

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

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

PROGETTO ESECUTIVO

<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>
--	---	--

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese

Mandataria:









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

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

<p>2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord</p> <p>OPERE D'ARTE MAGGIORI: VIADOTTI E PONTI Ponte Fratte Relazione di calcolo impalcato</p>	<p>SCALA:</p> <p style="text-align: center;">-</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 2	E	1 3	V I 4 4 0 0	R E L	0 1	C

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	AGOSTO 2016	EMISSIONE PER PROGETTO ESECUTIVO	PROGIN	PROGIN	S. LIETO	A. GRIMALDI
B	NOVEMBRE 2016	EMISSIONE A SEGUITO NOTA ANAS CDG-0112269	PROGIN	PROGIN	S. LIETO	A. GRIMALDI
C	MAGGIO 2017	EMISSIONE A SEGUITO VALIDAZIONE RINA	PROGIN	PROGIN	S. LIETO	A. GRIMALDI

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 2 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

I N D I C E

1. GENERALITA'	4
1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
1.2 UNITÀ DI MISURA.....	6
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	8
3.1 CALCESTRUZZI	8
3.2 ACCIAIO DA ARMATURA E ACCIAIO ARMONICO.....	8
3.3 RESISTENZE DI PROGETTO.....	9
3.3.1 Calcestruzzo per soletta gettata in opera C35/45	9
3.3.2 Calcestruzzo per travi prefabbricate C45/55	9
4. ANALISI DEI CARICHI	11
4.1 PESI PROPRI E CARICHI PERMANENTI (G1 ,G2).....	11
4.2 SOVRACCARICHI DA TRAFFICO (Q1 , Q2).....	12
4.3 RITIRO DIFFERENZIALE SOLETTA-TRAVE (E2).....	14
4.4 VISCOSITÀ (E4).....	15
4.1 VARIAZIONE TERMICA (E3)	15
4.2 AZIONE DI FRENAMENTO (Q3)	16
4.3 AZIONE CENTRIFUGA (Q4)	16
4.4 AZIONE DEL VENTO (Q5)	16
4.5 AZIONI SISMICHE (Q6).....	17
5. COMBINAZIONI DI CARICO	20
5.1 GRUPPI DI CARICO	20
5.2 COEFFICIENTI PARZIALI E DI COMBINAZIONE.....	21
5.3 COMBINAZIONI AGLI SLU	22
5.4 COMBINAZIONI AGLI SLE.....	22
6. MODELLI DI CALCOLO	23
6.1 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	23
6.2 IMPALCATI IN C.A.P. - MODELLO GLOBALE.....	24
6.3 SOLETTA: MODELLO TRAVE CONTINUA	32
6.4 CRITERI DI VERIFICA.....	37
6.4.1 Soletta in c.a.	37
6.4.2 Travi in c.a.p.	37
7. VERIFICA IMPALCATO IN C.A.P.	39
7.1 VERIFICA DEL CASSONCINO.....	39
7.1.1 Verifiche agli stati limite di esercizio.....	40
7.1.1.1 Verifica sezione z=11.5 m	43
7.1.1.2 Verifica sezione z=8.10 m	45
7.1.1.3 Verifica sezione z=6.00 m	48
7.1.1.4 Verifica sezione z=2.90 m	50
7.1.1.5 Verifica sezione z=1.00 m	52
7.1.1.6 Verifica sezione z=0.00 m	54
7.1.1.7 Verifica a fessurazione.....	56

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N,prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 3 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	---------------	-----------	-------------------------

7.1.2	Verifica traverso di testata	58
7.1.3	Armatura di collegamento trave-soletta.....	59
7.1.4	Verifiche agli stati limite ultimi	60
7.1.4.1	Verifica a flessione	60
7.1.4.2	Verifica a taglio.....	61
7.2	VERIFICA SOLETTA	63
7.2.1	Verifiche dei cordoli per azioni d'urto	64
7.3	VERIFICA DI DEFORMABILITA'	66
7.4	VERIFICA DELLE PREDALLES TRALICCIATE.....	67

8. SOLLECITAZIONI SUGLI APPARECCHI DI APPOGGIO 71

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V14400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 4 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

1. GENERALITA'

Nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice Perugia – Ancona "Pedemontana delle Marche": Sub Lotto 2.2 Tratto Fabriano – Muccia Sfercia, è prevista la realizzazione del ponte denominato Fratte posto tra le progressive 4+256 e 4+279 del tracciato di progetto.

La presente relazione, emessa nell'ambito della redazione del progetto esecutivo, ha per oggetto la verifica delle strutture di impalcato, mentre, per quanto concerne la verifica delle sottostrutture, si rimanda all'elaborato 212E13VI4400REL02B (*Ponte Fratte - Relazione di calcolo sottostrutture*).

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il ponte è lungo 25 m, con una luce in asse appoggi pari a 23 m, sviluppandosi tra la progr. 4+256 e 4+279.

La campata è in c.a.p. ed è costituita da tre cassoncini prefabbricati e precompressi alti 1.6 m, ad interasse trasversale di 3.75 m. In prossimità degli appoggi, il cassoncino presenta un ringrosso delle anime e della base. I cassoncini sono precompressi con trefoli del diametro di 0.6 pollici.

I traversi di testata sono semiprefabbricati e completati in opera; essi hanno uno spessore di 0.3 m ed un'altezza di 1.4 m e sono precompressi in opera.

La soletta di calcestruzzo, presenta uno spessore complessivo di 30 cm (25+5), essendo 25cm lo spessore del getto da eseguire in opera e 5 cm lo spessore del pannello delle predalles tralicciate; quest'ultime assolvono alla funzione di cassero in fase di getto, ma costituiscono parte integrante della sezione resistente della soletta in fase finale, in virtù della collaborazione assicurata dalla presenza dei tralici. La connessione fra travi prefabbricate e soletta è realizzata tramite staffe predisposte lungo le ali dei cassoncini.

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

Il ponte è dotato di un sistema di isolamento sismico dell'impalcato mediante dispositivi elasto-plastici agenti in direzione longitudinale e trasversale. Sulla spalla fissa sono disposti isolatori sia longitudinali che trasversali mentre sulla spalla mobile sono disposti solo isolatori trasversali. Per maggiori dettagli riguardanti le sottostrutture si rinvia alla relazione specifica.

Nelle figure si riportano stralcio planimetrico, sezione longitudinale e trasversale dell'opera.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 5 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

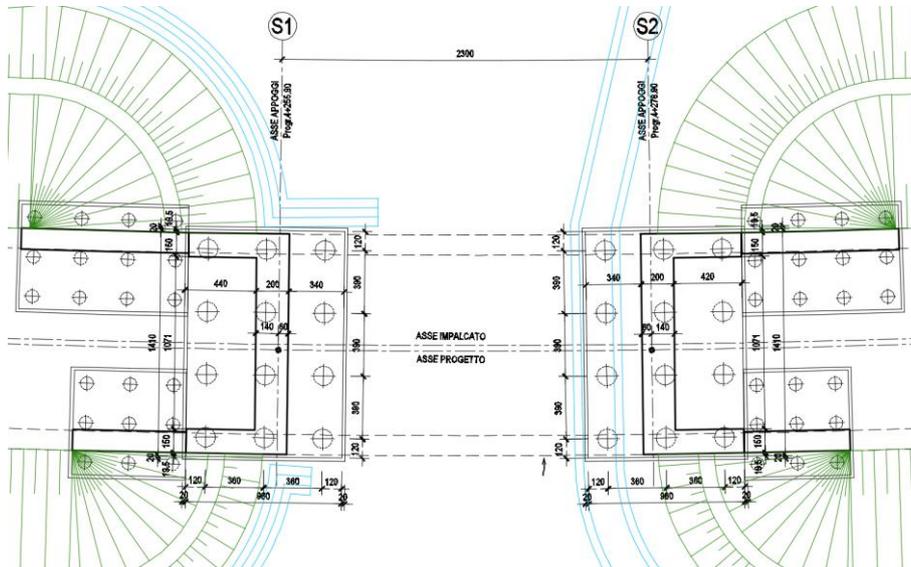


Figura 1 Stralcio planimetrico

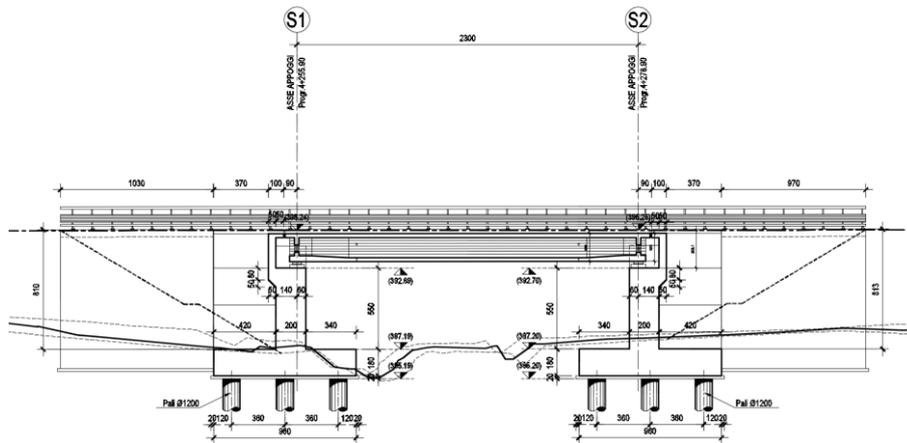


Figura 2 Sezione longitudinale

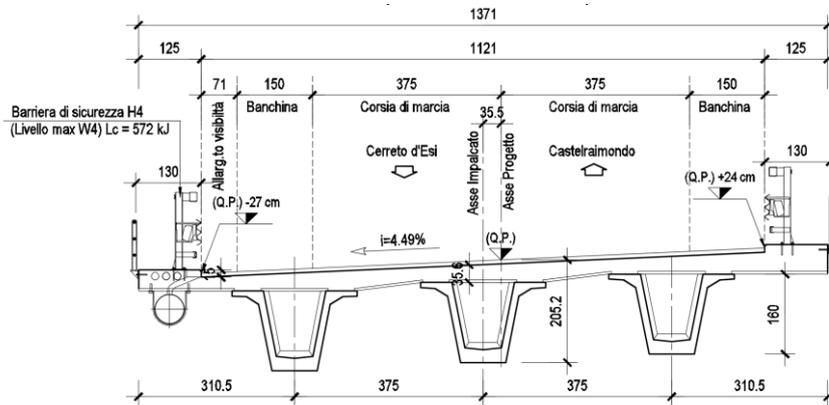


Figura 3 Sezione dell'impalcato in c.a.p.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 6 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

1.2 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 7 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

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.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 8 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

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**

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

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)
---	--

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 10 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

$$\sigma_{c,f} = 0.45 \cdot f_{ck} = 20.3 \text{ MPa}$$

tensione limite in comb. quasi permanente

$$\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = 3.17 \text{ MPa}$$

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 _{tk} (Mpa)	f _{yk} (Mpa)	S.L.U	S.L.E
				f _{yd} =f _{yk} /γ _{m,s} (Mpa)	σ _{smax} =f _{yk} /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 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 11 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

4. ANALISI DEI CARICHI

Per l'impalcato è stata analizzata la campata di luce 25 m in cap, adottando lo schema di impalcato appoggiato all'estremità e soggetto ai carichi verticali, permanenti, mobili e sismici.

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.

Si precisa che le variazioni termiche non sono state considerate in considerazione dello schema statico adottato. Inoltre non è stata considerata la condizione relativa alle resistenze parassite dei vincoli, in quanto tale condizione produce modeste sollecitazioni nelle travi e nella soletta degli impalcati.

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

4.1 PESI PROPRI E CARICHI PERMANENTI (G1 ,G2)

Peso proprio dei cassoncini in c.a.p. (G1.1), calcolato in automatico dal software di calcolo assumendo un peso specifico del calcestruzzo armato pari a 25 kN/m³. Il peso degli elementi di carpenteria principale

$$G1.1 = 19.55 \text{ kN/m}$$

Peso della soletta (G1.2), considerando uno spessore di 30 cm, per una larghezza complessiva di piattaforma pari a 11.2 m

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

$$G1.2+G1.3 = 112 \text{ kN/m}$$

Carichi permanenti portati (G2)

I carichi permanenti portati agenti sulla struttura di impalcato sono:

Pavimentazione	G2.1 = 11.2 x 3 kN/m	33.6 kN/m
Guard Rail	G2.2 = 2 x 1.25 kN/m	2.50 kN/m
Velette	G2.3 = 2 x 1.0 kN/m	2.00 kN/m
Corrimano	G2.4 = 2 x 0.5 kN/m	1.00 kN/m
Impianti	G2.5 = 2 x 1.0 kN/m	2.00 kN/m
Totale	G2	41.1 kN/m

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 12 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

4.2 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.

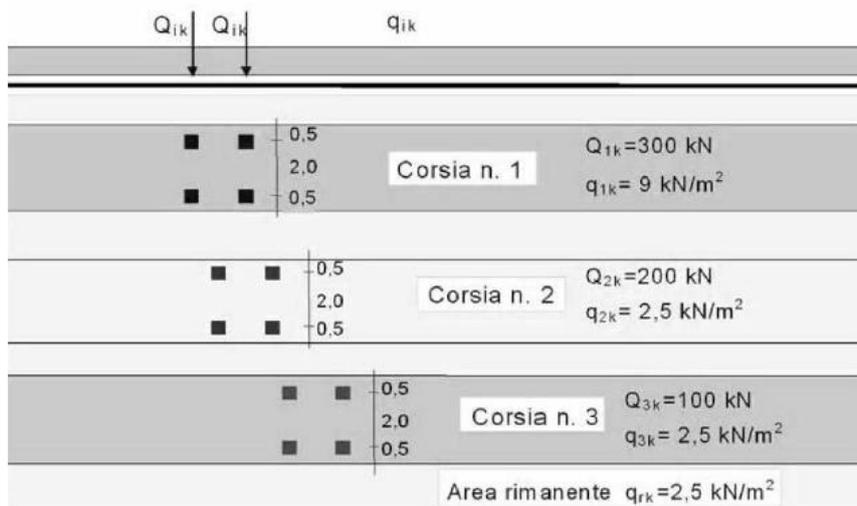


Figura 4 Schema di carico 1

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

- una colonna di carichi (ingombro = 3 m) costituita da un automezzo convenzionale Q_{1k} di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse ruote in senso trasversale di 2.00 m; un carico ripartito q_{1k} di 9 kN/m² uniformemente distribuito;
- una seconda colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN di Q_{1k} e 2.5 kN/m² di q_{1k} e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- una terza colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN di Q_{1k} e 2.5 kN/m² di q_{1k} e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- una colonna di carico (ingombro = 2.2 m) q_{rk} = 2.5 kN/m² nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

Carico da Folla

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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 13 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

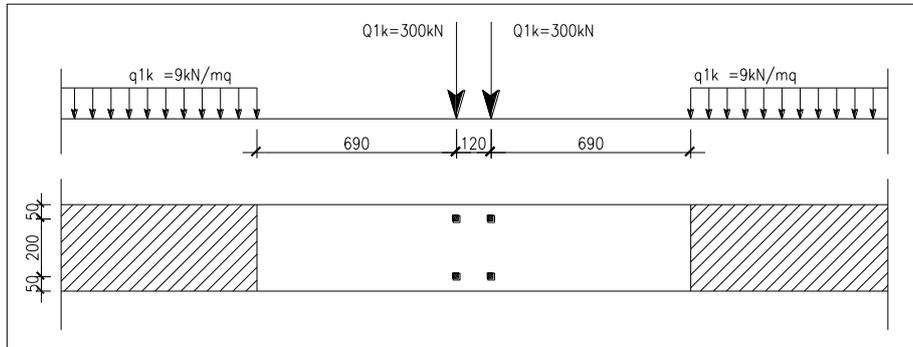


Figura 5 Prima colonna di carico

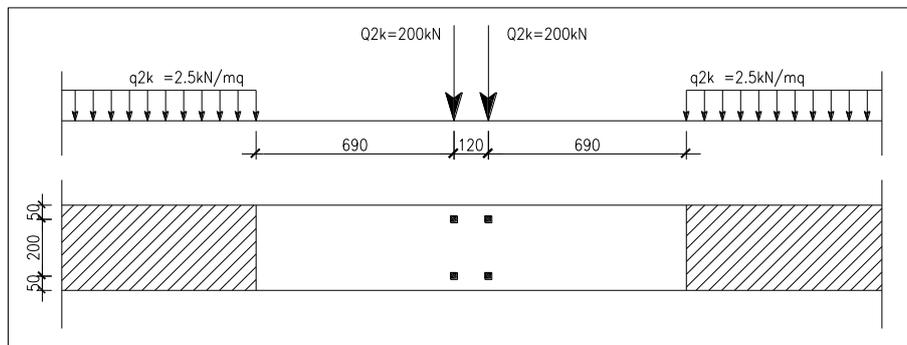


Figura 6 Seconda colonna di carico

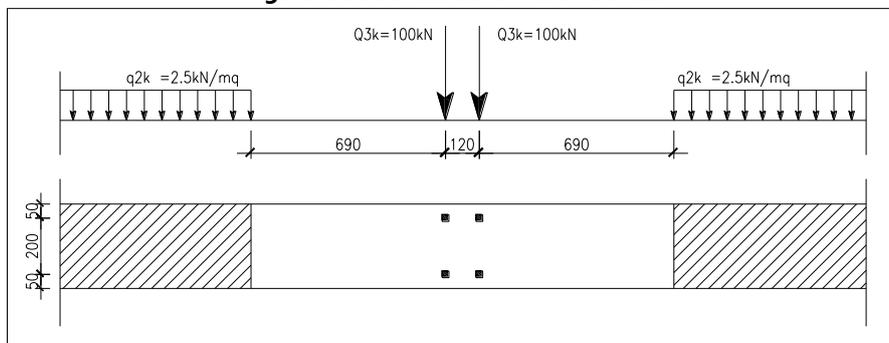


Figura 7 Terza colonna di carico

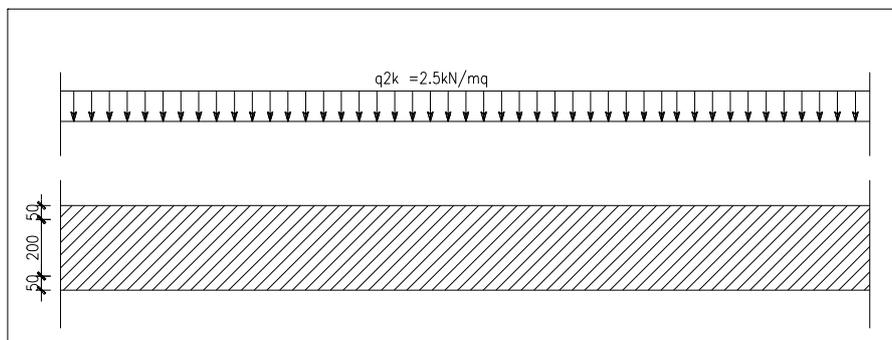


Figura 8 Quarta colonna di carico (area rimanente)

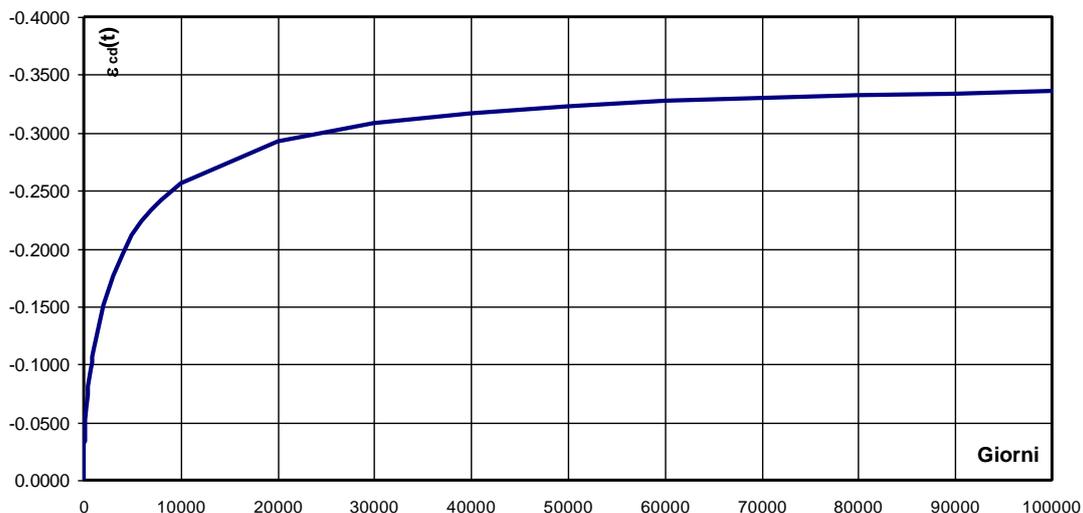
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 14 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

4.3 RITIRO DIFFERENZIALE SOLETTA-TRAVE (E2)

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>
ϵ_{co} =	-0.500		<i>Deformazione per Ritiro da Essiccamento</i>
A_c =	3.13	m ²	<i>Area della Sezione in Conglomerato</i>
u=	12.55	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>
ϵ_{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‰.

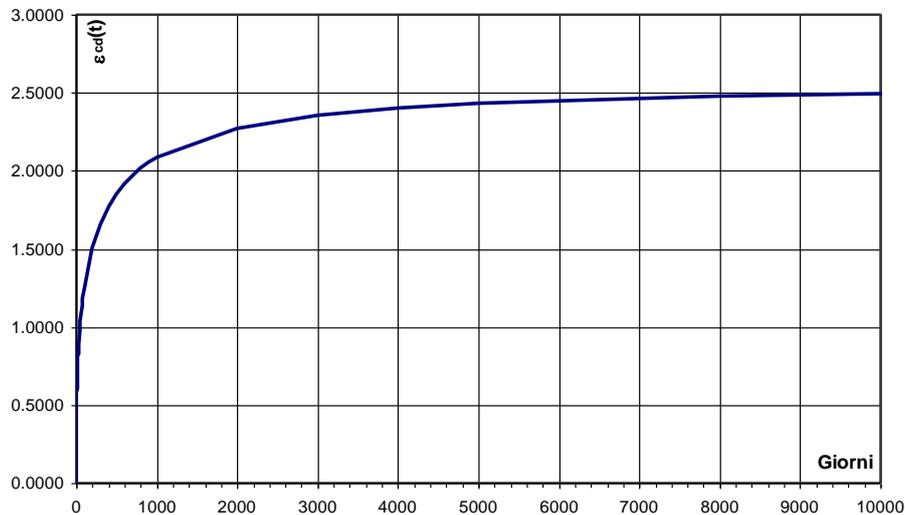
Come precedentemente evidenziato si prevede l'utilizzo di additivo antiritiro idoneo a contenere la deformazione massima al valore di 0.2‰.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 15 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

4.4 VISCOSITÀ (E4)

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>
$\phi(t_\infty, t_0) =$	3.5		<i>Coefficiente di Viscosità a $t = \infty$</i>
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		<i>Coefficienti dipendenti dalla resistenza del calcestruzzo</i>
$\alpha_2 =$	0.96		
$\alpha_3 =$	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>
$\beta(t_0) =$	0.70		<i>Coefficiente dipendente dall'età del Calcestruzzo 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>
$\phi(t, t_0) =$	2.5		<i>Coefficiente di Viscosità al tempo $t = 10.000$</i>



4.1 VARIAZIONE TERMICA (E3)

L'azione della variazione termica è valutata, in termini di temperatura massima estiva e minima invernale dell'aria nel sito della costruzione, con periodo di ritorno di 50 anni, attraverso le indicazioni fornite dalla Normativa di riferimento (punto 5.2.2.5.2 del DM 2008). In particolare è stata considerata una differenza di temperatura di 5°C con andamento a farfalla tra la soletta in calcestruzzo e la trave.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 16 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Si è inoltre considerata una variazione termica uniforme pari a +/-20°C lungo tutto lo sviluppo dell'opera.

4.2 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:

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

Nel caso in oggetto risulta $Q_3 = 427.5 \text{ kN} = 17.1 \text{ kN/m}$.

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

4.3 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 viadotto in esame l'azione centrifuga è nulla in quanto l'impalcato si sviluppa in rettilineo.

4.4 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 transianti 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:

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 17 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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:

$$\begin{aligned} k_r &= 0.19; \\ z_0 &= 0.05 \text{ m}; \\ z_{\min} &= 4 \text{ m}. \end{aligned}$$

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

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

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/m^2

Vento a ponte carico

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

$$q_w = (1.6 + 0.45 + 3.00) \times 2.5 \text{ kN/m} = 12.6 \text{ kN/m}.$$

Vento a ponte scarico

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

4.5 AZIONI SISMICHE (Q6)

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

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)

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 18 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$;

- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera;
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

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

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

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

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. 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	= Fabriano;
$a_{g,SLV}$	= 0.206 g ;
$F_{0,SLV}$	= 2.526 ;
$T_{c,SLV}^*$	= 0.331 sec.

Tabella 1 - Accelerazione (a_g), fattore (F_0) e periodo (T_c^*) per comune di riferimento - Fabriano

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
75	SLO	81%	45	0.073	2.450	0.286
	SLD	63%	75	0.090	2.454	0.297
	SLV	10%	712	0.206	2.526	0.331
	SLC	5%	1462	0.262	2.555	0.339

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

Categoria di suolo = C;

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 19 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Categoria topografica = T1;
 S_s , fattore stratigrafico = 1.388;
 S_T , fattore topografico = 1.0;
 C_c , fattore correttivo del periodo T_C^* = 1.5.

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

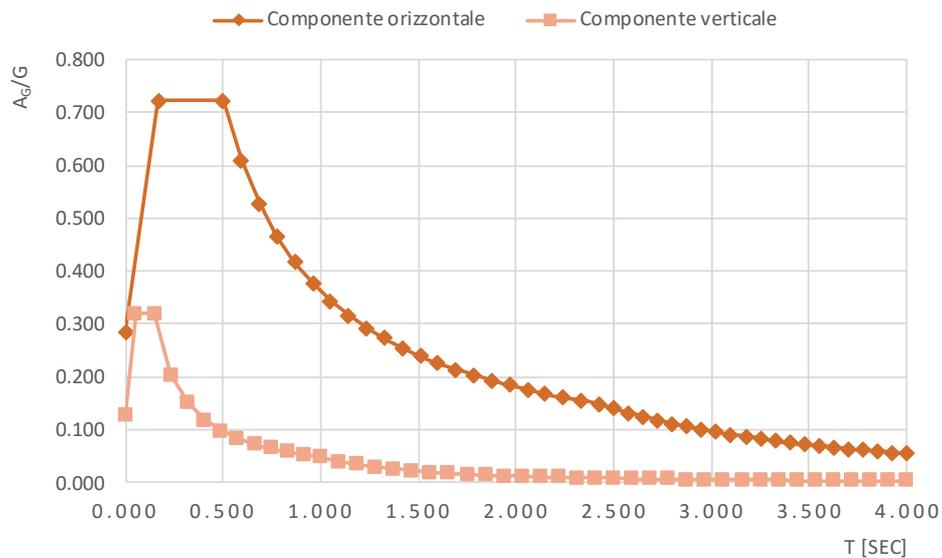


Figura 9 – SLV: Spettri elastici in accelerazione ($q = 1$)

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 2 – 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 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 kN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

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

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

5.2 COEFFICIENTI PARZIALI E DI COMBINAZIONE

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

Tabella 3 – Coefficienti parziali di sicurezza agli SLU

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

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

Tabella 4 – Coefficienti di combinazione

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 22 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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:

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

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 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 23 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

6. MODELLI DI CALCOLO

Si descrivono i modelli di calcolo utilizzati per l'analisi dell'impalcato e della soletta.

Il comportamento dell'impalcato può essere analizzato considerando questo come appoggiato-appoggiato in corrispondenza delle sottostrutture.

La campata in c.a.p. è realizzata con tre travi prefabbricate del tipo "cassoncino" con le dimensioni precedentemente indicate.

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

Per la verifica della soletta invece, si è proceduto sia con il modello globale a graticcio, valutando le sollecitazioni flettenti e taglianti in direzione trasversale alla soletta sia con uno schema di striscia trasversale semplicemente appoggiata sulle travi, ossia, uno schema di trave continua soggetta alla condizione più sfavorevole di carichi mobili. Nel modello globale a graticcio, la soletta risulta vincolata alle anime dei cassoncini e quindi ad appoggi cedevoli verticalmente in ragione della rigidità dei cassoncini, mentre nel modello di trave continua la soletta risulta appoggiata a vincoli fissi. La verifica della soletta è stata eseguita con riferimento ai valori massimi scaturiti dai due modelli.

6.1 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

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

Nello specifico, l'analisi del comportamento globale delle strutture d'impalcato è stato effettuato con l'ausilio del Software 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 elementi in acciaio e/o elementi strutturali secondari.

Affidabilità dei codici di calcolo

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 24 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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.

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

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

I modelli adottati ed i risultati ottenuti sono illustrati nel seguito.

6.2 IMPALCATI IN C.A.P. – MODELLO GLOBALE

Le sollecitazioni sulle travi per effetto del peso proprio del cassone e del peso della soletta sono state ricavate considerando il carico equamente ripartito sulle singole travi. Il comportamento globale dell'impalcato soggetto alle azioni dovute ai carichi da traffico, al vento e al sisma verticale è stato analizzato con un modello telaio "spaziale" rappresentato nella figura seguente, costituito dai seguenti elementi:

- 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, tranne che per la striscia di mezzera che è larga 3.25 m. La larghezza di 3.25 metri per gli elementi della soletta nella mezzera dell'impalcato, corrisponde alla larghezza collaborante media valutata come specificato nel seguito nel capitolo dell'analisi della soletta con il modello "soletta" a trave continua;
- 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.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 25 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

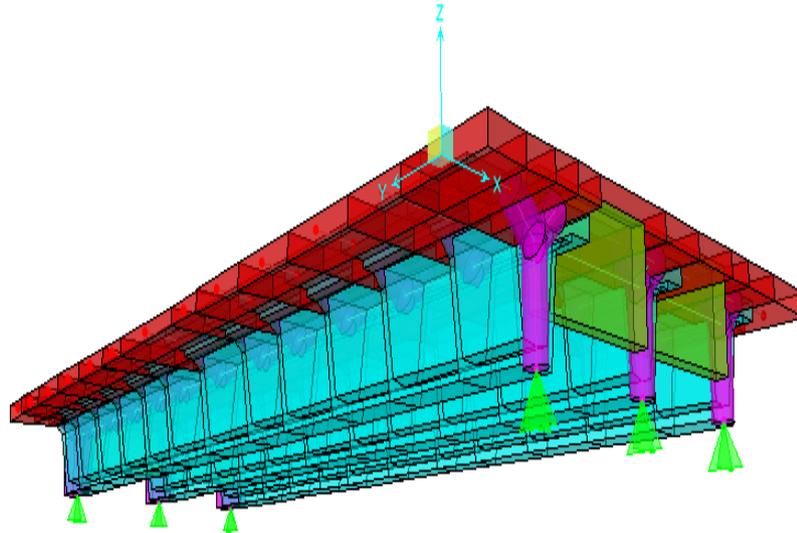


Figura 10 Vista del modello solido dell'impalcato

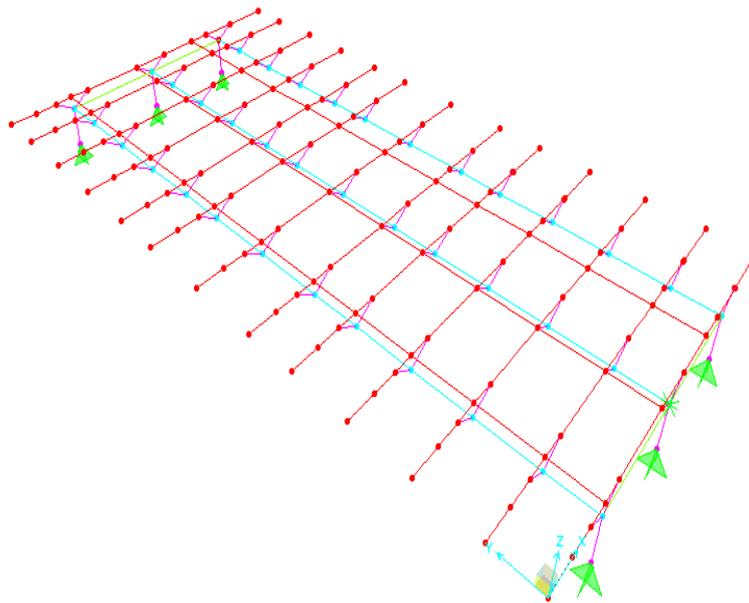


Figura 11 Vista del modello di calcolo dell'impalcato

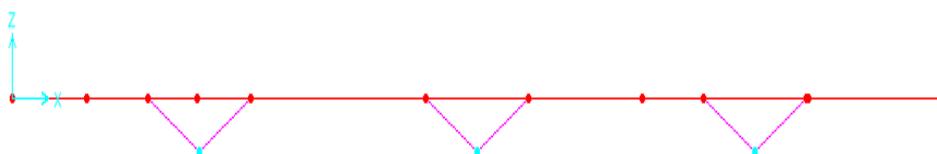


Figura 12 Vista della sezione trasversale del modello dell'impalcato

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 26 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

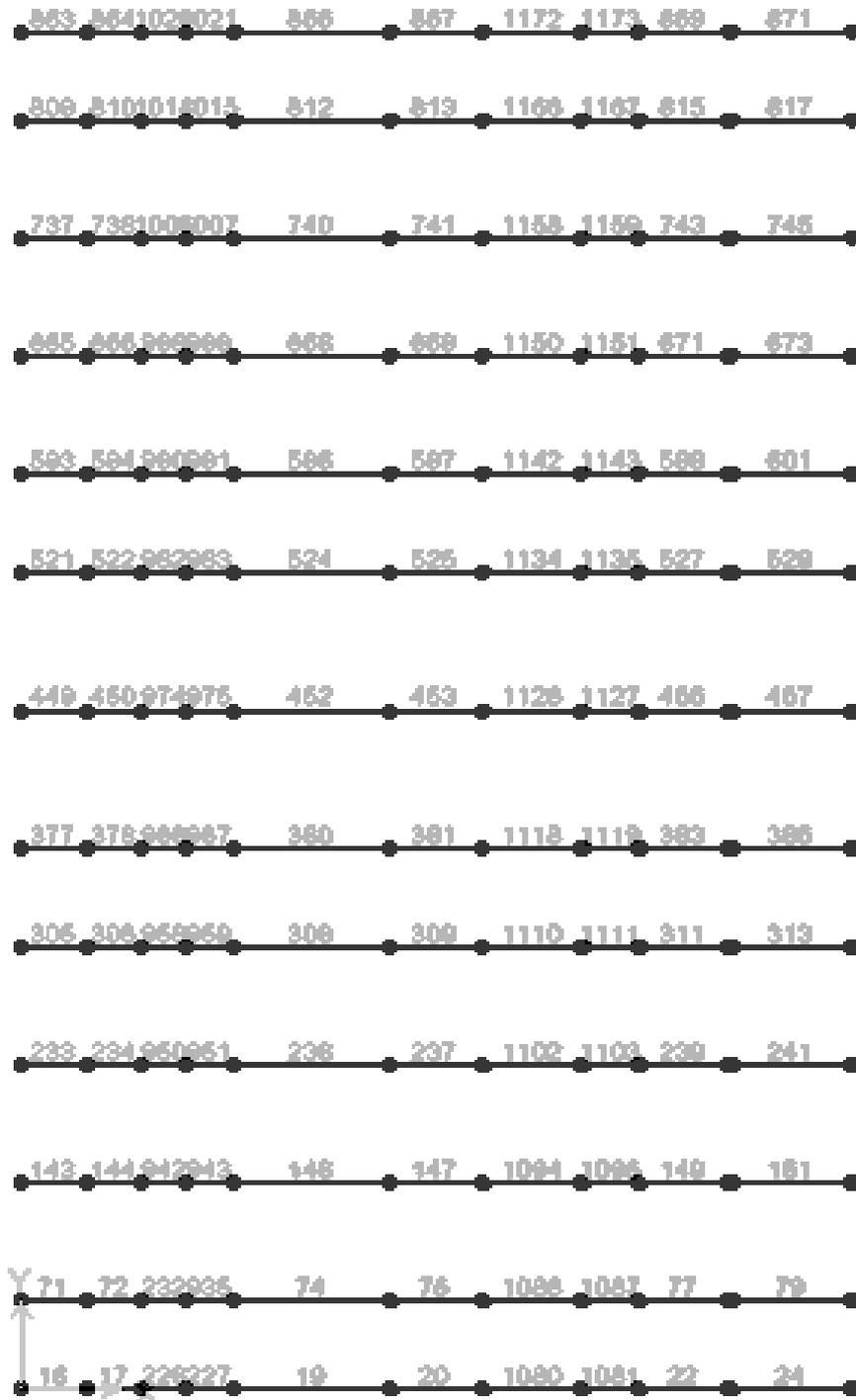


Figura 13 Numerazione degli elementi della soletta

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 27 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

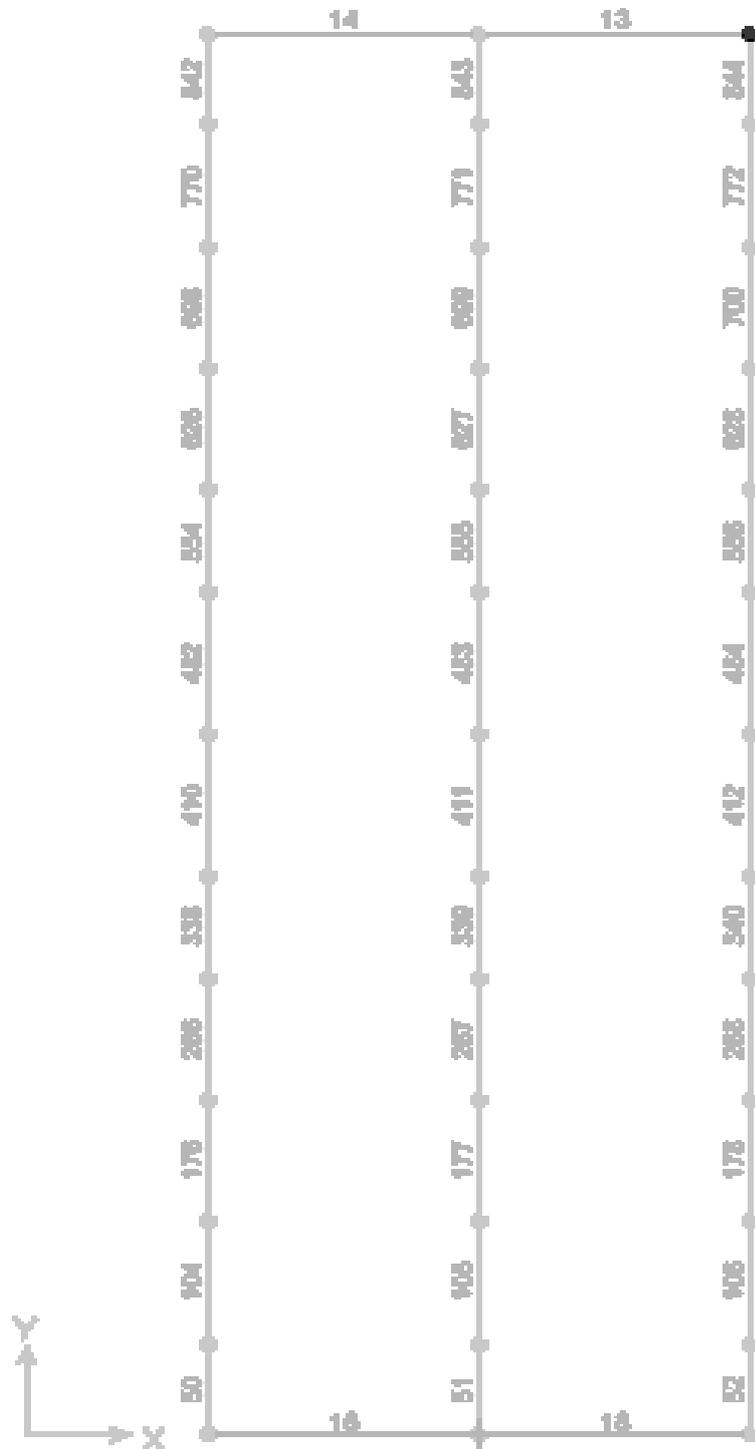


Figura 14 Numerazione degli elementi dei cassoncini e dei traversi

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 28 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

I vincoli impediscono gli spostamenti alle estremità.

I carichi applicati (con le opportune eccentricità quando necessario) corrispondono alle seguenti condizioni di carico:

Carichi permanenti (g1)

Peso proprio cassoncini G1.1 = 19.55 kN/m

Peso della soletta G1.2 = 84.0 kN/m

Peso dei cordoli G1.3 = 28.0 kN/m

Carichi permanenti portati (G2)

I carichi permanenti portati agenti sulla struttura di impalcato sono:

Pavimentazione G2.1 = 33.6 kN/m

Guard Rail G2.2 = 2.50 kN/m

Velette G2.3 = 2.00 kN/m

Corrimano G2.4 = 1.00 kN/m

Impianti G2.5 = 2.00 kN/m

Carichi mobili

Sono state considerate tre colonne di carico distribuite trasversalmente secondo lo schema riportato nella figura seguente. Il codice di calcolo valuta automaticamente le massime sollecitazioni al variare della posizione longitudinale dei carichi q_{1k} .

Inoltre, è stata esaminata la condizione di carichi concentrati sulla striscia di mezzera dell'impalcato, valutando le massime sollecitazioni al variare della posizione trasversale dei carichi

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.

RISULTATI

Il modello con numerazione degli elementi è rappresentato nelle figure seguenti.

I dati ed i risultati ottenuti con il codice SAP 2000 in termini di sollecitazioni e spostamento sono contenuti nei files allegati alla presente relazione.

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.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 29 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Inviluppo delle sollecitazioni flettenti nel cassoncino di bordo

Inviluppo delle sollecitazioni taglianti nel cassoncino di bordo

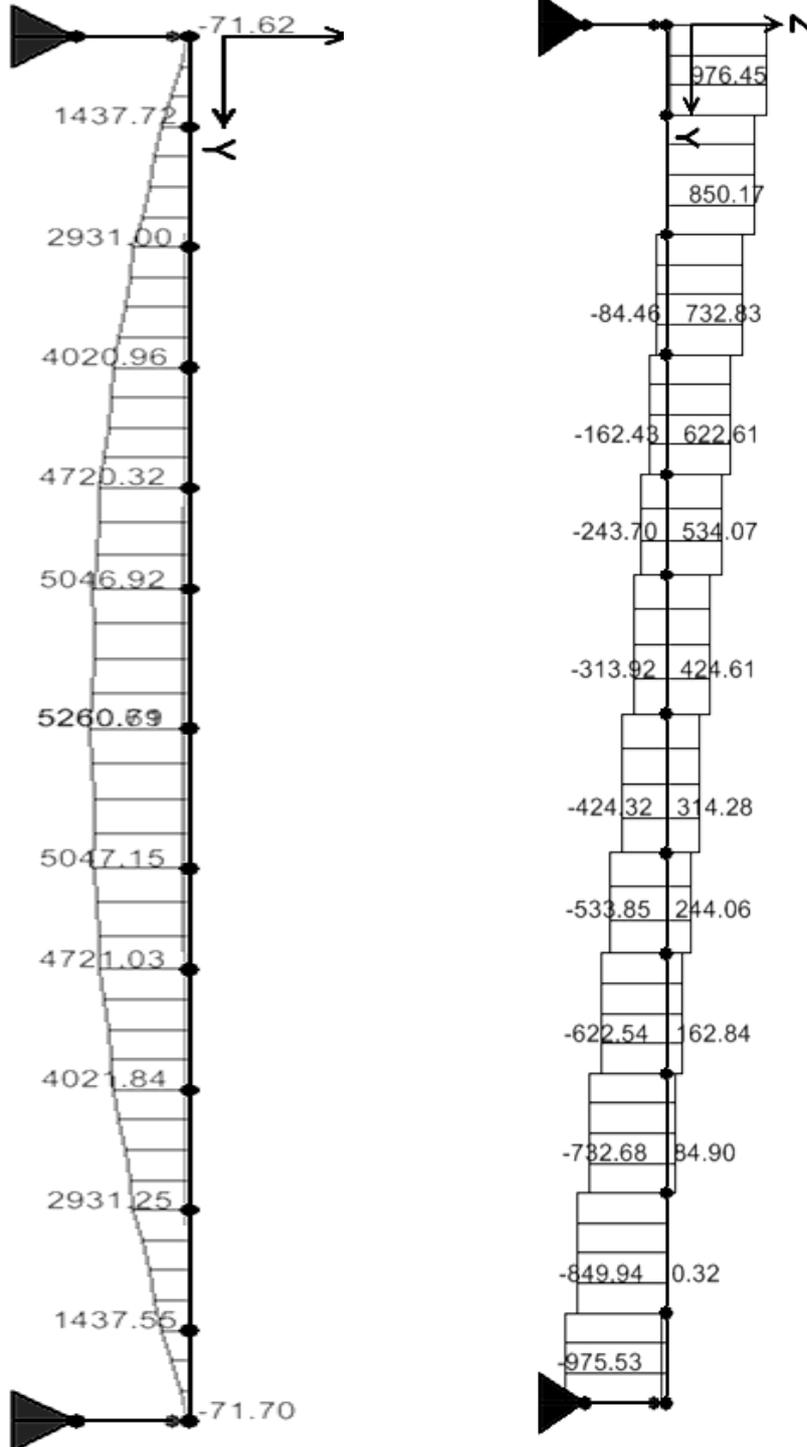


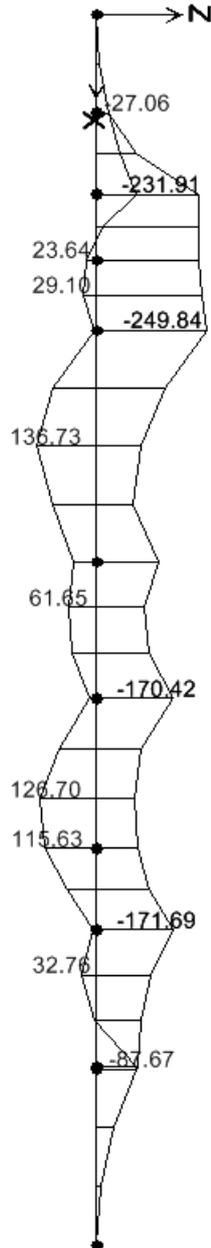
Figura 15

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 30 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Inviluppo delle sollecitazioni flettenti nella striscia centrale della soletta S.L.E.



Inviluppo delle sollecitazioni flettenti nella striscia centrale della soletta S.L.F.

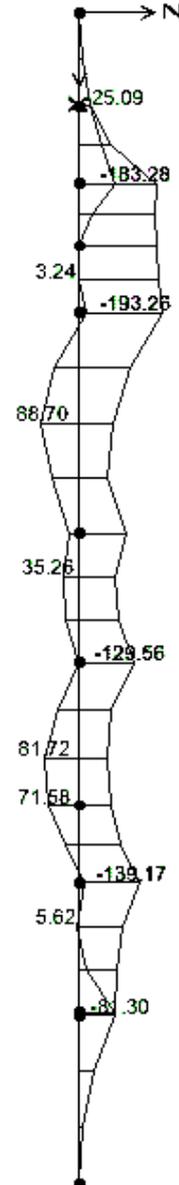
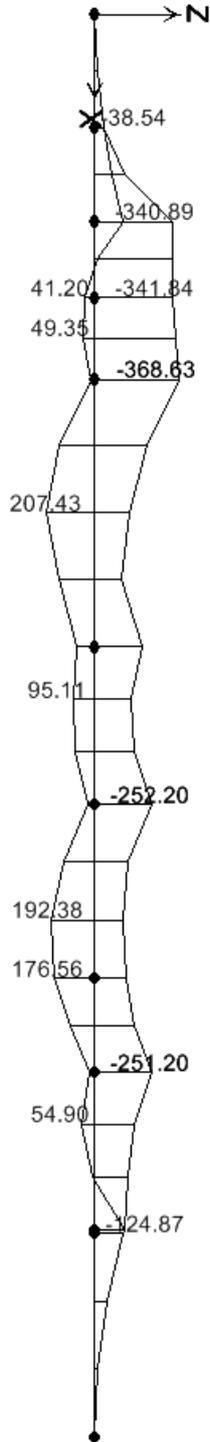


Figura 16

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 31 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Inviluppo delle sollecitazioni flettenti nella striscia centrale della soletta S.L.U



Inviluppo delle sollecitazioni taglianti nella striscia centrale della soletta S.L.U

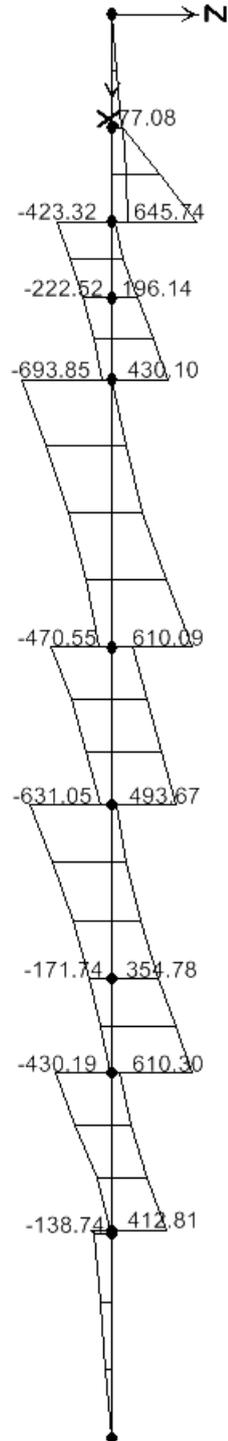
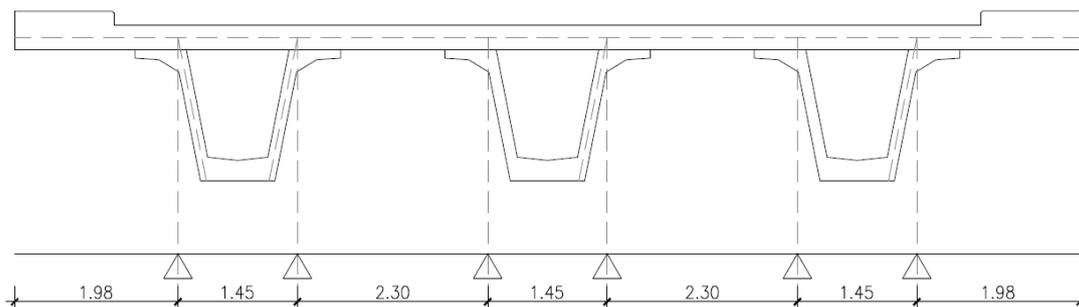


Figura 17

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 32 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

6.3 SOLETTA: MODELLO TRAVE CONTINUA

L'analisi delle sollecitazioni flettenti e taglianti nella direzione trasversale della soletta è stata sviluppata considerando, oltre al modello globale a graticcio, una striscia di soletta di larghezza opportunamente valutata, schematizzata come 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. 14/01/2008.

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.

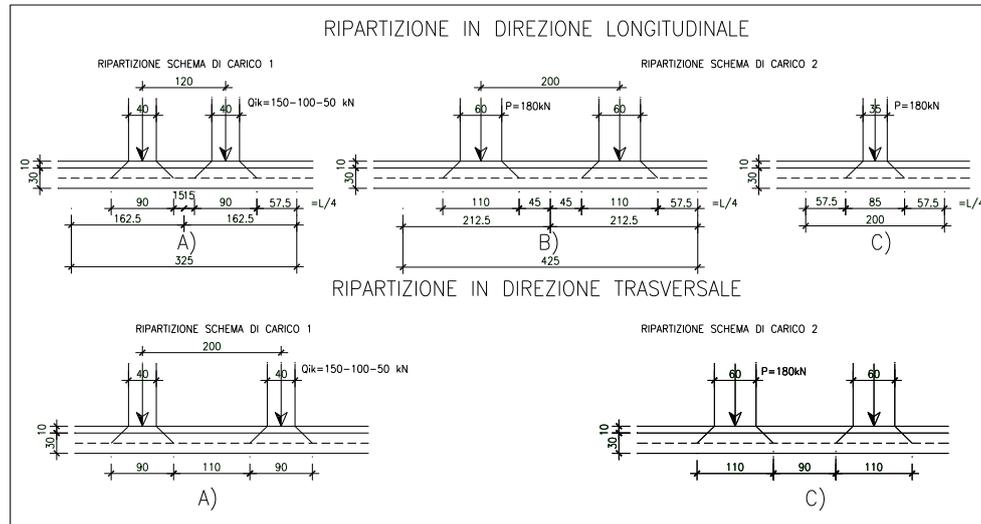
Il modello di trave continua risulta approssimato in quanto non tiene conto di possibili deformazioni della sezione trasversale conseguenti a spostamenti relativi non di tipo rigido fra le travi longitudinali. Tale effetto è stato tenuto in conto con il modello a graticcio.

I carichi applicati e la larghezza della striscia di soletta collaborante su cui si considera ripartito l'effetto di tali carichi sono stati definiti con le seguenti modalità:

Soletta impalcato

Come anticipato, 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. 14/01/2008. 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).

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 33 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



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 90×90 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 110×85 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

Il carico distribuito corrispondente alla singola forza di 150 kN è assunta pari a:

$$q = \frac{150}{(1.625 \times 0.9)} \text{ kN/m}$$

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 34 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

1^a 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^a 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^a 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

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 $q = \frac{180}{(212.5 \times 0.85)}$ 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 $q = \frac{180}{(212.5 \times 1.10)}$ kN/m/ml posti a una distanza di 2 m fra le risultanti che schematizza la coppia di carico posta nella direzione trasversale.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 35 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

RISULTATI

I dati del modello ed i risultati in termini di spostamenti e sollecitazioni sono forniti nei files indicati nell'allegati. Si riportano di seguito le massime sollecitazioni taglianti e flettenti agenti nella soletta dell'impalcato.

Involuppo del momento flettente per le verifiche allo stato limite di esercizio

Involuppo del momento flettente per le verifiche allo stato limite di esercizio

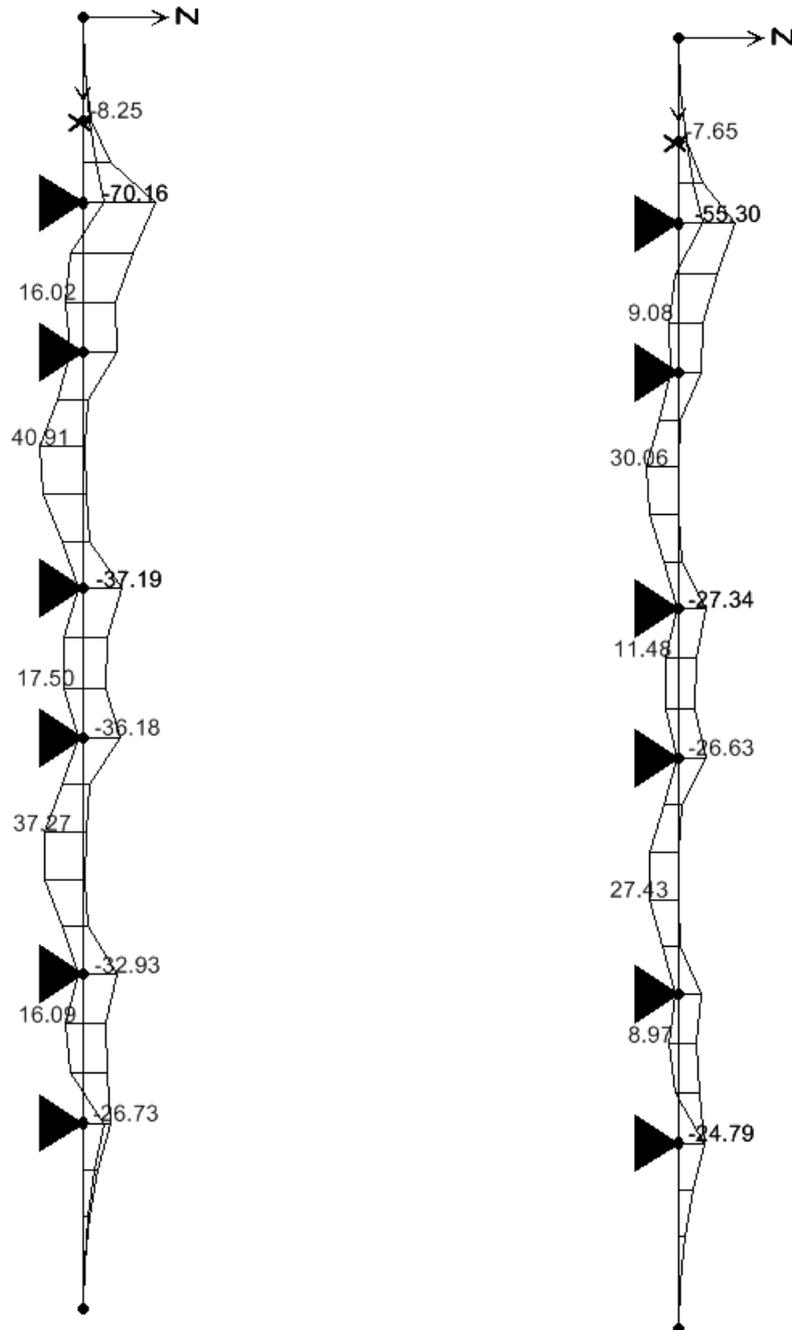


Figura 18

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 36 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Inviluppo del momento flettente per le verifiche allo stato limite ultimo

Inviluppo del taglio per le verifiche allo stato limite ultimo

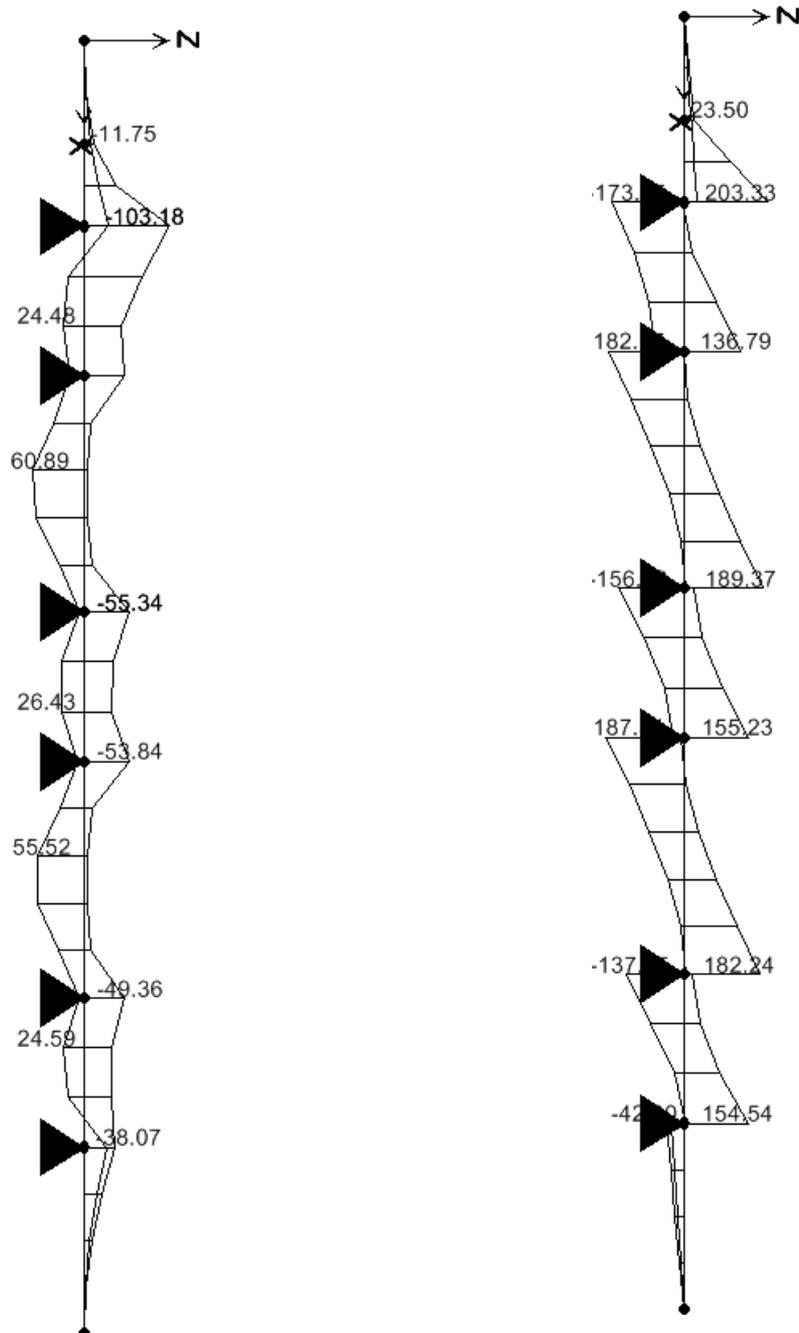


Figura 19

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 37 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

6.4 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche degli elementi strutturali principali, costituenti gli impalcati, e cioè solette, travi prefabbricati in c.a.p. e travi in acciaio sono state sviluppate nei riguardi degli stati limite di esercizio e ultimo conformemente al D.M. 14/01/2008 e della normativa di riferimento indicata al par. 2.

6.4.1 Soletta in c.a.

Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni flettenti di progetto M_d sia minore dei corrispondenti momenti resistenti M_r delle sezioni 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 indicat dal D.M.14/01/2008.

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 dal D.M.14/01/2008.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento alle formulazioni del D.M. 14/01/2008. Per la valutazione del taglio resistente per elementi non armati a taglio si è fatto riferimento al p.to 4.1.2.1.3.1, mentre per gli di elementi che richiedono armatura a taglio al p.to 4.1.2.1.3.2. In quest'ultimo caso si è operato assumendo per la biella compressa una inclinazione ($\theta = 45^\circ$).

Verifiche allo stato limite di fessurazione

E' stata valutata l'ampiezza della fessura per le combinazioni di carico indicate dal D.M.14/01/2008 seguendo le indicazioni riportate al punto 4.1.2.2.4, assumendo come valore limite di apertura delle fessure $w_1 = 0.2$ mm.

Verifiche delle tensioni di esercizio

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

$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ per combinazione caratteristica;

$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ per combinazione quasi permanente.

La massima tensione dell'acciaio deve rispettare la limitazione:

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

6.4.2 Travi in c.a.p.

Le verifiche della singola trave degli impalcati in c.a.p. sono state eseguite con le

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 38 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

seguenti fasi e modalità:

Verifiche tensionali e di fessurazione (SLE)

Sono state considerate diverse fasi di costruzione ed applicazione dei carichi e relative cadute di tensione nei cavi.

Per la singola fase, sono state calcolate nella sezione precompressa e nella sezione mista trave c.a.p. più soletta collaborante le tensioni normali e tangenziali nei punti più sollecitati della sezione e relative tensioni principali. Tali tensioni sono state, quindi, confrontate con le resistenze relative allo stato limite di esercizio.

La verifica a fessurazione, per le combinazioni FR e QP, è stata eseguita confrontando il momento max nella trave mista c.a.p. + soletta (M) con il momento di prima fessurazione della trave (Mf).

Verifiche allo Stato limite Ultimo

Le verifiche di Stato limite Ultimo nei riguardi della flessione sono state eseguite con riferimento alla sezione di mezzeria, mentre nei riguardi del taglio con riferimento alla zona d'appoggio.

Le resistenze di progetto a flessione e taglio sono state valutate conformemente al D.M. 14/01/2008 e all'Eurocodice 2.

Verifica a flessione

Il momento ultimo della sezione mista dalla trave prefabbricata più soletta è stata valutata con i legami costitutivi non lineari riportati nel punto 5.1.2.1.5.2 Del D.M. 14/01/2008 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 pari a:

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

Verifiche a taglio

La verifica a taglio nella zona di testata è stata effettuata considerando la presenza delle staffe e trascurando il contributo della precompressione, tenuto conto dell'effetto ridotto dovuto alla diffusione delle tensioni a partire dalla sezione di testata. Pertanto il taglio ultimo è stato valutato con riferimento al D.M. 14/01/2008 per la sezione di travi in c.a.

Verifica di deformabilità

E' stato valutato lo spostamento massimo della sezione in mezzeria nelle diverse fasi di realizzazione. Per lo spostamento massimo della sezione in mezzeria "f", per effetto dei carichi mobili, si è prevista la seguente limitazione: **f/L < 1/500**.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 40 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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.

7.1.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

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.

E' stato valutato che tempi di realizzazione molto più accelerati non comportano significative variazioni delle sollecitazioni ne in fase di costruzione che di esercizio, pertanto in via cautelativa sono stati adottati i tempi di costruzione precedentemente descritti

Pertanto, in osservanza al DM 14/01/2008, 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 ‰ 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;
- 3) le cadute di tensione per rilassamento dell'acciaio legate ad una deformazione per rilassamento, considerando i dati sperimentali dei prodotti omologati per una tensione pari a 0.75 F_{ptk}, secondo cui le cadute di tensione a 120 ore sono pari a

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 41 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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).

4) le cadute di tensione istantanee per l'accorciamento elastico del conglomerato.

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:

carichi propri e portati = $g_1+g_2+g_3$
Ritiro (ϵ_2)
Carichi mobili (q_1-q_2)
Vento (q_5)
Sisma Verticale (q_6) 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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N,prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 42 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	---------------	-----------	--------------------------

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.

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
F _{ptk}	= 1870 Mpa
F _{pt1}	= 1670 Mpa
Caduta di tensione per rilassamento a 1000 ore (% di 0.75 F _{ptk})	= 2.2
Caduta di tensione per rilassamento a 2000 ore (% di 0.75 F _{ptk})	= 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.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N,prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 43 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	---------------	-----------	--------------------------

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]

7.1.1.1 Verifica sezione $z=11.5$ m

Le sollecitazioni nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)			
	N	M	T
	<i>kN</i>	<i>kNm</i>	<i>kN</i>
$g_1+g_2+g_3$		4827	0
Ritiro (ϵ_2)	1929	771	0
Carichi mobili (q_1-q_2)		5260	425
Vento Ponte Scarico (q_5)		14	0
Vento Ponte Carico (q_5)		135	0
Sisma Verticale (q_6) S.L.D.		1834	0
Sisma Verticale (q_6) S.L.U.		3041	0

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)			
	N	M max	T max
	<i>kN</i>	<i>kNm</i>	<i>kN</i>
SLE-R-I	1929	5612	0
SLE-R-II	1929	10939	425
SLE-R-III	1929	10885	425
SLE-R-IV	1929	10885	425
SLE-R-V	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 SLE-R-II.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 44 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

DATI CAVI

Cavo	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
8 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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 45 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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)

Spessore anima = 28.00 cm

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

7.1.1.2 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 (ε2)	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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 46 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 8.10m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
SLE-R-I	1929	5296	212
SLE-R-II	1929	10120	752
SLE-R-III	1929	10071	746
SLE-R-IV	1929	10071	746
SLE-R-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 SLE-R-II.

DATI CAVI

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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 47 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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)	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

FIERRA N.	1	2	3	4	5
Yf =	133.00	107.25	81.50	55.75	30.00
σc =	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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 48 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

7.1.1.3 Verifica sezione z=6.00 m

Le sollecitazioni flessionali e taglianti nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 6.0m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
g1+g2+g3		4000	355
Ritiro (ε2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		4100	630
Vento Ponte Scarico (q5)		11	1.79
Vento Ponte Carico (q5)		104	17.3
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		1520	135
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		2520	85

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 6.0m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
SLE-R-I	1929	4782	357
SLE-R-II	1929	8934	995
SLE-R-III	1929	8892	988
SLE-R-IV	1929	8892	988
SLE-R-V	1929	6291	490

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 SLE-R-II.

DATI CAVI

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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 49 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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)	108	155	733
M (kNm)	1000	1433	6500
N (kN)	0	0	1929
Nz (kN)	9800	8813	7619
Ny (kN)	0	0	0
σc (Mpa)	1400	1259	1088

CADUTE DI TENSIONE

Ritiro	25.2	37.8
Viscosita'	90.1	101.4
Rilassamento	25.7	31.3

CADUTA DI TENSIONE TOTALE= 311.5 Mpa

VERIFICA A FLESSIONE

FASE	1	2	3
σ1	0	0	4.1
σ2	0	0	1.2
σ3	-0.7	4.2	7.8
σ4	23.2	16.6	3.0

VERIFICA A TAGLIO (fase 3)

Spessore anima = 28.00 cm						
FIBRA N.	1	2	3	4	5	
Yf =	133.00	107.25	81.50	55.75	30.00	
σc =	6.98	6.20	5.43	4.66	3.88	

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N,prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 50 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	---------------	-----------	--------------------------

τ =	2.16	2.25	2.20	2.02	1.70
$\sigma\pi$ =	-0.61	-0.73	-0.78	-0.75	-0.64
$\sigma\pi$ =	7.59	6.94	6.217	5.41	4.53

7.1.1.4 Verifica sezione z=2.90 m

Le sollecitazioni nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 2.9m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
g1+g2+g3		1910	660
Ritiro (ϵ_2)	1929	771	0
Carichi mobili (q1-q2)		2200	850
Vento Ponte Scarico (q5)		6	2.11
Vento Ponte Carico (q5)		59	20.5
Sisma Verticale (q6) S.L.D.		726	251
Sisma Verticale (q6) S.L.U.		1203	158

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 2.9m)			
	N	M max	T max
	kN	kNm	kN
SLE-R-I	1929	2688	662
SLE-R-II	1929	4917	1522
SLE-R-III	1929	4893	1514
SLE-R-IV	1929	4893	1514
SLE-R-V	1929	3407	911

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 SLE-R-II.

DATI CAVI

Cavo N	à	y (cm)	Area (cm ²)
Cavo N 1	0.00	5.00	11.20
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 5	à	y (cm)	Area (cm ²)
	0.00	155.00	5.60

GEOMETRIA SEZIONE

VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	45.00	0.00

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 51 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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 = 58.80 cmq

Dis = 28.10 cm

FASE	IeII	III
Area	8136 cmq	18312 cm2
Inerzia	26515560 cm4	71659024 cm4
Yinf	76 cm	131 cm
Winf	349239 cm3	547096 cm3
Wsup	315376 cm3	2469352 cm3

**CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE
E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE**

FASE N.	1	2	3
T (kN)	170	242	1110
M (kNm)	571	819	3527
N (kN)	0	0	1929
Nz (kN)	8232	7485	6554
Ny (kN)	0	0	0
cc (Mpa)	1400	1273	1114

CADUTE DI TENSIONE

Ritiro	25.2	37.8
Viscosita'	74.5	90.7
Rilassamento	27.3	29.7

CADUTA DI TENSIONE TOTALE= 285.2 Mpa

VERIFICA A FLESSIONE

FASE	1	2	3
σ1	0	0	1.8
σ2	0	0	0.1
σ3	-0.6	2.3	4.6
σ4	19.8	15.5	7.8

VERIFICA A TAGLIO (fase 3)

Spessore anima =	28.00 cm				
FIBRA N.	1	2	3	4	5
Yf =	133.00	107.25	81.50	55.75	30.00

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 52 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

$\sigma_c =$	5.15	5.67	6.18	6.70	7.22
$\tau =$	3.37	3.50	3.43	3.15	2.65
$\sigma_\pi =$	-1.66	-1.675	-1.52	-1.24	-0.87
$\sigma_\pi =$	6.82	7.34	7.71	7.95	8.09

7.1.1.5 Verifica sezione z=1.00 m

Le sollecitazioni nella sezione di riferimento sono le seguenti:

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 1.0m)			
	N	M	T
	kN	kNm	kN
g1+g2+g3		370	806
Ritiro (ϵ_2)	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
	kN	kNm	kN
SLE-R-I	1929	1144	811
SLE-R-II	1929	2067	1669
SLE-R-III	1929	2058	1660
SLE-R-IV	1929	2058	1660
SLE-R-V	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 SLE-R-II.

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

VERTICI SEZIONE PRECOMPRESSA

Vertice	X (cm)	Y (cm)
1	45.00	0.00

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 53 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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 cmq

Dis = 38.49 cm

FASE	IeII	-	III
Area	11452 cmq		21628 cm2
Inerzia	32049366 cm4		83266768 cm4
Yinf	78 cm		124 cm
Winf	409666 cm3		672798 cm3
Wsup	391959 cm3		2297774 cm3

**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

VERIFICA A TAGLIO (fase 3)

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N,prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 54 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	---------------	-----------	--------------------------

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

7.1.1.6 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
SLE-R-I	1929	771	817
SLE-R-II	1929	771	1804
SLE-R-III	1929	771	1795
SLE-R-IV	1929	771	1795
SLE-R-V	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 SLE-R-II.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 55 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

 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 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 cmq

Dis = 38.49 cm

FASE	IeII -	III
Area	11452 cmq	21628 cm2
Inerzia	32049366 cm4	83266768 cm4
Yinf	78 cm	124 cm
Winf	409666 cm3	672798 cm3
Wsup	391959 cm3	2297774 cm3

 CARATT. DELLA SOLLECITAZIONE
 E SFORZI DI PRECOMPRESSIONE

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

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 56 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

N (kN)	0	0	1929
Nz (kN)	5502	5151	4720
Ny (kN)	0	0	0
σ_c (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
σ_1	0	0	-0.5
σ_2	0	0	-0.9
σ_3	-0.8	-0.7	0.5
σ_4	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
σ_c =	1.81	2.98	4.15	5.31	6.48
τ =	2.47	2.64	2.63	2.44	2.07
σ_{π} =	-1.73	-1.54	-1.27	-0.95	-0.60
σ_{π} =	3.55	4.52	5.42	6.26	7.08

7.1.1.7 Verifica a fessurazione

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione della sezione di mezzeria del cassoncino. Come previsto dal D.M 14/01/2008, 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
g1+g2+g3		4827	0
Ritiro (ϵ_2)	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
SLE-QP	1929	5652	0
SLE-FR	1929	8228	213

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 57 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

DATI CAVI

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

EASE 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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 58 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

**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
σ_c (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

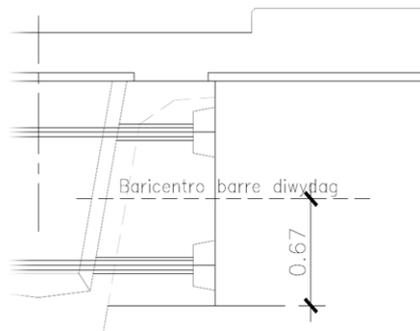
FASE	1	2	3
σ_1	0	0	3,0
σ_2	0	0	1,7
σ_3	0.3	6.5	9,5
σ_4	22,4	14,6	3,7

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

7.1.2 Verifica traverso di testata

I traversi di testata vengono dimensionati per il massimo momento flettente, ricavato dal modello di calcolo a graticcio, pari a 210 kNm

La sezione del traverso si considera rettangolare con altezza pari a 1.40 m (i trasversi vengono precompressi prima del getto della soletta) e larghezza pari a 0.3, precompressa con 2 barre $\varnothing 36$ il cui baricentro può considerarsi ai fini del calcolo, a quota a 0.67m dall'intradosso del traverso stesso, secondo quanto riportato nello schema seguente:



Le sollecitazioni a vuoto valgono quindi:

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 59 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

$$N_p = 2 \times 712.6 = 1425.2 \text{ kN}$$

$$M_p = N_p \times (0.67-0.70) = -42.8 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\text{sup}} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = \frac{1425.2}{0.42} - \frac{42.8}{0.098} = 2.96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{inf}} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{1425.2}{0.42} + \frac{42.8}{0.098} = 3.83 \text{ MPa}$$

Le sollecitazioni a vuoto, scontate le perdite a tempo infinito, valgono:

$$N_p = 2 \times 641.3 = 1282.6 \text{ kN}$$

$$M_p = N_p \times (0.67-0.7) = -38.5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\text{sup}} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = \frac{1282.6}{0.42} - \frac{38.5}{0.098} = 2.66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{inf}} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{1282.6}{0.42} + \frac{38.5}{0.098} = 3.45 \text{ MPa}$$

Le tensioni indotte dalle sollecitazioni agenti in esercizio valgono:

$$\sigma_{\text{sup}} = 210 / -0.098 = -2.14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{inf}} = 210 / 0.098 = 2.14 \text{ MPa}$$

In totale si ha:

$$\sigma_{\text{sup}} = 0.52 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{inf}} = 5.59 \text{ MPa}$$

Le massime tensioni nel calcestruzzo sono compatibili con le massime tensioni imposte dalla normativa vigente per strutture in CAP (rispettivamente $0.06R_{ck}=2.4 \text{ Mpa}$, $0.38R_{ck}=15.2 \text{ Mpa}$).

7.1.3 Armatura di collegamento trave-soletta

L'armatura di collegamento viene verificata tenendo conto degli sforzi di scorrimento che nascono, per effetto delle varie azioni, tra la soletta e il cassoncino.

Le azioni che producono lo sforzo di scorrimento sono:

- o pesi permanenti;
- o carichi da traffico;
- o ritiro della soletta.

Lo sforzo di scorrimento derivante dal ritiro della soletta è di segno contrario allo sforzo di scorrimento dovuto alle altre azioni.

Per effetto del ritiro della soletta, lo sforzo di scorrimento tra la trave e la soletta, ipotizzando una lunghezza del tratto iniziale di ancoraggio di 2 m è pari a circa

$$S_{\text{rit}} = 535 \text{ kN/m}$$

Per quanto riguarda lo scorrimento dovuto ai carichi permanenti e ai carichi da traffico, risulta:

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 60 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Taglio per carichi permanenti= 135 kN

Taglio per carichi da traffico= 1069 kN

Per cui il taglio che produce ,o sforzo di scorrimento S è pari a :

$$T = 135 + 1069 = 1204 \text{ kN}$$

Risulta:

$$S_x = 0.504 \text{ m}^3$$

$$J = 0.826 \text{ m}^4$$

$$S_q = 529 \text{ kN/m (scorrimento dovuto ai carichi)}$$

Si effettua la verifica per lo scorrimento pari a 529 kN/m

Facendo assorbire tale sforzo ad una armatura di collegamento costituita da

4Ø14/10cm si ha:

$$A = 61.6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Si ottiene una tensione tangenziale pari a = 86.8 MPa, che viene considerata ammissibile.

7.1.4 Verifiche agli stati limite ultimi

Di seguito è riportata la verifica a rottura del cassoncino nelle sole condizioni finali, avendo già verificato in fase elastica il cassoncino per le condizioni di esercizio, sia al tiro che a pieno carico, tenendo conto delle fasi realizzative.

7.1.4.1 Verifica a flessione

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

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

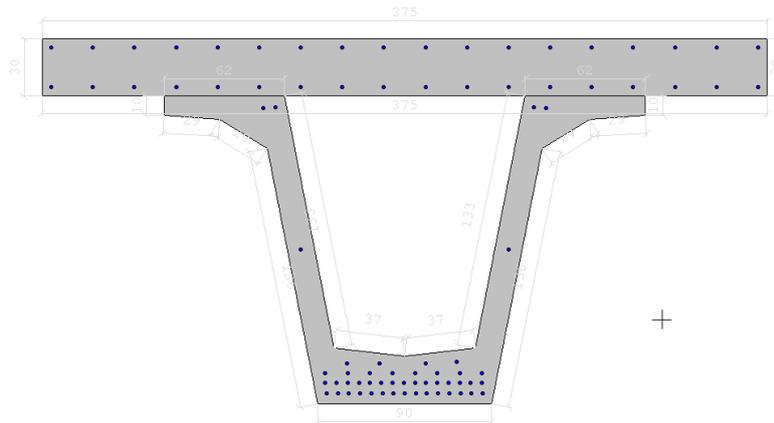
SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)		
	M	T
	kNm	kN
g1+g2+g3	4827	0
Carichi mobili (q1-q2)	5260	425
Vento Ponte Scarico (q5)	14	0
Vento Ponte Carico (q5)	135	0
Sisma Verticale (q6) S.L.D.	1834	0
Sisma Verticale (q6) S.L.U.	3041	0

SOLLECITAZIONI SEZIONE (Z= 11.50 m)		
	M max	T max
	kNm	kN
SLU-I	6779	0
SLU-II	14769	638

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 61 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

SLU-III	14688	638
SLU-IV	14688	638
Sisma (SLV)	7868	0

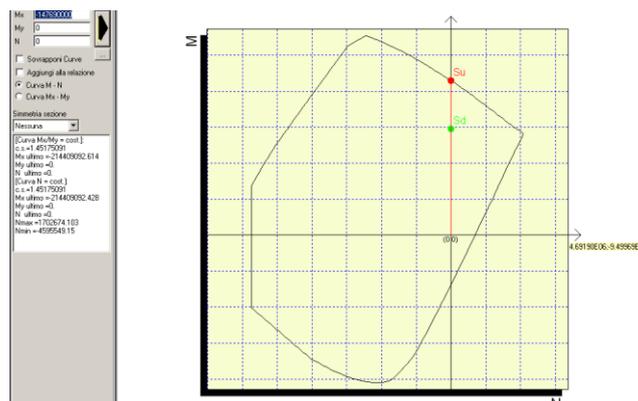
Si riporta di seguito lo schema della sezione verificata:



Come specificato nel paragrafo relativo alle verifiche di resistenza, la deformazione ultima dell'acciaio armonico è pari a 0.9x35‰. A tale deformazione va sottratta la deformazione dei trefoli per effetto della precompressione, che vale

$$\epsilon_{prec.} = 1400/210000 = 6‰$$

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



Il coefficiente di sicurezza a rottura è pari a 1.45.

7.1.4.2 Verifica a taglio

Le sollecitazioni agenti nella sezione di appoggio del cassoncino sono:

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 62 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

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
SLU-I	2315	926	1145
SLU-II	2315	926	2625
SLU-III	2315	926	2611
SLU-IV	2315	926	2611
Sisma (SLV)	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:

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

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

$A_{sw} = 4\phi 14$ (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 $10\phi 24$.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 63 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

7.2 VERIFICA SOLETTA

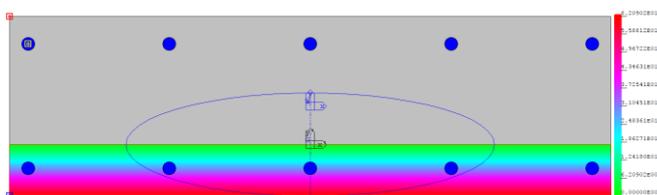
La verifica della soletta in direzione trasversale viene effettuata con riferimento alle massime sollecitazioni scaturite dal modello di calcolo a trave continua analizzato al par. 6.3. Nel seguito si riportano le sollecitazioni e le relative verifiche agli SLE (limitazione delle tensioni in esercizio e fessurazione) e le verifiche di resistenza allo stato limite ultimo.

Le caratteristiche della sezione sono:

B= 100 cm
 H= 30 cm
 $A_{sup} = 1\phi 22/20$
 $A_{inf} = 1\phi 22/20$

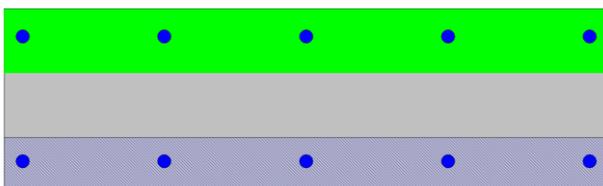
Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio

$M_{Ed} = 77 \text{ kNm}$
 $\sigma_c = 6.2 \text{ Mpa}$
 $\sigma_s = 183.0 \text{ Mpa}$



Verifica di fessurazione

$M_{Ed} = 57 \text{ kNm}$
 $W_k = 0.08 \text{ mm}$



Verifiche di resistenza allo SLU

$M_{Ed} = 104 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 165 \text{ kN}^*$
 $M_{Rd} = 174 \text{ kNm (C.S. 1.67)}$
 $V_{Rd} = 173 \text{ kN (C.S. = 1.05)}$

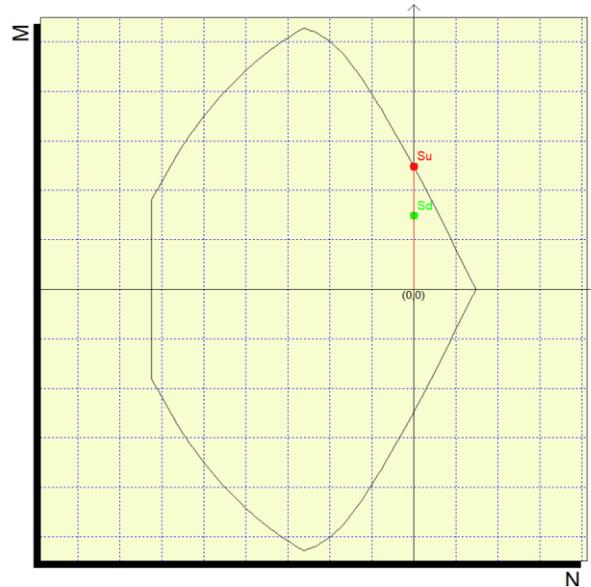
* L'azione tagliante viene spuntata rispetto a quello ottenuta dall'analisi trasversale della soletta in corrispondenza del vincolo per tener conto che l'appoggio della soletta sulla trave non è puntuale ma diffuso sull'ala superiore della trave stessa.

Il calcolo del taglio resistente in assenza di armatura a taglio è riepilogato nella tabella seguente:

VERIFICA PER ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO: $V_{Ed} < V_{Rd}$													
$V_{Ed,max}$	b	h	c	d	k	Armatura tesa	A_l	ρ_l	$N_{Ed,min}$	σ_{cp}	V_{min}	V_{Rd}	FS
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]		[mm ²]	[-]	[kN]	[MPa]	[-]	[kN]	
165.0	1000	300	40	260	1.88	1 ϕ 22/20	1901	7.3E-03	0.0	0.000	0.53	172.6	1.05

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 64 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Il momento resistente è stato, invece, valutato attraverso il software PresFle+. Di seguito si riporta il dominio di resistenza M-N per la sezione verificata.



7.2.1 Verifiche dei cordoli per azioni d'urto

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti dalle verifiche locali dei cordoli che ospitano le barriere di sicurezza.

Il carico di progetto è costituito da una forza orizzontale di 100 kN, applicata alla quota minima fra 1,0 m sopra il piano di marcia e 100 mm sotto la sommità della barriera.

Nel caso in esame si assume che la forza agisca ad una distanza $d = 90$ cm dalla base della barriera.

Si ha, inoltre:

- Spessore della soletta: $s = 30$ cm
- Altezza del cordolo sopra l'estradosso di soletta : $c = 26$ cm

Verifica a tenso-flessione della soletta

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

$$\Delta M = N \cdot (d + c + 0.5 \cdot s) = N \cdot 1.31 \text{ m} = 131 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

$$B = 0.4 \text{ m} + 2 \cdot (c + 0.5 \cdot s) = 1.22 \text{ m}$$

La variazione di momento calcolata va a sommarsi al momento dovuto ai carichi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc. REL	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	13	V14400	REL	01	C	65 di 72

permanenti, determinato considerando uno schema di mensola di luce pari alla distanza fra bordo impalcato e la metà dell'ala superiore della trave di bordo. Il momento così calcolato vale $M_{perm} = 39.5 \text{ KNm}$.

Il momento totale, dunque, vale $M = 131 + 39.5 = 170.5 \text{ KNm}$

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

$$T_d = M / (0,9 \cdot s) = 631 \text{ KN}$$

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

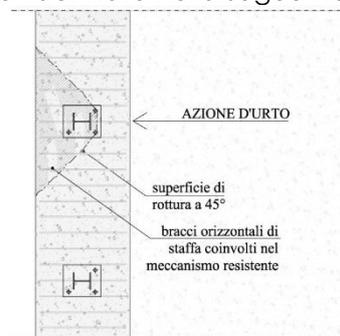
$$T_r = 380 \cdot (122/20) \cdot 391 = 907 \text{ KN} > T_d.$$

Verifica delle staffe disposte all'interno del cordolo

La funzione di tali staffe è duplice:

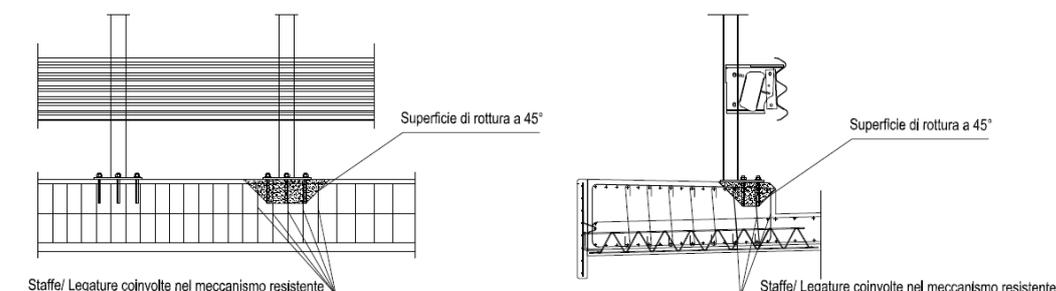
- Equilibrare l'azione orizzontale N
- Equilibrare la trazione dei tirafondi della barriera nel meccanismo di pull out.

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



PIANTA

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



Ipotizzando un braccio di leva delle forze interne della piastra di base della barriera

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V14400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 66 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

pari a 22cm e un'altezza della forza d'urto sopra tale piastra di 90 cm, si stima T_d come:

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

Avendo disposto le staffe e legature $\Phi 12$ a passo 20 cm ed ipotizzando una lunghezza dei tirafondi di almeno 19 cm (nonché l'interasse tra i 2 tirafondi tesi di 15 cm), risulta che i bracci verticali compresi nel cono di rottura sono disposti su 3 filari per un numero complessivo pari a:

$$n = 3 \cdot (2 \cdot 0.15 \text{ m} + 2 \cdot 0.19 \text{ m}) / 20 \text{ cm} = 10.2 \text{ bracci}$$

che corrisponde ad una trazione resistente pari a :

$$T_r = n \cdot 113.1 \text{ mm}^2 \cdot f_{yd} = 451 \text{ KN} > T_d.$$

7.3 VERIFICA DI DEFORMABILITA'

Di seguito si riportano i risultati della verifica di deformabilità delle strutture d'impalcato per effetto dei soli carichi accidentali:

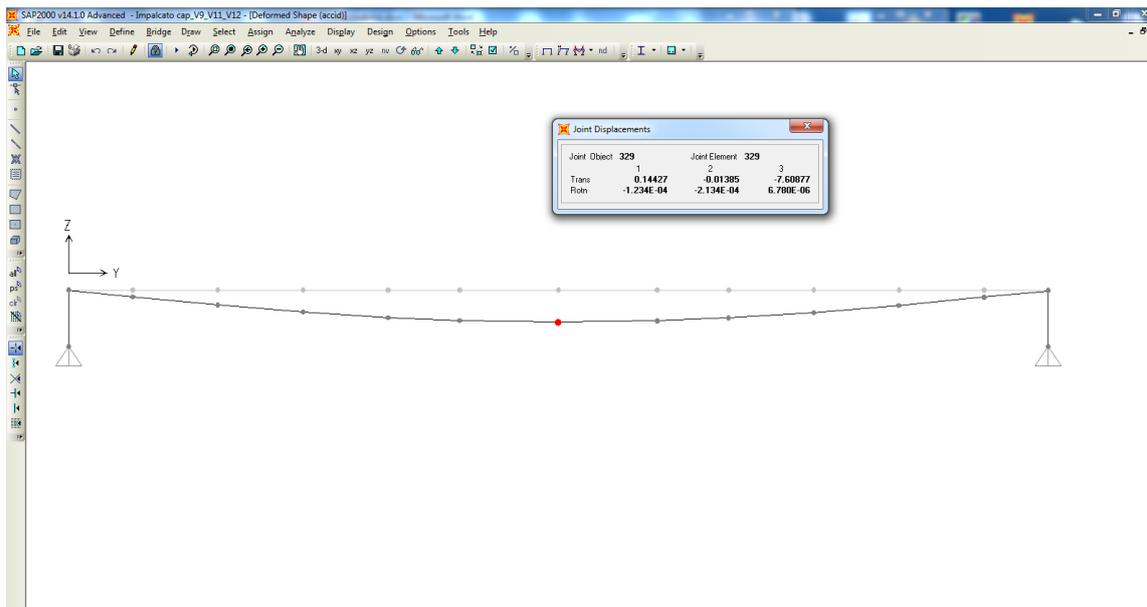


Figura 21 Freccia per effetto dei Carichi Accidentali

Come evidente dal diagramma delle deformazioni riportato in precedenza, gli spostamenti massimi in mezzeria valutati con il modello globale sono pari a:

$$f = 7.6 \text{ mm} \ll (L/500 = 46 \text{ mm})$$

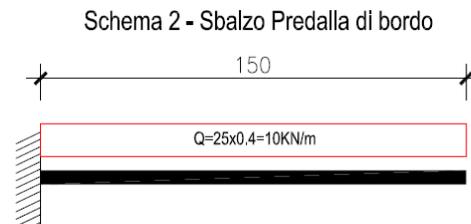
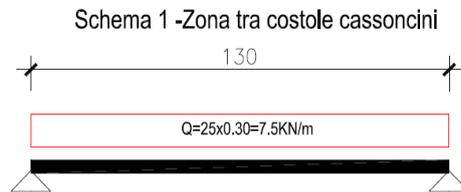
La verifica di deformabilità può dunque ritenersi soddisfatta.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS VI4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 67 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

7.4 VERIFICA DELLE PREDALLES TRALICCIATE

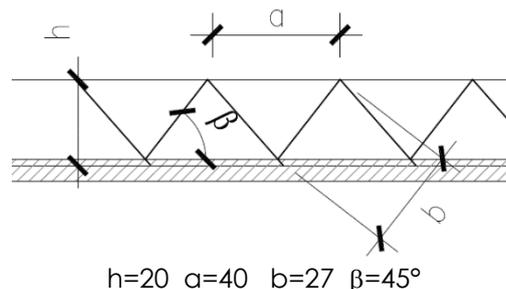
Nel seguito del presente paragrafo, si riportano le verifiche delle predalle tralicciate riferite alla fase di getto dell'impalcato.

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



Trattandosi di elementi la cui funzione strutturale delle armature è limitata, alla sola fase di getto, essendo previste in fase finale opportune armature nel getto della soletta cui è affidato l'assorbimento delle sollecitazioni di calcolo di fase finali, il dimensionamento/verifica delle armature dei tralicci si esegue effettuando un controllo in termini di "tensioni ammissibili", rispetto al valore dichiarato quale limite di riferimento per le verifiche SLE al paragrafo 3 (360 MPa)

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche riferite ai due schemi di calcolo di cui sopra, unitamente allo schema tipo longitudinale del traliccio di riferimento per le verifiche esposte:





QUADRILATERO
Merche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 68 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 69 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

SCHEMA DI CALCOLO 1 - Predalle tra costole cassoncini

Dati di progetto

Interasse tralicci	cm	40.00
H soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)	cm	30.00
Peso specifico calcestruzzo	KN/mc	25.00
Luce netta della soletta	cm	130.00
Luce di calcolo	cm	130.00
Interasse staffe sui tralicci	cm	40.00
Diametro barra superiore	cm	1.0
area barra superiore As	cmq	0.79
diametro barre inferiori	cm	0.8
area barre inferiore Ai	cmq	0.50
numero barre inferiori		2
Peso soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)/tralicci	KN/m/traf	3.00
Momento flettente in fase di getto ($pl^2/8$)	KNm/traf	0.6338
braccio tra barre longitudinali sup e inf del traliccio	cm	20.00
Sforzo risultante nei correnti superiore ed inferiore	KN	3.169

Verifica sezione di campata - S1

Valutazione coefficiente ω per verifica instabilità corrente superiore

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

Raggio minimo d'inerzia della barra compressa		0.25
Lunghezza libera d'inflessione		40.00
Snellezza dell'asta compressa λ		160.0
Inserisci coefficiente omega ω		4.38 (Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)

Tensioni Risultanti nelle barre di armatura longitudinali

Tensione armature tesa (inferiore)	$\sigma_{inf} =$	3.15	KN/cmq	=	315.20	daN/cm2
Tensione armatura compressa (superiore)	$\sigma_{sup} =$	17.67	KN/cmq	=	1767.15	daN/cm2 < 3600 daN/cm2

Verifica sezione di estremità - S2

Sforzo di Taglio all'appoggio:	1.95	KN
Sforzo N risultante nella staffa: $T/\sin 45^\circ =$	2.76	KN
Sforzo in ciascun braccio $(N/2)/\cos 10^\circ =$	1.40	KN

Diametro diagonale	0.720	cm
Area diagonale	0.41	cm2

Raggio minimo d'inerzia	0.18	cm
-------------------------	------	----

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

Lunghezza braccio staffa staffe sui tralicci	cm	27.00
Lunghezza libera d'inflessione	cm	27.00

Snellezza λ	150.00
Inserisci coefficiente omega ω	3.93 (Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)

Tensione diagonale compresso	13.51	KN/cm2	=	1351.47	daN/cm2 < 3600 daN/cm2
------------------------------	-------	--------	---	---------	------------------------

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 70 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

SCHEMA DI CALCOLO 2 - Predalla di bordo									
Dati di progetto									
Interasse tralicci		cm							
									40.00
H soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)		cm							40.00
Peso specifico calcestruzzo		KN/mc							25.00
Luce sbalzo		cm							150.0
Interasse staffe sui tralicci		cm							50.00
Luce di riferimento per verifiche di stabilità armature inferiori		cm							50.00
Diametro barra superiore		cm							1.2
area barra superiore As		cmq							1.13
numero barre superiori traliccio									1
Diametro barre inferiori		cm							1.2
Area barre inferiori Ai		cmq							1.13
numero barre inferiori traliccio									2
Peso soletta (lastra + calcestruzzo gettato in opera)/traliccio		KN/m/tral							4.00
Momento flettente in fase di getto ($pl^2/2$)		KNm/tral							4.50
braccio tra barre longitudinali sup e inf del traliccio		cm							20.00
Sforzo risultante nei correnti superiore ed inferiore		KN							22.50
Verifica sezione di incastro									
Tensioni Risultanti nelle barre di armatura longitudinali									
Tensione armatura tesa (superiore)		$\sigma_{inf} =$		9.95	KN/cmq	=		994.72	daN/cm2
									<3600 daN/cm2
Si omette la verifica di instabilità per compressione delle armature inferiori del traliccio, in quanto impedita dalla presenza del calcestruzzo del pannello in cui risultano annegate in fase di prefabbricazione									
Sforzo di Taglio all'appoggio:		6.00	KN						
Sforzo N risultante nella staffa: $T/\sin 45^\circ =$		8.49	KN						
Sforzo in ciascun braccio $(N/2)/\cos 10^\circ =$		4.31	KN						
Diametro diagonale		0.80	cm						
Area diagonale		0.50	cm2						
Raggio minimo d'inerzia		0.20	cm						
Coefficiente β									
vincoli tipo cerniera		1							
vincoli tipo incastri		0.7							
vincoli tipo cerniera + incastri		0.8							
vincolo unico tipo incastro		2							
									Coefficiente β scelto 1.00
Lunghezza braccio staffa staffe sui tralicci		cm							27.00
Lunghezza libera d'inflessione		cm							27.00
Snellezza		λ							135.00
Inserisci coefficiente omega		ϖ							3.31 (Prosp. 7-IIIc - CNR UNI 10011)
Tensione diagonale compresso		28.37	KN/cm2	=					2837 daN/cm2
									<3600 daN/cm2

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V4400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 71 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

8. SOLLECITAZIONI SUGLI APPARECCHI DI APPOGGIO

Nel presente paragrafo si riportano gli scarchi agenti sugli apparecchi di appoggio.

Per ogni trave è presente un apparecchio di appoggio accoppiato ad un dispositivo di isolamento sismico in direzione trasversale. Le azioni orizzontali in direzione trasversale sono assorbite dai dispositivi sismici e sono state riportate nella relazione relativa alle sottostrutture, mentre di seguito si riportano le sole azioni verticali.

Per le varie combinazioni di carico, gli scarichi sugli appoggi sono pari a:

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	
1	ULS_A1_Gr1(max)		1	-28	2078
1	ULS_A1_Gr2a(max)	-192		-29	1771
1	ULS_A1_Gr2b(max)	1		-29	1787
1	ULS_A1_Gr1(min)	-2		-29	1183
1	ULS_A1_Gr2a(min)	-193		-29	1224
1	ULS_A1_Gr2b(min)	-1		-29	1241
1	SLV-EX+0.3EY+0.3EZ	191		57	1163
1	SLV-0.3EX+EY+0.3EZ	58		191	1218
1	SLV-0.3EX+0.3EY+EZ	59		57	1348
1	SLS_RA_Gr1(max)	1		-19	1542
1	SLS_RA_Gr2a(max)	-142		-19	1314
1	SLS_RA_Gr2b(max)	1		-19	1327
1	SLS_RA_Gr1(min)	-1		-20	879
1	SLS_RA_Gr2a(min)	-143		-20	909
1	SLS_RA_Gr2b(min)	-1		-20	922
1	SLS_FR_Gr1(max)	1		0	1351
1	SLS_FR_Gr2a(max)	-142		0	1338
1	SLS_FR_Gr2b(max)	1		0	1351
1	SLS_FR_Gr1(min)	-1		0	946
1	SLS_FR_Gr2a(min)	-143		0	933
1	SLS_FR_Gr2b(min)	-1		0	946
1	SLS_QP	0		0	1045

e [m]

-3.75

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	
2	ULS_A1_Gr1(max)		0	-28	2480
2	ULS_A1_Gr2a(max)	-192		-28	1922
2	ULS_A1_Gr2b(max)	0		-28	1939
2	ULS_A1_Gr1(min)	-1		-29	764
2	ULS_A1_Gr2a(min)	-193		-29	779
2	ULS_A1_Gr2b(min)	-1		-29	796
2	SLV-EX+0.3EY+0.3EZ	191		57	717
2	SLV-0.3EX+EY+0.3EZ	57		191	710
2	SLV-0.3EX+0.3EY+EZ	58		57	885
2	SLS_RA_Gr1(max)	0		-19	1836
2	SLS_RA_Gr2a(max)	-143		-19	1423
2	SLS_RA_Gr2b(max)	0		-19	1435

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 13	WBS V14400	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. C	Pag. di Pag. 72 di 72
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	
2	SLS_RA_Gr1(min)		-1	-20	565
2	SLS_RA_Gr2a(min)	-143		-19	576
2	SLS_RA_Gr2b(min)	-1		-19	588
2	SLS_FR_Gr1(max)	0		0	1426
2	SLS_FR_Gr2a(max)	-143		0	1413
2	SLS_FR_Gr2b(max)	0		0	1426
2	SLS_FR_Gr1(min)	-1		0	579
2	SLS_FR_Gr2a(min)	-143		0	567
2	SLS_FR_Gr2b(min)	-1		0	579
2	SLS_QP	0		0	632

e [m]

0

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	
3	ULS_A1_Gr1(max)		3	-28	2966
3	ULS_A1_Gr2a(max)	-191		-28	2392
3	ULS_A1_Gr2b(max)	2		-28	2409
3	ULS_A1_Gr1(min)	-1		-29	1315
3	ULS_A1_Gr2a(min)	-193		-29	1338
3	ULS_A1_Gr2b(min)	0		-29	1355
3	SLV-EX+0.3EY+0.3EZ	191		57	1164
3	SLV-0.3EX+EY+0.3EZ	58		191	1220
3	SLV-0.3EX+0.3EY+EZ	59		57	1352
3	SLS_RA_Gr1(max)	2		-19	2195
3	SLS_RA_Gr2a(max)	-141		-19	1770
3	SLS_RA_Gr2b(max)	1		-19	1783
3	SLS_RA_Gr1(min)	-1		-19	973
3	SLS_RA_Gr2a(min)	-143		-19	989
3	SLS_RA_Gr2b(min)	0		-19	1002
3	SLS_FR_Gr1(max)	1		0	1768
3	SLS_FR_Gr2a(max)	-141		0	1755
3	SLS_FR_Gr2b(max)	1		0	1768
3	SLS_FR_Gr1(min)	0		0	987
3	SLS_FR_Gr2a(min)	-143		0	975
3	SLS_FR_Gr2b(min)	0		0	987
3	SLS_QP	0		0	1045

e [m]

3.75

Il massimo scarico verticale sugli apparecchi di appoggio è pari a 2965 kN, pertanto gli apparecchi di appoggio sono dimensionati per un carico massimo di 3000kN.