





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

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

PROGETTO DEFINITIVO

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p> 	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Salvatore Lieto</p>
--	---	--

<p><i>PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese</i></p>			
<p><i>Mandataria:</i></p> 	<p><i>Mandanti:</i></p>  		

<p>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'ATI</p> <p>Ing. Antonio Grimaldi</p> <p>GEOLOGO</p> <p>Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p>Ing. Michele Curiale</p>			
--	---	--	---

<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p>Ing. Giulio Petrizzelli</p>		
--	--	--

<p>2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</p> <p>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud</p> <p>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia</p> <p style="text-align: center;">OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI</p> <p style="text-align: center;">Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia</p>	<p>SCALA:</p> <p>DATA:</p> <p style="text-align: center;">Maggio 2017</p>
---	---

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

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
	L 0 7 0 3	2 1 3	E	1 6	O M O O O O	R E L	0 2	A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Maggio 2017	Emissione per stralcio funzionale	M.Piscitelli	R.Piccirillo	S.Lieto	A.Grimaldi

I N D I C E

1. GENERALITA'	3
1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	7
3.1 CALCESTRUZZI.....	7
3.2 ACCIAIO DA ARMATURA E ACCIAIO ARMONICO	7
3.3 RESISTENZE DI PROGETTO	8
3.3.1 Calcestruzzo per soletta gettata in opera C35/45.....	8
3.3.2 Calcestruzzo per travi prefabbricate C45/55.....	8
3.3.3 Calcestruzzo fondazione e pali muri C32/40	9
3.3.4 Calcestruzzo paramento muri C25/30	9
4. ANALISI DEI CARICHI	11
4.1 CONDIZIONI DI CARICO	11
4.1.1 Pesi propri e carichi permanenti (g1 ,g2, g3)	11
4.1.2 Sovraccarichi da traffico (q1, q2).....	11
4.1.3 Ritiro differenziale soletta-trave (ε2).....	14
4.1.4 Viscosità (ε4)	15
4.1.5 Azione di frenamento (q3).....	15
4.1.6 Azione centrifuga (q4)	16
4.1.7 Azione del vento (q5)	16
4.1.8 Azioni sismiche (q6)	17
5. COMBINAZIONI DI CARICO	19
5.1 GRUPPI DI CARICO	19
5.2 COEFFICIENTI PARZIALI E DI COMBINAZIONE.....	19
5.3 COMBINAZIONI AGLI SLU	20
5.4 COMBINAZIONI AGLI SLE.....	21
6. MODELLI DI CALCOLO	22
6.2 MODELLO GLOBALE	23
6.3 SOLETTA.....	26
7. VERIFICHE DI RESISTENZA	30
7.1 VERIFICHE IMPALCATO	32
7.1.1 VERIFICA DEL CASSONCINO.....	32
7.1.2 VERIFICA DELLA SOLETTA	50
7.2 VERIFICHE DELLE SOTTOSTRUTTURE	51
7.2.1 Verifica del Muro Frontale.....	51
7.2.2 Verifica del Muro Paraghiaia.....	54
7.2.3 Verifica del Muro Laterale	55
7.2.4 Verifica del plinto di fondazione.....	56
7.2.5 Verifica dei pali di fondazione	58
8. APPOGGI E GIUNTI	60

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

1. GENERALITA'

Nella presente relazione vengono descritte le analisi e le verifiche strutturali relative al cavalcavia poderale "Seiano" nell'ambito dei lavori di completamento della Pedemontana delle Marche: stralci funzionali 3 e 4.

Nel seguito vengono presentate le caratteristiche generali dell'opera, la descrizione degli impalcati e delle sottostrutture e le relative verifiche

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, mediamente esso è caratterizzato da uno strato alluvionale variabile tra i 10-15 metri di spessore. Il substrato lungo il tracciato, è costituito da Schilier e da Camerino arenaceo-peletica.

1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il cavalcavia è a singola campata e costituito da impalcati aventi luce di 23 m.

L'impalcato è costituito da tre cassoncini prefabbricati e precompressi e dalla soletta di calcestruzzo gettato in opera dello spessore finito di 25+5 cm. Esso ha una larghezza complessiva di 9.00m; è costituito dalla sede stradale di larghezza 6.50m e da due cordoli laterali di larghezza 1.25m.

I cassoncini prefabbricati sono alti 1.6 m e sono disposti ad interasse trasversale di 2.75-3.75 m; presentano un retrotrave di 50 cm e in prossimità degli appoggi hanno un ringrosso delle anime e della base. Infine essi sono precompressi con trefoli del diametro di 0.6 pollici.

I traversi di testata hanno uno spessore di 30 cm ed un'altezza di 1.4 m.

La soletta di calcestruzzo è gettata in opera ed ha uno spessore finito di 25+5 cm. Per il getto della soletta si prevede la messa in opera di predalles tralicciate dello spessore di 5 cm che fungono da cassero nella fase di getto della soletta.

Nelle figure seguenti si illustrano le sezioni trasversali degli impalcati.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

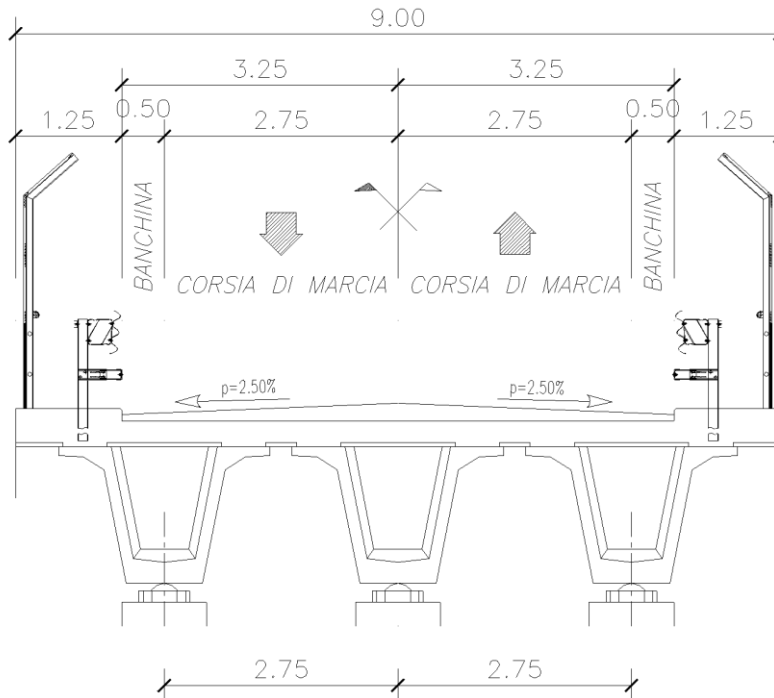
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	OM0000	REL	02	A	4 di 61



Impalcato L=6.00 m

Le spalle, interamente in c.a., sono fondate su 12-16 pali ϕ 1200 lunghi 25m. Esse hanno caratteristiche geometriche riassunte di seguito.

Spessore muro frontale: 2.0 m;

Altezza muro frontale: 6.0 m;

Sessore Muro Paraghiaia: 0.5 m;

Altezza muro paraghiaia: 2.30 m;

Spessore plinto di fondazione 1.80 m;

Larghezza plinto di fondazione: 9.60-13.20 m;

Lunghezza plinti di fondazione: 13.20 m;

Nel seguito si riportano alcuni disegni di carpenteria.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

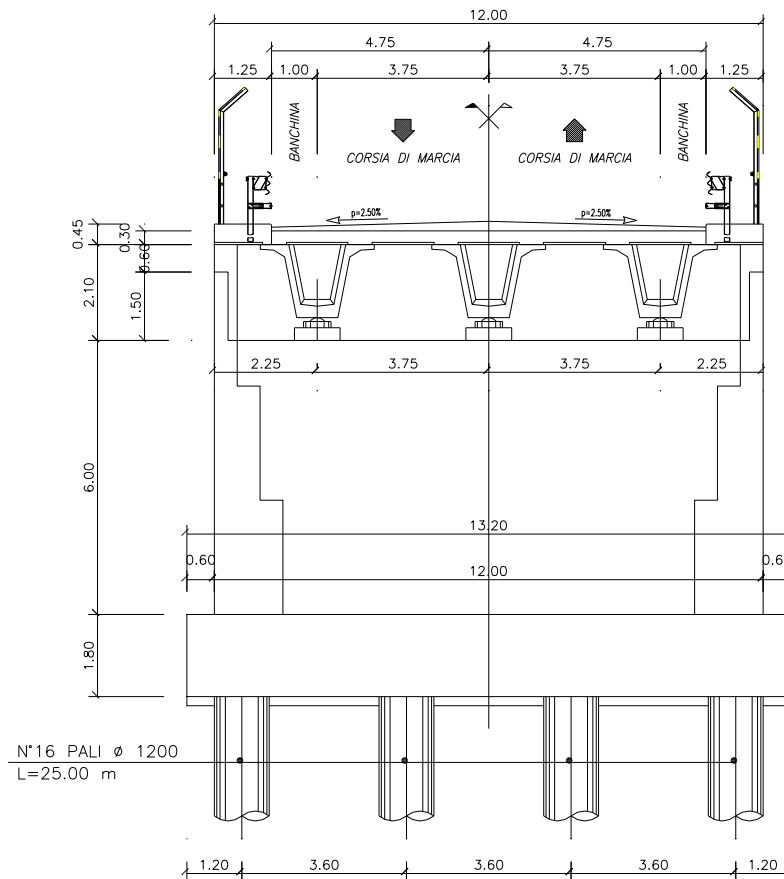
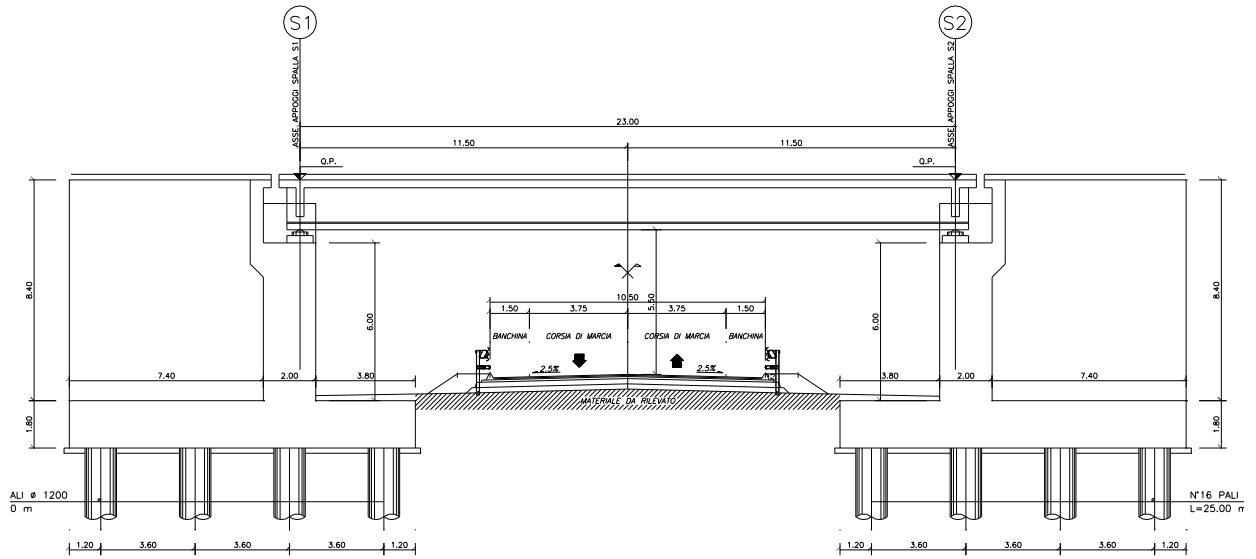
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 5 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------



2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 6 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- D.M. 14/01/2008.
Norme tecniche per le costruzioni (NTC).
- Circolare del 02/02/2009.
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008.
- UNI EN1993 -1-1.
EUROCODICE 3, parte 1.3. Progettazione delle strutture in acciaio. Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN1992-2:2006.
EUROCODICE 2, Parte 2. Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi
- UNI EN1998-2:2006.
EUROCODICE 8, Parte 2. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Ponti.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Per la realizzazione dell'impalcato sono stati utilizzati i seguenti materiali.

3.1 CALCESTRUZZI

Calcestruzzo cassoncini prefabbricati **C50/55**

Calcestruzzo armato gettato in opera (soletta e traversi) **C35/45**

Calcestruzzo armato gettato in opera (pali e fondazione muro) **C32/40**

Calcestruzzo armato gettato in opera (paramento muro) **C25/30**

Per il calcestruzzo della soletta è prevista l'aggiunta di additivo antiritiro con dosaggio, in relazione alle condizioni ambientali e alle modalità di getto e stagionatura idonea a contenere la deformazione da ritiro nel valore massimo pari a $\epsilon_{cs} \leq 20 \times 10^{-5}$

3.2 ACCIAIO DA ARMATURA E ACCIAIO ARMONICO

Acciaio per armature in barre ad aderenza migliorata: **B450 C controllato in stabilimento.**

Acciaio armonico: **trefoli da 0.6 pollici.**

Per la realizzazione dei calcestruzzi, al fine di assicurare i requisiti di qualità e di durabilità, si è fatto riferimento alle specifiche riportate nella norma UNI EN 206-1. pertanto sulla base delle condizioni ambientali prevedibili per le opere in oggetto si riporta nella tabella seguente, in corrispondenza di ogni elemento strutturale, la classe di esposizione, la resistenza caratteristica R_{ck} , il rapporto a/c massimo, il quantitativo di cemento minimo, e l'eventuale percentuale di aria che deve essere inglobata nel calcestruzzo.

Sono previsti inoltre per la soletta e i traversi, copriferri pari a 35 mm.

CLASSI DEI CALCESTRUZZI						
Elemento	Classi di esposizione	Classi di resistenza [f_{ck}/R_{ck}]	a/c	Tipi di cementi	Quantitativo di cemento [kg/m ³]	Classi di consistenza
Soletta e Traversi	XC4-XD3-XF4	C35/45	0.45	CEM III-IV	340	S4-S5
Cassoncini in c.a.p.	XC4-XF2	C45/55	0.45	CEM III-IV	330	S4-S5
Fondazione e pali Muri	XA2	C32/40	0.50	CEM III-IV	360	S4
Paramento muri	XC2	C25/30	0.50	CEM III-IV	300	S4

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera e prefabbricato sono state valutate conformemente alle specifiche previste dal Decreto Ministeriale 14/01/2008, pertanto nelle tabelle seguenti vengono riportati i valori assunti per il modulo elastico e per le resistenze allo stato limite ultimo e di esercizio.

Si precisa che il valore del modulo elastico è stato presunto mediando i valori riportati nella norma UNI EN 1992 e nel D.M. 14/01/2008.

3.3 Resistenze di progetto

3.3.1 Calcestruzzo per soletta gettata in opera C35/45

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

Resistenze di progetto allo SLU

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

Resistenze di progetto allo SLE

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

3.3.2 Calcestruzzo per travi prefabbricate C45/55

$R_{ck} = 55 \text{ MPa}$	resistenza caratteristica cubica a 28 giorni
$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$	resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni
$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 53 \text{ MPa}$	resistenza cilindrica valore medio
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.80 \text{ MPa}$	resistenza media a trazione semplice (assiale)
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.66 \text{ MPa}$	resistenza caratteristica a trazione
$E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 36283 \text{ MPa}$	modulo elastico
$\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3$	peso per unità di volume

Resistenze di progetto allo SLU

$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 25.5 \text{ MPa}; \gamma_c = 1.50$	resistenza di progetto a compressione
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.77 \text{ MPa}$	resistenza di progetto a trazione

Resistenze di progetto allo SLE

$\sigma_{c,r} = 0.60 \cdot f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$	tensione limite in comb. caratteristica (rara)
---	--

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 9 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

$$\sigma_{c,f} = 0.45 \cdot f_{ck} = 20.3 \text{ MPa} \quad \text{tensione limite in comb. quasi permanente}$$

$$\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = 3.17 \text{ MPa} \quad \text{tensione limite di fessurazione (trazione)}$$

3.3.3 Calcestruzzo fondazione e pali muri C32/40

$$R_{ck} = 40 \text{ MPa} \quad \text{resistenza caratteristica cubica a 28 giorni}$$

$$f_{ck} = 33.2 \text{ MPa} \quad \text{resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ MPa} \quad \text{resistenza cilindrica valore medio}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.10 \text{ MPa} \quad \text{resistenza media a trazione semplice (assiale)}$$

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.17 \text{ MPa} \quad \text{resistenza caratteristica a trazione}$$

$$E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 33643 \text{ MPa} \quad \text{modulo elastico}$$

$$\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3 \quad \text{peso per unità di volume}$$

Resistenze di progetto allo SLU

$$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 18.8 \text{ MPa}; \gamma_c = 1.50 \quad \text{resistenza di progetto a compressione}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.45 \text{ MPa} \quad \text{resistenza di progetto a trazione}$$

Resistenze di progetto allo SLE

$$\sigma_{c,r} = 0.60 \cdot f_{ck} = 19.9 \text{ MPa} \quad \text{tensione limite in comb. caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_{c,f} = 0.45 \cdot f_{ck} = 14.9 \text{ MPa} \quad \text{tensione limite in comb. quasi permanente}$$

$$\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = 2.58 \text{ MPa} \quad \text{tensione limite di fessurazione (trazione)}$$

3.3.4 Calcestruzzo paramento muri C25/30

$$R_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad \text{resistenza caratteristica cubica a 28 giorni}$$

$$f_{ck} = 24.9 \text{ MPa} \quad \text{resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9 \text{ MPa} \quad \text{resistenza cilindrica valore medio}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ MPa} \quad \text{resistenza media a trazione semplice (assiale)}$$

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ MPa} \quad \text{resistenza caratteristica a trazione}$$

$$E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 31447 \text{ MPa} \quad \text{modulo elastico}$$

$$\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3 \quad \text{peso per unità di volume}$$

Resistenze di progetto allo SLU

$$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 14.1 \text{ MPa}; \gamma_c = 1.50 \quad \text{resistenza di progetto a compressione}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ MPa} \quad \text{resistenza di progetto a trazione}$$

Resistenze di progetto allo SLE

$$\sigma_{c,r} = 0.60 \cdot f_{ck} = 14.9 \text{ MPa} \quad \text{tensione limite in comb. caratteristica (rara)}$$

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 10 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$\sigma_{c,f} = 0.45 \cdot f_{ck} = 11.2 \text{ MPa}$$

tensione limite in comb. quasi permanente

$$\sigma_i = f_{ctm} / 1.2 = 2.13 \text{ MPa}$$

tensione limite di fessurazione (trazione)

Le caratteristiche meccaniche adottate per l'acciaio da armatura sono:

CARATTERISTICHE MECCANICHE ACCIAIO PER C.A.					
TIPO	E (Mpa)	f_{ik} (Mpa)	f_{vk} (Mpa)	S.L.U	S.L.E
				$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{m,s}$ (Mpa)	$\sigma_{smax} = f_{vk} / 1.25$ (Mpa)
B450C	210000	540	450	391	360

Le caratteristiche meccaniche adottate per l'acciaio armonico sono:

CARATTERISTICHE MECCANICHE ACCIAIO ARMONICO			
TIPO	E (Mpa)	F_{ptk} (Mpa)	$F_{p(1)k}$ (Mpa)
TREFOLI 0.6"	210000	1870	1670

Intendendo con

F_{ptk} : la resistenza caratteristica a rottura

$F_{p(1)k}$: la resistenza caratteristica all' 1% di deformazione totale

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

4. ANALISI DEI CARICHI

Per quanto riguarda i carichi e le azioni utilizzate si è fatto riferimento alle indicazioni della vigente normativa sia per la valutazione delle singole azioni sia per le loro combinazioni.

Nel seguito si riportano le condizioni di carico utilizzate per l'analisi delle sollecitazioni e le relative verifiche.

4.1 CONDIZIONI DI CARICO

Di deguito si riportano le modalità e i valori delle azioni di carico considerate.

4.1.1 Pesi propri e carichi permanenti (g1, g2, g3)

Peso proprio Cassoncini in Cap.

Il peso proprio a metro lineare di un singolo cassoncino in cap è pari a: **19.55 kN/m**

Peso proprio Soletta

Il peso della soletta a metro quadro è pari a: **0.3x1x1x25 = 7.50 kN/mq**

Peso proprio cordoli

Il peso dei marciapiedi a metro quadro è pari a: **0.45x1x1x25 = 11.25 kN/mq**

Peso proprio Pavimentazione

Il peso proprio della pavimentazione è assunto convenzionalmente pari a: **3 kN/mq**

Peso proprio Guard-rail

Il peso proprio del guard-rail per metro lineare è stato assunto pari a: **1.25 kN/m** (per lato)

Peso proprio reti di protezione

Il peso proprio del guard-rail per metro lineare è stato assunto pari a: **1.50 kN/m** (per lato)

4.1.2 Sovraccarichi da traffico (q1, q2)

Coerentemente con quanto indicato al p.to 5.1.3.3.3 del D. M.14/01/2008, i sovraccarichi da traffico, relativamente allo "schema di carico 1", sono schematizzati mediante colonne di carico costituite, come riportato nelle figure seguenti, da forze concentrate e da carichi uniformemente distribuiti.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 12 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

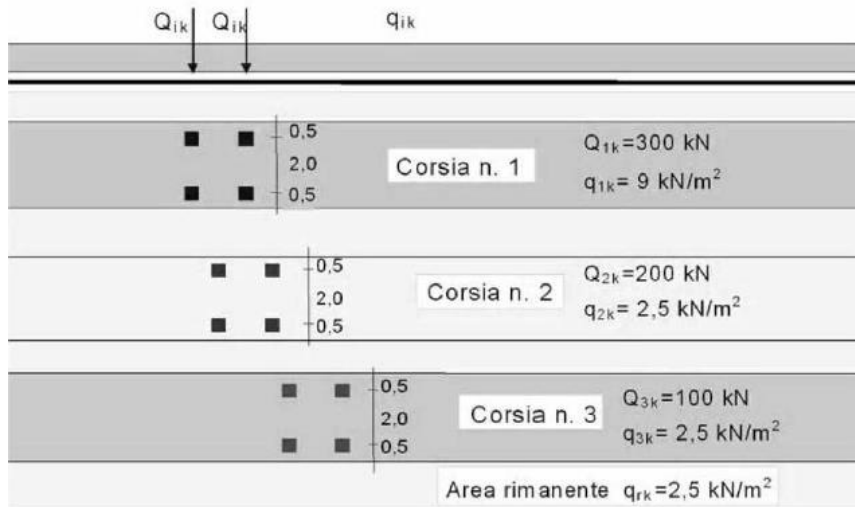


Figura 1 Schema di carico 1

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

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

Carico da Folla

Sul marciapiede, il carico $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$ da considerare al 50 % nelle combinazioni in cui sono presenti i carichi stradali.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

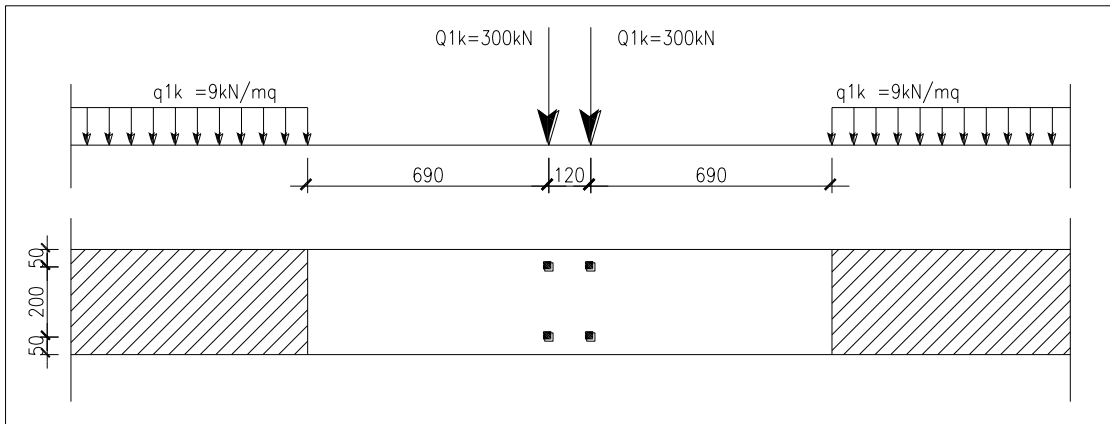
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

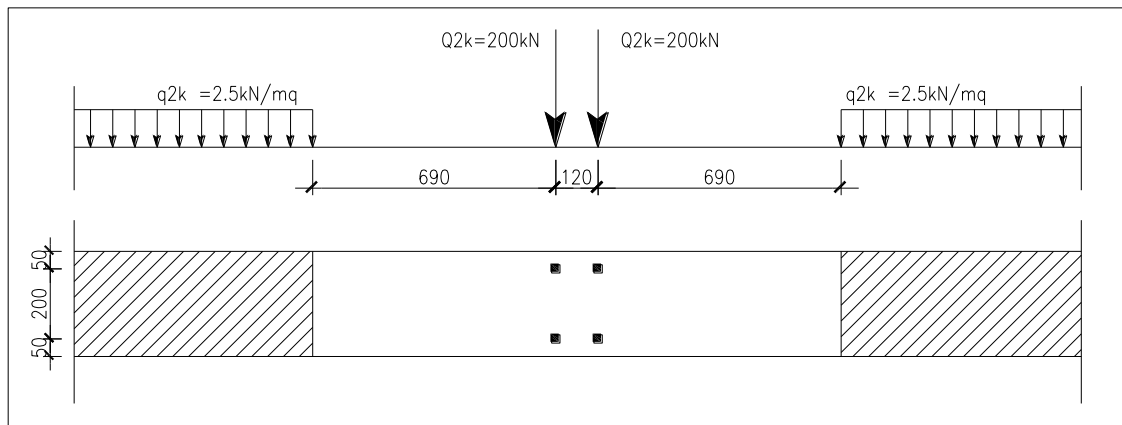
OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

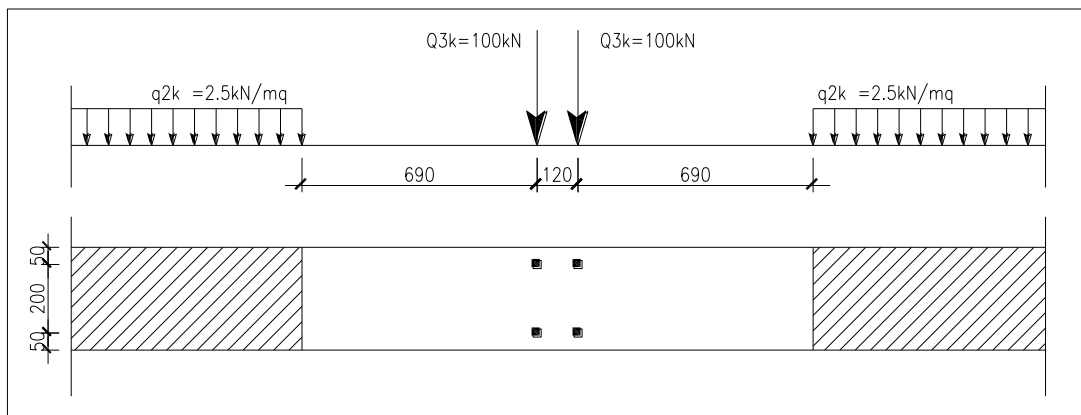
Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 13 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Prima colonna di carico



Seconda colonna di carico



Terza colonna di carico

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 14 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

4.1.3 Ritiro differenziale soletta-trave (ϵ_2)

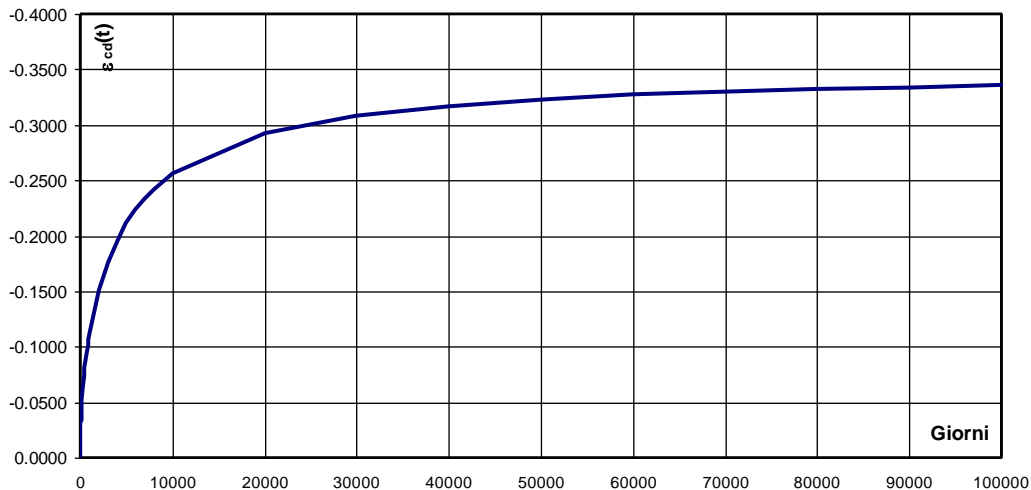
Il calcolo delle deformazioni da ritiro nella soletta è stato eseguito secondo quanto specificato nel Decreto Ministeriale 14/01/2008.

Si riporta la valutazione della deformazione da ritiro secondo le indicazioni previste dalle norme.

$f_{ck} =$	35	Mpa	<i>Resistenza Caratteristica Cilindrica a Compressione</i>
$UR =$	60	%	<i>Umidità Relativa</i>
$\epsilon_{co} =$	-0.500		<i>Deformazione per Ritiro da Essiccamento</i>
$A_c =$	2.35	m ²	<i>Area della Sezione in Conglomerato</i>
$u =$	9.55	m	<i>Perimetro della Sezione in Conglomerato esposto all'Aria</i>
$h_0 =$	500	mm	<i>Dimensione Fittizia pari al rapporto $2A_c/u$</i>
$k_h =$	0.700		
$\epsilon_{cd,\infty} =$	-0.350		<i>Deformazione per Ritiro da Essiccamento (a Tempo infinito)</i>
$\epsilon_{ca,\infty} =$	-0.000063		<i>Deformazione per Ritiro da Autogeno (a Tempo infinito)</i>
$\epsilon_{cs} =$	-0.350	‰	<i>Deformazione per Ritiro Totale (a Tempo infinito)</i>

SVILUPPO NEL TEMPO DELLA DEFORMAZIONE $\epsilon_{cd}(t)$

$t =$	50000	gg	<i>Età del calcestruzzo al tempo massimo</i>
$t_s =$	0.00	gg	
$\beta_{ds}(t-t_s) =$	0.92		<i>Funzione di sviluppo Temporale</i>
$\epsilon_{cd}(t) =$	-0.323	‰	<i>Deformazione per Ritiro da Essiccamento (al Tempo t)</i>



La valutazione riportata indica che a 50.000 gg, per un tempo superiore alla vita utile della struttura, la deformazione da ritiro raggiunge il valore 0.323‰.

Come precedentemente evidenziato si prevede l'utilizzo di additivo antiritiro idoneo a contenere la deformazione massima al valore di 0.2‰.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 15 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

4.1.4 Viscosità (ϵ_4)

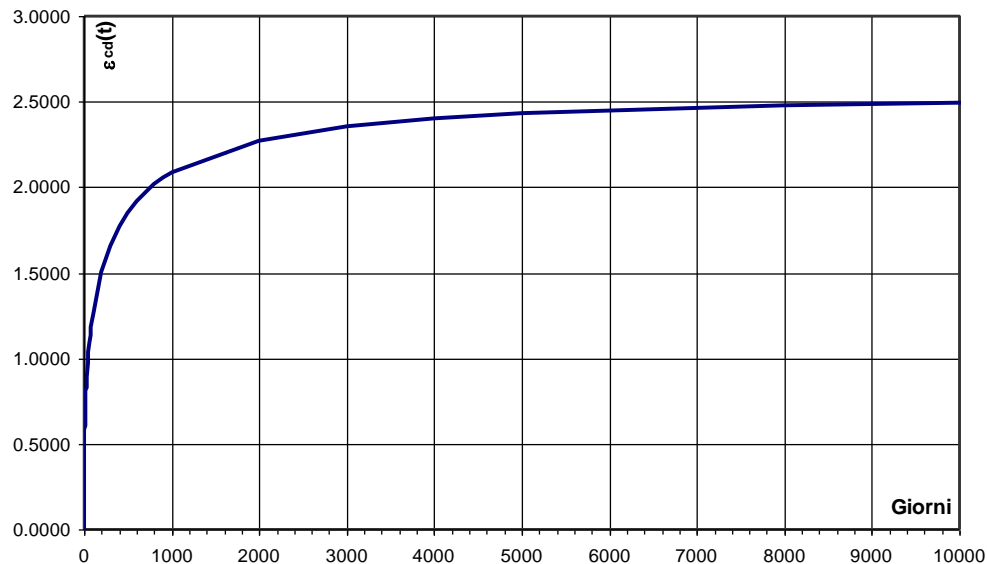
Di seguito si riporta il calcolo del coefficiente di viscosità per il calcestruzzo della soletta secondo quanto specificato nel Decreto Ministeriale 14/01/2008.

$h_0 =$	500	mm	<i>Dimensione Fittizia pari al rapporto $2A_c/u$</i>
$t_0 =$	4	giorni	<i>Età del calcestruzzo al Momento della messa in Carico</i>
$f_{ck} =$	35	Mpa	<i>Resistenza Caratteristica Cilindrica a Compressione</i>
$f_{cm} =$	43	Mpa	<i>Resistenza Media Cilindrica a Compressione (a 28 gg)</i>
UR =	60	%	<i>Umidità Relativa</i>

$$\phi(t_{\infty}, t_0) = \mathbf{3.5} \quad \text{Coefficiente di Viscosità a } t = \infty$$

SVILUPPO NEL TEMPO DEL COEFFICIENTE DI VISCOSITA' $\phi(t, t_0)$

$t =$	50000	gg	<i>Età del calcestruzzo al tempo massimo</i>
$\alpha_1 =$	0.87		
$\alpha_2 =$	0.96		<i>Coefficienti dipendenti dalla resistenza del calcestruzzo</i>
$\alpha_3 =$	0.90		
$\phi_{RH} =$	1.38		<i>Coefficiente dipendente dall'umidità relativa</i>
$\beta(f_{cm}) =$	2.56		<i>Coefficiente dipendente dalla resistenza del calcestruzzo</i>
			<i>Coefficiente dipendente dall'età del Calcestruzzo</i>
$\beta(t_0) =$	0.70		<i>al momento dell'applicazione del carico</i>
$\phi_0 =$	2.5		<i>Coefficiente Nominale di Viscosità</i>
$\beta_H =$	975.548427		<i>Coefficiente dipendente da UR e da h_0</i>
$\beta_{cc}(t-t_0) =$	0.99		<i>Coefficiente descrittivo dell'evoluzione della viscosità nel tempo</i>
$\phi(t, t_0) =$	$\mathbf{2.5}$		<i>Coefficiente di Viscosità al tempo $t = 10.000$</i>



4.1.5 Azione di frenamento (q3)

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

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

Nel caso in oggetto risulta $Q_3 = 422.1 \text{ kN} = 18.35 \text{ kN/m}$.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

4.1.6 Azione centrifuga (q4)

L'azione centrifuga per ogni colonna di carico è valutata convenzionalmente come segue:

$$R < 60 \text{ m} \quad q_4 = 5.00 \text{ kN/m}$$

$$60 \text{ m} \leq R \leq 1500 \text{ m} \quad q_4 = 300/R \text{ kN/m}$$

$$1500 \text{ m} \leq R \quad q_4 = 0.00 \text{ kN/m}$$

Per il cavalcavia in esame l'azione centrifuga è nulla in quanto l'impalcato si sviluppa in rettilineo.

4.1.7 Azione del vento (q5)

L'azione del vento viene convenzionalmente assimilata ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse del ponte.

La superficie dei carichi transitanti 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.

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

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

dove:

q_b = è la pressione cinetica di riferimento;

c_e = è il coefficiente di esposizione;

c_p = è il coefficiente di forma o aerodinamico;

c_d = è il coefficiente dinamico.

Con:

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

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

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

$$k_r = 0.19;$$

$$z_0 = 0.05 \text{ m};$$

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

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

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 17 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$c_e(z) = k^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] = 2.36.$$

Secondo le indicazioni della Circolare del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008" (par. C3.3.10.4), si determina il coefficiente aerodinamico per l'impalcato in esame:

$$c_p = 2.4 - \phi = 1.4, \text{ essendo per travi ad anima piena } \phi = 1$$

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

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 456 \text{ N/m}^2 \times 2.36 \times 1.4 \times 1 = 1.51 \text{ kN/m}^2$$

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

Vento a ponte carico

Cautelativamente si considera su tutto il ponte la sagoma dei veicoli per un'altezza pari a 3.0 al di sopra della livelletta.

$$q_w = (1.6 + 0.3 + 0.10 + 3.00) \times 2.5 \text{ kN/m} = 12.5 \text{ kN/m}.$$

Vento a ponte scarico

Cautelativamente questa condizione di carico si considera coincidente con la precedente.

4.1.8 Azioni sismiche (q_6)

Il cavalcavia in oggetto è progettato per una vita nominale V_N pari a 50 anni. Gli si attribuisce inoltre una classe d'uso III ("Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.") ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $C_U = 1$.

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

attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco a_g (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$;

in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera;

con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza 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

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 18 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

d'amplificazione stratigrafica e topografica. Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- Vita nominale V_N = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso C_u = 1.5;
- Periodo di riferimento V_R = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$ = 712 anni;
- Comune = Camerino;
- $a_{g,SLV}$ = **0.220 g**;
- $F_{0,SLV}$ = **2.544**;
- $T^*_{c,SLV}$ = **0.333 sec.**

Accelerazione (a_g), fattore (F_0) e periodo (T^*c) per comune di riferimento

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [s]
75	SLO	81%	45	0.078	2.440	0.285
	SLD	63%	75	0.097	2.433	0.295
	SLV	10%	712	0.220	2.544	0.333
	SLC	5%	1462	0.277	2.584	0.343

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

- Categoria di suolo = B;
- Categoria topografica = T1;
- S_s , fattore stratigrafico = 1.176;
- S_T , fattore topografico = 1.0;
- C_c , fattore correttivo del periodo TC^* = 1.371.

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 $q = 1$.

5. COMBINAZIONI DI CARICO

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

5.1 Gruppi di carico

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

Tabella 1 – Valori caratteristici delle azioni da traffico

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

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

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

5.2 Coefficienti parziali e di combinazione

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

Tabella 2 – Coefficienti parziali di sicurezza agli SLU

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 20 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 3 – Coefficienti di combinazione

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combinazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
Vento q_5	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

5.3 Combinazioni agli SLU

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

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

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

Mentre quella per le combinazioni sotto SISMA o ECCEZIONALI è:

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

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

5.4 Combinazioni agli SLE

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

L'espressione per le combinazioni di verifica RARE è:

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

L'espressione per le combinazioni di verifica FREQUENTI è:

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

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

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

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

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 22 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

6. MODELLI DI CALCOLO

Nel seguito si riporta il calcolo dell'impalcato.

L'impalcato è realizzato mediante tre travi prefabbricate del tipo "cassoncino" con le dimensioni precedentemente indicate e dalla soletta costituita da predalles di spessore 5 cm e getto in opera di spessore 25 cm.

Per la verifica delle travi in c.a.p. si è proceduto con un modello globale di calcolo di tipo "graticcio".

Tale modello è stato realizzato attraverso il software di calcolo strutturale SAP2000 v11 distribuito dalla Computers and Structures, Inc. (CSI), i cui test di validazione sono divisi per categoria di elemento finito, e la soluzione ottenuta dal software è confrontata con la soluzione nota del relativo problema. La procedura di validazione è ampiamente descritta nei documenti allegati al software di calcolo e reperibile in rete.

Per la verifica della soletta invece, si è proceduto con uno schema di striscia trasversale semplicemente appoggiata sulle travi, ossia, uno schema di trave continua soggetta alla condizione più sfavorevole di carichi mobili. I modelli adottati ed i risultati ottenuti sono illustrati nel seguito.

6.1 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

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

Nello specifico, l'analisi del comportamento delle strutture d'impalcato è stato effettuato con l'ausilio del Software SAP 2000 prodotto dalla **CSI Computers & Structures** (Berkeley, California, USA) e distribuito in Italia dalla **Brunetta e Brunetta Engineering Srl** (Pordenone), di cui si possiede regolare licenza, identificata nello specifico da Key Serial Number n° FD6E intestata a PROGIN SPA – CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI.

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

Infine si è ricorso a fogli di calcolo elettronici auto-prodotti, per l'automatizzazione di ulteriori verifiche effettuate quali predalles o sottostrutture.

Affidabilità dei codici di calcolo

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

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

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

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

2.12 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: TIPOLOGICI

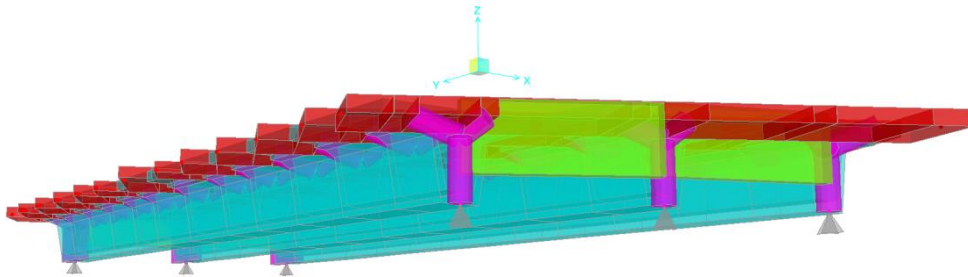
Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	OM0000	REL	02	A	23 di 61

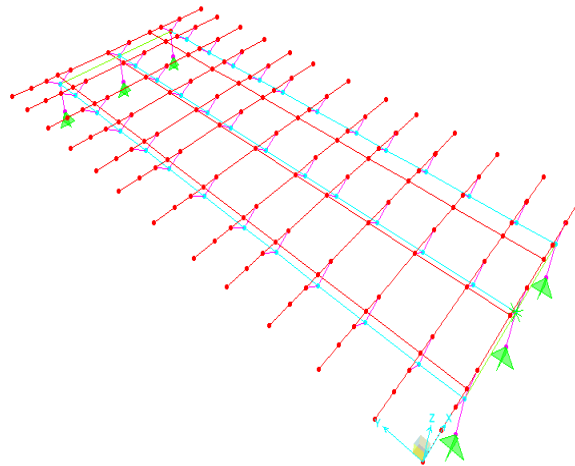
Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

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

6.2 MODELLO GLOBALE



Vista del modello solido dell'impalcato



Vista del modello di calcolo dell'impalcato

- nella direzione longitudinale sono presenti tre file di elementi trave in corrispondenza dei baricentri delle travi longitudinali costituite da trave prefabbricata più soletta collaborante;
- elementi "trave" trasversali corrispondenti a strisce di soletta di larghezza pari a 2 m e spessore 0.30.
- elementi rigidi nel piano trasversale, che schematizzano il collegamento fra travi longitudinali a quota baricentro e strisce trasversali a quota soletta. Tali elementi inclinati consentono di rappresentare l'appoggio della soletta in corrispondenza delle ali delle travi prefabbricate.

I vincoli impediscono gli spostamenti alle estremità.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 24 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

I carichi applicati corrispondono alle seguenti condizioni di carico:

carichi permanenti (g1,g2,g3)

- peso proprio cassoncino: 19.55 kN/m
- peso proprio soletta: 7.5 kN/mq
- peso proprio marciapiede: 11.25 kN/mq
- peso proprio pavimentazione: 3.0 kN/mq
- guard-rail: 1.25 kN/m (per lato)
- reti di protezione: 1.5 kN/m (per lato)

carichi mobili.

Sono state considerate tre colonne di carico distribuite trasversalmente al fine di massimizzare le sollecitazioni nella trave di bordo. Il codice di calcolo valuta automaticamente le massime sollecitazioni al variare della posizione longitudinale dei carichi q_{1k} .

carichi orizzontali

I carichi orizzontali non sono stati inseriti nel modello di calcolo. Gli effetti di tali azioni sono state valutati separatamente e aggiunti secondo i coefficienti di combinazione prima riportati, agli effetti prodotti dagli altri carichi.

I risultati per le condizioni di carico permanenti confermano una ripartizione omogenea dei carichi fra le tre travi longitudinali. Le sollecitazioni flettenti e taglianti prodotte dai carichi mobili sulle travi e nella soletta sono forniti in termini di valori massimi. A titolo di esempio, si riportano per la trave di estremità, le massime sollecitazioni taglianti e flettenti per effetto dei carichi mobili.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

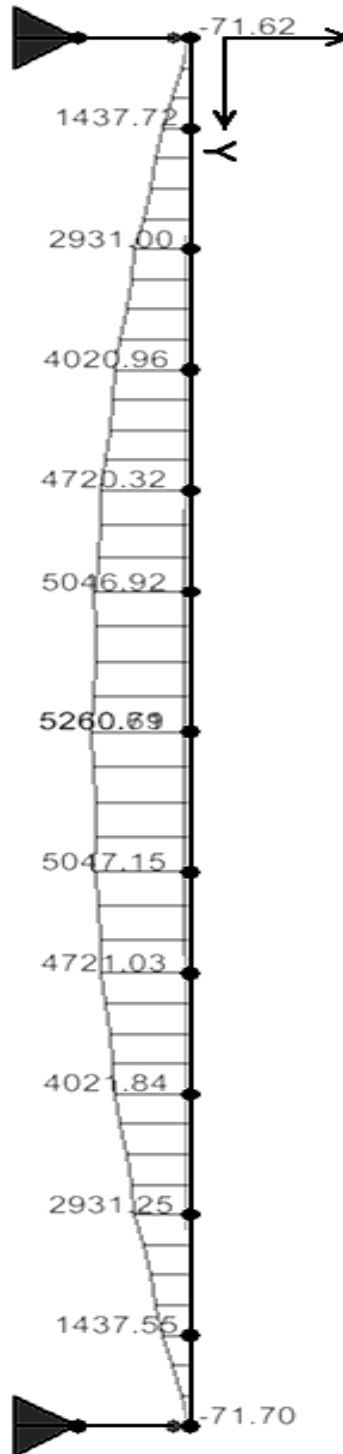
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

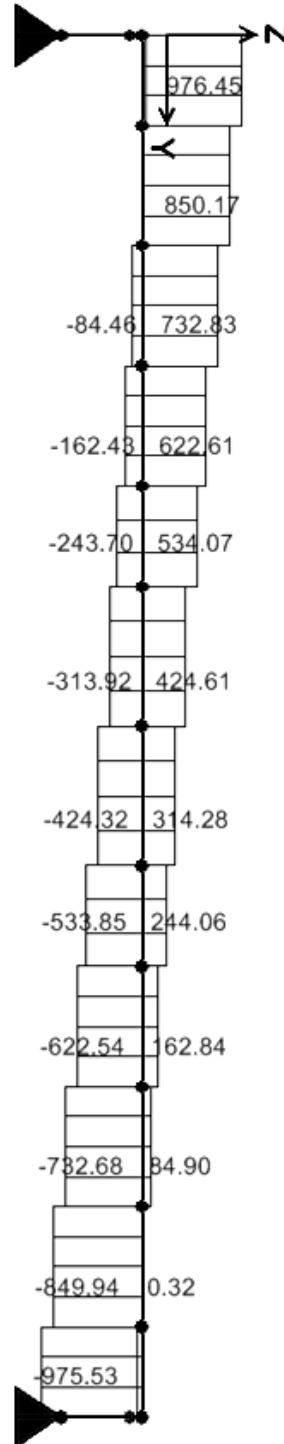
Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	OM0000	REL	02	A	25 di 61

Inviluppo delle sollecitazioni flettenti nel cassoncino di bordo



Inviluppo delle sollecitazioni taglianti nel cassoncino di bordo



2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

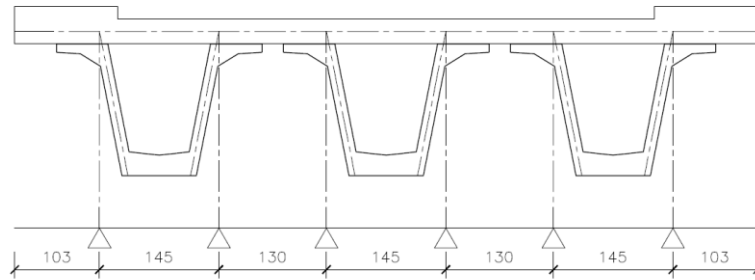
OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 26 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.3 SOLETTA

L'analisi delle sollecitazioni flettenti e taglianti nella direzione trasversale della soletta, è stata sviluppata considerando, un modello di trave continua semplicemente appoggiata in corrispondenza delle ali delle travi a cassoncino secondo lo schema riportato nella figura seguente.

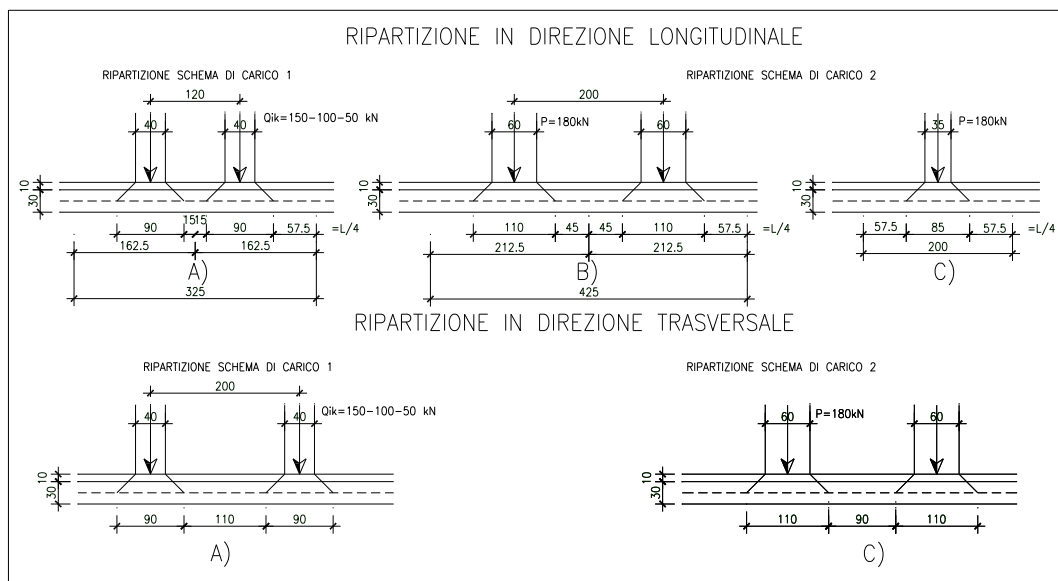


La trave è soggetta ai carichi permanenti ed ai carichi mobili di tipo concentrato (q_{ik}) previsti dal D.M. 14/09/05.

Il numero di carichi e l'effetto della loro posizione nella direzione trasversale è stato analizzato con l'opzione "linee di influenza" del codice di calcolo SAP 2000 valutando i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti e taglianti.

Il modello di trave continua risulta approssimato in quanto non tiene conto di possibili deformazioni della sezione trasversale conseguenti a spostamenti relativi non di tipo rigido fra le travi longitudinali. Tale effetto è stato tenuto in conto con il modello a graticcio.

La soletta è sollecitata dal peso proprio, dai carichi permanenti, e dalle azioni variabili da traffico. Pertanto sono state considerate le azioni q_1 con gli schemi di carico 1 e 2, così come definiti nel punto 6.2.3.3.3 del D.M. 14/09/05. In particolare, delle azioni dello schema 1 sono state considerate solo le quattro forze concentrate posizionate a 2 m di distanza nella direzione trasversale e 1.2 m nella direzione longitudinale (vedi figura seguente).



2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 27 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

La valutazione della diffusione all'interno della soletta degli effetti dei carichi concentrati è stata sviluppata tenendo conto dello spessore della pavimentazione, dello spessore della soletta e della luce tra gli appoggi nella direzione trasversale.

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

Per i carichi mobili q_1 , la diffusione del carico attraverso la pavimentazione e la soletta è assunta con inclinazione a 45° fino al piano medio della soletta.

Pertanto per il carico q_1 (schema di carico 1) la forza di 150 kN si ripartisce su un'area di 90 x 90 cm. Si considera inoltre un'ulteriore diffusione degli effetti del carico nella direzione trasversale e pertanto la larghezza della striscia di soletta collaborante è incrementata di un valore massimo di $\frac{L}{4} = 57.5$ cm da entrambi i lati.

In definitiva tenendo conto dell'interasse di 120 cm tra i due carichi risulta, nella direzione longitudinale, come evidenziato in figura, una larghezza collaborante di soletta pari a 164 cm.

Per lo schema di carico 2 l'area di impronta a quota asse soletta è pari a 110 x 85 cm e la larghezza collaborante è pari a 212.5 o 200 cm a seconda della posizione della disposizione longitudinale e trasversale della coppia di 180 kN.

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

Schema di carico n° 1

Sono state considerate 3 condizioni di carico

1° condizione: 2 carichi distribuiti con $q = \frac{150}{(1.62.5 \times 0.9)}$ kN/m/ml con distanza fra le loro risultanti pari a 2 m

2° condizione: 2 carichi distribuiti con $q = \frac{150}{(1.62.5 \times 0.9)}$ kN/m/ml con distanza fra le risultanti pari a 2 m accoppiate con ulteriori 2 carichi distribuiti con $q = \frac{100}{(1.62.5 \times 0.9)}$ kN/m/ml a distanza di 3 m dalla coppia precedente. Quest'ultima coppia di carichi schematizza la presenza della seconda colonna di carico.

3° condizione: alla precedente condizione vengono aggiunti 2 ulteriori carichi distribuiti con $q = \frac{50}{(1.62.5 \times 0.9)}$ kN/m/ml che schematizzano la presenza della terza colonna di carico.

A tali condizioni di carico è stata aggiunta la condizione che considera la presenza della sola prima e terza colonna di carico.

Schema di carico n° 2

Il carico q è stato incrementato del coefficiente dinamico

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 28 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$\phi = 1.4 (L_{\text{appoggi}} < 10 \text{ m})$$

Schema di carico n° 2

Infine è stato considerato lo schema di carico n° 2 delle azioni variabili da traffico. Tale condizione è costituita da una coppia di due carichi da 180 KN posti a distanza di 2 m. Ognuno di essi si ripartisce su un'area di impronta di lati 212.5 cm x 85 cm se la coppia di carico è posta nella direzione longitudinale (parallela all'asse longitudinale dell'impalcato) (figg. LB e LC), altrimenti se la coppia viaggia in senso trasversale su un'area di 200x110 cm (200 cm nella direzione longitudinale e 110 nella direzione trasversale) così come indicato nelle Figg. TA e TC.

L'analisi è stata condotta, anche in questo caso, su una striscia di calcestruzzo di 1 m di larghezza su cui sono stati applicati due carichi viaggianti nella direzione trasversale dell'impalcato separatamente e cioè:

1 un unico carico distribuito di larghezza trasversale pari a 0.85 m e $q = \frac{180}{(212.5 \times 0.85)} \text{ kN/m/ml}$ che schematizza la coppia di carico posta nella direzione longitudinale;

2 due carichi distribuiti di larghezza trasversale pari a 1.10 m e $q = \frac{180}{(212.5 \times 1.10)} \text{ kN/m/ml}$ posti a una distanza di 2 m fra le risultanti che schematizza la coppia di carico posta nella direzione trasversale.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

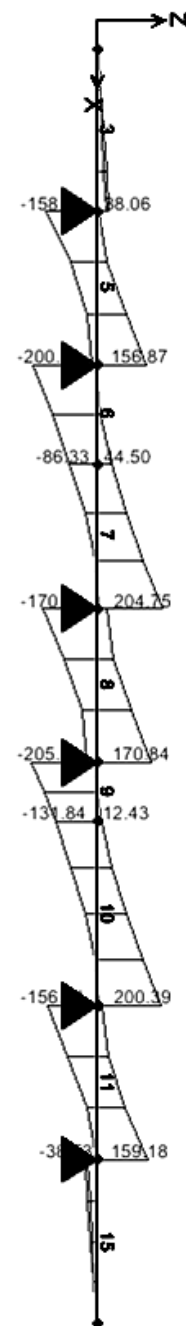
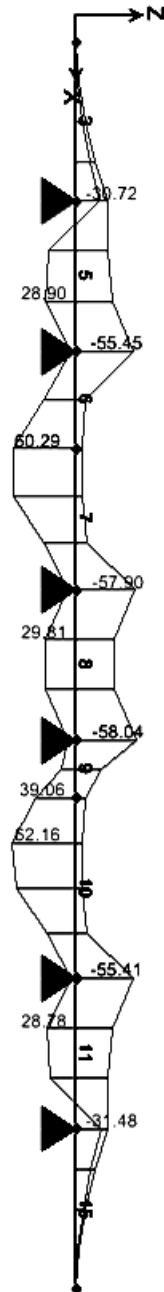
Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 29 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

RISULTATI

Nel seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni nella soletta per lo stato limite ultimo.

Involuppo del momento flettente per le verifiche
allo stato limite ultimo

Involuppo del taglio per le verifiche allo stato
limite ultimo



Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 30 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

7. VERIFICHE DI RESISTENZA

Le verifiche delle sezioni più sollecitate sono state condotte seguendo le prescrizioni del D.M.14/09/05 e seguendo le indicazioni della norma UNI EN 1992-2005.

Più specificatamente la verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto della verifica agli stati limite ultimi, e delle verifiche nei riguardi della fessurazione e delle tensioni di esercizio

Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni flettenti M_d sia minore dei corrispondenti momenti resistenti M_r delle sezioni di progetto.

Si evidenzia che per i viadotti in esame è stato adottato un sistema di isolamento sismico dell'impalcato e pertanto in condizioni sismiche è opportuno richiedere per le pile e le fondazioni un comportamento "sostanzialmente elastico", così come indicato nell'all. 9 dell'OPCM.

Pertanto, nella verifica in condizioni sismiche delle sezioni degli elementi in c.a. per le quali le sollecitazioni sono influenzate dalla presenza dell'isolamento, si è proceduto imponendo un adeguato margine tra le sollecitazioni e resistenze di progetto.

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato al paragrafo 6.2.3.12. del D.M.14/09/05.

Inoltre le verifiche a pressoflessione ultima sono state eseguite facendo riferimento alle superfici di rottura in termini di momento flettente e sforzo normale assumendo i legami costitutivi per il cls e l'acciaio specificati al punto 5.1.2.1.5.2 del D.M.14/09/05.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento alla formulazione dell' UNI EN 1992-2005, e pertanto la verifica a taglio ultimo si esegue confrontando il valore del taglio di progetto T_d con il taglio resistente valutato, nel caso di elementi che non richiedono armatura a taglio (vedi par. 6 dell' dell' UNI EN 1992-), pari a

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k [100 \rho_t f_{ck}]^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d$$

e con

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

nel caso di elementi che richiedono armatura a taglio.

Il momento ultimo delle sezioni precomprese, è stato valutato con i legami costitutivi non lineari riportati nel punto 5.1.2.1.5.2 Del D.M. 14/09/05 sia per il calcestruzzo che per l'acciaio armonico. In particolare è stato assunto un legame costitutivo elastico-perfettamente plastico sia per l'armatura che per i trefoli tesi.

Per l'acciaio da precompressione è stata valutata la deformazione complessiva in condizioni ultime ed è stato confrontato con il valore limite indicato dalla norma UNI EN 1992-2005 pari a:

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 31 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$\varepsilon_U = 0.9 \times \frac{35}{1000}$$

Verifiche allo stato limite di fessurazione

E' stata valutata l'ampiezza della fessura per le combinazioni di carico indicate dal D.M.14/09/05 seguendo le indicazioni riportate al punto 5.1.2.2.6.6

Inoltre, è stato assunto come valore limite $w_1=0.2$ mm.

Più specificatamente il valore dell'apertura delle fessure di progetto è stato valutato con le modalità del punto 5.1.2.2.6.6 del D.M.14/09/05 e cioè:

$$w_d = 1,7 \cdot w_m$$

dove w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure (w_m) è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

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

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} sono stati utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. ε_{sm} è stato calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con σ_s tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed E_s è il modulo elastico dell'acciaio.

Verifiche delle tensioni di esercizio

Al fine della valutazione delle tensioni di compressione nel calcestruzzo e di trazione nell'armatura sono state calcolate sulla base di legami costitutivi lineari e confrontati con i valori massimi riportati nel par. 3 nel rispetto del punto 5.1.2.2.7 del D.M.14/09/05.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

7.1 VERIFICHE IMPALCATO

Come anticipato in premessa, gli impalcati costituiti da tre cassoncini in c.a.p e dalla soletta gettata in opera. I cassoncini sono alti 1.60 m e sono disposti ad interasse trasversale di 3.75 m, mentre la soletta è gettata in opera ed ha uno spessore finito di 25+5 cm; per il getto della stessa, sono previste predalle tralicciate dello spessore di 5 cm che in fase di getto fungono da cassero a perdere.

Nel paragrafo seguente si riportano le verifiche di resistenza dei cassoncini in cap e della soletta.

7.1.1 VERIFICA DEL CASSONCINO

La verifica è stata condotta tenendo conto delle fasi costruttive.

Nella fase iniziale di precompressione si considera la sola trave prefabbricata soggetta al peso proprio e allo sforzo massimo di precompressione.

Analogamente, nella fase di getto della soletta si considera la sola trave prefabbricata soggetta al peso ulteriore della soletta ed inoltre, parzialmente alle cadute di tensione dei trefoli.

Nella fase di esercizio, gli incrementi di carico agiscono nella sezione completa, e cioè trave più soletta collaborante, e si considerano esaurite le cadute di tensione.

La sezione resistente nella fase finale comprende lo spessore della soletta, al netto dello spessore delle predalles e omogeneizzando la larghezza della soletta stessa per tenere conto delle diverse caratteristiche del calcestruzzo della soletta e della trave. Il coefficiente riduttivo applicato alla larghezza della soletta è pari al rapporto tra i moduli elastici dei calcestruzzi utilizzati, ovvero: $c = 0.95$. Pertanto la larghezza collaborante della soletta omogeneizzata rispetto al cassoncino prefabbricato è pari a:

$$l_0 = 0.95 \times 3.75 = 3.56 \text{ m.}$$

Di seguito si riporta la sezione della trave in c.a.p. con la distribuzione dei trefoli.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

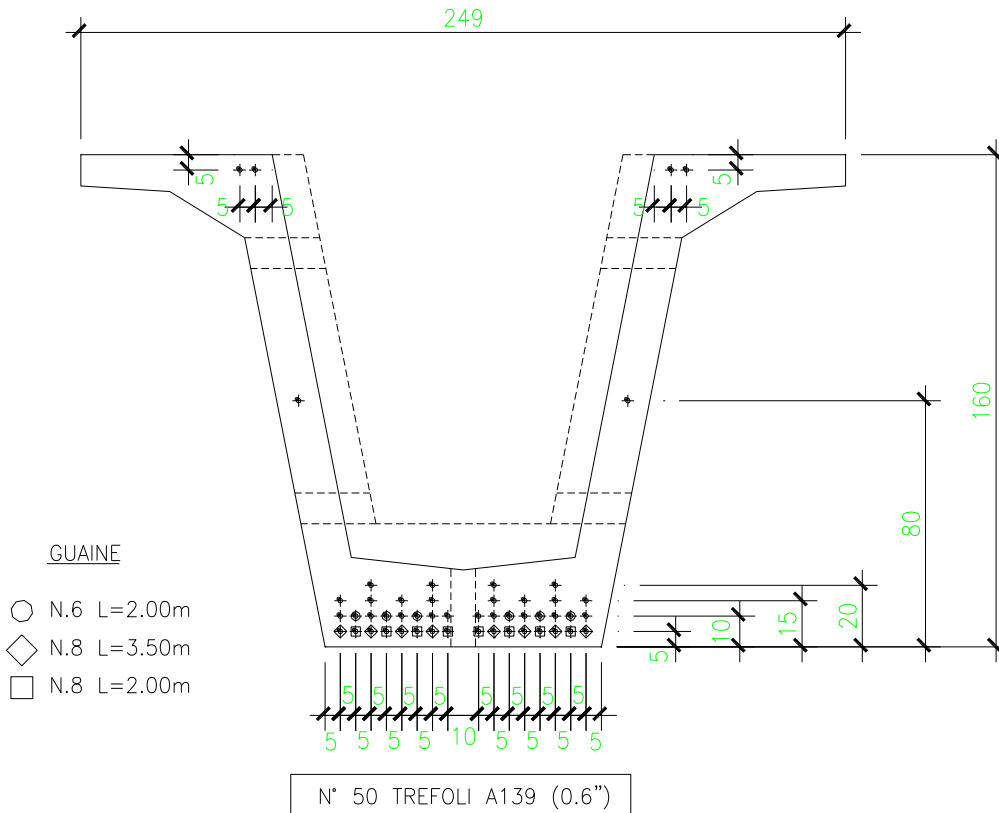
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 33 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Sezione trasversale cassoncino

Lo schema di precompressione è il seguente:

SCHEMA DI PRECOMPRESSIONE

Sezione in mezzeria

Gruppo 1	16 trefoli	area=0.000139	y=0.05
Gruppo 2	16 trefoli	area=0.000139	y=0.10
Gruppo 3	8 trefoli	area=0.000139	y=0.15
Gruppo 4	4 trefoli	area=0.000139	y=0.20
Gruppo 5	2 trefoli	area=0.000139	y=0.80
Gruppo 6	4 trefoli	area=0.000139	y=1.55

Lungo la trave alcuni trefoli sono previsti di tipo con guaina al fine di ridurre la precompressione nelle zone laterali. Lo schema di disposizione dei trefoli 'inguainati' è il seguente:

dei 16 trefoli del gruppo 1, 8 sono inguainati per 2 m e 8 sono inguainati per 3.5 m ;
 dei 16 trefoli del gruppo 2, 6 sono inguainati per 2 m.

Verifiche agli stati limite di esercizio

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 34 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Si riportano le verifiche del cassoncino in diverse sezioni, i calcoli delle sollecitazioni sono stati sviluppati con il modello graticcio presentato nei paragrafi precedenti, mentre le verifiche di resistenza sono effettuate con l'ausilio di un apposito codice di calcolo che svolge l'analisi del comportamento dell'elemento strutturale nelle varie fasi.

Si è ipotizzato che l'impalcato venga realizzato con le seguenti fasi e tempi:

Taglio dei trefoli: almeno 7 giorni dopo il getto

Varo della trave e getto della soletta: 180 giorni dopo il getto

Applicazione dei sovraccarichi permanenti: 210 giorni dopo il getto

Esercizio: 220 giorni dopo il getto.

Pertanto, in osservanza al DM 14/9/2005, le cadute di tensione nei cavi sono state valutate considerando:

- 1) le cadute di tensione per il ritiro del calcestruzzo della trave prefabbricata legate ad una deformazione per ritiro pari a 0.3 ‰ calcolata procedendo secondo il punto 11.1.10.6 del DM 14/9/2005 ed utilizzando un'umidità di circa il 60%.
- 2) le cadute di tensione per la viscosità del calcestruzzo della trave prefabbricata legate ad una deformazione per viscosità pari a 2.3 della deformazione elastica, calcolata procedendo secondo il punto 11.1.10.7 del DM 14/9/2005 ed utilizzando la tabella 11.1.VI.
- 3) le cadute di tensione per rilassamento dell'acciaio legate ad una deformazione per rilassamento calcolata procedendo secondo il punto 11.2.3.4 del DM 14/9/2005 e considerando i dati sperimentali dei prodotti omologati per una tensione pari a 0.75 Fptk, secondo cui le cadute di tensione a 120 ore sono pari a 1.8%, quelle a 1000 ore pari a 2.2%, e quelle a 2000 ore pari a 2.5% (ciò ha consentito di utilizzare la formula per il calcolo della caduta di rilassamento a tempo infinito basata sui risultati di prove a lunga durata).

Nel seguito si riportano le sollecitazioni massime e le relative verifiche di resistenza.

Le verifiche agli stati limite di esercizio e alla fessurazione sono state eseguite tenendo conto delle varie fasi realizzative dell'impalcato, ossia:

FASE 1: fase di costruzione del cassone (fase di tiro);

FASE 2: fase di getto della soletta dell'impalcato, a parziali cadute di tensioni avvenute nei trefoli;

FASE 3: condizioni in esercizio a cadute di tensioni avvenute nei trefoli.

Nel seguito si riportano, per le sezioni maggiormente significative, le sollecitazioni per le varie condizioni di carico, e le verifiche di resistenza nelle varie fasi di lavoro. Inoltre sono riportate le caratteristiche geometriche della sezione in c.a.p. in esame e cioè: le aree dei gruppi dei trefoli lungo l'asse verticale e longitudinale (**DATI CAVI**), le coordinate dei vertici della sezione precompressa (**VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA**) e della soletta (**VERTICI SOLETTA**), l'area del cavo risultante e la sua distanza dal bordo inferiore e le caratteristiche inerziali della sezione omogeneizzata nella varie fasi (area, distanza del baricentro dal lembo inferiore, momento di inerzia, moduli di resistenza)

E' importante evidenziare che le sollecitazioni in ogni sezione del cassoncino sono state valutate modellando l'impalcato con un grigliato sviluppato con il codice di calcolo agli elementi finiti SAP 2000 soggetto alle seguenti condizioni di carico:

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 35 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

carichi propri e portati = g1+g2+g3
Ritiro (ε2)
Carichi mobili (q1-q2)
Vento (q5)
Sisma Verticale (q6) S.L.D.

Successivamente, le sollecitazioni corrispondenti alle singole condizioni di carico sono state combinate come da normativa (vedi tabella tab CC del par. 4).

Quindi, nel seguito, vengono riportate le caratteristiche di sollecitazione nella sezione di interesse corrispondenti alle singole condizioni di carico e, successivamente, le caratteristiche di sollecitazione opportunamente combinate secondo lo stato limite in esame. La verifica viene eseguita, per ogni stato limite, utilizzando il massimo valore delle caratteristiche della sollecitazione scelte fra le combinazioni corrispondenti a quello stato limite.

Per quanto riguarda gli stati limite di esercizio e di fessurazione, vengono riportate le verifiche tensionali nelle tre fasi e il coefficiente di sicurezza alla fessurazione.

Per ogni fase vengono fornite le caratteristiche della sollecitazione, gli sforzi di precompressione (**CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE**), le cadute di tensione nei trefoli per ritiro, viscosità e rilassamento (**CADUTE DI TENSIONE**), le tensioni normali al bordo superiore ed inferiore della trave precompressa, le tensioni normali al bordo superiore ed inferiore della soletta (**VERIFICA A FLESSIONE**) e, per alcune fibre dell'anima della sezione in c.a.p., le tensioni

Il ritiro differenziale della soletta rispetto al cassoncino comporta una sollecitazione di trazione nella soletta ed una sollecitazione di pressoflessione nella sezione composta che viene valutata con il codice di calcolo. Di seguito, si valutano i valori delle tensioni normali agenti nella soletta e nella sezione di calcestruzzo.

Sforzo normale di trazione per impedita contrazione della soletta, è valutato a tempo infinito:

$$N = \varepsilon_r \times A_{sol} \times (E / (1 + \phi(t, t_0))) = 1929 \text{ kN}$$

(il valore di ε_r è pari a 0.2‰ e $\phi(t, t_0) = 2.5$).

Lo sforzo N (compressione) e il corrispondente momento flettente $M = N \times d$, con d distanza fra il baricentro della soletta e il baricentro della sezione composta, vengono applicati alla sezione composta. Tali effetti sono inclusi nelle sollecitazioni per la verifica della trave nella fase 3.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 36 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

DATI DI PROGETTO

Rck trave	= 55 Mpa
Rck soletta	= 45 Mpa
Luce di calcolo	= 23.0 m
Coefficiente di omogenizzazione dell'acciaio	= 6
Cavi di tipo stabilizzato	
Numero di gruppi di cavi	= 8
Tensione al tiro	= 1400 Mpa
Fptk	= 1870 Mpa
Fpt1	= 1670 Mpa
Caduta di tensione per rilassamento a 1000 ore (% di 0.75 Fptk)	= 2.2
Caduta di tensione per rilassamento a 2000 ore (% di 0.75 Fptk)	= 2.5
Peso proprio della trave	= 19.60 kN/m
Peso proprio della soletta	= 28.13 kN/mq

NOTE

Il calcolo delle cadute di tensione viene eseguito nell'ipotesi che il 40% risulta esaurito all'inizio della seconda fase e il 100% già esaurito in condizioni di esercizio.

Nel seguito si fa riferimento ad un sistema di assi cartesiani X, Y, Z, avente come origine l'appoggio di sinistra della trave e l'asse Z parallelo all'asse longitudinale della trave.

SIMBOLOGIA ADOTTATA

A_c = Area del cavo risultante

Dis = Distanza del cavo risultante dal bordo inferiore

Ecc = Distanza del cavo risultante dal baricentro

σ_1 = Tensione al lembo superiore della soletta

σ_2 = Tensione al lembo inferiore della soletta

σ_3 = Tensione al lembo superiore della trave

σ_4 = Tensione al lembo inferiore della trave

N_z = Componente orizzontale dello sforzo di precompressione

N_y = Componente verticale dello sforzo di precompressione

σ_c = Tensione nei cavi

Y_f = Distanza della fibra dal bordo inferiore (verifica a taglio) [cm]

σ = Tensione nel calcestruzzo [Mpa]

τ = Tensione tangenziale nel calcestruzzo [Mpa]

σ_π = Tensioni principali nel calcestruzzo [Mpa]

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 37 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Verifica sezione z=11.5 m

Le sollecitazioni nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
g1+g2+g3		4827	0
Ritiro (ε2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		5260	425
Vento Ponte Scarico (q5)		14	0
Vento Ponte Carico (q5)		135	0
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		1834	0
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		3041	0

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
TI	1929	5612	0
TII	1929	10939	425
TIII	1929	10885	425
TIV	1929	10885	425
TV	1929	7433	0

Si riporta di seguito la verifica della sezione in fase di tiro (fase 1), in fase intermedia (fase 2) e in fase di esercizio (fase 3) corrispondente alla combinazione di carico TII.

DATI CAVI

Cavo N	à	y (cm)	Area (cmq)
Cavo N 1	0.00	5.00	22.40
Cavo N 4	0.00	10.00	22.40
Cavo N 5	0.00	15.00	11.20
Cavo N 6	0.00	20.00	5.60
Cavo N 7	0.00	80.00	2.80
Cavo N 8	0.00	155.00	5.60

GEOMETRIA SEZIONE

VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	45.00	0.00
2	71.00	133.00
3	95.50	148.00
4	124.50	150.00

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 38 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

5	124.50	160.00
6	62.20	160.00
7	36.50	30.00
8	0.00	25.00
9	0.00	25.00
10	-36.50	30.00
11	-62.20	160.00
12	-124.50	160.00
13	-124.50	150.00
14	-95.50	148.00
15	-71.00	133.00
16	-45.00	0.00

VERTICI SOLETTA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	187.50	160.00
2	187.50	190.00
3	-187.50	190.00
4	-187.50	160.00

Ac = 70.00 cmq

Dis = 24.40 cm

FASE	IeII -	III
Area	8192 cmq	18368 cm2
Inerzia	26795334 cm4	72545064 cm4
Yinf	75 cm	131 cm
Winf	355192 cm3	555490 cm3
Wsup	316876 cm3	2467230 cm3

CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE

FASE N.	1	2	3
T (kN)	0	0	425
M (kNm)	1300	1860	7779
N (kN)	0	0	1929
Nz (kN)	9800	8829	7703
NZ (kN)	0	0	0
σc (Mpa)	14000	12614	11005

CADUTE DI TENSIONE

Ritiro	25.2	37.8
Viscosita'	87.5	92.1
Rilassamento	26.0	31.1

CADUTA DI TENSIONE TOTALE= 299.5 Mpa

VERIFICA A FLESSIONE

FASE	1	2	3
σ1	0	0	5.0
σ2	0	0	1.7
σ3	0.3	6.5	10.6
σ4	22.4	14.6	-0.7

VERIFICA A TAGLIO (fase 3)

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 39 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Spessore anima = 28.00 cm

FIERA N.	1	2	3	4	5
Yf =	133.00	107.25	81.50	55.75	30.00
σ_c =	8.62	6.72	4.83	2.94	1.05
τ =	0.95	0.94	0.88	0.79	0.65
σ_{π} =	-0.10	-0.12	-0.15	-0.19	-0.31
σ_{π} =	8.72	6.85	4.99	3.14	1.36

Verifica sezione z=8.10 m

Le sollecitazioni nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 8.10m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
g1+g2+g3		4512	210
Ritiro (ϵ_2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		4763	533
Vento Ponte Scarico (q5)		13	1.56
Vento Ponte Carico (q5)		123	15.2
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		1715	80
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		2843	50

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 8.10m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
T I	1929	5296	212
T II	1929	10120	752
T III	1929	10071	746
T IV	1929	10071	746
T V	1929	6998	290

Si riporta di seguito la verifica della sezione in fase di tiro (fase 1), in fase intermedia (fase 2) e in fase di esercizio (fase 3) corrispondente alla combinazione di carico T II.

DATI CAVI

Cavo N 1	à	y (cm)	Area (cm ²)	
		0.00	5.00	22.40
Cavo N 2	à	y (cm)	Area (cm ²)	
		0.00	10.00	22.40
Cavo N 3	à	y (cm)	Area (cm ²)	
		0.00	15.00	11.20
Cavo N 4	à	y (cm)	Area (cm ²)	
		0.00	20.00	5.60
Cavo N 5	à	y (cm)	Area (cm ²)	
		0.00	80.00	2.80
Cavo N 6	à	y (cm)	Area (cm ²)	
		0.00	155.00	5.60

GEOMETRIA SEZIONE

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 40 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	45.00	0.00
2	71.00	133.00
3	95.50	148.00
4	124.50	150.00
5	124.50	160.00
6	62.20	160.00
7	36.50	30.00
8	0.00	25.00
9	0.00	25.00
10	-36.50	30.00
11	-62.20	160.00
12	-124.50	160.00
13	-124.50	150.00
14	-95.50	148.00
15	-71.00	133.00
16	-45.00	0.00

VERTICI SOLETTA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	187.50	160.00
2	187.50	190.00
3	-187.50	190.00
4	-187.50	160.00

Ac = 70.00 cm²

Dis = 24.40 cm

FASE IeII - III

Area	8192 cm ²	18368 cm ²
Inerzia	26795334 cm ⁴	72545064 cm ⁴
Yinf	75 cm	131 cm
Winf	355192 cm ³	555490 cm ³
Wsup	316876 cm ³	2467230 cm ³

CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE

FASE N.	1	2	3
T (kN)	67	95	590
M (kNm)	1183	1697	7240
N (kN)	0	0	1929
Nz (Nz)	9800	8823	7670
Ny (kN)	0	0	0
σc (Mpa)	1400	1260	1095

CADUTE DI TENSIONE

Ritiro	25	37
Viscosita'	88	95
Rilassamento	25	31

CADUTA DI TENSIONE TOTALE= 304 Mpa

VERIFICA A FLESSIONE

FASE	1	2	3
σ1	0	0	4.7
σ2	0	0	1.5
σ3	-0.1	5.6	9.5
σ4	22.7	15.3	0.5

VERIFICA A TAGLIO (fase 3)

Spessore anima = 28.00 cm

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 41 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

FIBRA N.	1	2	3	4	5
Yf =	133.00	107.25	81.50	55.75	30.00
OC =	7.98	6.54	5.09	3.65	2.21
τ =	1.64	1.69	1.64	1.50	1.26
σπ =	-0.326	-0.413	-0.486	-0.539	-0.574
σπ =	8.31	6.95	5.58	4.19	2.78

Verifica sezione z=1.00 m

Le sollecitazioni nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 1.0m)			
	N	M	T
	<i>kN</i>	<i>kNm</i>	<i>kN</i>
g1+g2+g3		370	806
Ritiro (ε2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		912	850
Vento Ponte Scarico (q5)		2	4.62
Vento Ponte Carico (q5)		22	22.4
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		141	306
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		233	193

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 1.0m)			
	N	M max	T max
	<i>kN</i>	<i>kNm</i>	<i>kN</i>
TI	1929	1144	811
TII	1929	2067	1669
TIII	1929	2058	1660
TIV	1929	2058	1660
TV	1929	1282	1112

Si riporta di seguito la verifica della sezione in fase di tiro (fase 1), in fase intermedia(fase 2) e in fase di esercizio(fase 3) corrispondente alla combinazione di carico TII.

DATI CAVI

Cavo N	à	y (cm)	Area (cm ²)
Cavo N 1	0.00	5.00	0.10
Cavo N 2	0.00	20.00	5.60
Cavo N 3	0.00	15.00	11.20
Cavo N 4	0.00	10.00	14.00
Cavo N 5	0.00	80.00	2.80
Cavo N 6	0.00	155.00	5.60

GEOMETRIA SEZIONE

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 42 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA

Vertice	X(cm)	Y(cm)
1	45.00	0.00
2	71.00	133.00
3	95.50	148.00
4	124.50	150.00
5	124.50	160.00
6	52.00	160.00
7	28.00	40.00
8	0.00	40.00
9	0.00	40.00
10	-28.00	40.00
11	-52.00	160.00
12	-124.50	160.00
13	-124.50	150.00
14	-95.50	148.00
15	-71.00	133.00
16	-45.00	0.00

VERTICI SOLETTA

Vertice	X(cm)	Y(cm)
1	187.50	160.00
2	187.50	190.00
3	-187.50	190.00
4	-187.50	160.00

Ac = 39.30 cm²

Dis = 38.49 cm

FASE	IeII	-	III
Area	11452	cm ²	21628
Inerzia	32049366	cm ⁴	83266768
Yinf	78	cm	124
Winf	409666	cm ³	672798
Wsup	391959	cm ³	2297774

CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE

FASE	N.	1	2	3
T (kN)		206	295	1168
M (kNm)		215	310	1541
N (kN)		0	0	1929
Nz (kN)		5502	5155	4740
Ny (kN)		0	0	0
σc (Mpa)		1400	1311	1140

CADUTE DI TENSIONE

Ritiro	25.2	37.8
Viscosita'	33.3	44.1
Rilassamento	29.5	23.8

CADUTA DI TENSIONE TOTALE= 260.0 Mpa

VERIFICA A FLESSIONE

FASE	1	2	3
σ1	0	0	0
σ2	0	0	-0.6
σ3	-0.2	0.6	2.1
σ4	9.6	8.2	6.1

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 43 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

VERIFICA A TAGLIO (fase 3)

Spessore anima =	48.00 cm				
FIBRA N.	1	2	3	4	5
Yf =	133.00	109.75	86.50	63.25	40.00
σ_c =	2.80	3.38	3.96	4.53	5.11
τ =	2.29	2.44	2.43	2.2.5	1.91
σ_{π} =	-1.28	-1.28	-1.15	-0.93	-0.63
σ_{π} =	4.09	4.66	5.11	5.46	5.75

Verifica sezione z=0.00 m

Le sollecitazioni nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 0.0m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
g1+g2+g3		0	815
Ritiro (ϵ_2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		0	975
Vento Ponte Scarico (q5)		0	2.42
Vento Ponte Carico (q5)		0	23.5
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		0	310
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		0	195

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 0.0m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
TI	1929	771	817
TII	1929	771	1804
TIII	1929	771	1795
TIV	1929	771	1795
TV	1929	771	1125

Si riporta di seguito la verifica della sezione in fase di tiro (fase 1), in fase intermedia(fase 2) e in fase di esercizio(fase 3) corrispondente alla combinazione di carico TII.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 44 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

DATI CAVI

Cavo N 1	à	y (cm)	Area (cmq)
	0.00	20.00	5.60
Cavo N 2	à	y (cm)	Area (cmq)
	0.00	15.00	11.20
Cavo N 3	à	y (cm)	Area (cmq)
	0.00	10.00	14.00
Cavo N 4	à	y (cm)	Area (cmq)
	0.00	80.00	2.80
Cavo N 5	à	y (cm)	Area (cmq)
	0.00	155.00	5.60

GEOMETRIA SEZIONE

VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	45.00	0.00
2	71.00	133.00
3	95.50	148.00
4	124.50	150.00
5	124.50	160.00
6	52.00	160.00
7	28.00	40.00
8	0.00	40.00
9	0.00	40.00
10	-28.00	40.00
11	-52.00	160.00
12	-124.50	160.00
13	-124.50	150.00
14	-95.50	148.00
15	-71.00	133.00
16	-45.00	0.00

VERTICI SOLEMITA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	187.50	160.00
2	187.50	190.00
3	-187.50	190.00
4	-187.50	160.00

Ac = 39.30 cmq

Dis = 38.49 cm

FASE	IeII	-	III
Area	11452	cmq	21628
Inerzia	32049366	cm4	83266768
Yinf	78	cm	124
Winf	409666	cm3	672798
Wsup	391959	cm3	2297774

CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE

FASE N.	1	2	3
T (kN)	226	323	1255
M (kNm)	0	0	777
N (kN)	0	0	1929

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 45 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Nz (kN)	5502	5151	4720
Ny (kN)	0	0	0
σc (Mpa)	1400	1310	1140

CADUTE DI TENSIONE

Ritiro	25.2	37.8
Viscosita'	34.6	48.6
Rilassamento	29.4	23.4

VERIFICA A FLESSIONE

FASE	1	2	3
σ1	0	0	-0.5
σ2	0	0	-0.9
σ3	-0.8	-0.7	0.5
σ4	10.1	9.5	8.5

VERIFICA A TAGLIO (fase 3)

Spessore anima = 48.00 cm

FIBRA N.	1	2	3	4	5
Yf =	133.00	109.75	86.50	63.25	40.00
σc =	1.81	2.98	4.15	5.31	6.48
τ =	2.47	2.64	2.63	2.44	2.07
σπ =	-1.73	-1.54	-1.27	-0.95	-0.60
σπ =	3.55	4.52	5.42	6.26	7.08

Verifica a fessurazione

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione della sezione di mezzeria del cassoncino. Come previsto dal D.M 14 settembre 2005, i sovraccarichi da traffico sono considerati al 50% (vedi tabella CC). Si riporta di seguito il momento flettente in mezzeria per le varie condizioni di carico e le varie combinazioni di carico.

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
q1+q2+q3		4827	0
Ritiro (ε2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		5260	425
Vento Ponte Scarico (q5)		14	0
Vento Ponte Carico (q5)		135	0
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		1834	0
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		3041	0

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
QP	1929	5652	0
FR	1929	8228	213

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 46 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

DATI CAVI

Cavo N°	à	y (cm)	Area (cmq)
Cavo N° 1	0.00	5.00	22.40
Cavo N° 4	0.00	10.00	22.40
Cavo N° 5	0.00	15.00	11.20
Cavo N° 6	0.00	20.00	5.60
Cavo N° 7	0.00	80.00	2.80
Cavo N° 8	0.00	155.00	5.60

GEOMETRIA SEZIONE

VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	45.00	0.00
2	71.00	133.00
3	95.50	148.00
4	124.50	150.00
5	124.50	160.00
6	62.20	160.00
7	36.50	30.00
8	0.00	25.00
9	0.00	25.00
10	-36.50	30.00
11	-62.20	160.00
12	-124.50	160.00
13	-124.50	150.00
14	-95.50	148.00
15	-71.00	133.00
16	-45.00	0.00

VERTICI SOLETTA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	187.50	160.00
2	187.50	190.00
3	-187.50	190.00
4	-187.50	160.00

Ac = 70.00 cmq

Dis = 24.40 cm

FASE	IeII	-	III
Area	8192 cmq		18368 cm2
Inerzia	26795334 cm4		72545064 cm4
Yinf	75 cm		131 cm
Winf	355192 cm3		555490 cm3
Wsup	316876 cm3		2467230 cm3

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 47 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE

FASE N.	1	2	3
T (kN)	0	0	213
M (kNm)	1300	1860	5068
N (kN)	0	0	1929
Nz (kN)	9800	8829	7703
Ny (kN)	0	0	0
σc (Mpa)	1400	1261	1100

CADUTE DI TENSIONE

Ritiro	25.2	37.8
Viscosita'	87.5	92.1
Rilassamento	26.0	31.1

CADUTA DI TENSIONE TOTALE= 299.5 Mpa

VERIFICA A FLESSIONE

FASE	1	2	3
σ1	0	0	3,0
σ2	0	0	1,7
σ3	0.3	6.5	9,5
σ4	22,4	14,6	3,7

$$M_{fess}/M_{max} = 1.47$$

Verifiche agli stati limite ultimi

Verifica a flessione

La verifica a rottura del cassoncino è stata eseguita in corrispondenza della sezione di mezzzeria.

Si riportano di seguito le sollecitazioni per le varie condizioni e per le varie combinazioni di carico.

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)		
	M	T
	kNm	kN
g1+g2+g3	4827	0
Carichi mobili (q1-q2)	5260	425
Vento Ponte Scarico (q5)	14	0
Vento Ponte Carico (q5)	135	0
Sisma Verticale (q6) S.L.D.	1834	0
Sisma Verticale (q6) S.L.U.	3041	0

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)		
	M max	T max
	kNm	kN
U1	6779	0
UII	14769	638
UIII	14688	638
UIV	14688	638
Sisma (SLU)	7868	0

Si riporta di seguito lo schema della sezione verificata:

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

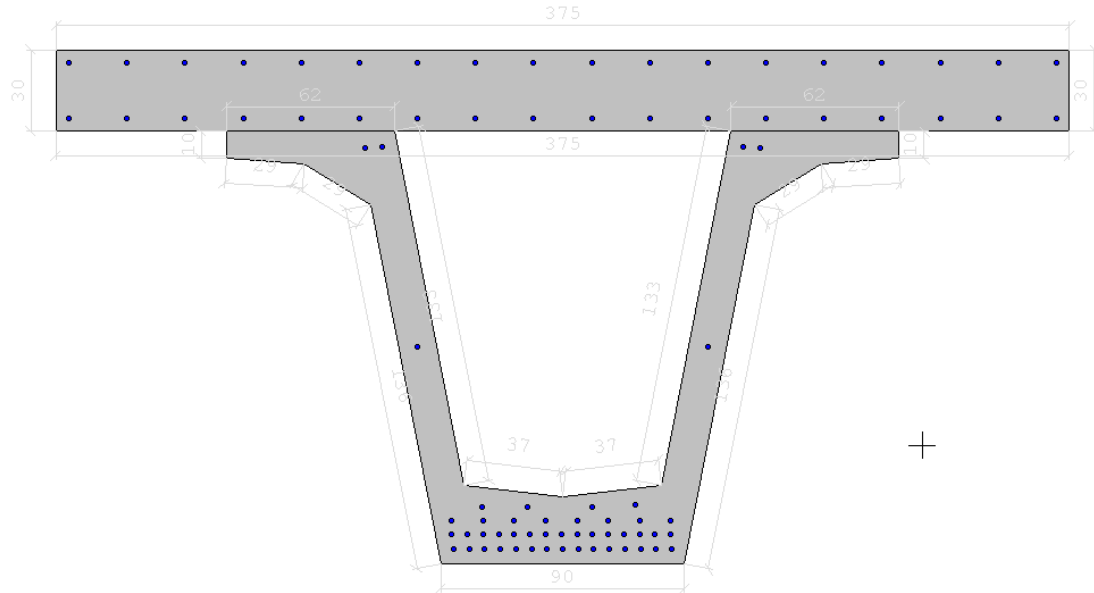
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	OM0000	REL	02	A	48 di 61



Come specificato nel paragrafo relativo alle verifiche di resistenza, la deformazione ultima dell'acciaio armonico è pari a $0.9 \times 35\%$. A tale deformazione va sottratta la deformazione dei trefoli per effetto della precompressione, che vale

$$\varepsilon_{\text{prec.}} = 1400/210000 = 6\%$$

L'incremento massimo di deformazione nell'acciaio dei trefoli, in condizioni ultime, è pertanto pari a $\varepsilon = 0.9 \times 0.035 - 0.006 = 25\%$. Nel calcolo del momento ultimo si è tenuto conto di tale limite.

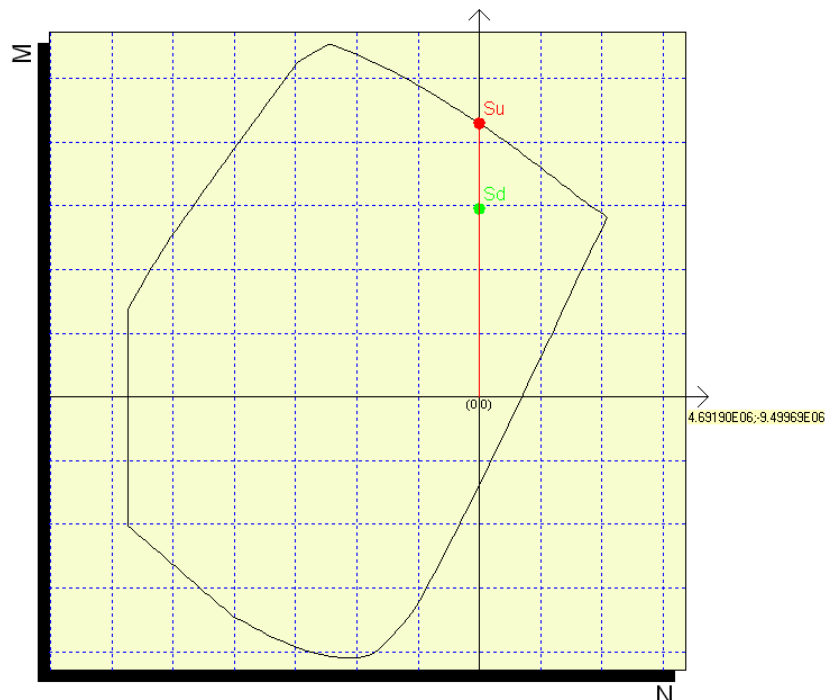
Mx: 147690000
My: 0
N: 0

Sovrapponi Curve
 Aggiungi alla relazione
 Curva M - N
 Curva Mx - My

Simmetria sezione
Nessuna

[Curva Mx/My = cost.]:
c.s.=1.45175091
Mx ultimo =-214409092.614
My ultimo =0
N ultimo =0

[Curva N = cost.]:
c.s.=1.45175091
Mx ultimo =-214409092.428
My ultimo =0
N ultimo =0
Nmax =1702674.103
Nmin =-4595549.15



2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo calcolata

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 49 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Il coefficiente di sicurezza a rottura è pari a 1.45.

Verifica a taglio

Le sollecitazioni agenti nella sezione di appoggio del cassoncino sono:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 0.0m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
g1+g2+g3		0	815
Ritiro (ε2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		0	975
Vento Ponte Scarico (q5)		0	2.42
Vento Ponte Carico (q5)		0	23.5
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		0	310
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		0	195

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 0.0m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
U1	2315	926	1145
UII	2315	926	2625
UII	2315	926	2611
UIV	2315	926	2611
Sisma (SLU)	2315	771	1010

La verifica a taglio, allo stato limite ultimo è stata eseguita secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 1992-2005, ossia secondo le seguenti espressioni:

$bw = 48$ cm (larghezza della biella compressa)

$z = 135$ cm (braccio della coppia interna)

$Asw = 4\phi 14$ (staffe)

$s = 10$ cm (passo delle staffe)

$\theta = 45^\circ$ (angolo tra la biella compressa e l'asse del cassoncino)

Si ottiene quindi un valore di taglio ultimo a rottura pari a :

$V_{rds} = 3294$ KN.

Per cui il coefficiente di sicurezza pari a circa 1.25

Si riporta inoltre la verifica dell'armatura longitudinale aggiuntiva disposta in corrispondenza dell'appoggio e destinata ad assorbire lo sforzo di trazione pari al taglio sull'appoggio.

L'armatura ordinaria all'intadosso della trave è pari a:

$A_f = T/f_{yd} = 2625/39 = 66$ cmq

In aggiunta ai trefoli presenti nella zona di testata è prevista un'armatura longitudinale pari a $10\phi 24$.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 50 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

7.1.2 VERIFICA DELLA SOLETTA

La soletta è stata verificata con riferimento alle massime sollecitazioni scaturite dai due modelli di calcolo precedentemente descritti. Si ricorda che le sollecitazioni, riportate nel paragrafo 5.3, relative al modello di trave continua si riferiscono ad una striscia di soletta larga 1m, mentre quelle relative al modello globale si riferiscono ad una striscia di soletta larga 3.25 m.

Nel seguito si riportano le sollecitazioni e le relative verifiche per lo stato limite di esercizio, per lo stato limite di fessurazione e per lo stato limite ultimo.

Si evidenzia che l'armatura longitudinale risulta determinante per la verifica a taglio ultimo.

Le caratteristiche della sezione sono:

B= 100 cm

H= 30 cm

Af = 1φ22/10 armatura superiore

A'f = 1φ22/20 armatura inferiore

Verifica S.L.E.

Mmax= 41kNm

σc= 5.9Mpa

σf= 152Mpa

Verifica S.L.F.

Mmax= 34kNm

Wk= 0.05mm

Verifica S.L.U.

Mmax= 62kNm

Tmax =205 kN

Mu= 299kNm

Tu= 219kN

Il taglio ultimo è stato valutato in assenza di staffe assumendo:

b_w= 100 cm;

d= 26cm;

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 51 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

7.2 VERIFICHE DELLE SOTTOSTRUTTURE

Nel seguito si riportano le verifiche di resistenza delle sottostrutture dei cavalcavia in oggetto. Si ricorda che le spalle hanno tutte uguali geometria e pertanto si riporta nel seguito il calcolo della spalla fissa del cavalcavia.

7.2.1 Verifica del Muro Frontale

Si riportano le sollecitazioni risultanti globali provenienti agenti sul muro frontale corrispondenti alle singole condizioni di carico.

Scarichi Impalcato (Testa Muro frontale)					
	N	Mlong	Mtrasv	Tlong	Ttrasv
	KN	kNm	kNm	kNm	kNm
g1+g2+g3	2329	0	0	0	0
Carichi mobili (q1-q2)Nmax	1797	0	3302	0	0
Carichi mobili (q1-q2)Mtmax	1494	0	3974	0	0
Folla (q1)	129	0	0	0	0
Frenamento(q3)	0	0	0	240	0
Centrifuga(q4)	0	0	65	0	63
Vento Ponte Scarico (q5)	0	0	27	0	58
Vento Ponte Carico (q5)	0	0	155	0	144
EI+0.3Et+0.3Ev (q6)	432	0	0	1740	290
0.3EI+Et+Ev(q6)	432	0	0	580	870
0.3EI+0.3Et+Ev(q6)	1440	0	0	580	290
Resistenze dei vincoli (q7)	0	0	0	124	0

Le sollecitazioni riportate nella tabella precedente, combinate con i coefficienti della tabella delle combinazioni di carico, forniscono le sollecitazioni gravanti sul muro frontale, con riferimento alle combinazioni maggiormente significative.

TESTA MURO FRONTALE "Sollecitazioni dall'impalcato"					
	N	Mlong	Mtrasv	Tlong	Ttrasv
	KN	kNm	kNm	KN	KN
TIII (Nmax)	4254	0	3333	364	29
TIII (Mtmax)	3952	0	4005	364	29
FR (Nmax)	3227	0	1651	0	0
FR (Mtmax)	3076	0	1987	0	0
UIII (Nmax)	6148	0	5000	545	43
UIII (Mtmax)	5694	0	6007	545	43
(EI+0.3Et+0.3Ev)	2761	0	0	1740	290

Per la verifica del muro frontale, a quota spiccato, tali azioni possono essere considerate uniformemente distribuite in quanto, come mostra la figura seguente, l'altezza del muro frontale è tale che nell' ipotesi di ripartizione a 45°, tali scarichi si ripartiscono uniformemente alla base del muro

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

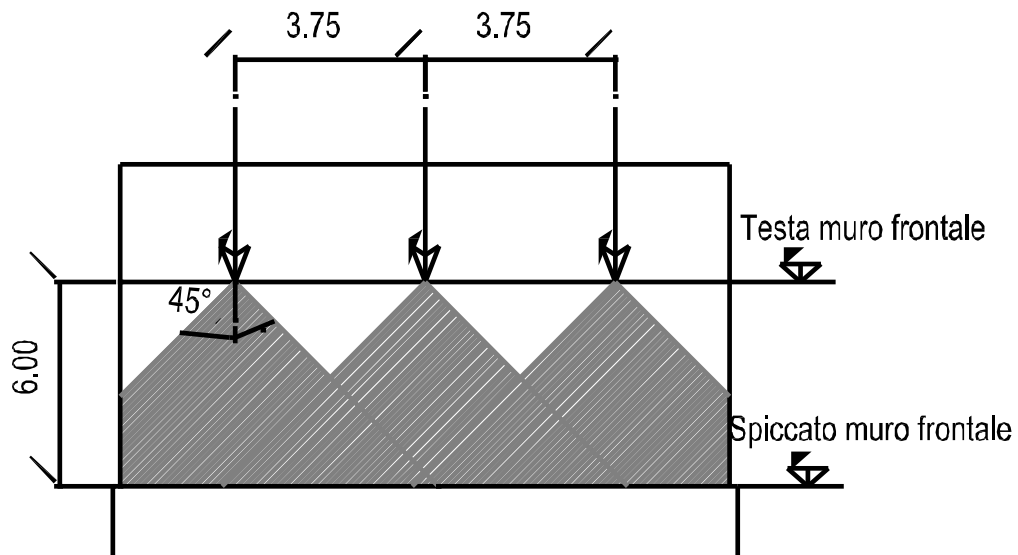
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 52 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Ai carichi prima riportati, si aggiungono il peso proprio del muro frontale, del muro paraghiaia e la spinta del terreno di riempimento e cioè

H Muro Frontale	6	m
Spessore Muro Frontale	2	m
Lunghezza Muro Frontale	12.3	m
Altezza Muro Paraghiaia	2.3	m
Spessore Muro Paraghiaia	0.5	m
Spessore Medio Muri Laterali	1.0	m
Peso Muro Frontale	3690	kN
Peso Muro Paraghiaia	354	kN
Eccentr. Appogg. Muro Front	0.40	m
Eccentr. Muro paragh. Muro Front	-1.25	m
Peso Specifico Terreno di Rilevato	20	kN/mc
Angolo di Attrito Terreno di Rilevato	40	
Coefficiente di spinta a riposo K_0	0.357	
Coefficiente di spinta attiva K_a	0.217	
Altezza del rilevato	8.5	m
Spinta a riposo	2660	kN
Spinta attiva	1616	kN
Sovraccarico accidentale	20	kN/mq
Accelerazione sismica spettrale (T=0)	0.275	
Fattore di categoria del suolo S	1.25	
K_h	0.44	
K_v	0.22	
Coefficiente di spinta attiva con sismiche K'_a	0.68	
Spinta attiva in condizione sismica	3444	kN
Inerzia del Muro Frontale	1614	kN
Inerzia del Muro Paraghiaia	155	kN

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 53 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

ottenendo la seguente tabella di sollecitazioni, con riferimento alle combinazioni maggiormente significative.

SPICCATO MURO FRONTALE					
	N	Mlong	Mtrasv	Tlong	Ttrasv
	KN	kNm	kNm	KN	KN
TIII (Nmax)	8298	13639	3506	3650	29
TIII (Mmax)	7995	13518	4177	3650	29
FR (Nmax)	7271	9716	1651	2973	0
FR (Mmax)	7119	9656	1987	2973	0
UIII (Nmax)	11809	19656	5259	5209	43
UIII (Mmax)	11355	19475	6266	5209	43
(EI+0.3Et+0.3Ev)	7229	40467	4003	9360	900

Essendo le sollecitazioni in direzione trasversale trascurabili rispetto a quelle in direzione longitudinale, tenuto anche conto della geometria della sezione del muro frontale, le verifiche di resistenza di seguito riportate si riferiscono ad una striscia di un metro.

Infine, la sezione in c.a. da verificare ha le seguenti caratteristiche geometriche:

$$H = 200\text{cm}$$

$$B = 100\text{cm}$$

$$A_f = 1\phi 26/10 + 1\phi 26/20$$

$$A'_f = 1\phi 22/10$$

Armature a taglio: $\phi 16/20$

SPICCATO MURO FRONTALE

	N	Mlong	σ_c	σ_f
	KN	kNm/m	Mpa	Mpa
TIII (Nmax)	675	1270	2.5	56

	N	Mlong	Wk
	KN	kNm/m	Mm
FR (Nmax)	591	930	0

	N	Mlong	Tlong	C.S.	Tu
	KN	kNm/m	KN/m	(Mu; Nu)	KN/m
UIII (Nmax)	960	1828	497	3.6	1195

	N	Mlong	Tlong	C.S.	Tu
	KN	kNm/m	KN/m	(Mu; Nu)	KN/m
(EI+0.3Et+0.3Ev)	588	3614	846	1.72	1195

Le modalità di calcolo del coefficiente di sicurezza a presso flessione e del Taglio ultimo sono state specificate precedentemente.

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 54 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

7.2.2 Verifica del Muro Paragliaia

In questo paragrafo si riporta la determinazione e la verifica del muro paragliaia connesso al muro frontale della spalla.

A differenza della spalla fissa, il muro paragliaia della spalla mobile è sollecitato soltanto dalla spinta del rilevato, nelle varie condizioni (a riposo, attiva, sismica).

Nella tabella che segue sono indicati i parametri geometrici, meccanici e di carico utilizzati nell'analisi. Il modello di calcolo utilizzato è quello di mensola incastrata al muro frontale.

Peso Muro Paragliaia	46	KN/m
Altezza Muro Paragliaia	2.3	m
Spessore Muro Paragliaia	0.8	m
Angolo di Attrito Terreno di Rilevato	40.0	°
Coefficiente di spinta a riposo K_0	0.357	
Coefficiente di spinta attiva K_a	0.217	
Peso Specifico Terreno di Rilevato	20.0	kN/mc
Sovraccarico accidentale	20.0	kN/mq
Spinta a riposo	38.8	kN/m
Spinta attiva	18.6	kN/m
Coefficiente di spinta attiva con sisma K'_a	0.68	
Spinta attiva in condizione sismica	28.9	kN/m
Accelerazione sismica spettrale (T=0)	0.275	
Fattore di categoria del suolo S	1.25	
Forza di Inerzia del Muro Paragliaia	20.1	kN/m

Di seguito si riportano le sollecitazioni e le verifiche di resistenza, allo stato limite di esercizio (T), di fessurazione (F) e allo stato ultimo (U) in condizione sismica e in condizione statica.

La sezione in c.a. da verificare ha le seguenti caratteristiche geometriche:

$$B=100cm$$

$$H=80cm$$

$$A_f=1\phi 16/20$$

$$A'_f=1\phi 16/20$$

BASE MURO PARAGHIAIA

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

N	M	σ_c	σ_f
KN/m	kNm/m	Mpa	Mpa
29	41	1.9	86

VERIFICA A FESSURAZIONE

N	M	Wk
KN/m	kNm/m	mm
29	29	0

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO

N	M	T	C.S.	$V_{Rd,c}$
KN/m	kNm/m	KN/m	(μ_u ; ν_u)	KN/m
40	60	58	2.93	148

VERIFICA IN CONDIZIONE SISMICA

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 55 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

N	M	T	C.S.	V _{Rd,c}
KN/m	kNm/m	KN/m	(Mu; Nu)	KN/m
26	67	60	2.58	146

7.2.3 Verifica del Muro Laterale

In questo paragrafo si riporta il calcolo e la verifica dei muri laterali della spalla. Nella tabella che segue sono indicati i parametri geometrici, meccanici e di carico utilizzati nell'analisi. Il modello di calcolo utilizzato è quello di mensola incastrata al plinto di fondazione

SPESSORI MURO

S1	0.5	m
S2	1	m
S3	1.5	m
S4	0	m

ALTEZZE PARZIALI MURO

h1	2.3	m
h2	2.5	m
h3	2.5	m
h4	0	m

Altezza Totale	8.3	m
Peso Muro	198	kN/m
Altezza Baricentro Muro	3.2	m
Angolo di Attrito Terreno di Rilevato	40.0	°
Coefficiente di spinta a riposo K _o	0.357	
Coefficiente di spinta attiva K _a	0.217	
Peso Specifico Terreno di Rilevato	20.0	kN/mc
Sovraccarico accidentale	20.0	kN/mq
Spinta a riposo	318	kN/m
Spinta attiva	175	kN/m
Coefficiente di spinta attiva con sisma K' _a	0.68	
Spinta attiva in condizione sismica	334	kN/m
Accelerazione sismica spettrale (T=0)	0.275	
Fattore di categoria del suolo S	1.25	
Forza di Inerzia Muro Laterale	86	kN/m

Di seguito si riportano le sollecitazioni e le verifiche di resistenza, allo stato limite di esercizio (T), di fessurazione (F) e allo stato ultimo (U) in condizione sismica e in condizione statica.

In particolare la sezione in c.a. da verificare ha le seguenti caratteristiche geometriche:

$$H = 150 \text{ cm}$$

$$B = 100 \text{ cm}$$

$$A_f = 1 \phi 20/10 + 1 \phi 20/20$$

$$A'_f = 1 \phi 18/20$$

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 56 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

SPICCATO MURO LATERALE

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

N	M	σ	σ_f
KN/m	kNm/m	Mpa	Mpa
104	990	3.5	135

VERIFICA A FESSURAZIONE

N	M	Wk
KN/m	kNm/m	mm
104	861	0.065

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO

N	M	T	C.S.	Tu
KN/m	kNm/m	KN/m	(Mu; Nu)	KN/m
145	1412	476	2.16	670

VERIFICA IN CONDIZIONE SISMICA

N	M	T	C.S.	Tu
KN/m	kNm/m	KN/m	(Mu; Nu)	KN/m
93	2182	555	1.36	650

7.2.4 Verifica del plinto di fondazione

In questo paragrafo si riporta l'analisi delle sollecitazioni a quota testa pali ottenute sommando, alle azioni provenienti dall'impalcato, la risultante e il momento risultante dei pesi della struttura, del terreno interno alla spalla e delle spinte dovute al rilevato, rispetto al baricentro del plinto.

Nella tabella che segue sono indicati i parametri geometrici, meccanici e di carico del plinto utilizzati nell'analisi.

Spessore Medio Muri Laterali	1.0	m
Lunghezza Muri Laterali	7.4	m
Peso Muri laterali	1462	kN
Peso Muro Frontale	3690	kN
Ecc. Long. Muro Frontale - Plinto	1.8	m
Ecc.Appoggi Plinto	2.20	m
Peso Muro Paraghiaia	354	m
Ecc. Long. Muro Paraghiaia - Plinto	0.55	kN
Peso Terreno Intero	12957	kN
Peso Accidentali	1524	kN
Eccentricità long Terreno -Plinto	-2.9	m
Spessore Plinto	1.8	m
Lunghezza plinto	13.2	m
Larghezza plinto	13.2	m
Peso plinto di fondazione	7841	kN
Altezza Rilevato	10.3	m
Coefficiente di spinta a riposo Ko (A2+M2)	0.470	
Spinta a riposo rilevato (A1+M1)	4665	kN
Spinta a riposo rilevato (A2+M2)	6137	kN
Spinta a riposo sovraccarichi (A1+M1)	906	kN
Spinta a riposo sovraccarichi (A2+M2)	1192	kN
Spinta attiva rilevato	3109	kN
Incremento spinta sismica	6039	kN
Peso Muri andatori	3145	kN
Eccentricità long Muri andatori -Plinto	-2.9	m
Forza di Inerzia del Muro Frontale	1614	kN

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 57 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Forza di Inerzia del Muro Paraghiaia	155	KN
Forza di Inerzia rilevato interno	5669	KN
Forza di Inerzia dei muri laterali	1279	KN
Forza di Inerzia plinto di fondazione	3430	KN

Si riportano di seguito le azioni complessive (azioni provenienti dall'impalcato e dal rilevato) con riferimento alle condizioni maggiormente significative e per lo stato limite di esercizio (T), di fessurazione (F) e lo stato limite ultimo (U).

SOLLECITAZIONI A QUOTA TESTA PALI (BARICENTRO PLINTO)					
	N	Mlong	Mtrasv	Tlong	Ttrasv
	KN	kNm	kNm	KN	KN
TIII (Nmax)	33765	-6984	3557	5934	29
TIII (Mtmax)	33463	-7650	4229	5934	29
FR (Nmax)	29641	-12080	1651	5118	0
FR (Mtmax)	29490	-12413	1987	5118	0
UIII (Nmax) (A1+M1)	47464	-15011	5336	6569	43
UIII (Mtmax) (A1+M1)	47010	-16009	6344	6569	43
UIII (Nmax) (A2+M2)	34800	3506	4625	7802	37
UIII (Mtmax) (A2+M2)	34407	2641	5498	7802	37
(EI+0.3Et+0.3Ev)	34392	76746	18320	23514	4014
(EI+0.3Et-0.3Ev)	26239	76746	18320	23514	4014
(0.3EI+Et+0.3Ev)	34392	7422	60105	9305	13256
(0.3EI+0.3Et+Ev)	43903	9640	18320	9305	4014
(-EI+0.3Et+0.3Ev)	34392	-60765	18320	-14365	4014

Nel seguito si riporta la verifica del plinto di fondazione e in particolare dello zoccolo anteriore, essendo questa, la zona del plinto maggiormente sollecitata.

Per il palo di spigolo il massimo sforzo normale è pari a:

$$N_{\max} = 5334 \text{ KN}$$

Le sollecitazioni nei pali di fondazione sono stati ricavati eseguendo una ripartizione rigida delle sollecitazioni riportate nella tabella precedente. Maggiori dettagli sono riportati nel paragrafo seguente.

Considerando una diffusione a 45° fino all'attacco del muro frontale e comunque non superiore all'interasse dei pali si ha:

La trazione nel tirante è calcolata con un braccio delle forze interne pari a $0.8h = 1.36 \text{ m}$, essendo h l'altezza della mensola a partire dalla posizione effettiva del tirante (1.70 m), di conseguenza si ottiene:

$$T = \frac{5334 \cdot 2.60}{0.8 \cdot h} = 10197 \text{ kN}$$

Avendo disposto un triplo strato di $\Phi 26/15$, l'armatura presente in 3.60 m è

$$A_f = 38320 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_f = T/A_f = 266 \text{ MPa} < f_{yd} = 391 \text{ MPa}$$

La compressione nel puntone è di spessore pari a $0.2h$ e larghezza 3.60 m vale:

$$C = 11508 \text{ kN}$$

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

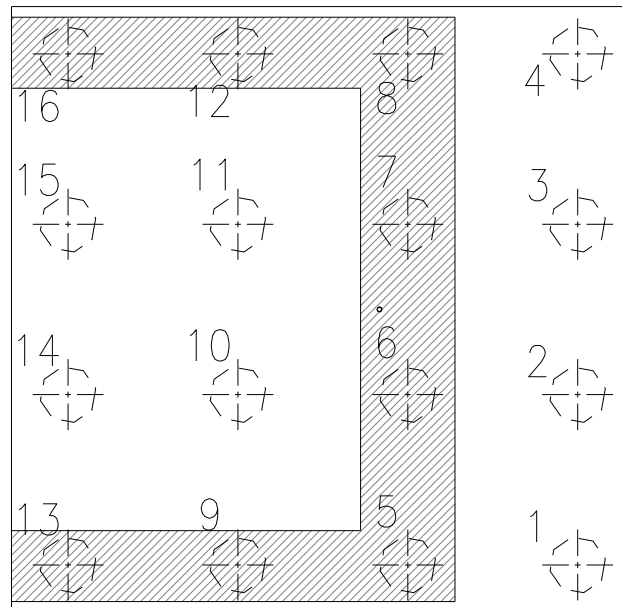
Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 58 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$\sigma_c = \frac{11508000}{0.2 \cdot 1700 \cdot 3600} = 9.4 \text{ MPa} < f_{cd} = 15.79 \text{ MPa}$$

7.2.5 Verifica dei pali di fondazione

Come detto in precedenza gli scarichi sui pali di fondazione sono stati ottenuti a partire dalle sollecitazioni intradosso plinto con una ripartizione rigida e portando in conto i momenti d'incastro a testa palo ricavati tramite il parametro α riportato nella relazione di calcolo sulle fondazioni.

Di seguito si riportano la numerazione in pianta dei pali e la tabella con le sollecitazioni testa pali.



SOLLECITAZIONI NEI PALI						
Combinazione	Palo	N_{max}	Palo	N_{min}	T	M
		KN		KN		
TIII (Nmax)	16	2300	1	1921	371	779
TIII (Mtmax)	16	2281	1	1902	371	779
FR (Nmax)	4	1915	13	1790	320	672
FR (Mtmax)	4	1919	13	1767	320	672
UIII (Nmax) (A1+M1)	4	3105	13	2828	411	862
UIII (Mtmax) (A1+M1)	4	3118	13	2758	411	862
UIII (Nmax) (A2+M2)	16	2687	1	1663	488	1024
UIII (Mtmax) (A2+M2)	16	2663	1	1638	488	1024
(EI+0.3Et+0.3Ev)	16	5334	1	-1035	1491	3131
(EI+0.3Et-0.3Ev)	16	1829	1	1450	371	779
(0.3EI+Et+0.3Ev)	16	4543	1	-244	1012	2126
(0.3EI+0.3Et+Ev)	16	3909	1	1579	633	1330
(-EI+0.3Et+0.3Ev)	4	4601	13	-302	932	1958

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 59 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Lo sforzo normale massimo sul palo di spigolo è pari a 5092 kN, pertanto in relazione alle curve di capacità portati riportate nella relazione di calcolo delle fondazioni, si determina una lunghezza di 25 m.

I pali sono armati con 50 Φ 26 spirale Φ 14/10 e staffe Φ 14/10 per i primi 6 m e 25 Φ 22 e spirale Φ 12/20 nella restante parte.

Nelle tabelle seguenti si riportano le verifiche di resistenza nella sezione di testa del palo per le varie combinazioni di carico.

VERIFICA S.L.E.			
N (kN)	M (kNm)	σ_c (Mpa)	σ_f (Mpa)
2300	779	4.7	77
1902	779	4.4	69

VERIFICA S.L.F.		
N (kN)	M (kNm)	Wk (Mpa)
1919	672	0
1767	672	0

VERIFICA S.L.U.(A1+M1)				
N (kN)	M (kNm)	T (kN)	c.s (Mu; Nu)	Tu (sezione armata a taglio) (kN)
3118	862	411	4.6	1944
2758	862	411	4.7	1944

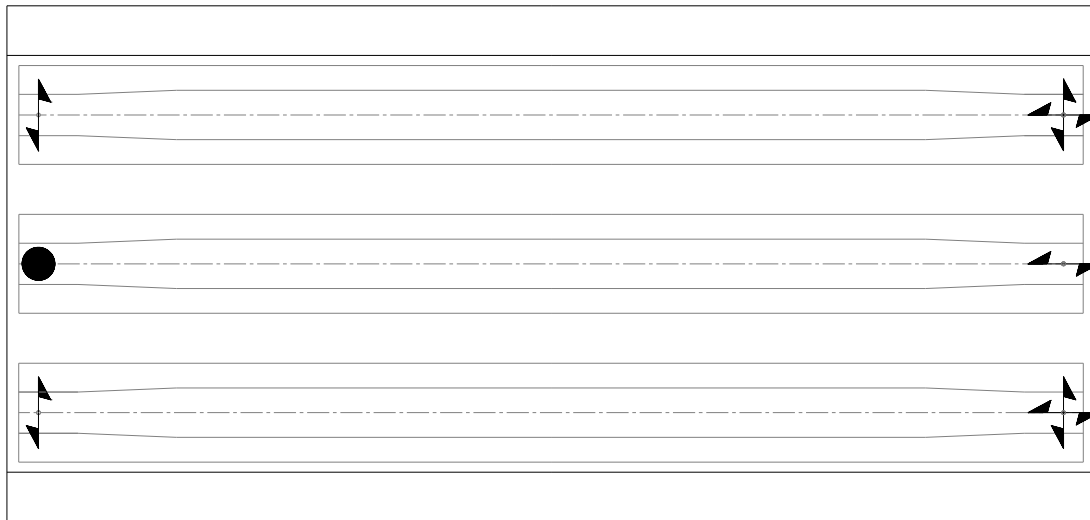
VERIFICA S.L.U.(A2+M2)				
N (kN)	M (kNm)	T (kN)	c.s (Mu; Nu)	Tu (sezione armata a taglio) (kN)
2687	1024	488	4.8	1944
1638	1024	488	4.6	1944

VERIFICA IN CONDIZIONE SISMICA				
N (kN)	M (kNm)	T (kN)	c.s (Mu; Nu)	Tu (sezione armata a taglio) (kN)
5334	3131	3131	1.5	1944
-1035	3131	3131	1.1	1944

8. 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	580	870
MULTIDIREZIONALE	3000	-	-
UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE	3000	-	870
UNIDIREZIONALE TRASVERSALE	3000	580	-

Per quanto concerne i giunti, questi sono stati dimensionati come segue. Le singole aliquote sono:

- o spostamento relativo massimo tra la spalla fissa e la spalla mobile per effetto di moto sismico asincrono tra le spalle d_g .

2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo cavalcavia

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 61 di 61
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

- o spostamento relativo massimo dell'impalcato per effetto delle variazioni termiche $S_{\Delta T}$;

In corrispondenza della spalla mobile, la corsa degli apparecchi di appoggio e l'escursione del giunto è pari a:

$$\Delta_{spallamobile} = \pm(d_g + S_{\Delta T})$$

Risulta

$$d_g = 0.025 \cdot S \cdot T_c \cdot T_D \cdot a_g = 10^2 \cdot 0.025 \cdot 1.25 \cdot 0.5 \cdot 2.5 \cdot 0.275 \cdot 9.81 = 10.5 \text{ cm}$$

$$S_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T \cdot L = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 25 \cdot 10^2 = 0.5 \text{ cm}$$

Pertanto lo spostamento massimo in corrispondenza della spalla mobile vale circa ± 11 cm

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 ± 15 cm, mentre in direzione trasversale, le corse devono essere tali da consentire gli spostamenti da variazioni termiche.

Per i giunti di estremità sono stati adottati giunti con escursioni pari a ± 5 cm (spalla fissa) e ± 15 cm (spalla mobile).