono calcolate utilizzando la formula di Bredt per sezioni chiuse con pareti sufficientemente sottili:

$$k = \frac{4A^2}{\sum \frac{b_i}{t_i}}$$

In cui “A” è l’area racchiusa dalla linea media della sezione, “bi” è la larghezza delle anime della sezione cava, e “ti” è lo spessore di tali anime.

L’inerzia torsionale globale dell’intero impalcato viene garantita dai collegamenti trasversali sia dei traversi che della soletta, i primi schematizzati con elementi beam di sezione pari a 0.3m\*1.3m, la seconda con elementi di sezione 1.00m\*0.30 m opportunamente distanziati dalle travi della distanza tra baricentro trave e baricentro soletta (1.60/2+0.30/2=0.95 m)



**La mesh degli elementi finiti**

Di seguito viene riportata la disposizione dei carichi e il valore dell’intensità (unità: kN, m)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

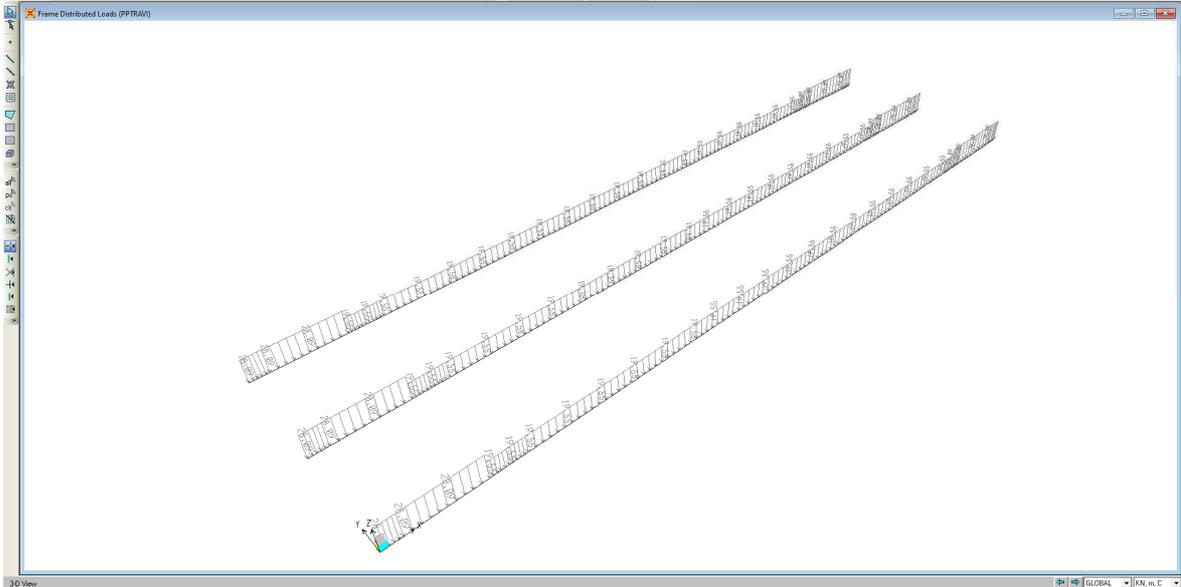
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

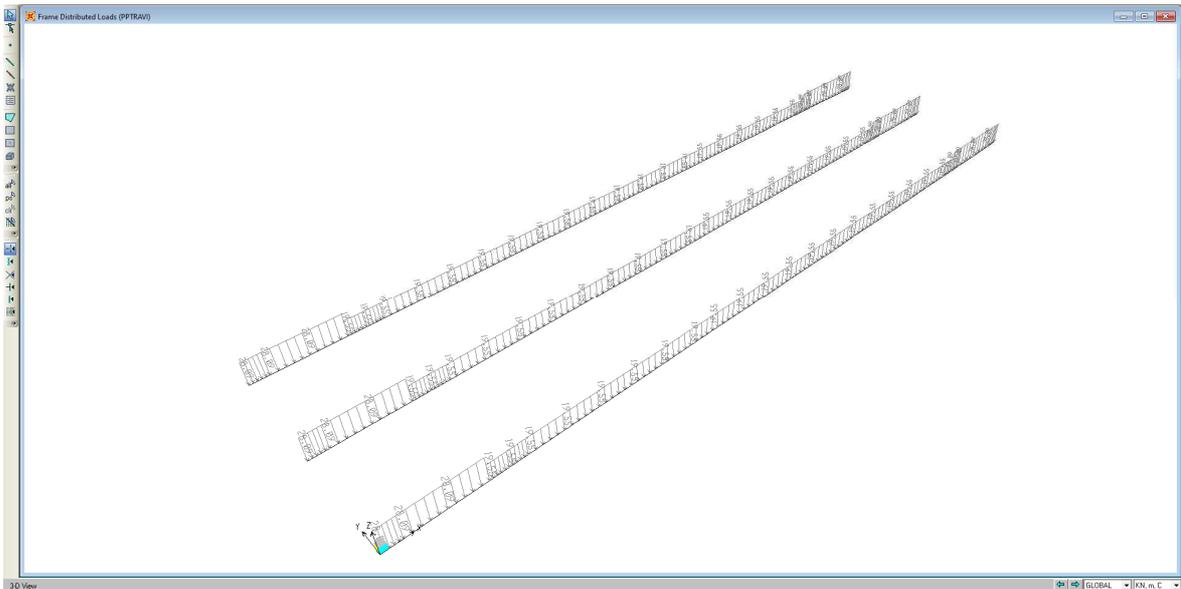
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 32 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------



**Peso proprio travi**



**Peso proprio soletta + trasversi**

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

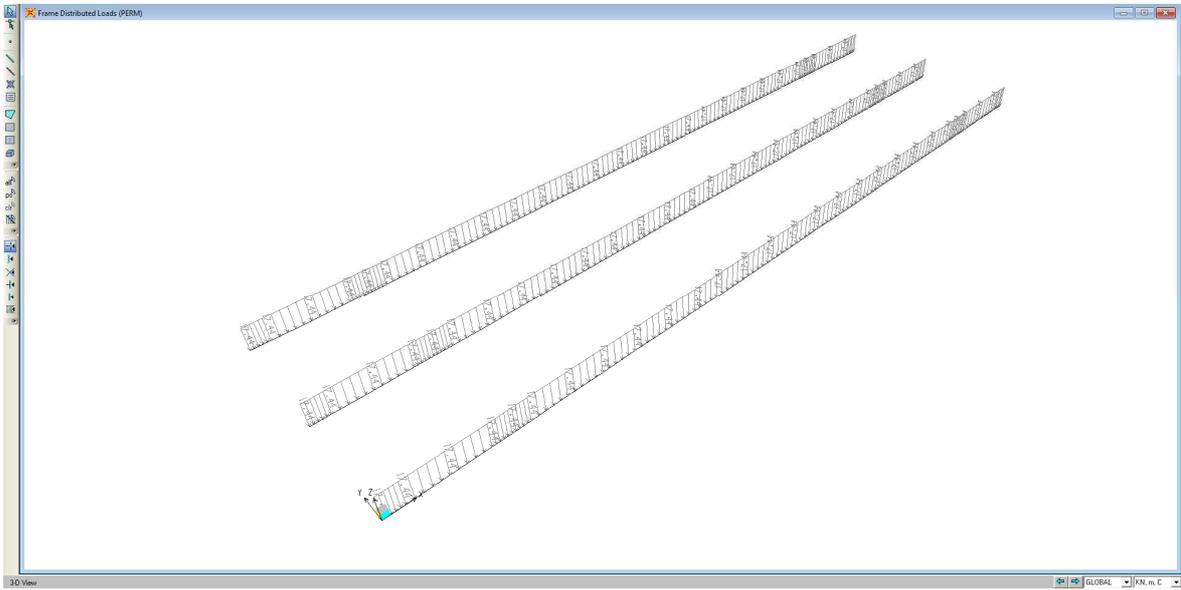
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

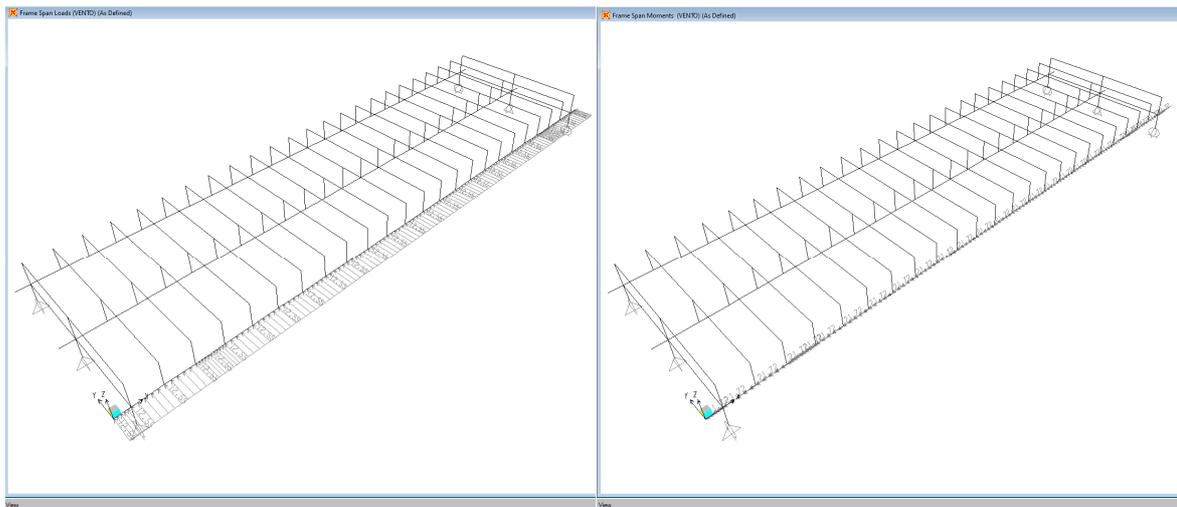
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 33 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------



**Peso permanente portato**



**Vento**

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

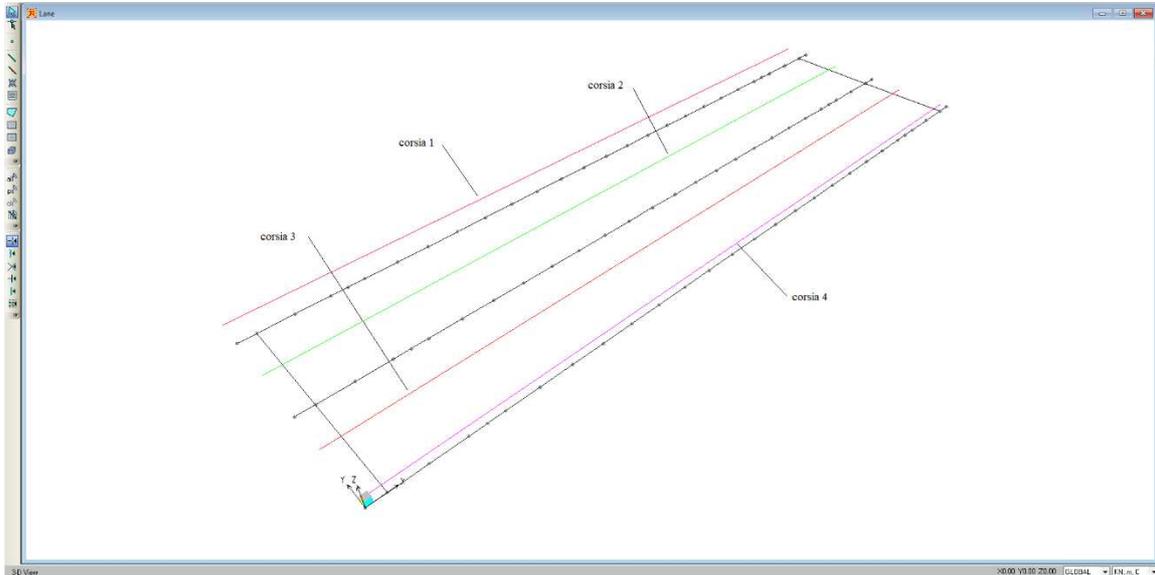
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 34 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------



**Corsie di carico**

**Dati Veicolo Generico**

Nome veicolo:       Unità:

Carichi Assali Flottanti

	Valore	Tipo di Larghezza	Larghezza
Per M. di Corsia	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="One Point"/>	<input type="text"/>
Per Altre Risposte	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="One Point"/>	<input type="text"/>

Raddoppia il Carico Corsia quando Calcoli i Mom di Campata Negativi

Uso

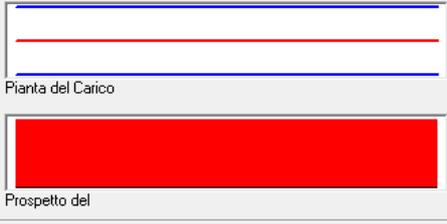
Momenti Negativi Corsia agli Appoggi  
 Forze Appoggio Verticale Interno  
 Altre Risposte

Min Dist Permissa Da Carico Asse

Bordo Esterno Corsia:   
 Bordo Interno Corsia:

Effetti Lunghezza

Assale:    
 Uniforme:

Pianta del Carico: 

Prospetto del

Carico	Carico	Minimo Distanza	Massimo Distanza	Uniforme Carico	Uniforme Tipo di Larghezza	Uniforme Larghezza	Assale Carico	Assale Tipo di Larghezza	Assale Larghezza
Trailing Load		Infinite		1.625	Zero Width				
Trailing Load		Infinite		1.625	Zero Width				

Il Veicolo si Applica Solo alle Corsie di Scambio      Fatt di Riduzione Scambio:

Il Veicolo Rimane Totalmente In Corsia (In Direzione Long Corsia)

**Carico qfolla (carico sul marciapiede) associato alla corsia convenzionale n. 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	35 di 100

**Dati Veicolo Generico**

Nome veicolo: Q1K      Unità: KN, m, C

Carichi Assali Flottanti

	Valore	Tipo di Larghezza	Larghezza
Per M. di Corsia	0.	One Point	
Per Altre Risposte	0.	One Point	

Raddoppia il Carico Corsia quando Calcoli i Mom di Campata Negativi

Uso

Momenti Negativi Corsia agli Appoggi  
 Forze Appoggio Verticale Interno  
 Altre Risposte

Min Dist Permissa Da Carico Asse

Bordo Esterno Corsia: 0.3048  
 Bordo Interno Corsia: 0.6096

Effetti Lunghezza

Assale: None      Mod/Mostra  
 Uniforme: None      Mod/Mostra

Carichi

Carico	Minimo Distanza	Massimo Distanza	Uniforme Carico	Uniforme Tipo di Larghezza	Uniforme Larghezza	Assale Carico	Assale Tipo di Larghezza	Assale Larghezza
Leading Load	Infinite		27.	Zero Width		300.	One Point	
Leading Load	Infinite		27.	Zero Width		300.	One Point	
Fixed Length	1.2		27.	Zero Width		300.	One Point	
Trailing Load	Infinite		27.	Zero Width				

Agg.    Inserisci    Modif.    Canc.

Il Veicolo si Applica Solo alle Corsie di Scambio      Fatt di Riduzione Scambio:

Il Veicolo Rimane Totalmente In Corsia (In Direzione Long Corsia)

OK    Annulla

**Carico Q1k associato alla corsia convenzionale n. 2**

**Dati Veicolo Generico**

Nome veicolo: Q2K      Unità: KN, m, C

Carichi Assali Flottanti

	Valore	Tipo di Larghezza	Larghezza
Per M. di Corsia	0.	One Point	
Per Altre Risposte	0.	One Point	

Raddoppia il Carico Corsia quando Calcoli i Mom di Campata Negativi

Uso

Momenti Negativi Corsia agli Appoggi  
 Forze Appoggio Verticale Interno  
 Altre Risposte

Min Dist Permissa Da Carico Asse

Bordo Esterno Corsia: 0.3048  
 Bordo Interno Corsia: 0.6096

Effetti Lunghezza

Assale: None      Mod/Mostra  
 Uniforme: None      Mod/Mostra

Carichi

Carico	Minimo Distanza	Massimo Distanza	Uniforme Carico	Uniforme Tipo di Larghezza	Uniforme Larghezza	Assale Carico	Assale Tipo di Larghezza	Assale Larghezza
Leading Load	Infinite		7.5	Zero Width		200.	One Point	
Leading Load	Infinite		7.5	Zero Width		200.	One Point	
Fixed Length	1.2		7.5	Zero Width		200.	One Point	
Trailing Load	Infinite		7.5	Zero Width				

Agg.    Inserisci    Modif.    Canc.

Il Veicolo si Applica Solo alle Corsie di Scambio      Fatt di Riduzione Scambio:

Il Veicolo Rimane Totalmente In Corsia (In Direzione Long Corsia)

OK    Annulla

**Carico Q2k associato alla corsia convenzionale n. 3**

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 36 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Dati Veicolo Generico

Nome veicolo:  Unità:

Carichi Assali Flottanti

	Valore	Tipo di Larghezza	Larghezza
Per M. di Corsia	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="One Point"/>	<input type="text"/>
Per Altre Risposte	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="One Point"/>	<input type="text"/>

Raddoppia il Carico Corsia quando Calcoli i Mom di Campata Negativi

Uso

Momenti Negativi Corsia agli Appoggi  
 Forze Appoggio Verticale Interno  
 Altre Risposte

Min Dist Permissa Da Carico Asse

Bordo Esterno Corsia:   
 Bordo Interno Corsia:

Effetti Lunghezza

Assale:    
 Uniforme:

Carichi

Carico	Minimo Distanza	Massimo Distanza	Uniforme Carico	Uniforme Tipo di Larghezza	Uniforme Larghezza	Assale Carico	Assale Tipo di Larghezza	Assale Larghezza
Trailing Load	Infinite		1.25	Zero Width				
Trailing Load	Infinite		1.25	Zero Width				

Il Veicolo si Applica Solo alle Corsie di Scambio Fatt di Riduzione Scambio:   
 Il Veicolo Rimane Totalmente In Corsia (In Direzione Long Corsia)

### Carico Qriman. (carico rimanente) associato alla corsia convenzionale n. 4

L'analisi della precompressione della trave viene condotta sulla trave di bordo maggiormente sollecitata.

#### 5.2.1 Codici di calcolo

Tutti i codici di calcolo automatico utilizzati per il calcolo e la verifica delle strutture sono di sicura ed accertata validità e sono impiegati conformemente alle loro caratteristiche.

Per i calcoli e le modellazioni di cui alla presente relazione sono impiegati i codici di calcolo brevemente descritti di seguito.

- SAP200 Advanced 14

Codice di calcolo F.E.M. (Finite Element Method) prodotto dalla Computers and Structures, Inc., University of California, Berkeley capace di gestire analisi lineari e non lineari ed analisi sismiche con integrazione al passo delle equazioni nel tempo. Il software è impiegato per la modellazione dell'intera opera, finalizzata all'analisi strutturale.

- Codici di calcolo interni

Codici di calcolo in Excel, messi a punto e testati dallo studio nel corso degli anni. Essi gestiscono le combinazioni di carico e le verifiche delle travi e della soletta.

- SEZ-CA

Codice di calcolo per la verifica delle sezioni presso-inflesse.

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 37 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

### 5.3 FASI ESECUTIVE IMPALCATO

L'impalcato viene realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e getto in opera di traversi e soletta collaboranti.

Le travi sono autoportanti, non necessitano quindi di alcun rompitratta o puntellamento provvisorio durante l'esecuzione dell'impalcato.

Si distinguono due fasi successive di lavoro:

- Prima fase : Le travi semplicemente appoggiate agli estremi resistono da sole al peso proprio ed a quello della soletta gettata in opera.
- Seconda fase: Il sistema misto travi precomprese e soletta gettata in opera, divenuto solidale dopo la maturazione del calcestruzzo, resiste al peso delle sovrastrutture e dei carichi accidentali.

Il calcolo si sviluppa dal momento di realizzazione delle travi prefabbricate fino al momento dell'azione dei sovraccarichi stradali previsti dalla normativa.

In questo tempo si presume che si sviluppino completamente i fenomeni differiti che riguardano i diversi materiali e che sono:

- rilassamento dell'acciaio da precompressione;
- ritiro del calcestruzzo delle travi prefabbricate;
- ritiro del calcestruzzo del getto eseguito in opera;
- viscosità del calcestruzzo delle travi prefabbricate.

I momenti rilevanti nella costruzione dell'impalcato sono:

#### Fase 1:

- posa in tensione dei trefoli delle travi prefabbricate sul banco;
- getto del calcestruzzo e maturazione a vapore;
- rilassamento dei trefoli;
- ritiro del cls;
- taglio dei trefoli;
- sviluppo dei fenomeni viscosi nel cls;

A partire dal momento in cui vengono tesati i trefoli si innesca il fenomeno del rilassamento dell'acciaio, che riduce parte della tensione. Un'ulteriore caduta di tensione si realizza per il ritiro del calcestruzzo delle travi prefabbricate al raggiungimento della fase di presa

Si assume nel calcolo che in questa fase sia già agente il peso proprio delle travi, poiché queste, soggette alla precompressione eccentrica si inarcano e poggiano alle estremità.

Dal momento del taglio dei trefoli e al manifestarsi della precompressione, inizia a svilupparsi anche la viscosità del calcestruzzo, che è variabile da punto a punto del materiale in funzione dello stato tensionale locale



## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 38 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

### Fase 2:

- getto dei traversi e della soletta;

### Fase 3:

- getto dei cordoli e stesura della pavimentazione stradale;
- insorgere dei fenomeni di ritiro differenziale;

Ad avvenuta presa del getto e della soletta, le azioni e coazioni si considerano agenti sul sistema trave+soletta (dapprima viene anche valutato l'effetto dei residui fenomeni differiti per effetto del ritiro differenziale soletta trave)

### Fase 4:

- azione dei carichi di progetto (carichi mobili).

Infine, dopo aver maturato le ultime cadute di precompressione, l'impalcato è considerato soggetto ai carichi permanenti portati e ai carichi mobili

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 39 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

**5.4 RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI PRODOTTE DALLE CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI**

Sezione trave						
Sezione x= (cm)	1150	700	460	230	57	0
	0.5L	0.30L	0.2L	0.1L		
Momento flettente (kNm)						
Peso proprio travi	1311.12	1111.29	826.77	515.58	110.63	0.00
Peso soletta(*)	1583.97	1340.96	992.96	611.98	129.19	0.00
Peso sovrastruttura(*)	1151.04	974.46	721.58	444.72	93.74	0.00
Carichi mobili	3057.57	2529.25	1860.50	1137.49	413.47	0.00
Taglio (kN)						
Peso proprio travi	0.00	88.39	137.27	176.37	228.28	242.32
Peso soletta (*)	0.00	107.98	167.96	215.90	263.84	275.81
Peso sovrastruttura (*)	0.00	78.48	122.08	156.96	191.84	200.56
Carichi mobili	252.59	363.83	444.95	507.34	655.77	666.57

Alle quali occorre aggiungere la condizione di carico del ritiro differenziale tra trave e soletta i cui valori sono definiti nel par. 4.1.3.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 40 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

## 5.5 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni agenti lungo la trave dovute alle singole condizioni di carico elementari.

GRAFICO DEI MOMENTI

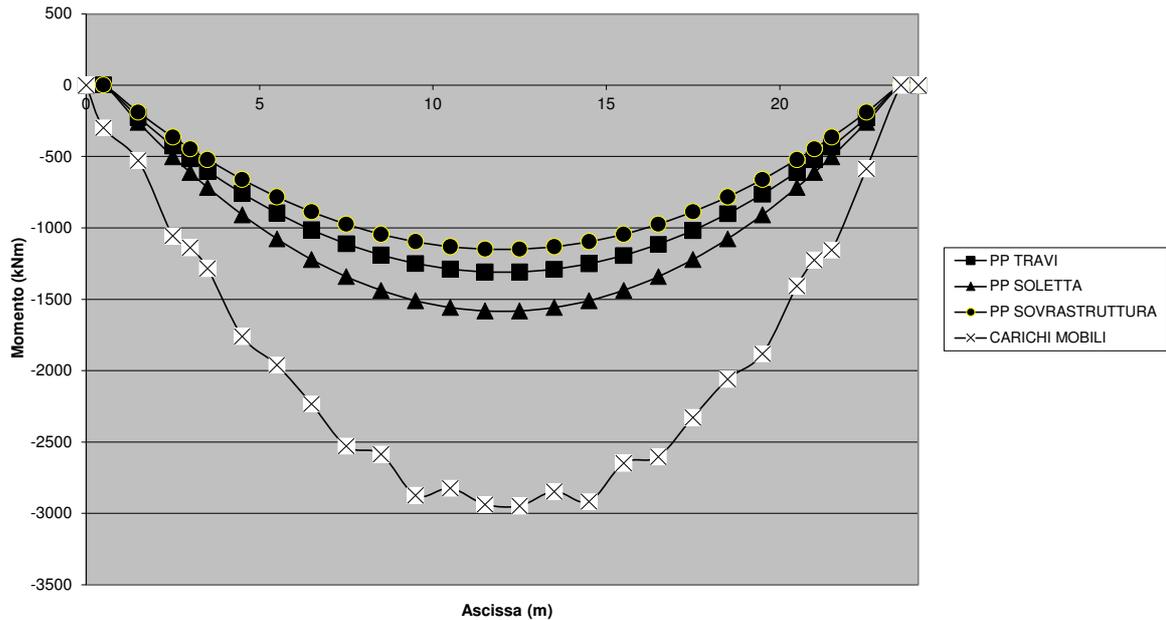
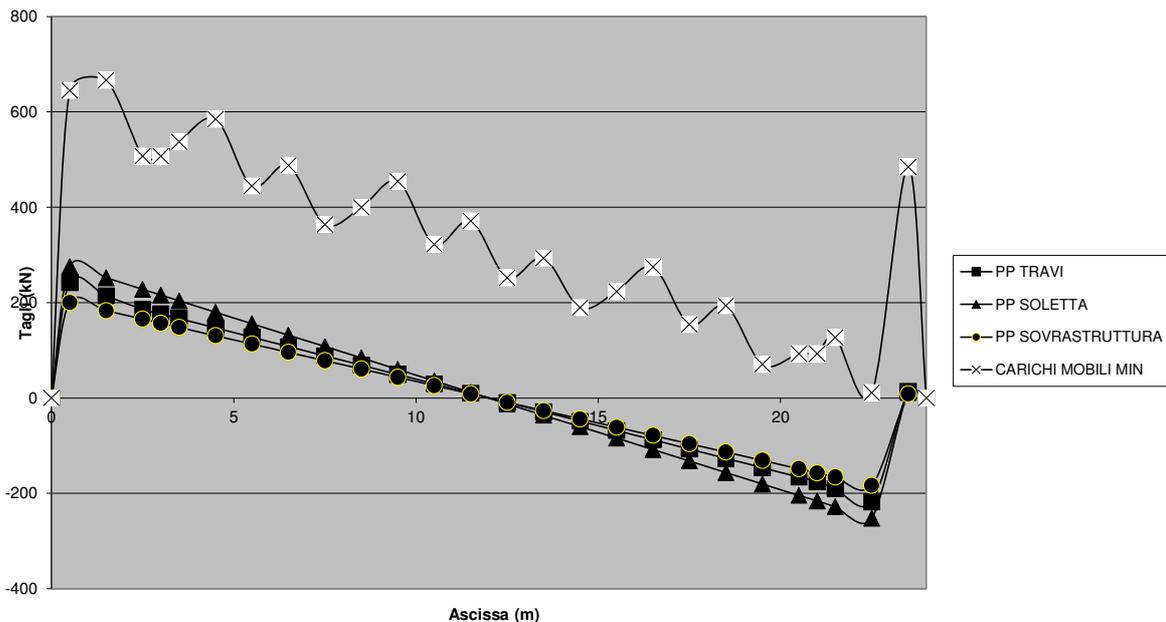


GRAFICO DEI TAGLI

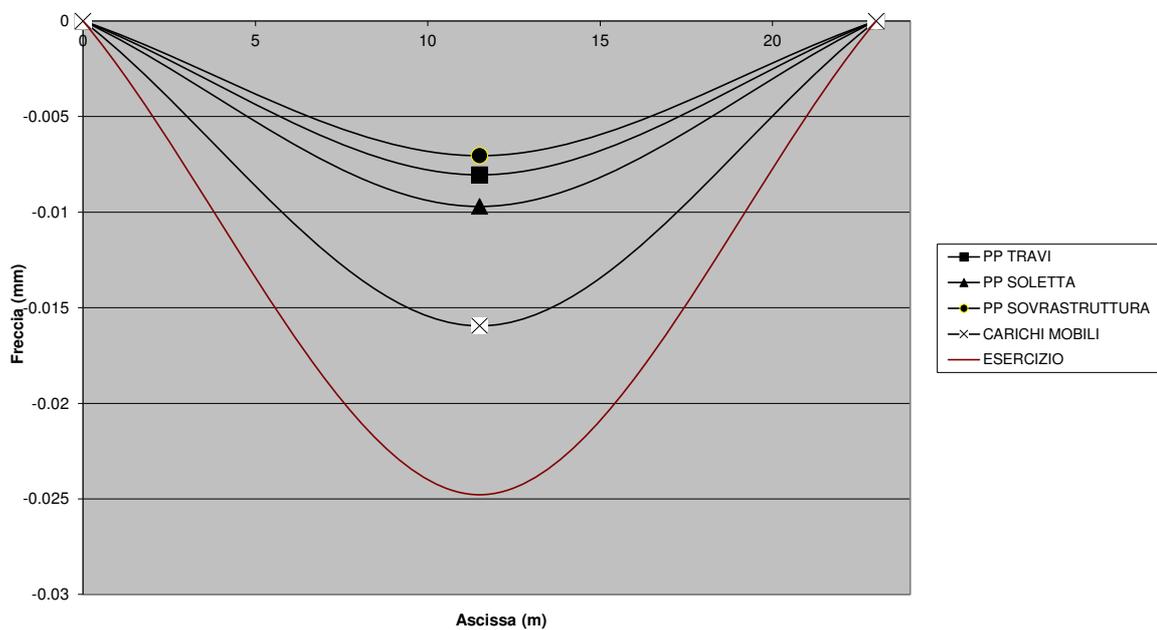


Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	41 di 100

## 5.6 DIAGRAMMI DELLE DEFORMAZIONI

Di seguito si riportano i diagrammi delle deformazioni lungo la trave dovute alle singole condizioni di carico elementari ed in esercizio.

GRAFICO DELLE DEFORMAZIONI



La deformazione massima dovuta agli accidentali dovrà essere inferiore a  $1/500L$ :

$$\delta_{acc} = 16 \text{ mm} < 1/500 * 23000 = 46 \text{ mm}$$

La deformazione in esercizio dovrà essere inferiore a  $1/250L$ :

$$\delta_{eser} = 25 \text{ mm} < 1/250 * 23000 = 92 \text{ mm}$$

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 42 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 5.7 ANALISI DELLA PRECOMPRESSIONE

#### 5.7.1 Descrizione

La precompressione longitudinale dell'impalcato viene realizzata attraverso trefoli pre-tesi. I trefoli presenti nella mezzeria, a  $x=1150$  cm dall'asse appoggio della trave sono:

POS. 1	n.	16 trefoli da 0.6"	$y = 5.00$ cm
POS. 2	n.	16 trefoli da 0.6"	$y = 10.00$ cm
POS. 3	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 15.00$ cm
POS. 4	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 155.00$ cm

I trefoli presenti a  $x=700$  cm dall'asse appoggio della trave sono:

POS. 1	n.	16 trefoli da 0.6"	$y = 5.00$ cm
POS. 2	n.	16 trefoli da 0.6"	$y = 10.00$ cm
POS. 3	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 15.00$ cm
POS. 4	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 155.00$ cm

I trefoli presenti a  $x=460$  cm dall'asse appoggio della trave sono:

POS. 1	n.	8 trefoli da 0.6"	$y = 5.00$ cm
POS. 2	n.	16 trefoli da 0.6"	$y = 10.00$ cm
POS. 3	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 15.00$ cm
POS. 4	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 155.00$ cm

I trefoli presenti a  $x=230$  cm dall'asse appoggio della trave sono:

POS. 1	n.	8 trefoli da 0.6"	$y = 5.00$ cm
POS. 2	n.	10 trefoli da 0.6"	$y = 10.00$ cm
POS. 3	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 15.00$ cm
POS. 4	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 155.00$ cm

I trefoli presenti sull'appoggio ( $x=57$  cm) della trave sono:

POS. 1	n.	8 trefoli da 0.6"	$y = 5.00$ cm
POS. 2	n.	10 trefoli da 0.6"	$y = 10.00$ cm
POS. 3	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 15.00$ cm
POS. 4	n.	4 trefoli da 0.6"	$y = 155.00$ cm

Per il tracciato dei trefoli si rimanda alle tavole allegate al progetto.

Diametro nominale	$D_p = 15.20$ mm <sup>2</sup>
Area del trefolo	$A_p = 139.00$ mm <sup>2</sup>
Peso a metro lineare	$P_p = 10.90$ N/m

Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ptk} = 1860.00$ N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione allo 0.1%	$f_{p(1)k} = 1670.00$ N/mm <sup>2</sup>

Tensione iniziale	$\sigma_{spi} = 1425.00$ N/mm <sup>2</sup>	$< \text{Min}[f_{p(1)k} \times 0.9; 0.8 \times f_{ptk}] = 1488$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione max in esercizio	$\sigma_{sp} \leq f_{p(1)k} \times 0.8 = 1336$ N/mm <sup>2</sup>	

La precompressione degli elementi avviene totalmente in stabilimento.



## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 44 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 5.7.2 Perdite immediate nella precompressione con armature pre-tese

Durante il trasferimento della precompressione al calcestruzzo: perdita dovuta alla deformazione elastica del calcestruzzo in conseguenza dell'azione delle armature pre-tese, quando queste sono rilasciate dagli ancoraggi:

$$\Delta\sigma_c = \sigma_{pi} \cdot A_s / (E_c \cdot A_c) \cdot E_s$$

In cui:

Perdita di tensione immediata	$\Delta\sigma_c$	=	35.3 MPa
tensione iniziale	$\sigma_{pi}$	=	1425 MPa
area totale trefoli	$A_s$	=	36.14 cm <sup>2</sup>
area sez. reagente cls	$A_c$	=	7820 cm <sup>2</sup>
modulo elastico cls	$E_c$	=	36416 MPa
Modulo di Young acciaio armonico	$E_s$	=	195000 MPa

### 5.7.3 Perdite per ritiro, viscosità e rilassamento

Le perdite dovute ai fenomeni lenti vengono calcolate in conformità alle indicazioni fornite dall' UNI EN 1992-1-1. In particolare si pone:

- Perdite per rilassamento dell'acciaio armonico stabilizzato (classe 2)

$$\Delta'\sigma_{rp}/\sigma_{pi} = 0.66 \times \rho_{1000} \times e^{9.1\mu} \left( \frac{t}{1000} \right)^{0.75(1-\mu)} 10^{-5}$$

dove:

$\sigma_{pi}$	tensione iniziale di precompressione
t	è il tempo dopo la messa in tensione (=500000 ore)
$\mu$	$\sigma_{pi} / f_{pk}$ dove $f_{pk}$ è il valore caratteristico di resistenza a trazione acciaio trefoli
$\rho_{1000}$	è il valore della perdita per rilassamento (in percentuale) a 1000 h dopo la messa in tensione e a una temperatura media di 20°C.

- Perdite per ritiro del calcestruzzo (vedi par.4.1.3)

Variazione di tensione per ritiro	$\Delta\sigma_{rit}$	=	$\epsilon_{rit} \times E_s$
Deformazione finale per ritiro	$\epsilon_{rit}$	=	0.00030
Modulo di Young acciaio armonico	$E_s$	=	195000 MPa

- Perdite per viscosità del calcestruzzo (vedi par.4.1.3)

Variazione di tensione per viscosità	$\Delta\sigma_{vis}$	=	$\phi \times \sigma_{c,QP} \times E_s / E_c$
In cui:			
Coefficiente di viscosità	$\phi$	=	2.50
Tensione cls dovuta a peso proprio e precompressione iniziale	$\sigma_{c,QP}$	=	
modulo elastico trefolo	$E_s$	=	195000 MPa
modulo elastico cls	$E_c$	=	36416 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 45 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

- Interdipendenza fra ritiro, viscosità e rilassamento dell'acciaio armonico

Un metodo semplificato per la valutazione delle perdite di precompressione dipendenti dal tempo alla posizione  $x$  sotto i carichi permanenti è dato dall'espressione

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta \sigma_{p,c+s+r} = A_p \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0,8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} \left( 1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2 \right) [1 + 0,8 \varphi(t, t_0)]}$$

dove:

$\Delta \sigma_{p,c+s+r}$  è il valore assoluto della variazione di tensione nelle armature dovuta a viscosità, ritiro e rilassamento alla posizione  $x$ , all'istante  $t$ ;

$\varepsilon_{cs}$  è la deformazione per ritiro

$E_p$  è il modulo di elasticità dell'acciaio da precompressione, vedere punto 3.3.3 (9);

$E_{cm}$  è il modulo di elasticità del calcestruzzo

$\Delta \sigma_{pr}$  è il valore assoluto della variazione di tensione nelle armature alla posizione  $x$ , al tempo  $t$ , per effetto del rilassamento dell'acciaio da precompressione. Esso è determinato per una tensione di:

$$\sigma_p = \sigma_p (G + P_{m0} + \psi_2 Q)$$

dove  $\sigma_p = \sigma_p (G + P_{m0} + \psi_2 Q)$  è la tensione iniziale nelle armature dovuta alla precompressione iniziale e alle azioni quasi-permanenti;

$\varphi(t, t_0)$  è il coefficiente di viscosità all'istante  $t$  con applicazione del carico all'istante  $t_0$ ;

$\sigma_{c,QP}$  è la tensione nel calcestruzzo adiacente alle armature, dovuta a peso proprio, precompressione iniziale e ad altre azioni quasi-permanenti ove presenti. Il valore di  $\sigma_{c,QP}$  può essere l'effetto di parte del peso proprio e della precompressione iniziale, oppure l'effetto di una combinazione di azioni quasi permanente completa  $[\sigma_p (G + P_{m0} + \psi_2 Q)]$ , a seconda della fase costruttiva in esame;

$A_p$  è l'area di tutte le armature di precompressione nella posizione  $x$ ;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

$I_c$  è il momento d'inerzia della sezione di calcestruzzo;

$z_{cp}$  è la distanza tra il baricentro della sezione di calcestruzzo e le armature.

**2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 46 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

**5.7.4**      *Verifiche del calcestruzzo per presso flessione*

Si riportano di seguito i tabulati di verifica a pressoflessione dell'impalcato nelle sezioni significative per il dimensionamento. Per ciò che riguarda gli effetti di ritiro differenziale, sono stati oggetto dei paragrafi precedenti mentre l'effetto della variazione termica, essendo la struttura isostatica, ha un'incidenza trascurabile sullo stato tensionale della struttura. In tutti i casi analizzati le tensioni risultano inferiori ai limiti di normativa.

Le fasi realizzative, come descritto in precedenza, sono le seguenti:

1° fase: precompressione + peso trave + 20% cadute tensioni per rilassamento trefoli (al taglio dei trefoli con  $R_{ckj}=40\text{MPa}$ );

1a° fase: precompressione + sollevamento trave con punti di sollevamento posti a 1.00m dai bordi della trave e con inclinazione massima del cavo di 45° rispetto alla verticale + 20% cadute tensioni per rilassamento trefoli (con incremento dinamico del peso proprio del 15% e con  $R_{ckj}=40\text{MPa}$ )

2° fase: precompressione + peso trave + getto soletta e traversi + 50% cadute tensioni totali (viscosità, ritiro e rilassamento);

3° fase: precompressione + peso trave + getto soletta e traversi + sovraccarichi permanenti + sovraccarichi d'esercizio a tempo  $t_0$ ;

4° fase: precompressione + peso trave + getto soletta e traversi + sovraccarichi permanenti + sovraccarichi d'esercizio a tempo  $t_{00}$  (ritiro) con ulteriori 50% cadute tensioni totali (viscosità, ritiro e rilassamento);

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 47 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Trave a cassone L=**

**23 m**

**retrotrave=**

**0.5 m**

Verifica nella sezione

x = **11.5 m**

### Dati sezione prefabbricata

Ap	<b>7820</b> cmq	Area	
Sxp	610273 cm <sup>3</sup>	Momento statico rispetto a x	bsol*hsol
ygp	<b>78.04</b> cm	Y baricentro	
Jxp	72835689 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x	
Jg	<b>25210000</b> cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G	

### Dati per la verifica al taglio

by	<b>28</b> cm	Spessore corda
y	0 cm	Distanza corda lembo inf. (=0 se baricentrico)
Sy	0 cm <sup>3</sup>	Momento statico (=0 se baricentrico)

### Dati getto in opera

bsol	<b>325.00</b> cm	Larghezza soletta
hsol	<b>30.00</b> cm	Altezza soletta
nsol	0.905	Coeff. omogen. soletta
As	8819.21 cmq	Area
Sxs	1 543 361 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygs	175.00 cm	Y baricentro
Jxs	270 749 650 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
yi	0.00 cm	Y lembo inferiore trave prefabbricata
ys	<b>160.00</b> cm	Y lembo superiore trave prefabbricata
ysol	<b>190.00</b> cm	Y lembo superiore soletta

### Dati sezione prefabbricata con armature

Apo	8154 cmq	Area
Sxpo	617946 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygp	75.79 cm	Y baricentro
Jxpo	73661349 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jgpo	26828445 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Wipo	353993 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore
Wspo	318582 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore
Wapo	508229 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente fibra cavo equiv.

### Dati sezione prefabbricata con armature + soletta

Ato	16973 cmq	Area
Sxto	2161307 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygt	127.34 cm	Y baricentro
Jxto	344410999 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jgto	69191519 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Wito	543363 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore
Wsto	2118500 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore
Wsolo	1104227 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore soletta

### Calcolo delle perdite immediate

Sco 543 Kg/cm<sup>2</sup> Perdite dovute alla deformazione istantanea del cls

### Calcolo delle perdite dipendenti dal tempo

Sril	746 Kg/cm <sup>2</sup>	Perdita per rilassamento
Srit	<b>585</b> Kg/cm <sup>2</sup>	Perdita per ritiro
Svis	1966 Kg/cm <sup>2</sup>	Perdita per viscosità
Srlit	412 Kg/cm <sup>2</sup>	Perdita per rilassamento ridotta
Srlim	596 Kg/cm <sup>2</sup>	Perdita per rilassamento minima (=0.8*Sril)
Perd	2576 Kg/cm <sup>2</sup>	Perdita totale

Trefoli		
y	n	A
5.0	16	1.39
10.0	16	1.39
15.0	4	1.39
20.0	0	1.39
0.0	0	1.39
30.0	0	1.39
50.0	0	1.39
80.0	0	1.39
155.0	4	1.39
0.0	0	1.39
0.0	0	1.39
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
23.00	40	55.60

mp= 6

Armature	
y	A
45.0	0.00
65.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
Aot	0.00
mo=	6

S0	<b>14250</b> Kg/cm <sup>2</sup>	Tiro iniziale (≤0.75*fptk)
fptk	<b>18600</b> Kg/cm <sup>2</sup>	Tens. caratt. di rottura
ρ <sup>1000</sup>	2.5	Perdita per rilassamento a 1000 ore

### Calcestruzzi

Rckj	<b>400</b> Kg/cm <sup>2</sup>
Rck	<b>550</b> Kg/cm <sup>2</sup>
Rcksol	<b>450</b> Kg/cm <sup>2</sup>

A VUOTO	IN SERVIZIO
Scompr	-232
Scompr	-205



## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 48 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

### COMB. SLE\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	131112	0
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	150779	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	71623.11	37808	0
4) Peso soletta	0	158397	0
5a) perm.port.	0	115104	0
5b) perdite/ 50%	71623.11	37808	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.4	0
7) Carichi mobili	0	305757	25259

### COMB. SLE\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	131112	0
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	150779	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	71623.11	37808	0
4) Peso soletta	0	158397	0
5a) perm.port.	0	115104	0
5b) perdite/ 50%	71623.11	37808	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili	0	305757	25259

### COMB. FR\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	131112	0
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	150779	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	71623.11	37808	0
4) Peso soletta	0	158397	0
5a) perm.port.	0	115104	0
5b) perdite/ 50%	71623.11	37808	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.4	0
7) Carichi mobili*0.75	0	229318	18944.3

### COMB. FR\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	131112	0
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	150779	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	71623.11	37808	0
4) Peso soletta	0	158397	0
5a) perm.port.	0	115104	0
5b) perdite/ 50%	71623.11	37808	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.75	0	229318	18944.3

### COMB. QP\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	131112	0
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	150779	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	71623.11	37808	0
4) Peso soletta	0	158397	0
5a) perm.port.	0	115104	0
5b) perdite/ 50%	71623.11	37808	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.4	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	0

### COMB. QP\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	131112	0
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	150779	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	71623.11	37808	0
4) Peso soletta	0	158397	0
5a) perm.port.	0	115104	0
5b) perdite/ 50%	71623.11	37808	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 49 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

**Trave a cassone L=**

**23 m**

**retrotrave=**

**0.5 m**

Verifica nella sezione

**x = 7 m**

### Dati sezione prefabbricata

Ap	7820 cmq	Area
Sxp	610273 cm <sup>3</sup>	Momento statico rispetto a x
ygp	78.04 cm	Y baricentro
Jxp	72835689 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jg	25210000 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G

### Dati per la verifica al taglio

by	28 cm	Spessore corda
y	0 cm	Distanza corda lembo inf. (=0 se baricentrico)
Sy	0 cm <sup>3</sup>	Momento statico (=0 se baricentrico)

### Dati getto in opera

bsol	325.00 cm	Larghezza soletta
hsol	30.00 cm	Altezza soletta
nsol	0.905	Coeff. omogen. soletta
As	8819.21 cmq	Area
Sxs	1 543 361 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygs	175.00 cm	Y baricentro
Jxs	270 749 650 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
yi	0.00 cm	Y lembo inferiore trave prefabbricata
ys	160.00 cm	Y lembo superiore trave prefabbricata
ysol	190.00 cm	Y lembo superiore soletta

### Dati sezione prefabbricata con armature

Apo	8154 cmq	Area
Sxpo	617946 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygpo	75.79 cm	Y baricentro
Jxpo	73661349 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jgpo	26828445 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Wipo	353993 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore
Wspo	318582 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore
Wapo	508229 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente fibra cavo equiv.

### Dati sezione prefabbricata con armature + soletta

Ato	16973 cmq	Area
Sxto	2161307 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygto	127.34 cm	Y baricentro
Jxto	344410999 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jgto	69191519 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Wito	543363 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore
Wsto	2118500 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore
Wsolo	1104227 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore soletta

### Calcolo delle perdite immediate

Sco 543 Kg/cm<sup>q</sup> Perdite dovute alla deformazione istantanea del cls

### Calcolo delle perdite dipendenti dal tempo

Sril	746 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per rilassamento
Srit	585 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per ritiro
Svis	2018 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per viscosità
Srit	405 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per rilassamento ridotta
Srilm	596 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per rilassamento minima (=0.8*Sril)
Perd	2619 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita totale

Trefoli		
y	n	A
5.0	16	1.39
10.0	16	1.39
15.0	4	1.39
20.0	0	1.39
0.0	0	1.39
30.0	0	1.39
50.0	0	1.39
80.0	0	1.39
155.0	4	1.39
0.0	0	1.39
0.0	0	1.39
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
23.00	40	55.60

mp= 6

Armature	
y	A
45.0	0.00
65.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
Aot	0.00

mo= 6

S0	14250 Kg/cm <sup>q</sup>	Tiro iniziale ( $\leq 0.75 \cdot f_{ptk}$ )
f <sub>ptk</sub>	18600 Kg/cm <sup>q</sup>	Tens. caratt. di rottura
p <sup>1000</sup>	2.5	Perdita per rilassamento a 1000 ore

### Calcestruzzi

Rckj	400 Kg/cm <sup>q</sup>
Rck	550 Kg/cm <sup>q</sup>
Rcksol	450 Kg/cm <sup>q</sup>

A VUOTO	IN SERVIZIO
Scompr	-232
Scompr	-205

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 50 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

### COMB. SLE\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)	Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0	1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	111129	8839	2) Peso proprio trave	0	111129	8839
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	127798	0	2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	127798	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0	2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	72821.01	38441	0	3) Perdite*(50%)	72821.01	38441	0
4) Peso soletta	0	134096	10798	4) Peso soletta	0	134096	10798
5a) perm.port.	0	87446	7848	5a) perm.port.	0	87446	7848
5b) perdite/ 50%	72821.01	38441	0	5b) perdite/ 50%	72821.01	38441	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0	6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.4	0	6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili	0	252925	36383	7) Carichi mobili	0	252925	36383

### COMB. SLE\_II

### COMB. FR\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)	Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0	1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	111129	8839	2) Peso proprio trave	0	111129	8839
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	127798	0	2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	127798	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0	2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	72821.01	38441	0	3) Perdite*(50%)	72821.01	38441	0
4) Peso soletta	0	134096	10798	4) Peso soletta	0	134096	10798
5a) perm.port.	0	87446	7848	5a) perm.port.	0	87446	7848
5b) perdite/ 50%	72821.01	38441	0	5b) perdite/ 50%	72821.01	38441	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0	6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0(trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.4	0	6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.75	0	189694	27287.3	7) Carichi mobili*0.75	0	189694	27287.3

### COMB. FR\_II

### COMB. QP\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)	Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0	1) Precompressione t0	-762135.2	-402316	0
2) Peso proprio trave	0	111129	8839	2) Peso proprio trave	0	111129	8839
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	127798	0	2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	127798	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0	2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	0
3) Perdite*(50%)	72821.01	38441	0	3) Perdite*(50%)	72821.01	38441	0
4) Peso soletta	0	134096	10798	4) Peso soletta	0	134096	10798
5a) perm.port.	0	87446	7848	5a) perm.port.	0	87446	7848
5b) perdite/ 50%	72821.01	38441	0	5b) perdite/ 50%	72821.01	38441	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6(trave)	-77490	2021.25	0	6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0(trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.4	0	6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	0	7) Carichi mobili*0.0	0	0	0

### COMB. QP\_II

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	51 di 100

**Trave a cassone L=**

23 m

**retrotrave=**

0.5 m

Verifica nella sezione

x = **4.6 m**

### Dati sezione prefabbricata

Ap	<b>7820</b> cmq	Area
Sxp	610273 cm <sup>3</sup>	Momento statico rispetto a x
ygp	<b>78.04</b> cm	Y baricentro
Jxp	72835689 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jg	<b>25210000</b> cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G

### Dati per la verifica al taglio

by	<b>28</b> cm	Spessore corda
y	0 cm	Distanza corda lembo inf. (=0 se baricentrico)
Sy	0 cm <sup>3</sup>	Momento statico (=0 se baricentrico)

### Dati getto in opera

bsol	<b>325.00</b> cm	Larghezza soletta
hsol	<b>30.00</b> cm	Altezza soletta
nsol	0.905	Coeff. omogen. soletta
As	8819.21 cmq	Area
Sxs	1 543 361 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygs	175.00 cm	Y baricentro
Jxs	270 749 650 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
yi	0.00 cm	Y lembo inferiore trave prefabbricata
ys	<b>160.00</b> cm	Y lembo superiore trave prefabbricata
ysol	<b>190.00</b> cm	Y lembo superiore soletta

### Dati sezione prefabbricata con armature

Apo	8087 cmq	Area
Sxpo	617612 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygpo	76.37 cm	Y baricentro
Jxpo	73659681 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jgpo	26491357 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Wipo	346872 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore
Wspo	316777 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore
Wapo	542055 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente fibra cavo equiv.

### Dati sezione prefabbricata con armature + soletta

Ato	16906 cmq	Area
Sxto	2160973 cm <sup>3</sup>	Momento statico
ygto	127.82 cm	Y baricentro
Jxto	344409331 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x
Jgto	68188985 cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G
Wito	533467 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore
Wsto	2119131 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore
Wsolo	1096677 cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore soletta

### Calcolo delle perdite immediate

Sco 434 Kg/cm<sup>q</sup> Perdite dovute alla deformazione istantanea del cls

### Calcolo delle perdite dipendenti dal tempo

Sril	746 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per rilassamento
Srit	<b>585</b> Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per ritiro
Svis	1555 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per viscosità
Srit	466 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per rilassamento ridotta
Srlm	596 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita per rilassamento minima (=0.8*Sril)
Perd	2351 Kg/cm <sup>q</sup>	Perdita totale

Trefoli		
y	n	A
5.0	8	1.39
10.0	16	1.39
15.0	4	1.39
20.0	0	1.39
0.0	0	1.39
30.0	0	1.39
50.0	0	1.39
80.0	0	1.39
155.0	4	1.39
0.0	0	1.39
0.0	0	1.39
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
0.0	0	0.00
27.50	32	44.48

mp= 6

Armature	
y	A
45.0	0.00
65.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
0.0	0.00
Aot	0.00
mo=	6

S0	14250 Kg/cm <sup>q</sup>	Tiro iniziale ( $\leq 0.75 \cdot f_{ptk}$ )
f <sub>ptk</sub>	18600 Kg/cm <sup>q</sup>	Tens. caratt. di rottura
$\rho^{1000}$	2.5	Perdita per rilassamento a 1000 ore

### Calcestruzzi

Rckj	<b>400</b> Kg/cm <sup>q</sup>
Rck	<b>550</b> Kg/cm <sup>q</sup>
Rcksol	<b>450</b> Kg/cm <sup>q</sup>

A VUOTO	IN SERVIZIO
Scompr	-232
Scompr	-205

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	52 di 100

### COMB. SLE\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kg)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-614534.5	-300336	0
2) Peso proprio trave	0	82677	13727
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	95078.6	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	6632.919	3242	0
3) Perdite*(50%)	52291.99	25556	0
4) Peso soletta	0	99296	16796
5a) perm.port.	0	72158	12208
5b) perdite/ 50%)	52291.99	25556	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.44	0
7) Carichi mobili	0	186050	44495

### COMB. SLE\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kg)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-614534.5	-300336	0
2) Peso proprio trave	0	82677	13727
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	95078.6	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	6632.919	3242	0
3) Perdite*(50%)	52291.99	25556	0
4) Peso soletta	0	99296	16796
5a) perm.port.	0	72158	12208
5b) perdite/ 50%)	52291.99	25556	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili	0	186050	44495

### COMB. FR\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kg)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-614534.5	-300336	0
2) Peso proprio trave	0	82677	13727
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	95078.6	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	6632.919	3242	0
3) Perdite*(50%)	52291.99	25556	0
4) Peso soletta	0	99296	16796
5a) perm.port.	0	72158	12208
5b) perdite/ 50%)	52291.99	25556	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.44	0
7) Carichi mobili*0.75	0	139538	33371.3

### COMB. FR\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kg)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-614534.5	-300336	0
2) Peso proprio trave	0	82677	13727
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	95078.6	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	6632.919	3242	0
3) Perdite*(50%)	52291.99	25556	0
4) Peso soletta	0	99296	16796
5a) perm.port.	0	72158	12208
5b) perdite/ 50%)	52291.99	25556	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.75	0	139538	33371.3

### COMB. QP\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kg)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-614534.5	-300336	0
2) Peso proprio trave	0	82677	13727
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	95078.6	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	6632.919	3242	0
3) Perdite*(50%)	52291.99	25556	0
4) Peso soletta	0	99296	16796
5a) perm.port.	0	72158	12208
5b) perdite/ 50%)	52291.99	25556	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.44	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	0

### COMB. QP\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kg)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-614534.5	-300336	0
2) Peso proprio trave	0	82677	13727
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	95078.6	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	6632.919	3242	0
3) Perdite*(50%)	52291.99	25556	0
4) Peso soletta	0	99296	16796
5a) perm.port.	0	72158	12208
5b) perdite/ 50%)	52291.99	25556	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 53 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

<b>Trave a cassone L=</b>		<b>23 m</b>	<b>retrotrave=</b>		<b>0.5 m</b>					
Verifica nella sezione		<b>x = 2.3 m</b>								
<b>Dati sezione prefabbricata</b>										
Ap	7820	cmq	Area							
Sxp	610273	cm <sup>3</sup>	Momento statico rispetto a x	bsol*hsol	<b>Trefoli</b>			<b>Armature</b>		
ygp	78.04	cm	Y baricentro		<b>y</b>	<b>n</b>	<b>A</b>	<b>y</b>	<b>A</b>	
Jxp	72835689	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x		5.0	8	1.39	45.0	0.00	
Jg	25210000	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G		10.0	10	1.39	65.0	0.00	
					15.0	4	1.39	0.0	0.00	
<b>Dati per la verifica al taglio</b>										
by	28	cm	Spessore corda		20.0	0	1.39	0.0	0.00	
y	0	cm	Distanza corda lembo inf. (=0 se baricentrico)		0.0	0	1.39	0.0	0.00	
Sy	0	cm <sup>3</sup>	Momento statico (=0 se baricentrico)		50.0	0	1.39	0.0	0.00	
					60.0	0	1.39	0.0	0.00	
<b>Dati getto in opera</b>										
bsol	325.00	cm	Larghezza soletta		80.0	0	1.39	0.0	0.00	
hsol	30.00	cm	Altezza soletta		155.0	4	1.39	0.0	0.00	
nsol	0.905		Coeff. omogen. soletta		0.0	0	0.00	Aot	0.00	
As	8819.21	cmq	Area		0.0	0	0.00	mo=	6	
Sxs	1 543 361	cm <sup>3</sup>	Momento statico		0.0	0	0.00			
ygs	175.00	cm	Y baricentro		0.0	0	0.00			
Jxs	270 749 650	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x		0.0	0	0.00			
					0.0	0	0.00			
yi	0.00	cm	Y lembo inferiore trave prefabbricata		31.54	26	36.14			
ys	160.00	cm	Y lembo superiore trave prefabbricata		mp=	6				
ysol	190.00	cm	Y lembo superiore soletta							
<b>Dati sezione prefabbricata con armature</b>										
Apo	8037	cmq	Area		S0	14250	Kg/ cmq	Tiro iniziale ( $\leq 0.75 \cdot f_{ptk}$ )		
Sxpo	617112	cm <sup>3</sup>	Momento statico		fptk	18600	Kg/ cmq	Tens. caratt. di rottura		
ygp	76.79	cm	Y baricentro		$\rho^{1000}$	2.5		Perdita per rilassamento a 1000 ore		
Jxpo	73654677	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x							
Jgpo	26269545	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G							
Wipo	342117	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore		<b>Calcestruzzi</b>					
Wspo	315684	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore		Rckj	400	Kg/ cmq			
Wapo	580582	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente fibra cavo equiv.		Rck	550	Kg/ cmq			
					Rcksol	450	Kg/ cmq			
<b>Dati sezione prefabbricata con armature + soletta</b>										
Ato	16856	cmq	Area		<b>A VUOTO</b>		<b>IN SERVIZIO</b>			
Sxto	2160473	cm <sup>3</sup>	Momento statico		Scompr	232	Scompr	205		
ygt	128.17	cm	Y baricentro							
Jxto	344404327	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x							
Jgto	67492264	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G							
Wito	526576	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore							
Wsto	2120529	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore							
Wsolo	1091613	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore soletta							
<b>Calcolo delle perdite immediate</b>										
Sc	353	Kg/ cmq	Perdite dovute alla deformazione istantanea del cls							
<b>Calcolo delle perdite dipendenti dal tempo</b>										
Sril	746	Kg/ cmq	Perdita per rilassamento							
Srit	585	Kg/ cmq	Perdita per ritiro							
Svis	1242	Kg/ cmq	Perdita per viscosità							
Srilt	507	Kg/ cmq	Perdita per rilassamento ridotta							
Srlm	596	Kg/ cmq	Perdita per rilassamento minima ( $=0.8 \cdot S_{ril}$ )							
Perd	2156	Kg/ cmq	Perdita 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	54 di 100

### COMB. SLE\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-502250.4	-227253	0
2) Peso proprio trave	0	<b>51558</b>	<b>17637</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>59291.7</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2438	0
3) Perdite*(50%)	38955.21	17626	0
4) Peso soletta	0	<b>61198</b>	<b>21590</b>
5a) perm.port.	0	<b>44472</b>	<b>15696</b>
5b) perdite/ 50%	38955.21	17626	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	<b>-77490</b>	<b>2021.25</b>	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	<b>73143.4</b>	0
7) Carichi mobili	0	<b>113749</b>	<b>50734</b>

### COMB. SLE\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-502250.4	-227253	0
2) Peso proprio trave	0	<b>51558</b>	<b>17637</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>59291.7</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2438	0
3) Perdite*(50%)	38955.21	17626	0
4) Peso soletta	0	<b>61198</b>	<b>21590</b>
5a) perm.port.	0	<b>44472</b>	<b>15696</b>
5b) perdite/ 50%	38955.21	17626	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili	0	<b>113749</b>	<b>50734</b>

### COMB. FR\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-502250.4	-227253	0
2) Peso proprio trave	0	<b>51558</b>	<b>17637</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>59291.7</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2438	0
3) Perdite*(50%)	38955.21	17626	0
4) Peso soletta	0	<b>61198</b>	<b>21590</b>
5a) perm.port.	0	<b>44472</b>	<b>15696</b>
5b) perdite/ 50%	38955.21	17626	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	<b>-77490</b>	<b>2021.25</b>	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	<b>73143.4</b>	0
7) Carichi mobili*0.75	0	<b>85311.8</b>	<b>38050.5</b>

### COMB. FR\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-502250.4	-227253	0
2) Peso proprio trave	0	<b>51558</b>	<b>17637</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>59291.7</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2438	0
3) Perdite*(50%)	38955.21	17626	0
4) Peso soletta	0	<b>61198</b>	<b>21590</b>
5a) perm.port.	0	<b>44472</b>	<b>15696</b>
5b) perdite/ 50%	38955.21	17626	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.75	0	<b>85311.8</b>	<b>38050.5</b>

### COMB. QP\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-502250.4	-227253	0
2) Peso proprio trave	0	<b>51558</b>	<b>17637</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>59291.7</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2438	0
3) Perdite*(50%)	38955.21	17626	0
4) Peso soletta	0	<b>61198</b>	<b>21590</b>
5a) perm.port.	0	<b>44472</b>	<b>15696</b>
5b) perdite/ 50%	38955.21	17626	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	<b>-77490</b>	<b>2021.25</b>	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	<b>73143.4</b>	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	0

### COMB. QP\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-502250.4	-227253	0
2) Peso proprio trave	0	<b>51558</b>	<b>17637</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>59291.7</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2438	0
3) Perdite*(50%)	38955.21	17626	0
4) Peso soletta	0	<b>61198</b>	<b>21590</b>
5a) perm.port.	0	<b>44472</b>	<b>15696</b>
5b) perdite/ 50%	38955.21	17626	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 55 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

<b>Trave a cassone L=</b>		23 m		<b>retrotrave=</b>		0.5 m	
Verifica nella sezione		x = <b>0.57 m</b>					
<b>Dati sezione prefabbricata</b>							
Ap	11235	cmq	Area				
Sxp	887340	cm <sup>3</sup>	Momento statico rispetto a x	bsol*hsol			
ygp	78.98	cm	Y baricentro				
Jxp	101332137	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x				
Jg	31250000	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G				
<b>Dati per la verifica al taglio</b>							
by	48	cm	Spessore corda				
y	0	cm	Distanza corda lembo inf. (=0 se baricentrico)				
Sy	0	cm <sup>3</sup>	Momento statico (=0 se baricentrico)				
<b>Dati getto in opera</b>							
bsol	325.00	cm	Larghezza soletta				
hsol	30.00	cm	Altezza soletta				
nsol	0.905		Coeff. omogen. soletta				
As	8819.21	cmq	Area				
Sxs	1 543 361	cm <sup>3</sup>	Momento statico				
ygs	175.00	cm	Y baricentro				
Jxs	270 749 650	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x				
yi	0.00	cm	Y lembo inferiore trave prefabbricata	31.54	26	36.14	
ys	160.00	cm	Y lembo superiore trave prefabbricata	mp=	6		
ysol	190.00	cm	Y lembo superiore soletta				
<b>Dati sezione prefabbricata con armature</b>							
Apo	11452	cmq	Area	S0	14250	Kg/cmq	Tiro iniziale (≤0.75*fptk)
Sxpo	894179	cm <sup>3</sup>	Momento statico	fptk	18600	Kg/cmq	Tens. caratt. di rottura
ygp0	78.08	cm	Y baricentro	ρ <sup>1000</sup>	2.5		Perdita per rilassamento a 1000 ore
Jxpo	102151125	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x				
Jgpo	32332103	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G				
Wipo	414080	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore				
Wspo	394687	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore				
Wapo	694668	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente fibra cavo equiv.				
<b>Calcestruzzi</b>							
		Rckj	400	Kg/cmq			
		Rck	550	Kg/cmq			
		Rcksol	450	Kg/cmq			
<b>Dati sezione prefabbricata con armature + soletta</b>							
Ato	20271	cmq	Area				
Sxto	2437540	cm <sup>3</sup>	Momento statico				
ygt0	120.25	cm	Y baricentro				
Jxto	372900775	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a x				
Jgto	79792938	cm <sup>4</sup>	Momento d'inerzia rispetto a G				
Wito	663573	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente inferiore				
Wsto	2007237	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore				
Wsolo	1143942	cm <sup>3</sup>	Modulo resistente superiore soletta				
<b>Calcolo delle perdite immediate</b>							
Sc0	245	Kg/cmq	Perdite dovute alla deformazione istantanea del cls				
<b>Calcolo delle perdite dipendenti dal tempo</b>							
Sril	746	Kg/cmq	Perdita per rilassamento				
Srit	585	Kg/cmq	Perdita per ritiro				
Svis	1024	Kg/cmq	Perdita per viscosità				
Srlit	535	Kg/cmq	Perdita per rilassamento ridotta				
Srlm	596	Kg/cmq	Perdita per rilassamento minima (=0.8*Sril)				
Perd	2017	Kg/cmq	Perdita totale				
				<b>A VUOTO</b>	<b>IN SERVIZIO</b>		
				<b>Scompr</b>	232	<b>Scompr</b>	205

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	56 di 100

### COMB. SLE\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-506124.2	-235567	0
2) Peso proprio trave	0	<b>11063</b>	<b>24232</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>12722.5</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2508	0
3) Perdite*(50%)	36450.66	16965	0
4) Peso soletta	0	<b>12919</b>	<b>27581</b>
5a) perm.port.	0	<b>9374</b>	<b>20056</b>
5b) perdite/ 50%)	36450.66	16965	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	<b>-77490</b>	<b>2021.25</b>	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	<b>73143.4</b>	0
7) Carichi mobili	0	<b>41347</b>	<b>66657</b>

### COMB. SLE\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-506124.2	-235567	0
2) Peso proprio trave	0	<b>11063</b>	<b>24232</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>12722.5</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2508	0
3) Perdite*(50%)	36450.66	16965	0
4) Peso soletta	0	<b>12919</b>	<b>27581</b>
5a) perm.port.	0	<b>9374</b>	<b>20056</b>
5b) perdite/ 50%)	36450.66	16965	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili	0	<b>41347</b>	<b>66657</b>

### COMB. FR\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-506124.2	-235567	0
2) Peso proprio trave	0	<b>11063</b>	<b>24232</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>12722.5</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2508	0
3) Perdite*(50%)	36450.66	16965	0
4) Peso soletta	0	<b>12919</b>	<b>27581</b>
5a) perm.port.	0	<b>9374</b>	<b>20056</b>
5b) perdite/ 50%)	36450.66	16965	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	<b>-77490</b>	<b>2021.25</b>	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	<b>73143.4</b>	0
7) Carichi mobili*0.75	0	<b>31010.3</b>	<b>49992.75</b>

### COMB. FR\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-506124.2	-235567	0
2) Peso proprio trave	0	<b>11063</b>	<b>24232</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>12722.5</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2508	0
3) Perdite*(50%)	36450.66	16965	0
4) Peso soletta	0	<b>12919</b>	<b>27581</b>
5a) perm.port.	0	<b>9374</b>	<b>20056</b>
5b) perdite/ 50%)	36450.66	16965	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.75	0	<b>31010.3</b>	<b>49992.75</b>

### COMB. QP\_I

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-506124.2	-235567	0
2) Peso proprio trave	0	<b>11063</b>	<b>24232</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>12722.5</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2508	0
3) Perdite*(50%)	36450.66	16965	0
4) Peso soletta	0	<b>12919</b>	<b>27581</b>
5a) perm.port.	0	<b>9374</b>	<b>20056</b>
5b) perdite/ 50%)	36450.66	16965	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	<b>-77490</b>	<b>2021.25</b>	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	<b>73143.4</b>	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	0

### COMB. QP\_II

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	T(Kg)
1) Precompressione t0	-506124.2	-235567	0
2) Peso proprio trave	0	<b>11063</b>	<b>24232</b>
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	<b>12722.5</b>	0
2b) Perdita per rilassamento (20%)	5389.247	2508	0
3) Perdite*(50%)	36450.66	16965	0
4) Peso soletta	0	<b>12919</b>	<b>27581</b>
5a) perm.port.	0	<b>9374</b>	<b>20056</b>
5b) perdite/ 50%)	36450.66	16965	0
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (trave)	0	0	0
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.0 (soletta)	0	0	0
7) Carichi mobili*0.0	0	0	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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	57 di 100

## 5.8 RIEPILOGO DELLE VERIFICHE

### 5.8.1 Verifica delle tensioni - SLE

Di seguito viene riportato in forma tabellare il riassunto delle tensioni limite del calcestruzzo della trave:

	A VUOTO (Rckj=40 MPa)	IN SERVIZIO (Rck=55 MPa)
tensione di compressione limite trave	Scompr 232	Scompr 205

e della soletta (Rck=45 MPa):

Resistenza a compressione allo SLE – combinazioni di carico rare =  $0.60 \cdot f_{ck}$  = 224.1 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a compressione allo SLE – combinazioni di carico quasi permanenti =  $0.45 \cdot f_{ck}$  = 168.07 daN/cm<sup>2</sup>

TENSIONI (daN/cm<sup>2</sup>)

Legenda:

1° fase: precompressione + peso trave + 50% cadute tensioni (al taglio dei trefoli con Rckj=40 MPa);

1a° fase: sollevamento trave con punti di sollevamento posti a 1.00m dai bordi della trave (con incremento dinamico del peso proprio del 15% e con Rckj=40 MPa)

2° fase: getto soletta e traversi + ulteriore 50% cadute tensioni;

3° fase: sovraccarichi permanenti;

4° fase: sovraccarichi d'esercizio;

S<sub>sup</sub> tensione cls al bordo superiore trave prefabbricata

S<sub>inf</sub> tensione cls al bordo inferiore trave prefabbricata

S<sub>sol</sub> tensione cls al bordo superiore soletta

#### Verifica sezione x =11.30 m

Combinazioni - SLE_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - SLE_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-167.8	-8.7	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-167.8	-8.7	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-159	-11	0	1a° fase) 1+2a+2b	-159	-11	0
2° fase) 1+2+3+4	-105.9	-61.1	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-105.9	-61.1	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-94	-76	-10	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-85	-67	-13
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-26	-88	-34	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-17	-79	-41

#### Verifica sezione x =7.00 m

Combinazioni - SLE_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - SLE_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-173.5	-2.4	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-173.5	-2.4	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-165	-4	0	1a° fase) 1+2a+2b	-165	-4	0
2° fase) 1+2+3+4	-118.1	-47.3	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-118.1	-47.3	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-111	-61	-8	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-102	-51	-11
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-53	-70	-28	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-44	-61	-35

#### Verifica sezione x =4.60 m

Combinazioni - SLE_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - SLE_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-137.0	-7.5	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-137.0	-7.5	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-130	-8	0	1a° fase) 1+2a+2b	-130	-8	0
2° fase) 1+2+3+4	-96.3	-40.2	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-96.3	-40.2	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-92	-53	-6	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-83	-44	-9
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-49	-60	-19	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-40	-51	-26

#### Verifica sezione x =2.30 m

Combinazioni - SLE_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - SLE_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-112.5	-6.9	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-112.5	-6.9	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-106	-6	0	1a° fase) 1+2a+2b	-106	-6	0
2° fase) 1+2+3+4	-86.0	-27.0	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-86.0	-27.0	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-87	-39	-3	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-78	-29	-6
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-60	-43	-10	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-50	-33	-17

#### Verifica sezione x =0.57 m

Combinazioni - SLE_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - SLE_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-97.3	+12.5	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-97.3	+12.5	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-94	15	0	1a° fase) 1+2a+2b	-94	15	0
2° fase) 1+2+3+4	-88.0	+8.3	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-88.0	+8.3	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-93	1	1	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-87	8	-2
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-82	0	-1	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-76	7	-7

Le tensioni negative sono di compressione.

Le tensioni risultano essere inferiori ai valori indicati nella normativa sopra riportati.

Lo sforzo di trazione prodotte dalle tensioni positive viene assorbito dall'armatura lenta (vedi par. 5.8.6).

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	58 di 100

### 5.8.2 Verifica a fessurazione –FR

Di seguito viene riportato in forma tabellare il riassunto delle tensioni limite del calcestruzzo della trave+soletta in direzione longitudinale:

	A VUOTO (Rckj=40 MPa)	IN SERVIZIO (Rck=55 MPa)
tensione di compressione limite trave	Scompr 232	Scompr 205

e della soletta (Rck=45 MPa):

Resistenza a compressione allo SLE – combinazioni di carico rare	=	0.60*fck	=	224.1	daN/cm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione allo SLE – combinazioni di carico quasi permanenti	=	0.45*fck	=	168.07	daN/cm <sup>2</sup>

Si riporta, di seguito, la verifica a fessurazione nella condizione FR

TENSIONI (daN/cm<sup>2</sup>)

Legenda:

1° fase:	precompressione + peso trave + 50% cadute tensioni (al taglio dei trefoli con Rckj=45 MPa);
1a° fase:	sollevamento trave con punti di sollevamento posti a 1.00m dai bordi della trave (con incremento dinamico del peso proprio del 15% e con Rckj=45 MPa)
2° fase:	getto soletta e traversi + ulteriore 50% cadute tensioni;
3° fase:	sovraccarichi permanenti;
4° fase:	sovraccarichi d'esercizio;
S <sub>sup</sub>	tensione cls al bordo superiore trave prefabbricata
S <sub>inf</sub>	tensione cls al bordo inferiore trave prefabbricata
S <sub>sol</sub>	tensione cls al bordo superiore soletta

#### Verifica sezione x =11.50 m

Combinazioni - FR_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - FR_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-167.8	-8.7	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-167.8	-8.7	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-159	-11	0	1a° fase) 1+2a+2b	-159	-11	0
2° fase) 1+2+3+4	-105.9	-61.1	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-105.9	-61.1	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-94	-76	-10	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-85	-67	-13
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-40	-85	-28	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-31	-75	-35

#### Verifica sezione x =7.00 m

Combinazioni - FR_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - FR_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-173.5	-2.4	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-173.5	-2.4	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-165	-4	0	1a° fase) 1+2a+2b	-165	-4	0
2° fase) 1+2+3+4	-118.1	-47.3	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-118.1	-47.3	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-111	-61	-8	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-102	-51	-11
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-65	-68	-23	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-56	-58	-30

#### Verifica sezione x =4.60 m

Combinazioni - FR_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - FR_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-137.0	-7.5	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-137.0	-7.5	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-130	-8	0	1a° fase) 1+2a+2b	-130	-8	0
2° fase) 1+2+3+4	-96.3	-40.2	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-96.3	-40.2	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-92	-53	-6	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-83	-44	-9
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-58	-58	-15	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-49	-48	-22

#### Verifica sezione x =2.30 m

Combinazioni - FR_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - FR_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-112.5	-6.9	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-112.5	-6.9	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-106	-6	0	1a° fase) 1+2a+2b	-106	-6	0
2° fase) 1+2+3+4	-86.0	-27.0	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-86.0	-27.0	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-87	-39	-3	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-78	-29	-6
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-65	-41	-7	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-56	-32	-14

#### Verifica sezione x =0.57 m

Combinazioni - FR_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - FR_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-97.3	+12.5	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-97.3	+12.5	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-94	15	0	1a° fase) 1+2a+2b	-94	15	0
2° fase) 1+2+3+4	-88.0	+8.3	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-88.0	+8.3	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-93	1	1	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-87	8	-2
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-84	0	0	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-78	7	-6

Le tensioni negative sono di compressione.

Come specificato nel par. 4.2.3 della presente, nella combinazione Frequente occorre fare la verifica di apertura delle fessure sia per le travi ( $w_{k,lim.}=0.2$  mm) sia per la soletta ( $w_{k,lim.}=0.3$  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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 59 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Nel caso in cui non si formi la fessura viene riportato il valore della tensione minima del calcestruzzo che non deve essere superiore a  $f_{ctm}/1.2 = 33.5/1.2 = 27.9 \text{ daN/cm}^2$  per  $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$  (soletta), e a  $f_{ctm}/1.2 = 38.3/1.2 = 31.9 \text{ MPa}$  per  $R_{ck} = 55 \text{ MPa}$  (trave).

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	60 di 100

### 5.8.3 Verifica a fessurazione –QP

Di seguito viene riportato in forma tabellare il riassunto delle tensioni limite del calcestruzzo della trave+soletta in direzione longitudinale:

	A VUOTO (Rck=40 MPa)	IN SERVIZIO (Rck=55 MPa)
tensione di compressione limite trave	Scompr 232	Scompr 205

e della soletta (Rck=45 MPa):

Resistenza a compressione allo SLE – combinazioni di carico rare	=	0.60*fck	=	224.1	daN/cm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione allo SLE – combinazioni di carico quasi permanenti	=	0.45*fck	=	168.07	daN/cm <sup>2</sup>

Si riporta, di seguito, la verifica a fessurazione nella condizione QP

TENSIONI (daN/cm<sup>2</sup>)

Legenda:

1° fase:	precompressione + peso trave + 50% cadute tensioni (al taglio dei trefoli con Rckj=45 MPa);
1a° fase:	sollevamento trave con punti di sollevamento posti a 1.70m dai bordi della trave (con incremento dinamico del peso proprio del 15% e con Rckj=45 MPa)
2° fase:	getto soletta e traversi + ulteriore 50% cadute tensioni;
3° fase:	sovraccarichi permanenti;
4° fase:	sovraccarichi d'esercizio;
S <sub>sup</sub>	tensione cls al bordo superiore trave prefabbricata
S <sub>inf</sub>	tensione cls al bordo inferiore trave prefabbricata
S <sub>sol</sub>	tensione cls al bordo superiore soletta

#### Verifica sezione x =11.50 m

Combinazioni - QP_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - QP_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-167.8	-8.7	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-167.8	-8.7	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-159	-11	0	1a° fase) 1+2a+2b	-159	-11	0
2° fase) 1+2+3+4	-105.9	-61.1	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-105.9	-61.1	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-94	-76	-10	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-85	-67	-13
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-83	-74	-9	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-74	-64	-16

#### Verifica sezione x =7.00 m

Combinazioni - QP_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - QP_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-173.5	-2.4	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-173.5	-2.4	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-165	-4	0	1a° fase) 1+2a+2b	-165	-4	0
2° fase) 1+2+3+4	-118.1	-47.3	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-118.1	-47.3	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-111	-61	-8	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-102	-51	-11
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-100	-59	-7	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-91	-49	-14

#### Verifica sezione x =4.60 m

Combinazioni - QP_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - QP_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-137.0	-7.5	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-137.0	-7.5	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-130	-8	0	1a° fase) 1+2a+2b	-130	-8	0
2° fase) 1+2+3+4	-96.3	-40.2	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-96.3	-40.2	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-92	-53	-6	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-83	-44	-9
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-84	-51	-4	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-75	-42	-11

#### Verifica sezione x =2.30 m

Combinazioni - QP_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - QP_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-112.5	-6.9	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-112.5	-6.9	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-106	-6	0	1a° fase) 1+2a+2b	-106	-6	0
2° fase) 1+2+3+4	-86.0	-27.0	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-86.0	-27.0	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-87	-39	-3	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-78	-29	-6
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-81	-37	0	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-72	-28	-7

#### Verifica sezione x =0.57 m

Combinazioni - QP_I	Sinf	Ssup	Ssol	Combinazioni - QP_II	Sinf	Ssup	Ssol
1° fase) 1+2+2b	-97.3	+12.5	+0.0	1° fase) 1+2+2b	-97.3	+12.5	+0.0
1a° fase) 1+2a+2b	-94	15	0	1a° fase) 1+2a+2b	-94	15	0
2° fase) 1+2+3+4	-88.0	+8.3	+0.0	2° fase) 1+2+3+4	-88.0	+8.3	+0.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-93	1	1	3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-87	8	-2
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-89	2	3	4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-82	9	-4

Le tensioni negative sono di compressione.

Come specificato nel par. 4.2.3 della presente, nella combinazione quasi permanente occorre fare la verifica di apertura delle fessure per la soletta (w<sub>klim</sub>=0.2 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 61 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Nel caso in cui non si formi la fessura viene riportato il valore della tensione minima del calcestruzzo che non deve essere superiore a  $f_{ctm}/1.2 = 33.5/1.2 = 27.9 \text{ daN/cm}^2$  per  $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$  (soletta), e a  $f_{ctm}/1.2 = 38.3/1.2 = 31.9 \text{ MPa}$  per  $R_{ck} = 55 \text{ MPa}$  (trave).

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 62 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

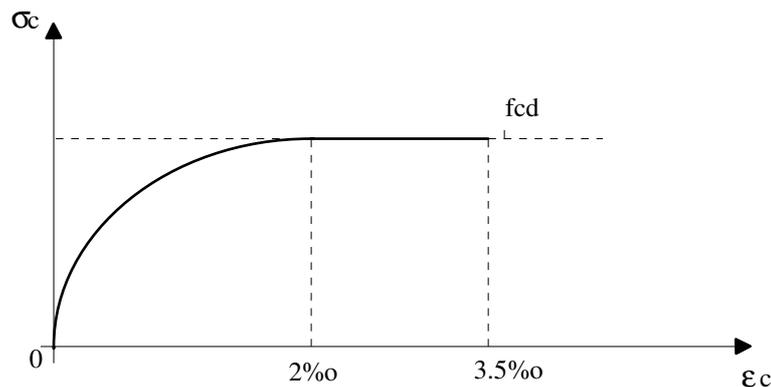
#### 5.8.4 Verifiche a rottura dell'impalcato -SLU

Questa verifica è stata fatta con l'ausilio di un programma di calcolo automatico.

Le ipotesi di calcolo alla base del metodo sono le seguenti:

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- calcestruzzo teso non reagente;
- legami costitutivi del materiale ( $\sigma$ - $\epsilon$ );
- sezione simmetrica rispetto all'asse y.

In particolare, il programma ipotizza la distribuzione non lineare delle tensioni in prossimità della rottura della sezione. Il diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$  è il seguente:



Esso è definito da un'arco di parabola di 2° grado passante per l'origine e da un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni e tangente alla parabola nel punto di sommità. Il vertice della parabola ha ascissa 0.002, l'estremità del segmento ha ascissa di 0.0035.

Per l'acciaio la Normativa prescrive di assumere diagrammi convenzionali ottenuti da quelli caratteristici effettuando un'affinità, parallelamente alla tangente all'origine, nel rapporto  $1/\gamma_s$ , con  $\gamma_s$  pari a 1.15.

Inoltre, l'allungamento massimo dell'acciaio da assumere è pari a 0.0675 al di là della decompressione della fibra di conglomerato posta allo stesso livello dell'armatura.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

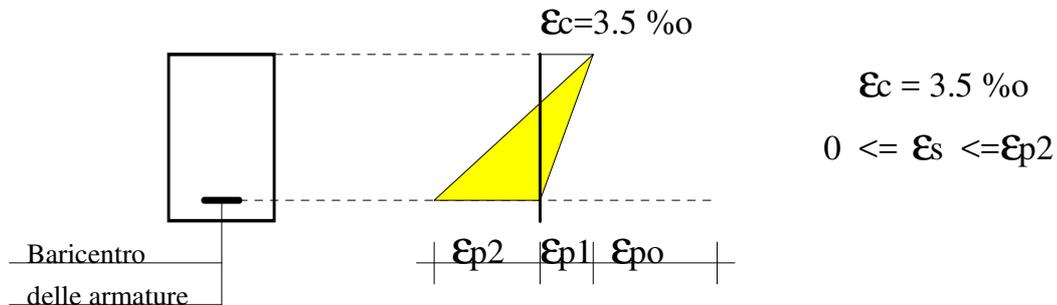
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 63 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Il programma lavora nei seguenti tre campi di rottura:

#### - CAMPO 3



-  $\epsilon_{p0}$  è la deformazione dell'acciaio dovuta alla precompressione iniziale;

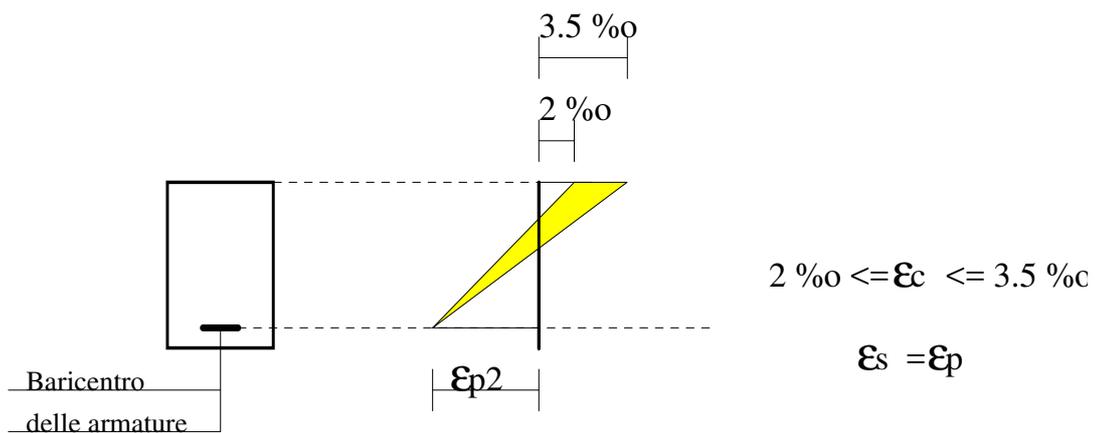
-  $\epsilon_{p1}$  è la deformazione dell'acciaio dovuta alla decompressione della fibra di calcestruzzo posta allo stesso livello dell'armatura;

-  $\epsilon_{p2}$  è la deformazione dell'acciaio fino al limite imposto dalla Normativa (6.75 %).

In questo campo di rottura la sezione è parzializzata e lo stato limite ultimo viene raggiunto per rottura del cls compresso, mentre l'acciaio ha un'allungamento variabile da  $\epsilon_s = \epsilon_{p0} + \epsilon_{p1}$  fino al limite dello snervamento massimo  $\epsilon_s = \epsilon_{p0} + \epsilon_{p1} + \epsilon_{p2}$ .

In questo campo si ha il massimo sfruttamento della sezione nel caso in cui, lo stato ultimo si raggiunge per rottura del cls compresso e per snervamento dell'acciaio teso.

#### - CAMPO 2B



In questo campo la sezione è sempre parzializzata e l'acciaio ha raggiunto il limite massimo di resistenza mentre il cls non è completamente sfruttato in quanto l'accorciamento è variabile dal 2‰ al 3.5‰.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

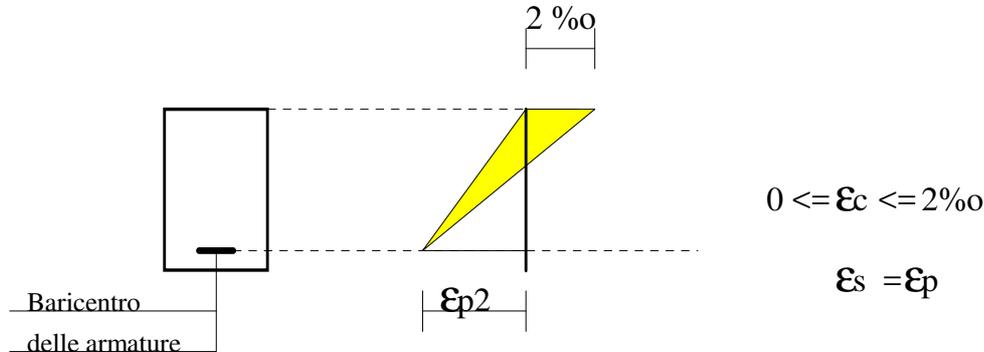
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 64 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

#### - CAMPO 2A



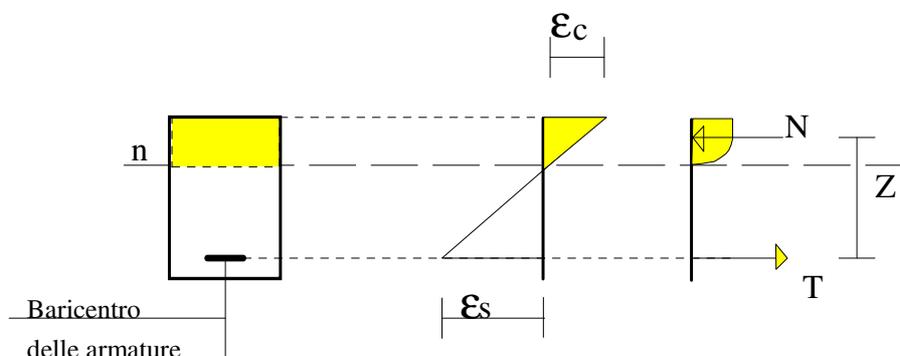
In questo campo la sezione è parzializzata e succede la stessa cosa che succede del campo 2B, la differenza esistente tra questi due campi sta nel fatto che il diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$  del cls passa da parabola-rettangolo (campo 2B) a solo parabola (campo 2A) e quindi il cls è ancora meno sfruttato.

Il programma funziona per approssimazioni. Esso parte dal campo 3, posiziona l'asse neutro in maniera arbitraria e si determina la forza di compressione (N) nel cls compresso e la forza di trazione (T) nell'acciaio teso; fa l'equilibrio alla traslazione, se  $N > T$  vuol dire che l'asse neutro vero si trova più in alto della posizione presa in considerazione (la parte di cls compresso presa in considerazione è eccessiva), se  $N < T$ , l'asse neutro reale si trova più in basso. Se nel campo 3 non trova l'equilibrio richiesto ( $N = T$ ), passa prima nel campo 2B e poi nel campo 2A.

Per velocizzare le operazioni che il programma deve fare, i tentativi vengono fatti nei limiti estremi dei campi, a partire sempre dal campo 3, in maniera tale da individuare prima il campo nel quale l'asse neutro si trova e poi fa una ricerca bisezione all'interno del campo individuato, fino a trovare la posizione esatta dell'asse neutro, per il quale si ha :

$$- N = T.$$

Una volta individuato l'asse neutro, il programma si calcola i baricentri delle forze N e T e quindi il relativo momento di rottura:



$$M_{rd} = N \cdot z = T \cdot z \text{ (momento di rottura)}$$

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 65 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Il coefficiente di sicurezza sarà dato da:

$$\eta = M_{rd}/M_{sd} \geq 1.0$$

dove  $M_{sd}$  è il momento sollecitante ultimo di calcolo.

Di seguito si riporta la verifica a rottura per la sezione più sollecitata a flessione, cioè quella in mezzzeria e relative alle due combinazioni di carico SLU\_I e SLU\_II

#### SLU I

Le tensioni ai lembi superiori ed inferiore della trave, con la sola precompressione, senza nessun carico e depurate dalle cadute di tensione e del ritiro differenziale valgono:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,sup} &= +32.8 & -3.1 & +2.4 & -9.6 & = & +22.6 \text{ daN/cm}^2 \\ \sigma_{c,inf} &= -207.1 & +19.5 & +11.2 & -9.1 & = & -185.6 \text{ daN/cm}^2 \end{aligned}$$

Mentre il momento sollecitante ultimo è pari a:

$$M_u = ( +1311.12 +1583.97 +1151.04 +3057.57 ) \times 1.35 + 33.69 \times 0.72 = 9614.25 \text{ kNm}$$

Dagli elaborati di calcolo risulta un coefficiente di sicurezza a rottura pari a:

$$\eta = 1.483 > 1.00$$

#### SLU II

Le tensioni ai lembi superiori ed inferiore della trave, con la sola precompressione, senza nessun carico e depurate dalle cadute di tensione valgono:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,sup} &= +32.8 & -3.1 & +2.4 & = & +32.2 \text{ daN/cm}^2 \\ \sigma_{c,inf} &= -207.1 & +19.5 & +11.2 & = & -176.5 \text{ daN/cm}^2 \end{aligned}$$

Mentre il momento sollecitante ultimo è pari a:

$$M_u = ( +1311.12 +1583.97 +1151.04 +3057.57 ) \times 1.35 = 9590.00 \text{ kNm}$$

Dagli elaborati di calcolo risulta un coefficiente di sicurezza a rottura pari a:

$$\eta = 1.487 > 1.00$$



## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 66 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

\*\*\*\*\* VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN C.A.P.:IMPALCATO SEANO \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* ----- \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* SLU\_I SEANO \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* VERTICI DELLA SAGOMA ESTERNA \*\*\*\*\*

*N	X	Y
1,	-45.00,	0.00
2,	-71.17,	133.00
3,	-95.57,	148.00
4,	-125.00,	149.83
5,	-147.0,	160.00
6,	-147.0,	190.00
7,	147.0,	190.0
8,	147.00,	160.0
9,	125.00,	160.0
10,	125.0,	149.83
11,	95.57,	148.0
12,	71.17,	133.0
13,	45.0,	0.0
15,	-45.0,	0.0

END

\*\*\*\*\* VERTICI DELLA SAGOMA INTERNA \*\*\*\*\*

*N	X	Y
1'	0.00,	25.00
2'	36.45,	29.06
3'	62.21,	160.0
4'	-62.21,	160.0
5'	-36.45,	29.06
7'	0.0,	25.0

END

\*

\*\*\*\*\* COEFFICIENTI: \*\*\*\*\*

\*

RCK	= 550	*	COEFFICIENTE CARATTERISTICO DEL CALC	(Kg/cmq)
EC	= 364160	*	MODULO ELASTICO DEL CALCESTRUZZO	(Kg/cmq)
SOMMITA	= 160	*	ALTEZZA DELLA SOLA TRAVE	(cm)
S-C-SUP	=22.6	*	TENSIONE DEL CALCESTRUZZO IN SOMMITA'	(Kg/cmq)
S-C-INF	= -185.6	*	TENSIONE DEL CALCESTRUZZO ALLA BASE	(Kg/cmq)
S-S0	= 14250	*	TENSIONE INIZIALE DELL'ARMATURA	(Kg/cmq)
ES	= 1950000	*	MODULO ELASTICO DELL'ACCIAIO	(Kg/cmq)
ME	= 96142500	*	MOMENTO SLU	(Kgcm)
AP	= 0.05	*	FATTORE DI APPROSSIMAZIONE	

\*

\*\*\*\*\* POSIZIONE, NUMERO E AREE DEI CAVI \*\*\*\*\*

\*

1(5,16,1.39)	*	FILA N. 1
2(10,16,1.39)	*	FILA N. 2
3(15,4,1.39)	*	FILA N. 3
4(155,4,1.39)	*	FILA N. 4

END

1. CAMPO DI ROTTURA	====>	2a
2. POSIZIONE DELL'ASSE NEUTRO	====>	167.824 cm
3. DEFORMAZIONE LIMITE CALCESTRUZZO	====>	0.153 %
4. DEFORMAZIONE LIMITE ACCIAIO	====>	1.000 %
5. VALORE DELLO SFORZO NORMALE	====>	8969.186 KN
6. BRACCIO DELLE FORZE INTERNE	====>	158.965 cm
7. MOMENTO DI ROTTURA	====>	14257.880 KNm
8. COEFFICIENTE DI SICUREZZA	====>	1.483



## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 67 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

\*\*\*\*\* VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN C.A.P.:IMPALCATO SEANO \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* SLU\_II SEANO \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* VERTICI DELLA SAGOMA ESTERNA

*N	X	Y
1,	-45.00,	0.00
2,	-71.17,	133.00
3,	-95.57,	148.00
4,	-125.00,	149.83
5,	-147.0,	160.00
6,	-147.0,	190.00
7,	147.0,	190.0
8,	147.00,	160.0
9,	125.00,	160.0
10,	125.0,	149.83
11,	95.57,	148.0
12,	71.17,	133.0
13,	45.0,	0.0
15,	-45.0,	0.0

END

\*\*\*\*\* VERTICI DELLA SAGOMA INTERNA

*N	X	Y
1'	0.00,	25.00
2'	36.45,	29.06
3'	62.21,	160.0
4'	-62.21,	160.0
5'	-36.45,	29.06
7'	0.0,	25.0

END

\*\*\*\*\* COEFFICIENTI:

RCK	= 550	* COEFFICIENTE CARATTERISTICO DEL CALC (Kg/cmq)
EC	= 364160	* MODULO ELASTICO DEL CALCESTRUZZO (Kg/cmq)
SOMMITA	= 160	* ALTEZZA DELLA SOLA TRAVE (cm)
S-C-SUP	= 32.2	* TENSIONE DEL CALCESTRUZZO IN SOMMITA' (Kg/cmq)
S-C-INF	= -176.5	* TENSIONE DEL CALCESTRUZZO ALLA BASE (Kg/cmq)
S-S0	= 14250	* TENSIONE INIZIALE DELL'ARMATURA (Kg/cmq)
ES	= 1950000	* MODULO ELASTICO DELL'ACCIAIO (Kg/cmq)
ME	= 95900000	* MOMENTO SLU (Kgcm)
AP	= 0.05	* FATTORE DI APPROSSIMAZIONE

\*\*\*\*\* POSIZIONE, NUMERO E AREE DEI CAVI

1	(5,16,1.39)	* FILA N. 1
2	(10,16,1.39)	* FILA N. 2
3	(15,4,1.39)	* FILA N. 3
4	(155,4,1.39)	* FILA N. 4

END

1. CAMPO DI ROTTURA	====>	2a
2. POSIZIONE DELL'ASSE NEUTRO	====>	167.824 cm
3. DEFORMAZIONE LIMITE CALCESTRUZZO	====>	0.153 %
4. DEFORMAZIONE LIMITE ACCIAIO	====>	1.000 %
5. VALORE DELLO SFORZO NORMALE	====>	8969.186 KN
6. BRACCIO DELLE FORZE INTERNE	====>	158.965 cm
7. MOMENTO DI ROTTURA	====>	14257.880 KNm
8. COEFFICIENTE DI SICUREZZA	====>	1.487

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 68 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

#### 5.8.5 Verifica a taglio

##### - Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad (4.1.13)$$

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

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

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.14)$$

con

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

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

e dove

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

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

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

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

Nel caso di elementi in cemento armato precompresso disposti in semplice appoggio, nelle zone non fessurate da momento flettente (con tensioni di trazione non superiori a  $f_{ctd}$ ) la resistenza può valutarsi, in via semplificativa, con la formula:

$$V_{Rd} = 0,7 \cdot b_w \cdot d \cdot (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd})^{1/2} \quad (4.1.15)$$

In presenza di significativi sforzi di trazione, la resistenza a taglio del calcestruzzo è da considerarsi nulla e, in tal caso, non è possibile adottare elementi sprovvisti di armatura trasversale.

##### - Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

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

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5 \quad (4.1.16)$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad (4.1.17)$$

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

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha \quad (4.1.18)$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 69 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta) \quad (4.1.19)$$

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

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad (4.1.20)$$

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

$A_{sw}$  area dell'armatura trasversale;

$s$  interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\alpha$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$f'_{cd}$  resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );

$\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a

1	per membrature non compresse
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

In presenza di significativo sforzo assiale, ad esempio conseguente alla precompressione, si dovrà aggiungere la limitazione:

$$(\text{ctg}\theta_1 \leq \text{ctg}\theta) \quad (4.1.21)$$

dove  $\theta_1$  è l'angolo di inclinazione della prima fessurazione ricavato da  $\text{ctg}\theta_1 = \tau/\sigma_1$  mentre  $\tau$  e  $\sigma_1$  sono rispettivamente la tensione tangenziale e la tensione principale di trazione sulla corda baricentrica della sezione intesa interamente reagente.

Di seguito sono riportate le verifiche a taglio nelle sezioni più significative:

- *Sezione in asse appoggio - Sezione in c.a. della trave*

L'ipotesi alla base delle verifiche è quella di considerare attiva la precompressione a partire da una sezione posta ad una distanza dalla testata pari a 70 volte il diametro dei trefoli utilizzati; nel caso in esame tale lunghezza risulta pari a 107.0 cm, per cui sono state considerate precomprese tutte le sezioni con  $x > 57.0$  cm (distanza dall'asse di appoggio). Nel tratto che va dall'asse di appoggio fino a questa ascissa le verifiche sono state condotte secondo la consueta teoria del cemento armato.

Il taglio di calcolo è il seguente:

$$V_{Ed} = 1870.10 \text{ kN}$$

Vengono disposte staffe ( $1\phi 12$ ) a 4 bracci a un passo di 10 cm

Per cui la verifica sarà:

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 70 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

#### Verifiche allo stato limite ultimo di taglio

Materiali (Unità N,mm)	
Calcestruzzo	Acciaio
Rck = 45	fywk = 450
fck = 37.35	fywd = 391.3
fcd = 21.17	
fctd = 1.56	

Sezione da verificare	
Altezza trave	1900 mm
Copriferro staffe	30 mm
Larghezza netta resistente a taglio	520 mm
Diametro staffe	12 (4 $\phi$ 12/10)
Bracci	4
Interasse	100 mm
Area staffe al metro	4.52 cm <sup>2</sup> /m
cotg $\alpha$ $\alpha =$ 90.00 °	0.00
cotg $\theta$ $\theta =$ 45.00 °	1.00

Verifiche allo s.l.u. per taglio	VR,d > VEd
<b>Taglio di calcolo V<sub>Ed</sub></b>	<b>1870.10 kN</b>
V <sub>rzd</sub>	<b>9231.67 kN</b>
V <sub>rsd</sub>	<b>2979.28 kN</b>
<b>VRd=min[V<sub>rzd</sub>;V<sub>rsd</sub>]</b>	<b>2979.28 kN</b>
	<b>ok</b>

Per motivare la scelta dell'angolo  $\theta$  da utilizzare in fase di verifica è conveniente richiamare alcuni cenni di teoria riguardante la schematizzazione a traliccio ad inclinazione variabile.

Tale schematizzazione permette infatti di considerare in maniera corretta il contributo di resistenza al taglio fornito dagli effetti iperstatici, principalmente l'ingranamento degli inerti, i quali permettono un passaggio degli sforzi attraverso le fessure. Ciò determina un abbassamento della tensione nell'armatura trasversale, la quale raggiungerà lo snervamento per valori di taglio sensibilmente più elevati.

Gli effetti iperstatici permangono però anche dopo lo snervamento dell'armatura e consentono una ulteriore crescita del taglio grazie ad un adattamento plastico che compensa l'incremento con un accresciuto impegno del calcestruzzo secondo un'inclinazione sempre più abbattuta delle compressioni d'anima.

La risorsa ultima di resistenza è raggiunta quando si arriva anche alla rottura del calcestruzzo, ossia quando:

$$V_{rsd} = V_{rzd}$$

Il grafico sottostante mostra gli andamenti della resistenza a taglio trazione adimensionalizzata,  $nsd = V_{rsd} / bzf'cd$ , e della resistenza a taglio compressione adimensionalizzata  $ncd = V_{rzd} / bzf'cd$ , in funzione del parametro  $lc = ctg \theta$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

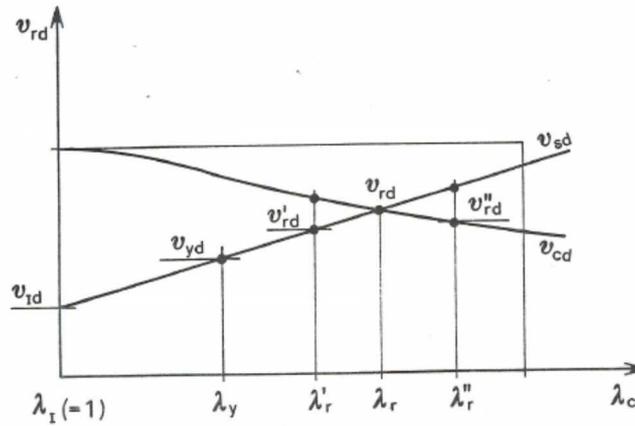
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 71 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------



Il valore di  $\text{ctg } \theta$  ottenuto imponendo la precedente uguaglianza deve rispettare comunque i limiti imposti dalla normativa ( $1 < \text{ctg } \theta < 2.5$ ), altrimenti, se maggiore, si assumerà il valore massimo ammesso pari a 2.5.

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 72 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

- Sezione a  $x=57$  cm dall'asse appoggio - Sezione in c.a.p. della trave

Le massime tensioni principali di trazione vengono cercate in corrispondenza del baricentro della trave (1° fase di carico) o della sezione omogeneizzata trave+soletta (2°, 3° e 4° fase di carico).

Combinazioni - SLE I	$\sigma$ (by)	$\tau$	$\sigma$ I	$\sigma$ II
1° fase) 1+2+2b	-43.7	2.3	0.1	-43.8
1a° fase) 1+2a+2b	-41.1	0.0	0.0	-41.1
2° fase) 1+2+3+4	-41.0	4.9	0.6	-41.6
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-22.4	6.8	1.9	-24.3
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-20.6	12.6	5.9	-26.5

Le tensioni al lembo più sollecitato a taglio (baricentro della sezione) valgono:

$$\tau = 12.6 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma \text{ I} = 5.9 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma \text{ II} = -26.5 \text{ daN/cm}^2$$

} tensioni principali

L'inclinazione dell'ideale biella compressa del traliccio di Morsch è pari a:

$$\text{ctg}\theta = \tau / \sigma \text{ I} = 12.6 / 5.9 = 2.13$$

Vengono disposte staffe (1 $\phi$ 12) a 4 bracci a un passo di 10 cm.

Per cui la verifica a taglio sarà:

Verifiche allo stato limite ultimo di taglio	
<b>Materiali (Unità kN,mm)</b>	
Calcestruzzo	Acciaio
Rck = 45	fywk = 450
fck = 37.35	fywd = 391.3
fcd = 21.17	
fctd = 1.56	
<b>Sezione da verificare</b>	
Altezza trave	1900 mm
Copriferro staffe	30 mm
Larghezza netta resistente a taglio	520 mm
Diametro staffe	12 (4 $\phi$ 12/10)
Bracci	4
Interasse	100 mm
Area staffe al metro	4.52 cm <sup>2</sup> /m
ctg $\alpha$	0.00
ctg $\theta$	2.130
<b>Verifiche allo s.l.u. per taglio</b>	
<b>Taglio di calcolo V<sub>Ed</sub></b>	<b>VR,d &gt; VEd</b>
Vrcd	1808.64 kN
Vrsd	9231.67 kN
Vrd=min[Vrcd;Vrsd]	6346.16 kN
	6346.16 kN
	ok

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 73 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

- Sezione a  $x=230$  cm dall'asse appoggio - Sezione in c.a.p. della trave

Le massime tensioni principali di trazione vengono cercate in corrispondenza del baricentro della trave (1° fase di carico) o della sezione omogeneizzata trave+soletta (2°, 3° e 4° fase di carico).

Combinazioni - SLE_I	$\sigma(\text{by})$	$\tau$	$\sigma_{\text{I}}$	$\sigma_{\text{II}}$
1° fase) 1+2+2b	-61.8	2.0	0.1	-61.9
1a° fase) 1+2a+2b	-58.1	0.0	0.0	-58.1
2° fase) 1+2+3+4	-57.6	4.4	0.3	-58.0
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-48.3	6.2	0.8	-49.1
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-46.0	12.9	3.3	-49.4

Le tensioni al lembo più sollecitato a taglio (baricentro della sezione) valgono:

$$\tau = 12.9 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma \text{ I} = 3.3 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma \text{ II} = -49.40 \text{ daN/cm}^2$$

} tensioni principali

L'inclinazione dell'ideale biella compressa del traliccio di Morsch è pari a:

$$\text{ctg}\theta = \tau / \sigma \text{ I} = 12.9/3.3 = 3.90 > 2.5$$

Vengono disposte staffe  $\phi 12$  a 2 bracci a un passo di 20.

Per cui la verifica a taglio sarà:

Verifiche allo stato limite ultimo di taglio	
<b>Materiali (Unità kN,mm)</b>	
Calcestruzzo	Acciaio
$R_{ck} = 45$	$f_{yk} = 450$
$f_{ck} = 37.35$	$f_{ykd} = 391.3$
$f_{cd} = 21.17$	
$f_{ctd} = 1.56$	
<b>Sezione da verificare</b>	
Altezza trave	1900 mm
Copriferro staffe	30 mm
Larghezza netta resistente a taglio	280 mm
Diametro staffe	12 ( $2\phi 12/20$ )
Bracci	4
Interasse	200 mm
Area staffe al metro	2.26 $\text{cm}^2/\text{m}$
$\text{cotg}\alpha$	0.00
$\text{cotg}\theta$	2.50
<b>Verifiche allo s.l.u. per taglio</b>	
<b>Taglio di calcolo <math>V_{Ed}</math></b>	<b><math>VR,d &gt; VEd</math></b>
$V_{rcd}$	1426.37 kN
$V_{rsd}$	4970.90 kN
$V_{Rd} = \min[V_{rcd}; V_{rsd}]$	3724.25 kN
	<b>ok</b>
	3724.25 kN



## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 74 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

- Sezione a  $x=460$  cm dall'asse appoggio - Sezione in c.a.p. della trave

Le massime tensioni principali di trazione vengono cercate in corrispondenza del baricentro della trave (1° fase di carico) o della sezione omogeneizzata trave+soletta (2°, 3° e 4° fase di carico).

Combinazioni - SLE_I	$\sigma(\text{by})$	$\tau$	$\sigma_{\text{I}}$	$\sigma_{\text{II}}$
1° fase) 1+2+2b	-75.2	1.5	0.0	-75.2
1a° fase) 1+2a+2b	-71.4	0.0	0.0	-71.4
2° fase) 1+2+3+4	-69.5	3.4	0.2	-69.7
3° fase) 1+2+3+4+5a+6	-61.1	4.7	0.4	-61.4
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7	-58.0	10.4	1.8	-59.8

Le tensioni al lembo più sollecitato a taglio (baricentro della sezione) valgono:

$$\tau = 10.4 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma \text{ I} = 1.8 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma \text{ II} = -59.8 \text{ daN/cm}^2$$

} tensioni principali

L'inclinazione dell'ideale biella compressa del traliccio di Morsch è pari a:

$$\text{ctg}\theta = \tau / \sigma \text{ I} = 10.4 / 1.8 = 5.77 > 2.5$$

Vengono disposte staffe  $\phi 10$  a 2 bracci a un passo di 20.

Per cui la verifica a taglio sarà:

Verifiche allo stato limite ultimo di taglio	
<b>Materiali (Unità kN,mm)</b>	
Calcestruzzo	Acciaio
Rck = 45	fywk = 450
fck = 37.35	fywd = 391.3
fcd = 21.17	
fctd = 1.56	
<b>Sezione da verificare</b>	
Altezza trave	1900 mm
Copriferro staffe	30 mm
Larghezza netta resistente a taglio	280 mm
Diametro staffe	10 (2 $\phi$ 10/20)
Bracci	4
Interasse	200 mm
Area staffe al metro	1.57 cm <sup>2</sup> /m
ctg $\alpha$	0.00
ctg $\theta$	2.50
<b>Verifiche allo s.l.u. per taglio</b>	
<b>Taglio di calcolo V<sub>Ed</sub></b>	<b>VR,d &gt; VEd</b>
Vrcd	1178.00 kN
Vrsd	4973.56 kN
Vrd = min[Vrcd; Vrsd]	2586.28 kN
	ok

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 75 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

**5.8.6 Verifica dell'armatura lenta longitudinale**

Dalle verifiche di resistenza sopra riportate si evidenziano tensioni di trazione nel calcestruzzo in 1° fase sull'appoggio ( $x=57$  cm).

La massima tensione di trazione è presente in 1° fase al lembo superiore dove:

1° fase

$$\sigma_{\text{sup}} = 12.5 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{inf}} = -97.3 \text{ daN/cm}^2$$

Da cui la zona in trazione ha uno spessore di:

$$s = \frac{12.5 * 160}{(97.3 + 12.5)} = 18.22 \text{ cm}$$

per cui:

$$T_{\text{MAX}} = 1/2 * 12.5 * 1920 = 12000 \text{ daN}$$

(1920cm<sup>2</sup> è l'area racchiusa dall'asse neutro posto a 18.22 cm dal lembo sup.)

In base all'armatura disposta si ottiene:

6 $\phi$ 12 (superiore)

$$\sigma_s = \frac{12000}{6.78} = 1770 \text{ daN/cm}^2$$

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 76 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

**5.8.7 Verifica dell'armatura in corrispondenza degli appoggi**

Le armature longitudinali, oltre ad assorbire gli sforzi conseguenti alle sollecitazioni di flessione, devono assorbire quelli provocati dal taglio dovuti all'inclinazione delle fessure rispetto all'asse della trave, inclinazione assunta pari a 45°. In particolare, in corrispondenza degli appoggi, le armature longitudinali devono assorbire uno sforzo pari al taglio sull'appoggio.

$$T = 1870.10 \text{ kN}$$

Quindi l'armatura necessaria risulta:

$$A_{fe} = \frac{T}{\sigma_{amm}} = \frac{1870.1 * 1000}{391.3} = 4779.2 \text{ mm}^2 \approx 48 \text{ cm}^2$$

Nella zona inferiore del cassone di ciascuna trave sono disposte (5) barre  $\phi 26 + 12\phi 16$  di armatura lenta per un totale di:

$$A_f = 5 * 5.31 + 12 * 2.01 = 50.67 \text{ cm}^2 > A_{fe}$$

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 77 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 5.8.8 Verifica a scorrimento tra trave e soletta

ELEMENTI AVENTI ARMATURA TRASVERSALE A SCORRIMENTO (UNI EN 1992-1-1 PAR. 6.2.5)		
<b>DATI</b>		
$f_{ck}$	45 MPa	resistenza cilindrica cls
$b_w$	3250 mm	larghezza della membratura resistente a scorrimento
$h$	1900 mm	altezza totale sezione (trave + soletta)
$d_1$	1850 mm	altezza utile sezione
$z$	1665 mm	braccio delle forze interne
$d_2$	300 mm	altezza di cls di 2° fase (soletta)
$V_{Ed}$	1870000 N	sollecitazione a taglio a SLU
$L_0$	11500 mm	punto di nullo del diagramma di taglio
$c$	0.45	coefficiente
$\beta$	1	coefficiente
$v$	0.492	coefficiente
$\gamma_c$	1.5	coefficiente parziale del materiale
$\mu$	0.7	coefficiente di rugosità
$\sigma_n$	0 MPa	tensione generata dalla forza esterna agente all'interfaccia in contemporanea con la forza di taglio
$\alpha$	90 MPa	angolo tra l'armatura che passa attraverso l'interfaccia, e l'interfaccia
$\rho$	0.000754247	rapporto tra l'armatura che attraversa l'interfaccia e la sezione di giunto $4\phi 12/10 + 4f12/20 + 4\phi 10/20$
<b>CALCOLO</b>		
$f_{cd}$	30.00 MPa	resistenza di calcolo a compressione del cls
$f_{ctk\ 0.05}$	2.66 MPa	
$f_{ctd}$	1.77 MPa	resistenza di calcolo a trazione cls
$f_{yd}$	391.30 MPa	resistenza di calcolo acciaio
<b>VERIFICA DELL'ELEMENTO AVENTE ARMATURA A SCORRIMENTO</b>		
La verifica deve rispettare la seguente condizione:		
$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$		
dove:		
$V_{Edi} = \beta \cdot (V_{Ed}) / (z \cdot b_w)$		
$V_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha)$		
con la limitazione		
$V_{Rdi} \leq (0.5 \cdot v \cdot f_{cd})$ <b>7.38 MPa</b>		
si ottiene:		
$V_{Edi} =$	<b>0.35 MPa</b>	
$V_{Rdi} =$	<b>1.00 MPa</b>	
<b>Verificato</b>		

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 78 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

#### 5.8.9 Verifica all'azione combinata taglio longitudinale trave-flessione trasversale soletta

La tensione longitudinale,  $v_{Ed}$ , lungo la connessione tra un lato della piattabanda e l'anima si determina mediante la variazione della forza normale (longitudinale) agente sulla parte di piattabanda considerata, pari a:

$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \Delta x) \quad (6.20)$$

dove:

$h_f$  è lo spessore della piattabanda lungo la connessione;

$\Delta x$  è la lunghezza in considerazione, vedere figura 6.7;

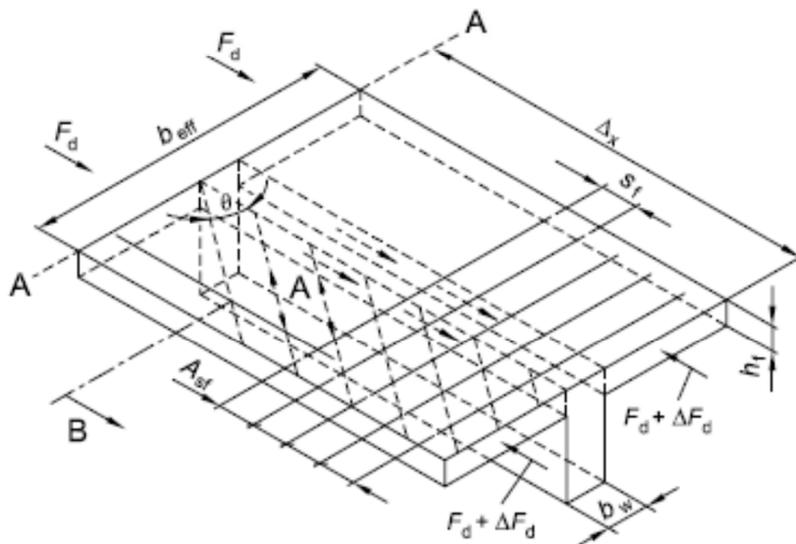
$\Delta F_d$  è la variazione della forza normale nella piattabanda sulla lunghezza  $\Delta x$ .

**Notazioni per il collegamento tra piattabanda e anima**

Legenda

A Puntoni compressi

B Barra longitudinale ancorata al di là del punto ottenuto per costruzione [vedere punto 6.2.4 (7)]



### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 79 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Il massimo valore che può essere assunto per  $\Delta x$  è pari alla metà della distanza tra la sezione di momento nullo e la sezione di momento massimo. Se sono applicati carichi concentrati, si raccomanda che la lunghezza  $\Delta x$  sia non maggiore della distanza tra i carichi concentrati.

L'armatura trasversale per unità di lunghezza  $A_{st}/s_f$  può essere determinata come segue:

$$(A_{st}f_{yd}/s_f) \geq v_{Ed} h_f / \cot \theta_f \quad (6.21)$$

Per prevenire la rottura dei puntoni compressi nella piattabanda, si raccomanda di soddisfare la seguente condizione:

$$v_{Ed} \leq v f_{ctd} \sin \theta_f \cos \theta_f \quad (6.22)$$

L'intervallo di valori ammesso per  $\cot \theta_f$  da adottare in uno Stato può essere reperito nella sua appendice nazionale. In assenza di calcoli più rigorosi, i valori raccomandati sono:

$$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 2,0 \quad \text{per piattabande compresse } (45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ)$$

$$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 1,25 \quad \text{per piattabande tese } (45^\circ \geq \theta_f \geq 38,6^\circ)$$

Nel caso di taglio tra piattabanda e anima combinato a flessione trasversale della piattabanda, si raccomanda che l'area di acciaio sia maggiore di quella data dall'espressione (6.21) o di metà di quella data dall'espressione (6.21) più quella richiesta per la flessione trasversale.

Se  $v_{Ed}$  è minore o uguale a  $kf_{ctd}$  non è richiesta armatura supplementare a quella di flessione.

Il valore di  $k$  da adottare in uno Stato può essere reperito nella sua appendice nazionale. Il valore raccomandato è 0,4.

Nel nostro caso abbiamo:

$\Delta x = 11500$  mm - 1/2 della luce di calcolo

$h_f = 300$  mm - Spessore della soletta

$$\Delta F_d = T_{\max}/2 = 1870100/2 = 935050 \text{ N}$$

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x} = 0,27 \text{ MPa} < kf_{ctd} = 0,4 \cdot 0,3 \cdot 0,7 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} / 1,5 = 0,625 \text{ MPa} \quad (R_{ck} = 45 \text{ MPa})$$

Pertanto non è richiesta armatura trasversale supplementare a quella richiesta per la 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 80 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

## 5.9 VERIFICHE A FATICA

In accordo con [UNI EN 1992-1-1] §§6.8.4, §§6.8.7 si riportano di seguito le verifiche a fatica degli elementi maggiormente interessati da questo fenomeno.

Affinché la verifica risulti soddisfatta la variazione di tensione nelle armature lente e nelle armature da precompressione ( $\Delta\sigma_{max}$ ) ad opera dei carichi ciclici deve risultare inferiore al rispettivo valore ammissibile ( $\Delta\sigma_{Rsk}$ ) del particolare in esame:

$$\gamma_{F,fat} \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_{Rsk} / \gamma_{s,fat} = 162.5/1.15=141.3 \text{ MPa} \quad (\text{per armature lente a } N=10^6 \text{ cicli})$$

$$\gamma_{F,fat} \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_{Rsk} / \gamma_{s,fat} = 185.0/1.15=160.87 \text{ MPa} \quad (\text{per arm. da precompressione a } N=10^6 \text{ cicli})$$

$$\gamma_{F,fat} = 1 \quad \text{coefficiente di maggiorazione da normativa}$$

$$\gamma_{s,fat} = 1.15 \quad \text{coefficiente di sicurezza a fatica}$$

Si può ritenere che la verifica a fatica del calcestruzzo compresso sia positiva se è soddisfatta la condizione seguente:

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \quad (6.77)$$

$$\leq 0,9 f_{ck} \text{ per } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\leq 0,8 f_{ck} \text{ per } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

dove:

$\sigma_{c,max}$  è la massima tensione di compressione in una corda sotto la combinazione di carico frequente (compressione assunta come positiva);

$\sigma_{c,min}$  è la minima tensione di compressione nella stessa corda dove si verifica  $\sigma_{c,max}$ . Se  $\sigma_{c,min}$  è una tensione di trazione, allora si raccomanda di assumere  $\sigma_{c,min}$  con valore 0.

$$f_{cd,fat} = k_1 \beta_{cc}(t_0) f_{cd} \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (6.76)$$

dove:

$\beta_{cc}(t_0)$  è un coefficiente che definisce la resistenza del calcestruzzo alla prima applicazione del carico [vedere punto 3.1.2 (6)];

$t_0$  è il tempo in giorni in cui comincia l'applicazione del carico ciclico al calcestruzzo.

$$K_1 = 0.85 \text{ per } N=10^6 \text{ cicli}$$



## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 81 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Il modello di carico di fatica ( $Q_{fat}$ ) è costituito dallo schema di carico 1 [DM08 §5.1.3.3.5] con i valori dei carichi concentrati ridotti del 30% e valori dei carichi distribuiti ridotti del 70%.

La combinazione di carico di base corrisponde alla combinazione frequente alla stato limite si esercizio:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P$$

In cui:

$G_{k,j}$  sono i carichi permanenti

P è il carico di precompressione

Mentre la combinazione di base + azione ciclica è pari a:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{fat}$$

Di seguito si riporta lo stato sollecitazionale e tensionale prodotto sulla trave sia dalla combinazione di base che dalla combinazione di base +azione ciclica, con le relative verifiche sopra esplicitate:

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 82 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Sezione a x=1150 cm

Condizioni elementari	N(Kg)	M(Kgm)	Sinf	Ssup	Ssol	T(Kg)			
1) Precompressione t0	-792300	-418240	-215.3	+34.1	+0.0	0			
2) Peso proprio trave	0	131112	+37.0	-41.2	+0.0	0			
2a) Sollevamento trave (*1.15)	30245	150779	+46.3	-43.6	+0.0	0			
2b) Perdita per rilassamento (20%)	8291.149	4377	+2.3	-0.4	+0.0	0			
3) Perdite*(50%)	79518.3	41976	+21.6	-3.4	+0.0	0			
4) Peso soletta	0	158397	+44.7	-49.7	+0.0	0			
5a) perm.port.	0	115104	+21.2	-5.4	-13.7	0			
5b) perdite/ 50%)	79518.3	41976	+12.4	+2.7	+0.7	0			
6a) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (trave)	-77490	2021.25	-9.1	-9.6	+0.0	0			
6b) Ritiro differ. Soletta-trave*0.6 (soletta)	77490	73143.4	+0.0	+0.0	+2.8	0			
7) Carichi mobili	0	172441	+31.7	-8.1	-14.1	0			

Combinazioni BASE+CICLICA	N(Kg)	M(Kgm)	Sinf	Ssup	Ssol	$\sigma$ (by)	$\tau$	$\sigma_{id I}$	$\sigma_{id II}$
1° fase) 1+2+2b	-784009	-282751	-176.0	-7.4	+0.0	-96.2	0.0	0.0	-96.2
1a° fase) 1+2a+2b	-753764	-263084	-167	-10	0	-92.4	0.0	0.0	-92.4
2° fase) 1+2+3+4	-712782	-86755	-111.9	-60.2	+0.0	-87.4	0.0	0.0	-87.4
3° fase) 1+2+3+4+5a+6: $\sigma_{c,m in}$	-790272	30371	-105	-75	-11	-81.3	0.0	0.0	-81.3
4° fase) 1+2+3+4+5a+5b+6+7: $\sigma_{c,m a x}$	-710753	244788	-56	-81	-24	-75.6	0.0	0.0	-75.6

4°fase	$\sigma_{c,m a x}$	-56	-81	-24	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{lim} = 0.5 * f_{c,d,fa t} + 0.45 * \sigma_{c,m in}$	$\sigma_{c,lim}$	-58	-140	-94.9	kg/cm <sup>2</sup>

**$\sigma_{max} < \sigma_{lim}$  verifica soddisfatta!**

$\Delta \sigma_{c,m a x} - \Delta \sigma_{c,m in}$	49	-5	-13	kg/cm <sup>2</sup>
$\Delta \sigma_{m a x}$	313		-80.6	kg/cm <sup>2</sup>

**$\Delta \sigma_{max} < 1413 \text{ kg/cm}^2$  per armature lente in soletta**

**$\Delta \sigma_{max} < 1608.7 \text{ kg/cm}^2$  per armature da precompressione**

**verifica 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

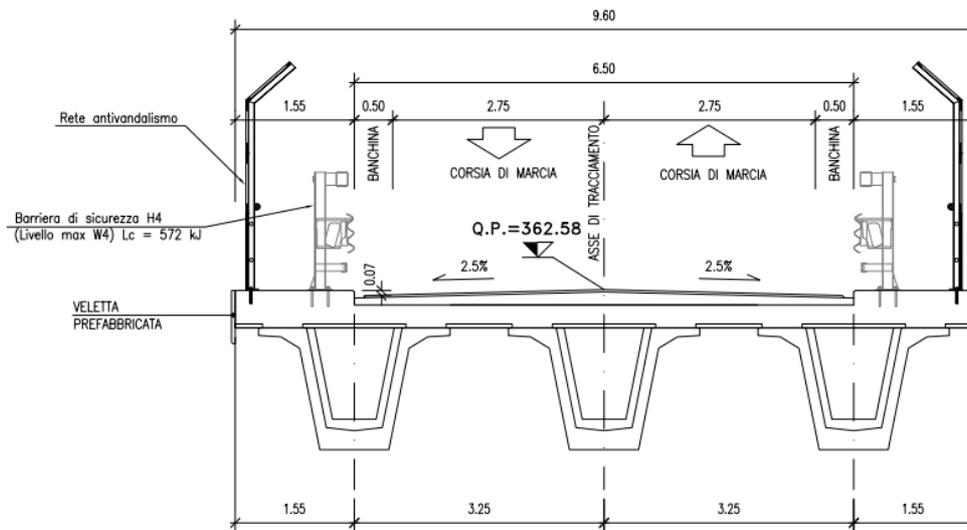
Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 83 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 5.10 CALCOLO E VERIFICA DELLE SOLETTA

La sezione trasversale dell' impalcato è costituita da travi in c.a.p. e soletta in calcestruzzo collaborante con le predette travi. L'altezza della soletta è pari a 30 cm. La geometria della sezione prevede una dimensione degli sbalzi laterali di soletta pari a 1.55 m ed un interasse fra le travi di 3.25 m.

La soletta ha una dimensione trasversale di 9.60 m.



*Sezione in campata*

L'impalcato in c.a. è previsto gettato in opera, utilizzando predelle autoportanti di spessore 5 cm e larghezza 120 cm armate con una rete  $\phi 10/10$  aventi il compito di cassero a perdere.

Una volta disposte le predelle si provvede alla posa dell'armatura longitudinale ed al completamento di quella trasversale e quindi, al getto della soletta fino agli spessori di progetto.

Si distinguono due fasi di funzionamento:

1° fase: le predelle sostengono il peso proprio ed il getto della soletta;

2° fase: la soletta maturata sostiene il peso delle opere di finitura e quelle dei sovraccarichi.

Le verifiche sono state condotte secondo il D.M. 14/01/2008 per quanto riguarda la metodologia, le combinazioni di carico, i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni, i limiti di apertura teorica delle fessure ed il tipo di ambiente.

#### Combinazioni per verifiche agli stati limite

$$\text{SLU: } 1.35 \cdot (g_1 + g_2) + 1.35 \cdot q_1 + 0.9 \cdot q_5$$

$$\text{ECC: } 1.0 \cdot (g_1 + g_2) + 1.0 \cdot q_1 + 1.0 \cdot q_8$$

$$\text{SLE: } 1.0 \cdot (g_1 + g_2) + 1.0 \cdot q_1 + 0.6 \cdot q_5$$

#### Combinazioni per verifiche allo stato limite di fessurazione

$$\text{QP: } (g_1 + g_2)$$

$$\text{FR: } (g_1 + g_2) + 0.75 \cdot q_1 + 0.2 \cdot q_5$$

#### Apertura delle fessura

$$w \leq 0.2 \text{ mm}$$

$$w \leq 0.3 \text{ mm}$$

## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 84 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

### 5.10.1 Fase I – calcolo e verifica delle predalles in fase di getto

#### 5.10.1.1 Caratteristiche geometriche predalla

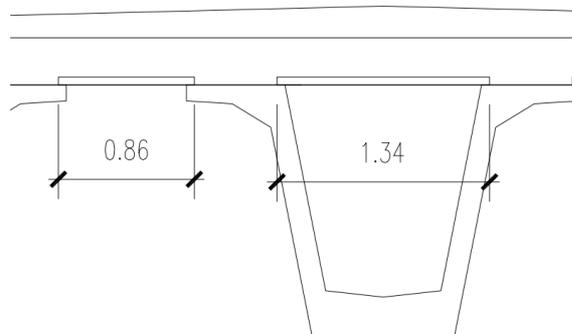
B=120 cm

H=5 cm

Aa = 9.42 cm<sup>2</sup> (1φ10/10)

#### 5.10.1.2 Verifica agli stati limite ultimi

Per la predalle si considera solo lo stato limite ultimo, avendo funzione di cassero a perdere



Come si evince dalla fig. sovrastante la predalles più sollecitata risulta quella all'interno della trave che ha una luce pari a 1.34 m ed in favore di sicurezza si calcola con l'altezza del getto pari a 30 cm.

Pertanto si ha:

$$Q = 0.30 \cdot 1.20 \cdot 25 = 9.00 \text{ kN/m}$$

- Peso proprio della soletta

$$P = 1.00 \cdot 1.20 = 1.20 \text{ kN/m}$$

- Peso dei mezzi da cantiere

$$Q+P = 10.20 \text{ kN/m}$$

da cui:

**In mezzeria si ha:**

$$M_{mezz} = 1/8 \cdot 10.2 \cdot 1.34^2 \cdot 1.35 = 3.10 \text{ kNm}$$

$$T = 1/2 \cdot 10.2 \cdot 1.34 \cdot 1.35 = 9.22 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 4.23 \text{ kNm} > M_{mezz} = 3.10 \text{ kNm}$$

$$T_{Rd} = 47.30 \text{ kN/m} > M_{mezz} = 9.22 \text{ kN/m}$$

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 85 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

#### Verifica a taglio

Elementi senza armatura trasversale a taglio

- Verifica del conglomerato

$$VRd = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \quad \mathbf{47.30} \quad \text{kN}$$

$$VEd = \quad \mathbf{9.22} \quad \text{kN} \quad \boxed{\text{ok}}$$

con:

$$K = 1 + (200/d)^{1/2} = \quad 2.000 \quad \leq 2$$

$$R_{ck} = \quad \mathbf{45} \quad \text{N/mm}^2$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = \quad 0.605 \quad \text{N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = \quad 37.35 \quad \text{N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = \quad 21.17 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) = \quad 0.02000 \quad \leq 0,02$$

$$d = \quad \mathbf{39} \quad \text{mm}$$

$$H = \quad \mathbf{50} \quad \text{mm}$$

$$b_w = \quad \mathbf{1200} \quad \text{mm}$$

$$A_{sl} = \quad \mathbf{942} \quad \text{mm}^2 \quad (12\phi 10)$$

$$N_{Ed} = \quad \mathbf{0.00} \quad \text{kN}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \quad 0.000 \quad \text{N/mm}^2 \quad \leq 0,2 \cdot f_{cd}$$

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 86 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

**5.10.2 Fase II – calcolo e verifica della soletta in fase di esercizio**

Di seguito si riportano le verifiche in fase di esercizio della soletta in c.a..

Visto la geometria dell'impalcato, per il calcolo delle sollecitazioni si assume uno schema di calcolo a trave continua su 6 appoggi (uno per ogni parete verticale delle travi prefabbricate).

**Analisi dei carichi permanenti (q1 e q2)**

Il peso della soletta di spessore 0.3 m è pari a:

$$P_{sol} = 25 \cdot 0.3 = 7.50 \text{ kN/m}^2$$

Il peso della pavimentazione è pari a:

$$P_{pav} = 4 \text{ kN/m}^2$$

Il peso dei due cordoli è pari a:

$$P_{cord} = 25 \cdot 0.20 = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

Il peso delle barriere di sicurezza è pari a:

$$P_{barr} = 1.5 \text{ k/m}$$

Il peso delle barriere parasassi è pari a:

$$P_{barr} = 1.5 \text{ k/m}$$

**Analisi dei carichi mobili (q1)**

Si considerano la due configurazioni di carico mobile indicate nelle figura sotto riportata: la prima va a sollecitare lo sbalzo, la seconda la campata di luce maggiore.

Per il carico mobile si considera una diffusione a 45° del carico all'interno della pavimentazione e della soletta.

Pertanto, si ha:

$$S_{sol} = 0.30 \text{ m}$$

$$L_{dif} = 1.60 + 2 \cdot 0.10 + 0.3/2 \cdot 2 = 2.10 \text{ m} \quad \text{- in direzione longitudinale}$$

$$B_{dif} = 2.00 + 2 \cdot 0.10 + 0.3/2 \cdot 2 = 2.50 \text{ m} \quad \text{- in direzione trasversale}$$

Da cui:

$$TS\_C1 = 600 / (2.10 \cdot 2.50) = 114.3 \text{ kN/m}^2$$

$$TS\_C2 = 400 / (2.10 \cdot 2.50) = 76.2 \text{ kN/m}^2$$

$$UDL\_2.5 = 2.5 \text{ kN/m}^2$$

Le azioni prodotte dal carico tandem (TS) vengono distribuite, in favore di sicurezza, su di una striscia orizzontale in direzione trasversale pari a 3.00 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
LO703	213	E	16	OM0008	REL	01	C	87 di 100

### Azione dovuto all'urto di un veicolo in svio (q8)

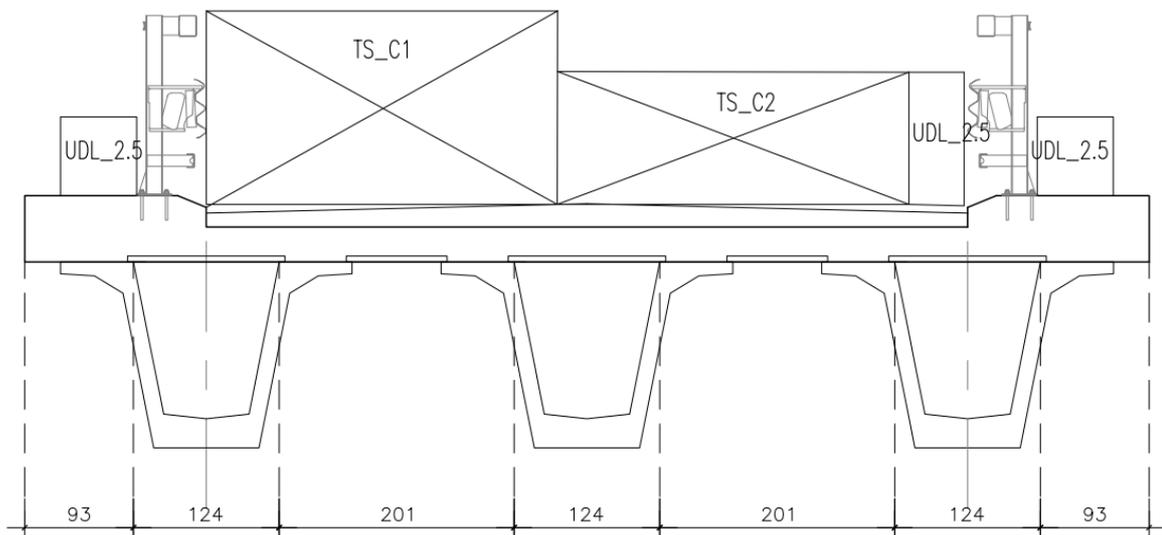
Nel caso in cui possa verificarsi l'urto di un veicolo su di un elemento strutturale si dovrà considerare agente sull'elemento stesso una forza orizzontale concentrata di 100 kN distribuita su 0.5 m ed applicata ad una quota h, misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub> dove h<sub>1</sub> (altezza delle barriere - 0.10 m), h<sub>2</sub> = 1.00 m.

Tale forza si considera ripartita a 45° a partire dal punto di applicazione fino alla linea media della soletta al di sotto del montante del sicurvia:

Si considera un urto dal lato cordolo con spessore da 20 cm dall'estradosso della soletta:

$$T_u = 100 / (0.9 + 0.5 + 0.9 + 0.10 \cdot 2 + 0.20 \cdot 2 + 0.15) = 32.79 \text{ kN/m}$$

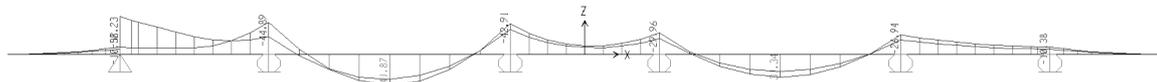
$$M_u = 32.79 \cdot (0.9 + 0.10 + 0.20 + 0.15) = 44.27 \text{ kNm/m}$$



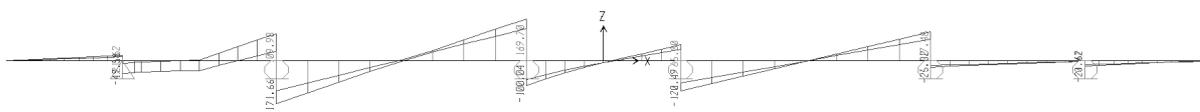
Le combinazioni tra le condizioni di carico elementare sono riportate all'inizio di questo paragrafo.

### 5.10.2.1 Sollecitazioni

Di seguito vengono riportati i diagrammi di sollecitazione dovuto agli inviluppi:



**Diagramma dei momenti STR (involuppo tra SLU e ECC)**



**Diagramma dei tagli STR (involuppo tra SLU e ECC)**

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

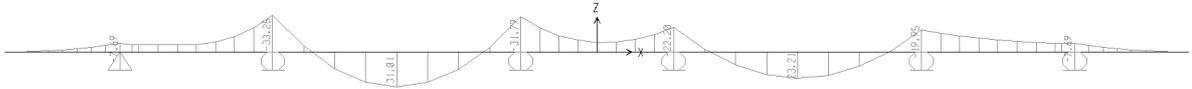
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

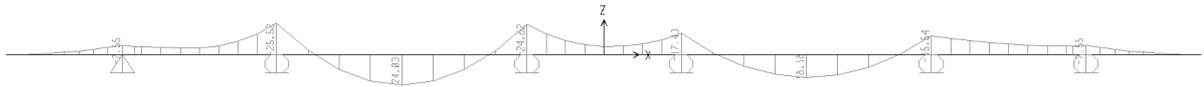
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

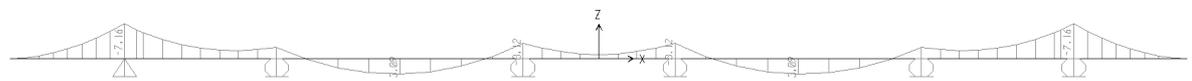
Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 88 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------



**Diagramma dei momenti SLE**



**Diagramma dei momenti FR**



**Diagramma dei momenti QP**

#### 5.10.2.2 Verifiche agli stati limite della soletta

Per la soletta si adotta un armatura simmetrica disposta su tutta la superficie.

Pertanto, si ha:

#### Caratteristiche geometriche e armatura sezione di calcolo

$B = 100 \text{ cm}$ ;

$H = 30 \text{ cm}$

$A_{a1} = 7.70 \text{ cm}^2$       (1 $\phi$ 14/20)       $d_1 = 5.70 \text{ cm}$

$A_{a2} = 7.70 \text{ cm}^2$       (1 $\phi$ 14/20)       $d_2 = 25.3 \text{ cm}$

Nelle verifiche a taglio la sollecitazione tagliante viene spuntata a metà dell'ala della trave precompressa (a circa 30cm dall'appoggio)

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

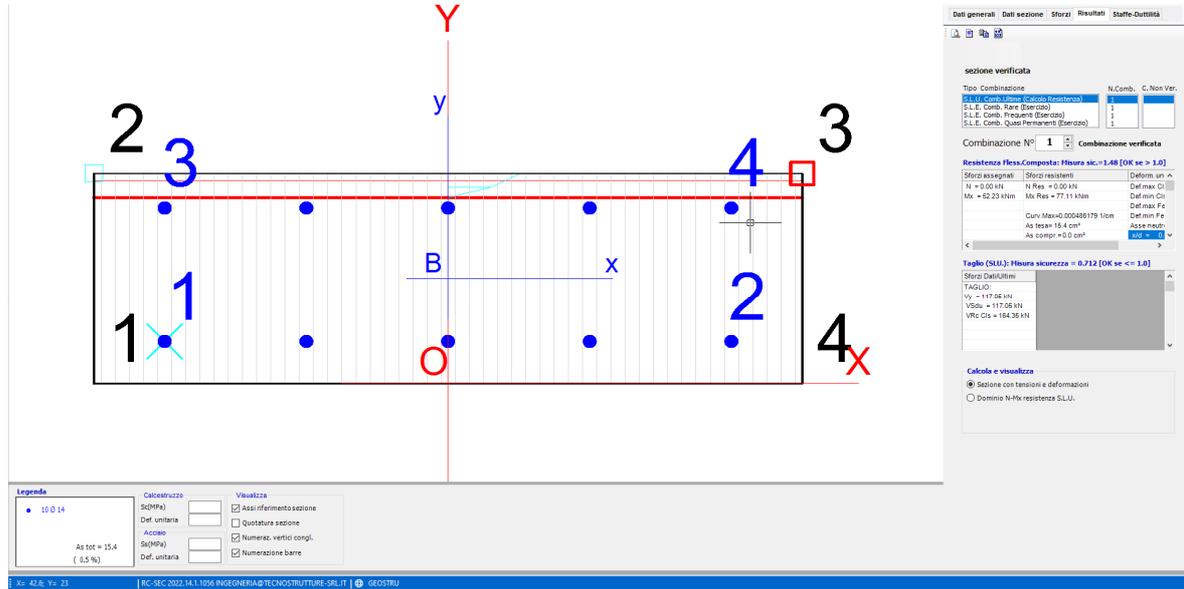
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

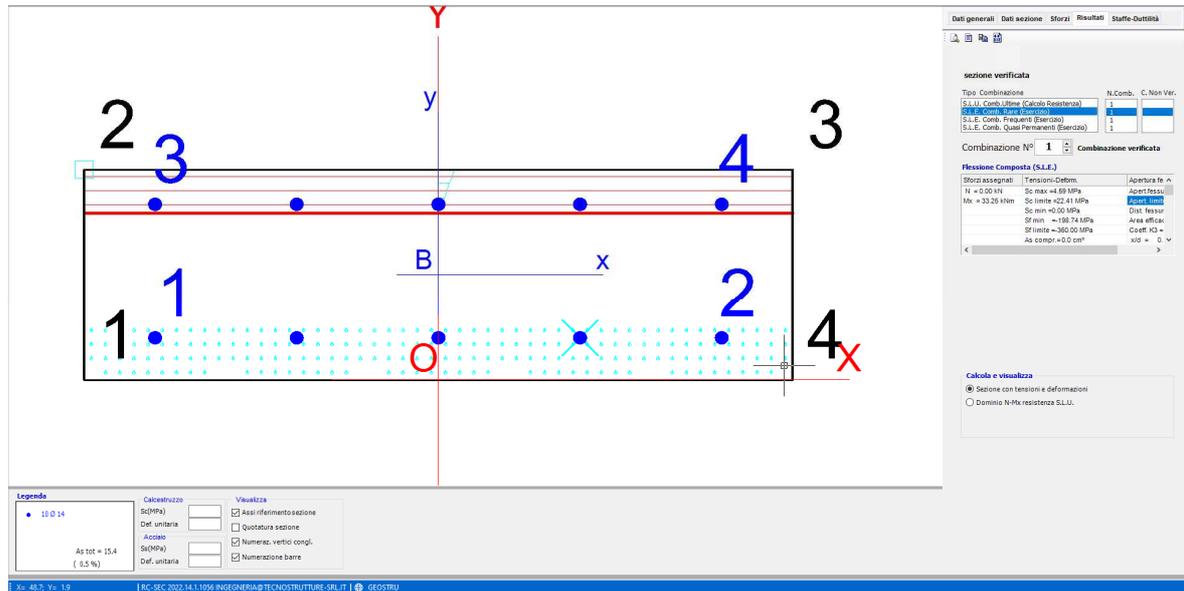
Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 89 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

SLU



SLE



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

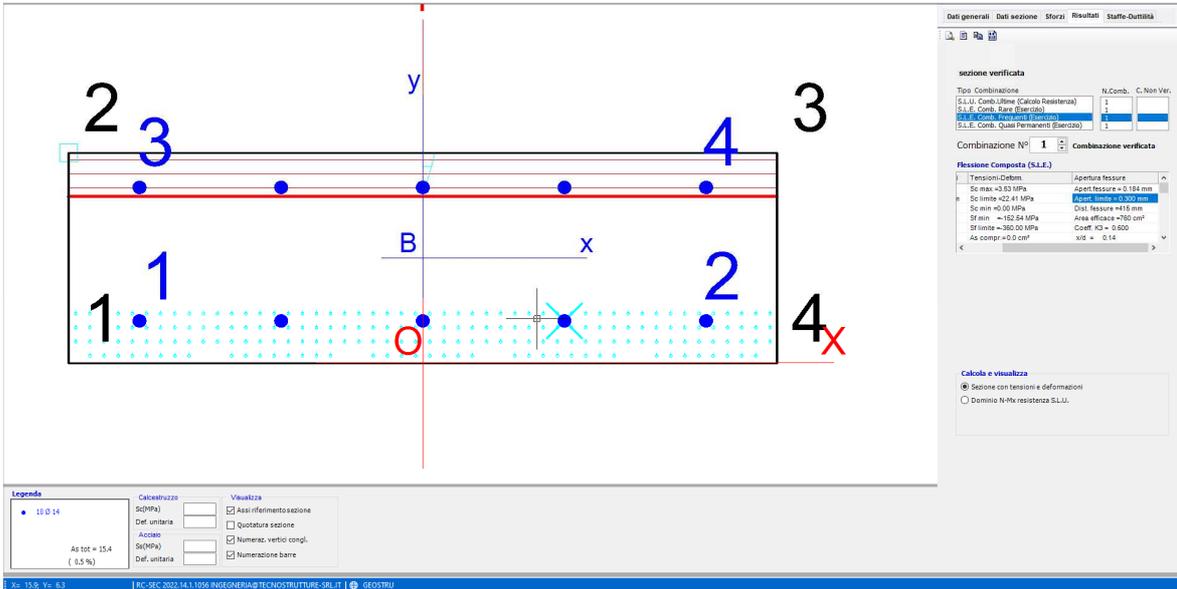
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

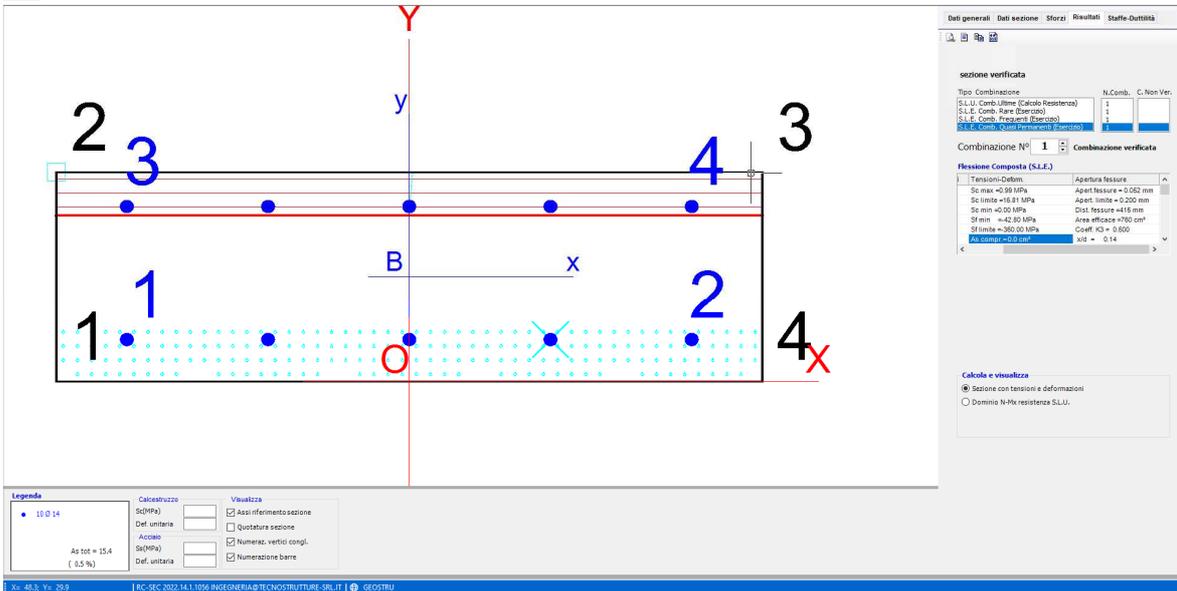
Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 90 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

**FR**



**QP**



### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 91 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

#### 5.10.2.3 Verifica a fatica

La verifica a fatica viene condotta secondo le modalità indicate nel par. 5.9.

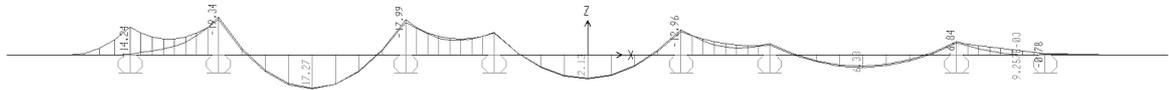
La combinazione, denominata di base, è rappresentata dal peso proprio della predalle + peso del getto+opere di finitura le cui tensioni sono pari a:

$$\sigma_{c,base} = 0.99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a2,base} = 3.07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a1,base} = -42.80 \text{ MPa}$$

L'azione ciclica prodotta dai carichi mobili, definiti sempre nel par. 5.9, produce le seguenti sollecitazioni e di conseguenza le seguenti escursioni di tensione:



**Diagramma dei momenti divoti alla FATICA**

$$\sigma_{c,max,ciclica} = 2.99 \text{ MPa}$$

$$\Delta_{smax,ciclica,a2} = 9.30 \text{ MPa}$$

$$\Delta_{smax,ciclica,a1} = -129.47 \text{ MPa}$$

La verifica a fatica dell'armatura consiste nel confrontare l'escursione di tensione con il valore limite definito nel par. 5.9:

$$\Delta_{smax,a2} = 9.30 \text{ MPa} < 141.3 \text{ MPa}$$

$$\Delta_{smax,a1} = -129.47 \text{ MPa} < 141.3 \text{ MPa}$$

Le verifica a fatica del calcestruzzo consiste nel verificare che:

$$(\sigma_{c,max,ciclica} + \sigma_{c,base}) \leq 0.5 \cdot f_{cd,fat} + 0.45 \cdot \sigma_{c,min} \Rightarrow 3.98 \text{ MPa} < 0.5 \cdot 18.00 + 0.45 \cdot 0.99 = 9.45 \text{ MPa}$$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

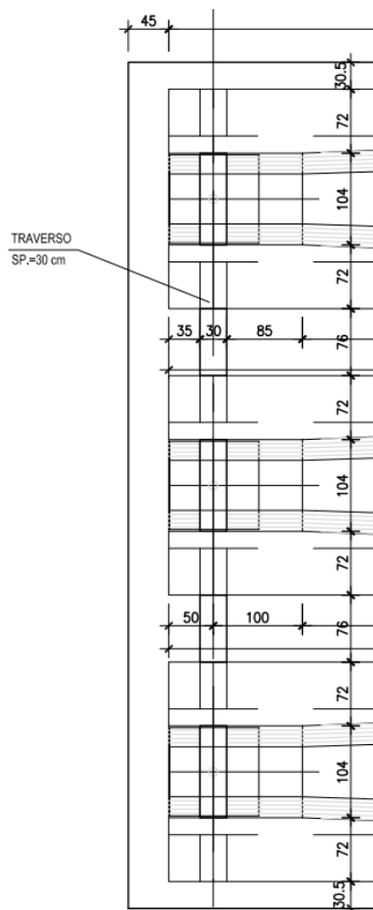
Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.di Pag. 92 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 5.11 TRAVERSI DI TESTATA

### 5.11.1 Calcolo del traverso

#### Sollevamento impalcato

Si prevede di sollevare l'impalcato con 2 martinetti, disposti simmetricamente rispetto all'asse dell'impalcato. La distanza dei martinetti, misurata dall'asse dell'impalcato, è rispettivamente pari a  $\pm 162.5$ cm. L'eccentricità longitudinale degli apparecchi d'appoggio, rispetto all'asse appoggio, è nulla.



Il carico complessivo dell'impalcato (carichi permanenti propri e portati) risulta  $P = 2334$  KN (SPB) distribuito sulle singole travi come segue:

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

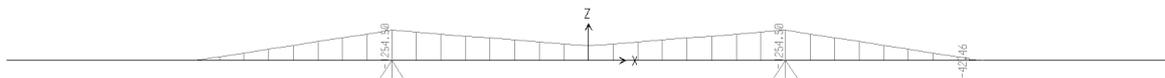
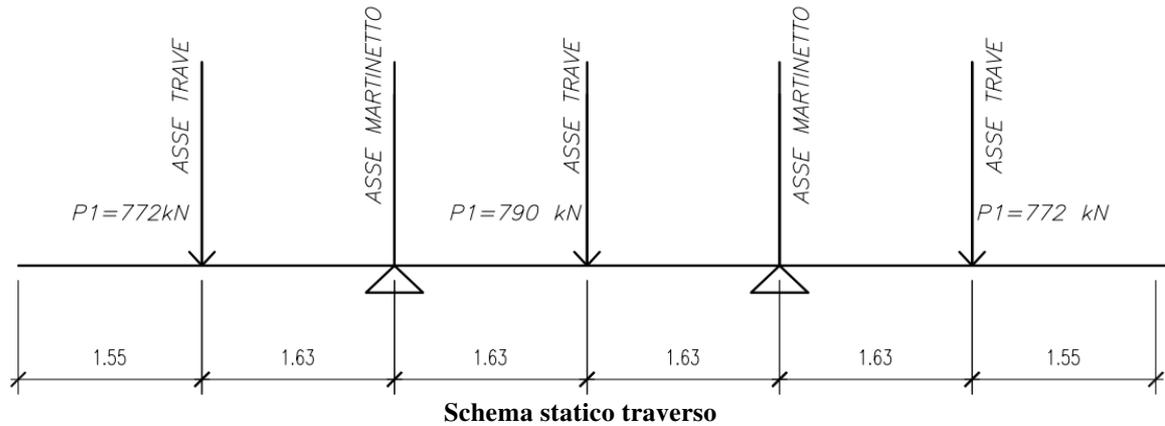
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

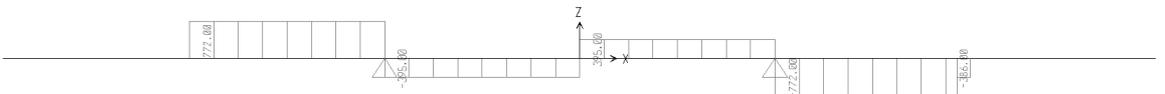
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 93 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------



**Diagramma dei momenti allo SLE**



**Diagramma dei tagli allo SLE**

Le sollecitazioni risultanti sono:

**SLE**

$T = 772 \text{ kN}$

$M = -1254.5 \text{ kNm}$

**SLU**

$T = 1.35 \cdot 772 = 1042.2 \text{ Kn}$

$M = -1.35 \cdot 1254.5 = -1693.58 \text{ kNm}$

**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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 94 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

**5.11.2 Verifiche agli stati limite****Caratteristiche geometriche e armatura sezione di calcolo**

B = 30 cm; H = 160 cm

 $A_{a3} = 13.07 \text{ cm}^2$  (2 $\phi$ 14+2 $\phi$ 26)  $d_3 = 156.0 \text{ cm}$  $A_{a2} = 13.07 \text{ cm}^2$  (2 $\phi$ 14+2 $\phi$ 26)  $d_2 = 136.0 \text{ cm}$  $A_{a1} = 21.24 \text{ cm}^2$  (4 $\phi$ 26)  $d_1 = 98.0 \text{ cm}$  $A_{a0} = 21.24 \text{ cm}^2$  (4 $\phi$ 26)  $d_0 = 15.0 \text{ cm}$ **5.11.2.1 Stato limite ultimo**

I momenti negativi tendono le fibre superiori

 $M_{Ed} = -1693.58 \text{ kNm}$  $V_{Ed} = 1042.2 \text{ kN/m}$  $M_{Rd} = -2250.92 \text{ kNm} > M_{Ed} = 1693.58 \text{ kNm}$  $V_{Rd} = 1536.92 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 1042.2 \text{ kN}$  (2 staffe  $\phi$ 12/20)**5.11.2.2 Stato limite di esercizio**

I momenti negativi tendono le fibre superiori

 $M = -1254.25 \text{ kNm}$  $\sigma_c = 10.61 \text{ MPa} < 22.41 \text{ MPa}$  $\sigma_a = -315.18 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$ **5.11.2.3 Verifica a fessurazione** $w_k = 0.259 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

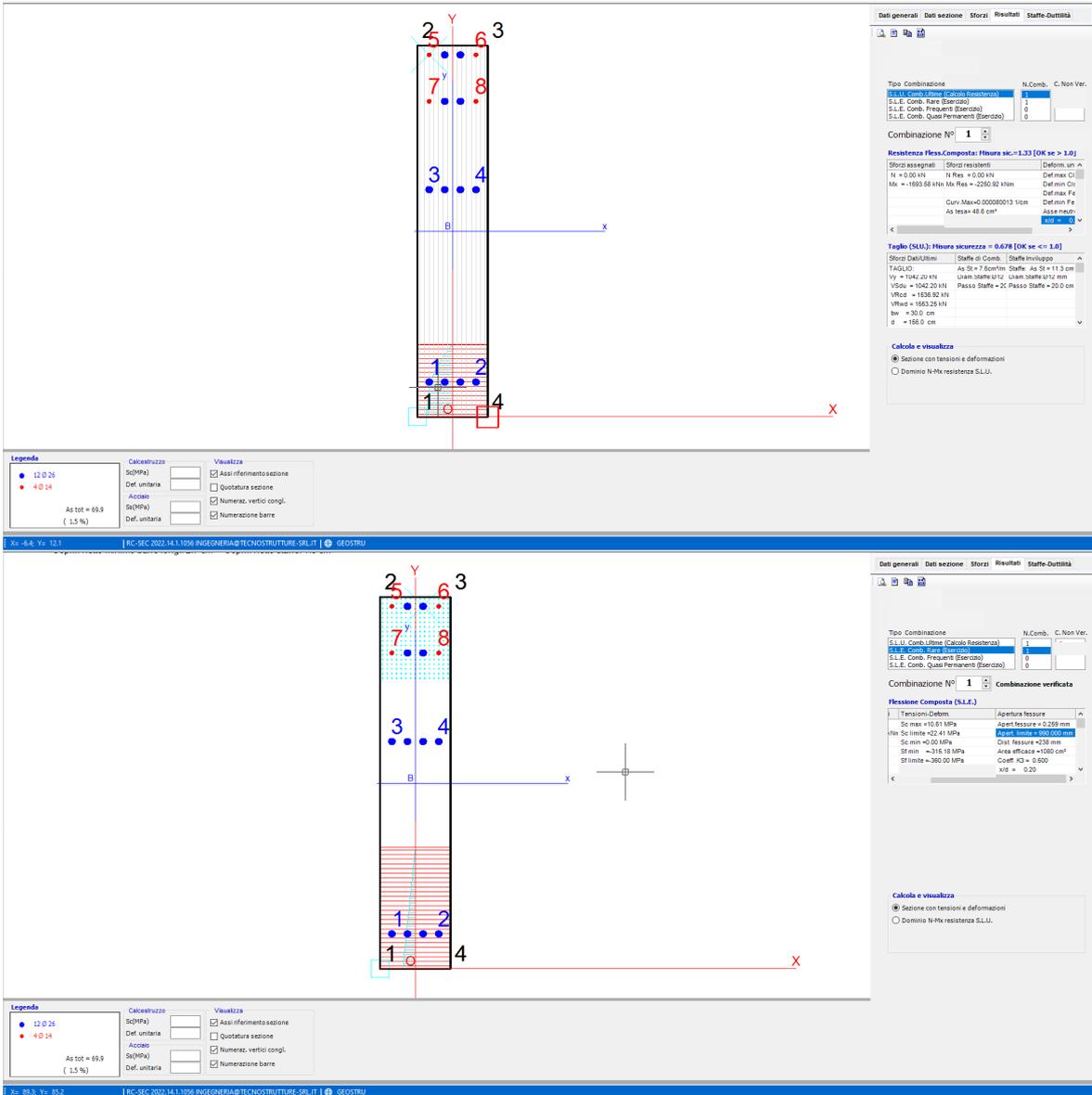
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.prog. 01	REV. C	Pag.di Pag. 95 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------



Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 96 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

## 6. VERIFICHE DEI CORDOLI IMPALCATO PER AZIONI D'URTO

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti dalle verifiche locali dei cordoli che ospitano le barriere di sicurezza.

Il carico di progetto è costituito da una forza orizzontale di  $N=100$  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  $d= 90$  cm dalla base della barriera.

Si ha, inoltre:

- Spessore della soletta:  $s = 30$ cm
- Altezza del cordolo sopra l'estradosso di soletta :  $c = 26$  cm

*Verifica delle staffe disposte all'interno del cordolo*

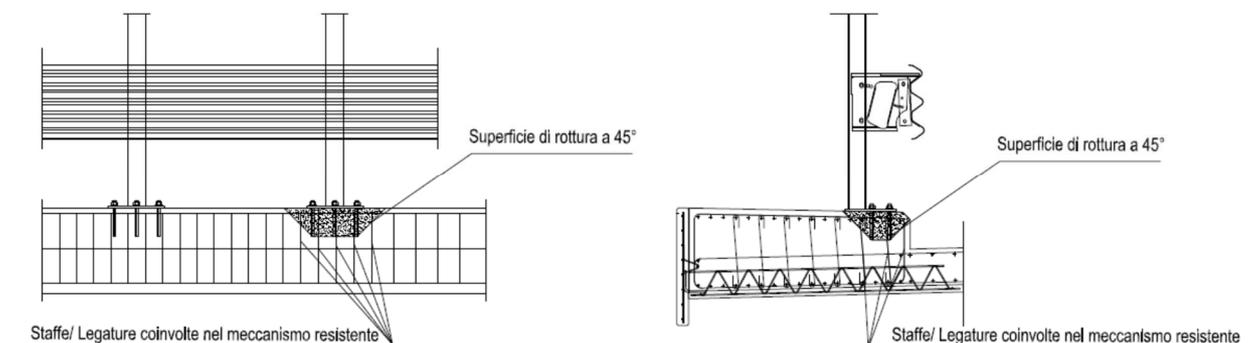
La funzione di tali staffe è duplice:

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

La forza orizzontale  $N$  è equilibrata dalle barre  $\Phi 14/20$  che sono sempre presenti all'interno del cono di rottura evidenziato nella seguente figura.



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





## 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 97 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Ipotizzando un braccio di leva delle forze interne della piastra di base della barriera pari a 22cm e un'altezza della forza d'urto sopra tale piastra di 90 cm, si stima  $T_d$  come:

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

Avendo disposto legature  $\Phi 14$  a passo 20x20 ed ipotizzando una lunghezza dei tirafondi di almeno 19 cm (nonché l'interasse tra i 2 tirafondi tesi di 15 cm), risulta che i bracci verticali compresi nel cono di rottura sono pari a:

$$n = (0.15 \text{ m} + 2 \cdot 0.19 \text{ m})^2 / (0.2 \times 0.2) \text{ m} = 7.02 \text{ bracci}$$

che corrisponde ad una trazione resistente pari a :

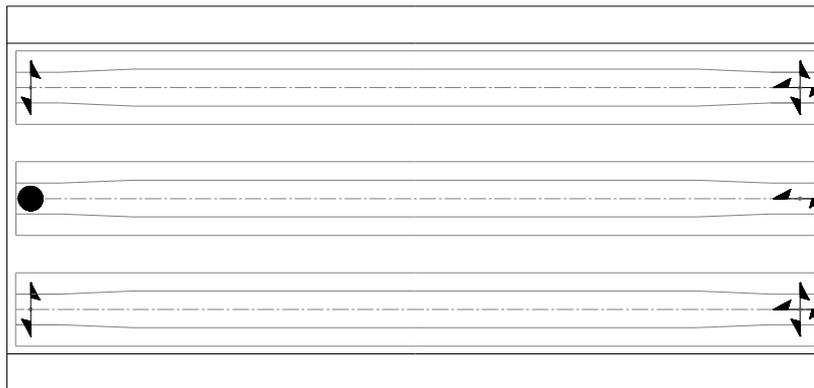
$$T_r = n \cdot 154 \text{ mm}^2 \cdot f_{yd} / 1000 = 422 \text{ KN} > T_d.$$

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 98 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

## 7. APPOGGI E GIUNTI

Nel seguente paragrafo si illustrano le caratteristiche e il dimensionamento degli apparecchi di appoggio e dei giunti in corrispondenza delle spalle.

Nella figura successiva, viene riportato lo schema relativo alla disposizione degli apparecchi di appoggio.



**Schema appoggi**

Sulla spalla fissa sono disposti un appoggio fisso e due unidirezionali trasversale, mentre sulla spalla mobile sono previsti due appoggi multidirezionali e uno unidirezionale longitudinale.

Nel seguito si riportano gli scarichi massimi massimi che competono ad un singolo apparecchio d'appoggio.

	Nvert [kN]	Tlong [kN]	Ttrasv [kN]
FISSO	3000	1200	1800
MULTIDIREZIONALE	3000	-	-
UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE	3000	-	1800
UNIDIREZIONALE TRASVERSALE	3000	1200	-

Per quanto concerne i giunti, questi sono stati dimensionati come segue. Le singole aliquote sono:

- spostamento relativo massimo tra la spalla fissa e la spalla mobile per effetto di moto sismico asincrono tra le spalle  $d_g$ ;
- spostamento relativo massimo dell'impalcato per effetto delle variazioni termiche  $d_t$

In corrispondenza della spalla mobile, la corsa degli apparecchi di appoggio e l'escursione del giunto è pari a:

$$\Delta_{sp,m} = \pm (d_g + d_t)$$

Risulta

$$d_g = 0.025 \cdot S \cdot TC \cdot TD \cdot a_g = 0.025 \cdot 1.364 \cdot 0.502 \cdot 2.482 \cdot 0.22 \cdot 9.81 \cdot 10^3 = 92 \text{ mm}$$

### 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 MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo impalcato

Opera LO703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 01	REV. C	Pag.diPag. 99 di 100
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

$$dt = \alpha \cdot \Delta T \cdot L = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 25 \cdot 23 \cdot 10^3 = 5.75 \text{ mm}$$

Pertanto lo spostamento massimo in corrispondenza della spalla mobile vale circa  $\pm 100$  mm

Sulla spalla fissa, le corse degli apparecchi unidirezionali devono essere tali da consentire gli spostamenti trasversali da variazioni termiche.

Sulla spalla mobile, in direzione longitudinale, le corse degli apparecchi di appoggio devono essere pari a  $\pm 100$  mm, mentre in direzione trasversale, le corse devono essere tali da consentire gli spostamenti da variazioni termiche pari a  $\pm 6$  .

Per i giunti di estremità sono stati adottati giunti con escursioni pari a  $\pm 50$  mm (spalla fissa) e  $\pm 100$  mm (spalla mobile).

Pertanto, il varco tra il paraghiaia e l'impalcato è pari a:

varco.f = 50 mm                      -spalla fissa  
varco.m = 100+20 = 120 mm        -spalla mobile

