



# REGIONE MARCHE

GIUNTA REGIONALE  
INFRASTRUTTURE, TERRITORIO E PROTEZIONE CIVILE

SETTORE INFRASTRUTTURE E VIABILITA'

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

# REALIZZAZIONE DELLA BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO SANT'ELPIDIO

Lungotenna da San Marco a svincolo autostradale A14 Porto S. Elpidio (FM)

**CUP B49J21005500002**

### RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

#### MANDATARIA



#### MANDANTI

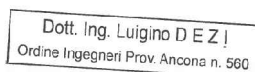


DOTT. GEOL. GIOVANNI MANCINI  
DOTT. ARCHEOL. LUCA FORNARI  
DOTT. AGR. EMILIANO POMPEI

RESPONSABILE UNICO  
DEL PROCEDIMENTO  
Arch. Cinzia Napolitano

RESPONSABILE DELLE  
INTEGRAZIONI  
SPECIALISTICHE  
Ing. Stefano Luca Possati

PROGETTISTA Prof. Ing. Luigino Dezi



### TITOLO DELL'ELABORATO

## Relazione sulle strutture

### CODICE ELABORATO

# 15347-PFTE-01-STR-RPT-001

REV.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
01	18/07/2023	Revisione	RIN	GDE	LDE
00	21/07/2022	Prima emissione	RIN	GDE	LDE

scala	commessa	fase	disciplina	tipo	seq.
-	15347	PFTE	STR	RPT	001

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		rev: <b>01</b> pag. 1

## **Sommario**

1. Premessa .....	2
1.1. Approccio progettuale .....	2
2. Descrizione dell'opera.....	3
3. Valutazioni strutturali.....	7
3.1. Normativa di riferimento.....	7
3.2. Materiali .....	8
3.2.1 Conglomerati cementizi .....	8
3.2.2 Acciaio ad aderenza migliorata .....	9
3.2.3 Acciaio da carpenteria .....	9
3.2.4 Bulloni ad alta resistenza .....	10
3.2.5 Pioli con testa tipo "Nelson" .....	10
3.2.6 Saldature .....	11
3.3. Analisi dei carichi .....	11
3.3.1 Peso proprio degli elementi strutturali .....	11
3.3.2 Carichi permanenti portati .....	11
3.3.3 Variazioni termiche uniformi e differenziali .....	11
3.3.4 Effetti del ritiro.....	12
3.3.5 Azioni variabili da traffico .....	13
3.3.6 Azione del vento .....	16
3.3.7 Azione sismica.....	20
3.4. Modello di calcolo .....	24
3.5. Risultati delle analisi .....	26
3.5.1 Risultati dell'analisi statica .....	26
3.5.2 Risultati dell'analisi di buckling.....	35
3.5.3 Risultati dell'analisi modale .....	36

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>		
	<b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			<i>Dott. Geol. Giovanni Mancini</i>
				<i>Dott. Archeol. Luca Fornari</i>
				<i>Dott. Agr. Emiliano Pompei</i>

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b>
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		
		pag. 2

## 1. **PREMESSA**

La presente relazione riguarda la realizzazione di un ponte sul Fiume Tenna, nell'ambito del progetto di fattibilità tecnico-economica del "Lotto 2 – Bretella di collegamento Lungotenna da San Marco a svincolo A14 Porto S. Elpidio (FM)".

Nel seguito si illustra la soluzione progettuale proposta per l'attraversamento fluviale e le prime valutazioni strutturali svolte per il dimensionamento delle opere.

### 1.1. **Approccio progettuale**

Il progetto di fattibilità tecnico-economica ha l'obiettivo di definire le caratteristiche dimensionali, tipologiche, funzionali e tecnologiche di un'infrastruttura stradale che colleghi la S.P. 204 Lungotenna da San Marco con la Strada Faleriense allo svincolo A14 di Porto Sant'Elpidio, rispettando tutti i vincoli di tutela presenti sul territorio.

Il tracciato stradale deve soddisfare le caratteristiche proprie di una strada di tipo extraurbana secondaria di categoria C e prevede la realizzazione di un ponte per superare il Fiume Tenna.

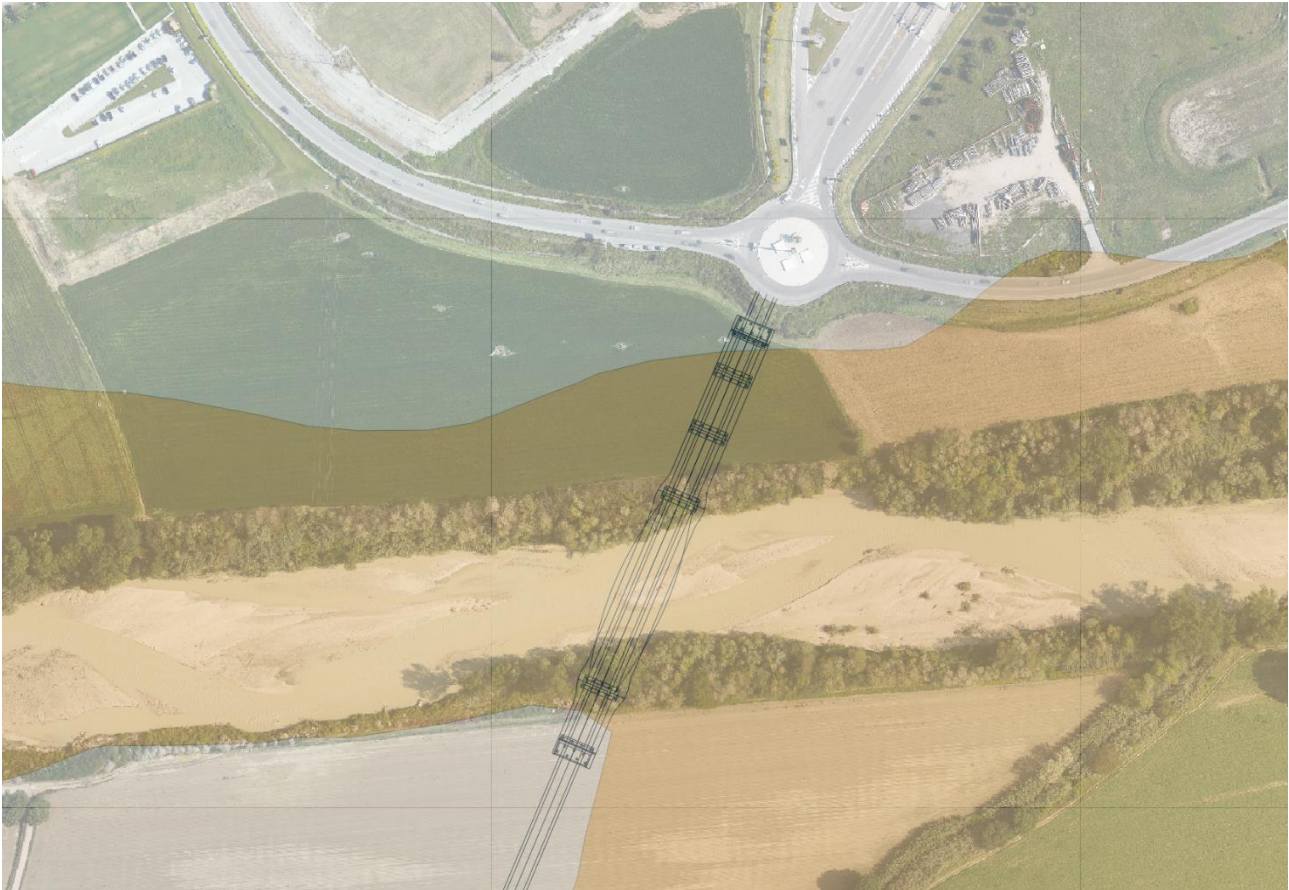
L'approccio progettuale adottato tiene conto principalmente degli aspetti idraulici, economici e architettonici legati all'attraversamento fluviale. Da un lato, infatti, la configurazione dell'alveo e la pericolosità idraulica del sito richiedono di limitare l'inserimento di pile nel letto del fiume e di posizionare le spalle al di fuori di esso. Dall'altro, è necessario limitare la lunghezza del ponte per ottimizzare i costi di realizzazione dell'opera. Da ultimo, è necessario considerare l'inserimento ambientale dell'opera di scavalco anche in relazione alla sua funzione sociale e valutare la possibilità di realizzare un'opera con un'architettura chiaramente riconoscibile.

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>	
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.		Dott. Geol. Giovanni Mancini
			Dott. Archeol. Luca Fornari
			Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		rev: <b>01</b> pag. 3

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La soluzione proposta prevede la realizzazione di un ponte ad arco a via di corsa inferiore che consente l'attraversamento del fiume con una campata centrale da 100 m. Il ponte presenta 5 campate da 30+100+35+30+20 m per una lunghezza complessiva di 215 m (Figura 1).



*Figura 1 - Ubicazione planimetrica del ponte*

Tale soluzione si caratterizza per l'assenza di pile in alveo, assenza di rilevati all'interno dell'area di pericolosità idraulica del Fiume Tenna e uno spessore contenuto dell'impalcato, che permettono di minimizzare l'impatto dell'opera sul regime fluviale. Il ponte presenta contenuti estetici ed architettonici tali da garantire un felice inserimento nel contesto ambientale e si configura nel contempo come elemento di forte riconoscibilità in grado di svolgere un ruolo trainante in un territorio a vocazione turistica.

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>	
	<b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.		<b>Dott. Geol. Giovanni Mancini</b>
			<b>Dott. Archeol. Luca Fornari</b>
			<b>Dott. Agr. Emiliano Pompei</b>



<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b> pag. 4
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		

I due archi metallici presentano una sezione trapezia costante, sono inclinati di 18° verso l'esterno e hanno una freccia di 20 m. L'impalcato a sezione mista acciaio-calcestruzzo è costituito da un grigliato metallico di due travi longitudinali scatolari e traversi a doppio T ad interasse di 5 m, entrambi collaboranti con una soletta in c.a.

L'impalcato è sostenuto tramite 18 coppie di pendini disposti a ventaglio composti da funi regolabili alla base e presenta una larghezza variabile da 22.70 m in corrispondenza delle pile a 19.70 m in corrispondenza delle spalle, in modo da ospitare sugli sbalzi una pista ciclabile di 2.50 m di larghezza lato valle e un marciapiede di servizio di 1.50 m di larghezza lato monte (Figura 2 e Figura 3).

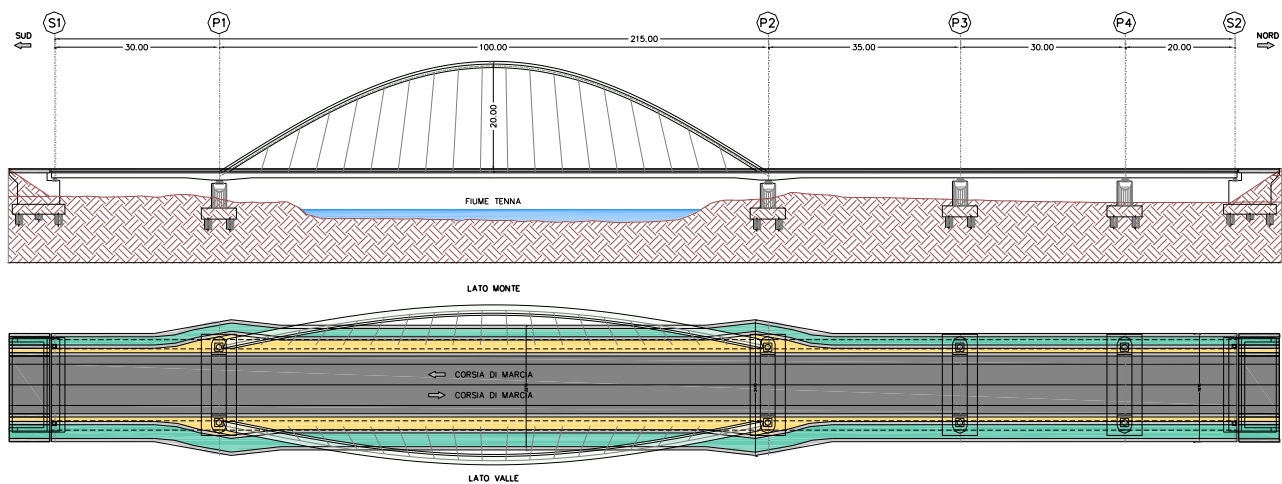


Figura 2 - Prospetto e planimetria del ponte

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>	
 <b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
			Dott. Archeol. Luca Fornari
			Dott. Agr. Emiliano Pompei



**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

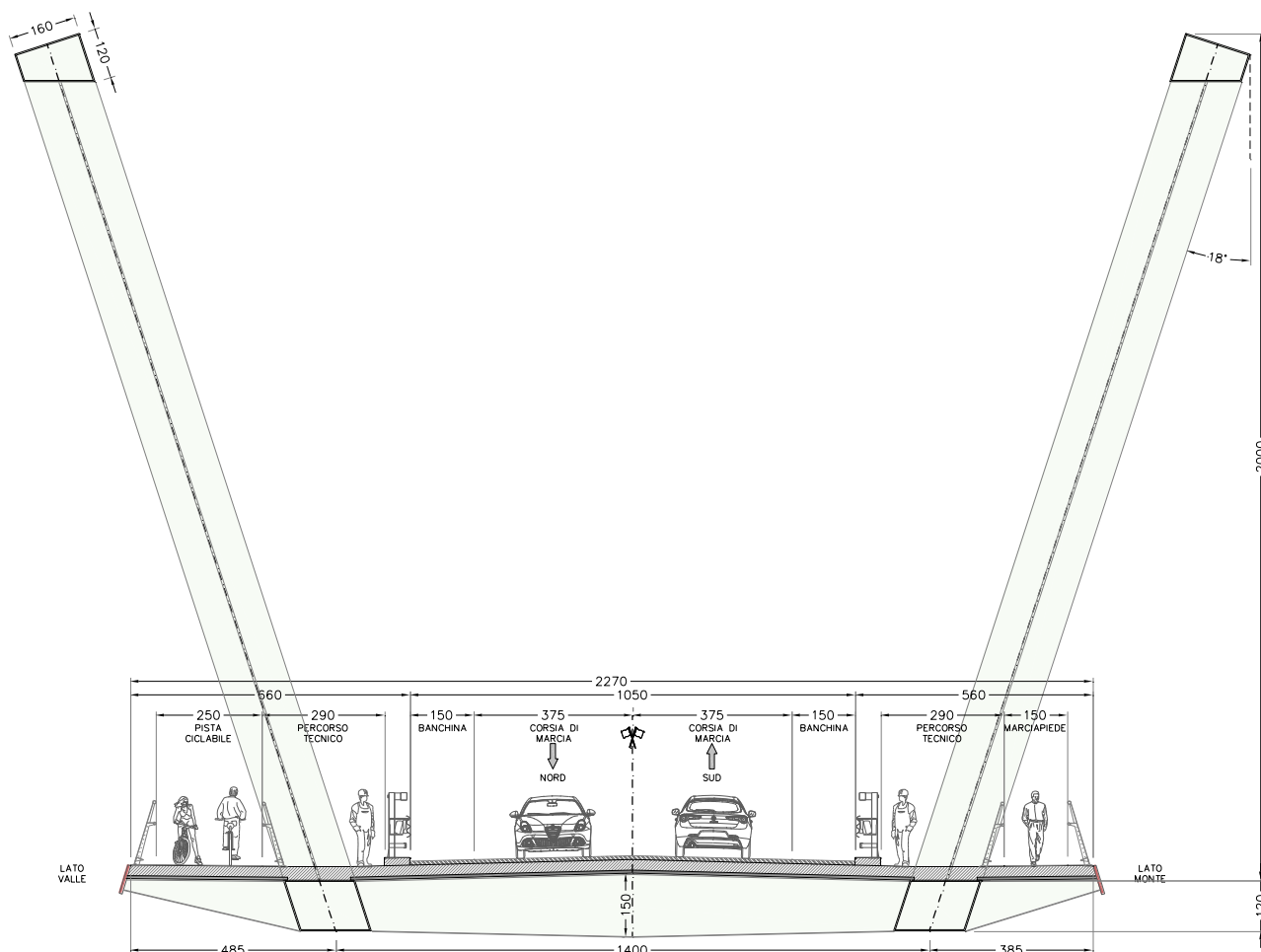
Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 5

*Figura 3 - Sezione trasversale corrente del ponte*

Le pile sono costituite da un fusto unico di forma pseudo-rettangolare avente larghezza di 17.60 m e spessore di 2.70 m, fondato su una zattera di dimensioni 18.40x6.40 m su 10 pali da 1200 mm di diametro (Figura 4).

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>		
			Dott. Geol. Giovanni Mancini	
			Dott. Archeol. Luca Fornari	
			Dott. Agr. Emiliano Pompei	

# BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 6

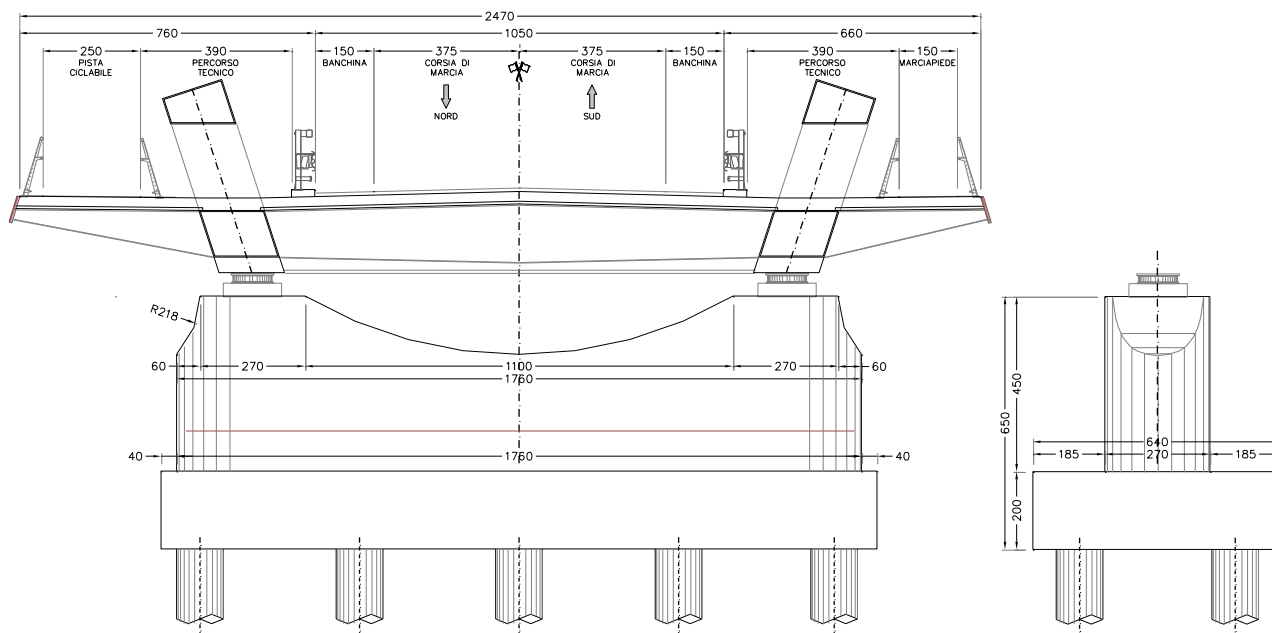


Figura 4 - Carpenteria delle pile

Mandataria:



Mandanti:



Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei


<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b>
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		
		pag. 7

### 3. **VALUTAZIONI STRUTTURALI**

Di seguito, dopo l'elenco della normativa di riferimento per le strutture in esame e la descrizione dei materiali utilizzati, si riportano l'analisi dei carichi, il modello di calcolo e i risultati delle analisi relativi al ponte ad arco.

#### 3.1. **Normativa di riferimento**

- Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 17 gennaio 2018: “Norme Tecniche per le Costruzioni” (in seguito denominato NTC 2018);
- Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7: “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al DM 17 gennaio 2018” (in seguito denominata Circ. 2019);
- UNI EN 1990: “Basi della progettazione strutturale”;
- UNI EN 1991-1-4: “Azioni sulle strutture - Azione del vento”;
- UNI EN 1991-1-5: “Azioni sulle strutture - Azioni termiche”;
- UNI EN 1991-2: “Azioni sulle strutture - Carichi da traffico sui ponti”;
- UNI EN 1992-1-1: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1992-2: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Ponti di calcestruzzo”;
- UNI EN 1993-1-1: “Progettazione delle strutture di acciaio - Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1993-2: “Progettazione delle strutture di acciaio - Ponti di acciaio”;
- UNI EN 1993-1-5: “Progettazione delle strutture di acciaio - Elementi strutturali a lastra”;
- UNI EN 1993-1-8: “Progettazione delle strutture di acciaio - Progettazione dei collegamenti”;
- UNI EN 1993-1-9: “Progettazione delle strutture di acciaio - Fatica”;
- UNI EN 1994-1-1: “Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo -Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1994-2: “Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Ponti”;
- UNI EN 1997-1: “Progettazione geotecnica”, Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1998-5: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica” - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;

<i>Mandataria:</i>		<i>Mandanti:</i>	
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.		Dott. Geol. Giovanni Mancini
			Dott. Archeol. Luca Fornari
			Dott. Agr. Emiliano Pompei



<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b> pag. 8
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		

- UNI EN 1998-2: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Ponti”;
- UNI EN 1090-2: “Execution of steel structures and aluminum structures - part 2: technical requirements for steel structures”;
- UNI EN 13747-2005: “Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Lastre per solai”.

### 3.2. **Materiali**

#### 3.2.1 Conglomerati cementizi

I conglomerati cementizi da porre in opera saranno composti da:

- aggregato (UNI ENV 12620 e UNI EN 13055-1);
- acqua (UNI EN 1008: 2003);
- cemento (UNI EN 197);
- additivi (UNI EN 934-2) super fluidificanti e ritardanti, se occorrenti per garantire le prestazioni del calcestruzzo in base al tempo di trasporto;

ed avranno le caratteristiche indicate in Tabella 1.

Elemento	Classe	Classe d'esposizione	Rck [MPa]
Magrone	C12/15	-	15
Pali di fondazione	C25/30	XC2	30
Spalle	C32/40	XS1	40
Baggioli	C35/45	XC4	45
Soletta	C35/45	XF2-XC4	45
Cordoli	C35/45	XF4-XC4	45
Predalles e velette	C32/40	XS1	40

Tabella 1 – Caratteristiche meccaniche dei conglomerati cementizi

Mandatario:		Mandanti:		
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b> pag. 9
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		

### 3.2.2 Acciaio ad aderenza migliorata

Le armature da porre in opera dovranno presentare sezione integra e priva di qualsiasi difetto, senza tracce di ossidazione, corrosione e di qualsiasi altra sostanza che possa ridurre l'aderenza al conglomerato.

Si utilizzeranno barre ad aderenza migliorata tipo B 450 C controllato in stabilimento conforme alle UNI EN ISO 15360-1:2004 (accertamento proprietà meccaniche), aventi le caratteristiche meccaniche indicate in Tabella 2.

Caratteristiche		Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$ (MPa)	$\geq f_{y,nom} = 450$	5,0
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk}$ (MPa)	$\geq f_{t,nom} = 540$	5,0
	$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10,0
		$< 1,35$	
	$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1,25$	10,0
Allungamento	$(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\%$	10,0
Modulo elastico	E (MPa)	210000	

Tabella 2 - Caratteristiche meccaniche dell'acciaio per armatura lenta

### 3.2.3 Acciaio da carpenteria

La **classe di esecuzione** prevista secondo la UNI EN 1090 è la **EXC3 per le travi principali e i traversi** e la **EXC2 per gli elementi secondari**.

La carpenteria metallica delle travi principali, dei traversi, dei fazzoletti di collegamento, dei coprigiunti e delle piastre in genere sarà realizzata con acciai conformi alle seguenti tipologie:

- Travi principali e traversi:
  - EN 10025-2 S355J0+N per spessori  $s \leq 20\text{mm}$
  - EN 10025-2 S355J2+N per spessori  $20 < s \leq 40\text{mm}$
- Fazzoletti, coprigiunti, controventi e piastre in genere:
- EN 10025-2 S355J0+N

Tali acciai dovranno inoltre rispettare le prescrizioni delle NTC 2018 e presentare le caratteristiche meccaniche riportate in Tabella 3.

Mandataria:		Mandanti:		
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		rev: <b>01</b> pag. 10

Caratteristiche		Requisiti
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$ (MPa)	$\geq f_{y,nom} = 355$
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk}$ (MPa)	$\geq f_{t,nom} = 510$
Allungamento	$\epsilon_t$	$\geq 21\%$
Modulo elastico	$E_a$ (MPa)	206000

Tabella 3 - Caratteristiche meccaniche dell'acciaio da carpenteria

Tutte le giunzioni per l'assemblaggio dei conci delle travi portanti, sia quelle da eseguire in officina che quelle in cantiere, saranno di tipo saldato a completa penetrazione.

I traversi intermedi e di spalla saranno collegati alle travi principali attraverso saldature a completa penetrazione.

I controventi, realizzati con profili L80x80x10 e collegati alle travi attraverso giunzioni bullonate, hanno carattere provvisorio per il montaggio della carpenteria metallica e per il getto della soletta, pertanto saranno smontati ad opera ultimata.

### 3.2.4 Bulloni ad alta resistenza

Le giunzioni bullonate saranno realizzate con bulloni ad alta resistenza aventi le seguenti caratteristiche, conformi alle specifiche contenute nelle NTC 2018:

- vite classe 10.9
- tensione di rottura a trazione  $f_{tb} \geq 1000$  MPa
- tensione di snervamento  $f_{yb} \geq 900$  MPa
- dado classe 10
- rosette C50

I bulloni dovranno essere montati con una rosetta sotto la testa della vite e una rosetta sotto il dado e dovranno essere contrassegnati con le indicazioni del produttore e la classe di resistenza. I bulloni disposti verticalmente avranno la testa della vite rivolta verso l'alto e il dado verso il basso.

### 3.2.5 Pioli con testa tipo "Nelson"

I pioli dovranno essere realizzati in acciaio tipo S235J2+C450 secondo EN ISO 13918 avente le seguenti caratteristiche meccaniche:

Mandataria:		Mandanti:	
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.		Dott. Geol. Giovanni Mancini
			Dott. Archeol. Luca Fornari
			Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001	rev: <b>01</b>	pag. 11

- tensione di snervamento  $f_{yk} \geq 350 \text{ MPa}$
- tensione di rottura a trazione  $f_u \geq 450 \text{ MPa}$

I pioli saranno saldati in cantiere dopo la posa delle predalles.

### 3.2.6 Saldature

Le saldature dovranno essere realizzate secondo le indicazioni delle NTC 2018. Tutte le giunzioni per l'unione dei conci e dei diaframmi saranno eseguite con saldature testa a testa a completa penetrazione di 1<sup>a</sup> classe.

## 3.3. Analisi dei carichi

### 3.3.1 Peso proprio degli elementi strutturali

Il peso proprio degli elementi strutturali è determinato direttamente dal codice di calcolo utilizzato per l'analisi globale della struttura sulla base delle dimensioni geometriche degli elementi e dei pesi per unità di volume dei materiali. In particolare, per la struttura metallica si assume  $\gamma_{acciaio} = 7850 \text{ kg/m}^3$  e per il calcestruzzo  $\gamma_{cls} = 2500 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.3.2 Carichi permanenti portati

Cordoli.....	.....25 kN/mc x ( 0,60 x 0,20 + 0,60 x 0,20 mq) =	6,00	kN/m
Pavimentazione stradale.....	22 kN/mc x 10,50 m x 0,11 m =	25,41	kN/m
Velette.....	2 x 0,88 kN/m =	1,76	kN/m
Parapetti.....	4 x 1,00 kN/m =	4,00	kN/m
Sicurvias.....	2 x 1,00 kN/m =	2,00	kN/m
		-----	
Carichi permanenti totali.....	=	39,17	kN/m

### 3.3.3 Variazioni termiche uniformi e differenziali

Per la verifica della struttura è stata considerata una variazione termica uniforme applicata a tutti gli elementi del ponte (impalcato, arco, pendini):

$$\Delta T_u = \pm 15^\circ\text{C}$$

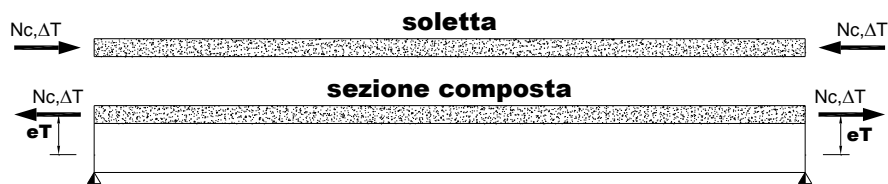
Mandataria:		Mandanti:		
 <div>3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.</div>			Dott. Geol. Giovanni Mancini	
			Dott. Archeol. Luca Fornari	
			Dott. Agr. Emiliano Pompei	

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001	rev: <b>01</b>	pag. 12

Inoltre, sono stati valutati gli effetti prodotti dalle variazioni termiche differenziali fra la soletta in calcestruzzo e le travi metalliche con azioni statiche equivalenti concentrate alle estremità dell'impalcato. Sono state prese in esame le seguenti variazioni termiche:

Variazione termica differenziale positiva 10 °C

Forza assiale d'estremità..... $N_{cdT+} = E_a \times a \times +10 \times A_{collidT} / n_0 = 22824$  kN  
Momento flettente d'estremità..... $M_{cdT+} = N_{cdT+} \times z = -3446$  kNm



Variazione termica differenziale negativa -10 °C

Forza assiale d'estremità..... $N_{cdT-} = E_a \times a \times -10 \times A_{collidT} / n_0 = -22824$  kN  
Momento flettente d'estremità..... $M_{cdT-} = N_{cdT-} \times z = 3446$  kNm



avendo assunto:

coefficiente di dilatazione termica..... $a = 1,00E-05$   
coefficiente di omogeneizzazione a  $t_0$ ..... $n_0 = 5,95$   
modulo elastico dell'acciaio..... $E_a = 206010$  MPa  
area della soletta collaborante..... $A_{collidT} = 6,59E+06$  mmq  
dist. fra baricentro soletta e baricentro sez. composta a  $t_0$ ..... $z = 0,151$  m

### 3.3.4 Effetti del ritiro

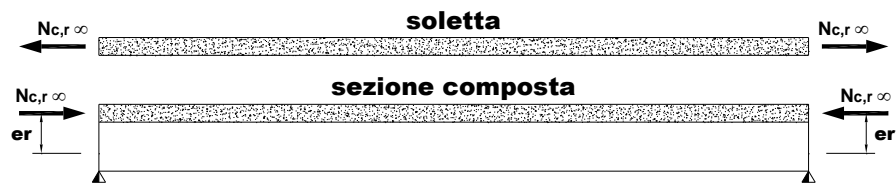
Il ritiro del calcestruzzo è stato schematizzato attraverso le seguenti azioni statiche equivalenti:

Forza assiale d'estremità..... $N_{cr} = E_a \times e_c \times A_{collrit} / n_r = -20768$  kN  
Momento flettente d'estremità..... $M_{cr} = N_{cr} \times z = 6771$  kNm

avendo assunto:

contrazione finale da ritiro..... $e_c = 2,80E-04$   
coefficiente di omogeneizzazione a  $t_{inf}$ ..... $n_r = 14,96$   
modulo elastico dell'acciaio..... $E_a = 206010$  MPa  
area della soletta collaborante..... $A_{collrit} = 5,39E+06$  mmq  
dist. fra baricentro soletta e baricentro sez. composta a  $t_{inf}$ ..... $z = 0,326$  m

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>		
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei



### 3.3.5 Azioni variabili da traffico

#### Carichi mobili ( $q_1$ )

La definizione delle corsie convenzionali secondo le NTC 2018 è riportata nel prospetto che segue.

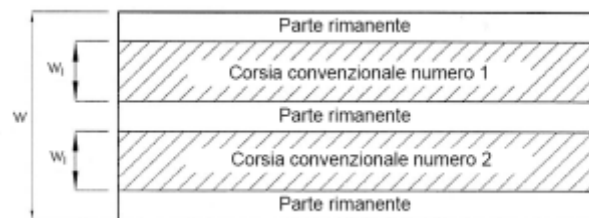


Figura 5 - Esempio di numerazione delle corsie

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_l = 1$	3,00	$(w - 3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

Tabella 4 - Numero e larghezza delle corsie

La disposizione e la numerazione delle corsie va determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto. Per ogni singola verifica il numero di corsie da considerare caricate, la loro disposizione sulla superficie carrabile e la loro numerazione vanno scelte in modo che gli effetti della disposizione dei carichi risultino i più sfavorevoli. La corsia che, caricata, dà l'effetto più sfavorevole è numerata come corsia Numero 1; la corsia che dà il successivo effetto più sfavorevole è numerata come corsia Numero 2, ecc.

Per ciascuna singola verifica e per ciascuna corsia convenzionale, si applica lo **schema di carico 1**, costituito da carichi concentrati su due assi in tandem ( $Q_{ik}$ ), applicati su impronte di pneumatico





di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti ( $q_{ik}$ ), come mostrato in Figura 6.

Tale schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.

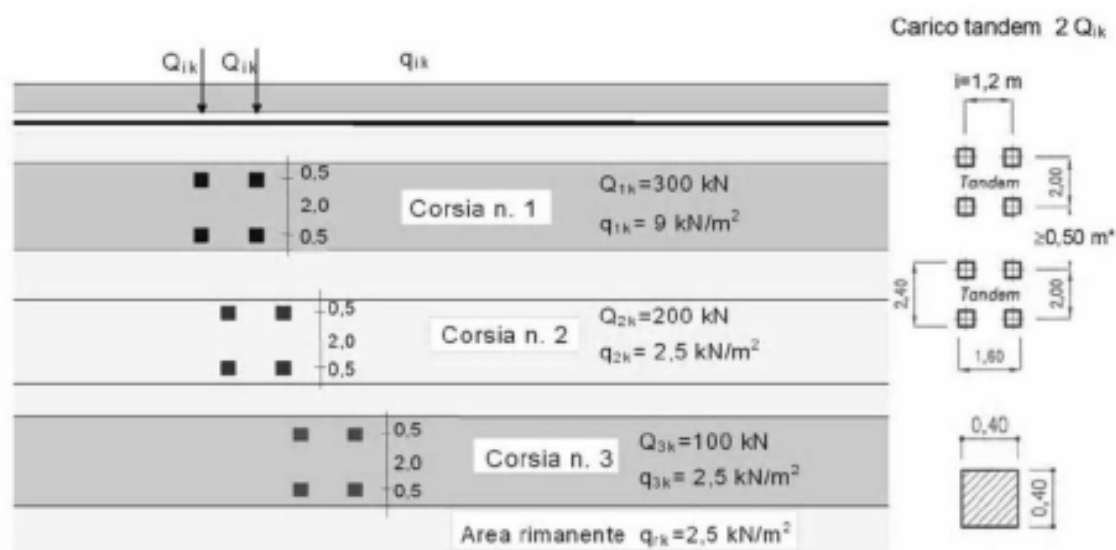


Figura 6 – Schema di carico 1 - dimensioni in [m]

Il numero delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo è quello massimo compatibile con la larghezza della superficie carrabile, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna corsia in 3,00 m.

La disposizione dei carichi ed il numero delle corsie sulla superficie carrabile saranno volta per volta quelli che determinano le condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per la struttura, membratura o sezione considerata.

Si devono considerare, compatibilmente con le larghezze precedentemente definite, le seguenti intensità dei carichi:

Mandataria:	Mandanti:		
 <b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.	 <b>BRIDGE CONSULTING</b> <b>DSD</b>	 <b>EN.AR. Conti</b> Engineering & Architecture	<b>Dott. Geol. Giovanni Mancini</b> <b>Dott. Archeol. Luca Fornari</b> <b>Dott. Agr. Emiliano Pompei</b>

**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 15

Posizione	Carico asse $Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

Tabella 5 – Intensità dei carichi  $Q_{ik}$  e  $q_{ik}$  per le diverse corsie

Inoltre, si è considerato lo **schema di carico 5**, costituito dalla folla compatta, agente sul percorso pedonale di larghezza pari a 2,50 m presente sul lato di monte della carreggiata con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m<sup>2</sup>. Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m<sup>2</sup>.

Carichi mobili per la verifica a fatica

La verifica a fatica dell'impalcato metallico e delle saldature è condotta utilizzando il modello di carico di fatica 2 (FLM2), che prevede il transito dei 5 veicoli riportati in Tabella 6.

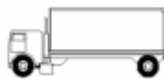




Sagoma del veicolo	Distanza tra gli assi (m)	Carico frequente per asse (kN)	Tipo di ruota (Tab. 5.1.IX)
	4,50	90 190	A B
	4,20 1,30	80 140 140	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	90 180 120 120 120	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	90 190 140 140	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	90 180 120 110 110	A B C C C

Tabella 6 – Modello di carico di fatica 2 – Veicoli frequenti

Mandataria:		Mandanti:		
 <b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini	
			Dott. Archeol. Luca Fornari	
			Dott. Agr. Emiliano Pompei	

<b>Mandatataria:</b>	<b>Mandanti:</b>		
 <b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			<i>Dott. Geol. Giovanni Mancini</i>
			<i>Dott. Archeol. Luca Fornari</i>
			<i>Dott. Agr. Emiliano Pompei</i>

**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 17

carichi transitanti sul ponte esposta al vento è schematizzata con una parete rettangolare continua dell'altezza di 3,00 m a partire dal piano stradale.

Per la valutazione della velocità base di riferimento del vento si considerano i valori definiti al par. 3.3 delle NTC 2018, in funzione delle zone in cui è stato suddiviso il territorio nazionale (Figura 8).



Figura 8 – Zone di suddivisione del territorio per il calcolo dell'azione del vento

Il ponte in esame ricade in **zona III**, per cui per l'azione del vento sull'arco e sull'impalcato, valutata per un periodo di ritorno di  $T_R = 100$  anni con **classe di rugosità D** e **categoria d'esposizione II** in corrispondenza del tratto di ponte con quota maggiore rispetto al terreno circostante, si ottengono i valori riportati nel seguito.

Mandataria:		Mandanti:		
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 18

AZIONE DEL VENTO (par. 3.3 D.M. 17/01/2018)		
Zona	= 3	▼
Velocità base di riferimento s.l.m.m.	vb,0 =	27 m/s
Parametro funzione della zona	a0 =	500 m
Parametro funzione della zona	ks =	0,37
Altitudine s.l.m.m. del sito	as =	7 m
Coefficiente di altitudine	ca =	1,00
Velocità base di riferimento	vb =	27,00 m/s
Periodo di ritorno di progetto	TR =	100 anni
Coefficiente di ritorno	cr =	1,04
Velocità di riferimento	vr =	28,06 m/s
Densità dell'aria	r =	1,25 kg/m <sup>3</sup>
Pressione cinetica di riferimento	qr =	492,1 N/m <sup>2</sup>
Classe di rugosità	= D	▼
Categoria esposizione sito	= II	▼
Parametro funzione della categoria d'esposizione	Kr =	0,19
Parametro funzione della categoria d'esposizione	z0 =	0,05 m
Parametro funzione della categoria d'esposizione	zmin =	4 m
Altezza sul suolo del punto considerato	z =	30 m
Coefficiente di topografia	ct =	1,00
Coefficiente di esposizione	ce(z) =	3,09
Coefficiente dinamico	cd =	1,20
Pressione / depressione		p+
Coefficiente di forma	cfx =	2,00
<b>PRESSIONE TOTALE DEL VENTO</b>		<b>p = 3,65 KN/m<sup>2</sup></b>

Tabella 7 - Azione del vento sull'arco

Mandataria:		Mandanti:		
				Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 19

AZIONE DEL VENTO (par. 3.3 D.M. 17/01/2018)			
PARAMETRI GENERALI			
Zona	= 3		
Velocità base di riferimento s.l.m.m. fondamentale	vb,0 =	27	m/s
Parametro funzione della zona	a0 =	500	m
Parametro funzione della zona	ks =	0,37	-
Altitudine s.l.m.m. del sito	as =	7	m
Coefficiente di altitudine	ca =	1,00	-
Velocità base di riferimento	vb =	27,00	m/s
Periodo di ritorno di progetto	TR =	100	anni
Coefficiente di ritorno	cr =	1,04	-
Velocità di riferimento	vr =	28,06	m/s
Densità dell'aria	$\rho$ =	1,25	kg/m <sup>3</sup>
Pressione cinetica di riferimento	qr =	492,1	N/m <sup>2</sup>
Classe di rugosità	= D		
Categoria esposizione sito	= II		
Parametro funzione della categoria d'esposizione	Kr =	0,19	
Parametro funzione della categoria d'esposizione	z0 =	0,05	m
Parametro funzione della categoria d'esposizione	zmin =	4	m
Altezza sul suolo del punto considerato	z =	10	m
Coefficiente di topografia	ct =	1,00	-
Coefficiente di esposizione	ce(z) =	2,35	-
Coefficiente dinamico	cd =	1,00	-
COEFFICIENTE DI FORMA			
Altezza trave in c.a.p.	h_t =	1,90	m
Spessore soletta in c.a.	s_so =	0,32	m
Spessore pavimentazione	s_pa =	0,11	m
Spessore marciapiede in c.a.	s_ma =	0,15	m
Altezza barriera convenzionale a ponte scarico	h_ba =	1,50	m
Larghezza impalcato	b =	22,70	m
Interasse travi	i =	14,78	m
<b>Ponte carico / ponte scarico</b>		<b>PC</b>	<b>PS</b>
Altezza/area di riferimento	Aref =	5,33	3,87 m <sup>2</sup>
(controllare che " b / dtot" sia maggiore di 0,35)	b/dtot =	4,26	5,87 -
Coefficiente di forma	cfx =	1,30	1,30 -
Pressione orizzontale del vento	pv =	1,50	1,50 KN/m <sup>2</sup>
<b>FORZA ORIZZONTALE DEL VENTO</b>	<b>Fwk =</b>	<b>8,02</b>	<b>5,82 KN/m</b>

Tabella 8 - Azione del vento sull'impalcato

Mandataria:		Mandanti:		
	<b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei



<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		rev: <b>01</b> pag. 20

### 3.3.7 Azione sismica

La vita nominale dell'opera  $V_N$  è scelta pari a 100 anni, come definito nelle NTC 2018 per la categoria di costruzioni 3 relativa a *“Costruzioni con livelli di prestazioni elevati”*.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, la struttura è inseribile nella classe d'uso III relativa a *“Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica”*.

A tale classe è associato un valore del coefficiente d'uso  $C_U$  pari a 2.0.

Le azioni sismiche sono valutate quindi in relazione ad un periodo di riferimento:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 2.0 = 200 \text{ anni}$$

La pericolosità sismica nelle NTC 2018 è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . Le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_O$  = 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.

Per la valutazione dei parametri dipendenti dal sito rintracciabili sul reticolo sismico si è fatto riferimento alle seguenti coordinate del sito dove è ubicata l'opera:

- Latitudine (decimale): 43,23014
- Longitudine (decimale): 13,75469

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>		
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		rev: <b>01</b>
		pag. 21

Pertanto, i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascuno Stato Limite per il sito in esame sono mostrati in Tabella 9.

SL	TR	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
SLO	120	0,099	2,418	0,298
SLD	201	0,126	2,472	0,292
SLV	1898	0,302	2,496	0,324
SLC	2475	0,334	2,487	0,327

Tabella 9 – Parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$

La categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione considerata è la C ovvero “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”.

La categoria topografica è la T1 ovvero “*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ”. Il coefficiente  $S_T$  assume quindi il valore 1,00.

L’azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale, considerate tra loro indipendenti.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali è definito dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali è invece definito dalle relazioni:

Mandatario:		Mandanti:		
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b> pag. 22
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		

$$\begin{aligned}
0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_V} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \\
T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
\end{aligned}$$

con:

- S coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche
- $S = S_S \times S_T$ , con  $S_S$  coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica;
- $F_O$ ,  $F_V$  fattori che quantificano l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- $T_C$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da
- $T_C = C_C \times T_C^*$ , con  $T_C^*$  è definito in base al sito di riferimento e  $C_C$  funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$  periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,
- $T_B = T_C / 3$  ;
- $T_D$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione  $T_D = 4,0 (a_g/g) + 1,6$  ;
- $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione  $\eta = [10/(5 + \xi)]^{0,5} \geq 0,55$ .

Sotto l'effetto delle azioni sismiche, il rispetto degli Stati Limite Ultimi e di Esercizio si considera conseguito:

- per le sottostrutture e le fondazioni nei confronti dello Stato Limite di Danno (SLD) se sono soddisfatte tutte le verifiche nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), in quanto il requisito del sostanziale mantenimento in campo elastico della struttura nelle verifiche nei confronti dello SLU fornisce ampie garanzie rispetto alla sicurezza nei confronti dello SLD;

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>		
	<b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			<b>Dott. Geol. Giovanni Mancini</b>
				<b>Dott. Archeol. Luca Fornari</b>
				<b>Dott. Agr. Emiliano Pompei</b>

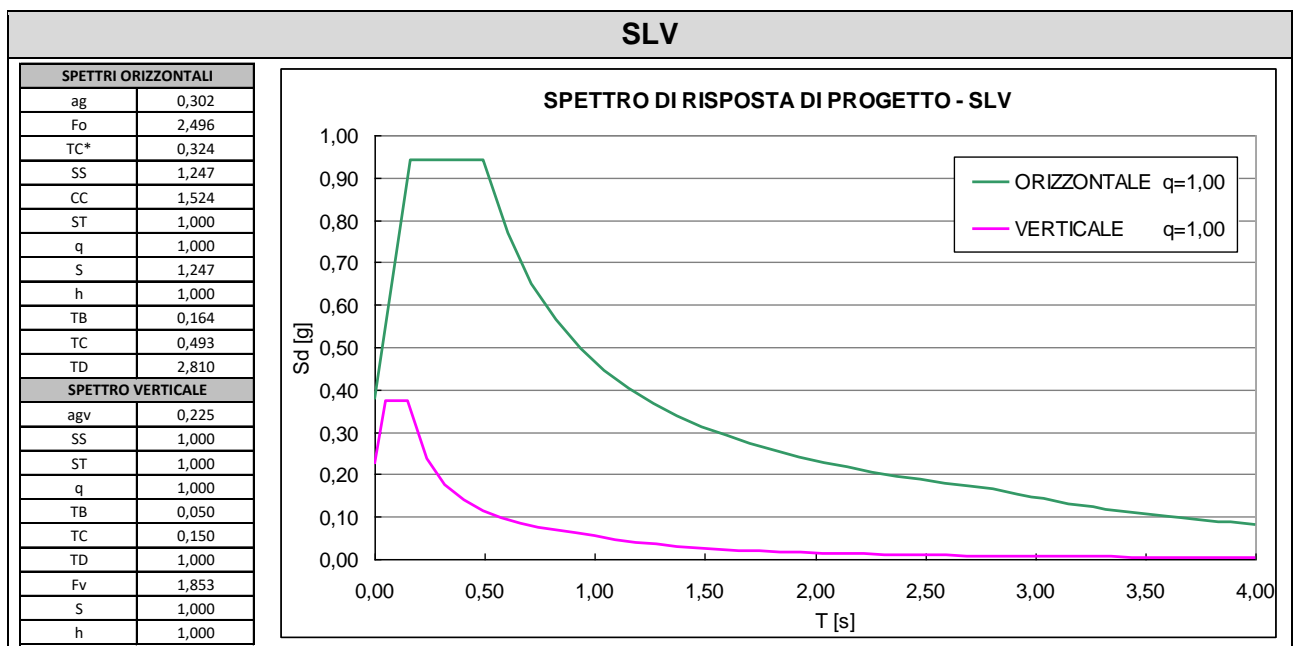
- nei confronti dello SLV se per la sottostruttura e la sovrastruttura risultano soddisfatte le verifiche di resistenza con i  $\gamma_M$  utilizzati per le costruzioni non isolate;
- se gli spostamenti degli isolatori in fase sismica valutati allo Stato Limite di Collasso (SLC) non superano i valori limite forniti dal fabbricatore del dispositivo stesso.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

I valori dei coefficienti  $\psi_{2j}$  sono riportati nella Tabella 2.5.I delle NTC 2018.

Gli spettri di risposta elastici allo SLV e SLC sono mostrati in Tabella 10.



**SLC****SPETTRI ORIZZONTALI**

ag	0,334
Fo	2,487
TC*	0,327
SS	1,202
CC	1,519
ST	1,000
q	1,000
S	1,202
h	1,000
TB	0,165
TC	0,496
TD	2,934

**SPETTRO VERTICALE**

agv	0,260
SS	1,000
ST	1,000
q	1,000
TB	0,050
TC	0,150
TD	1,000
Fv	1,939
S	1,000
h	1,000

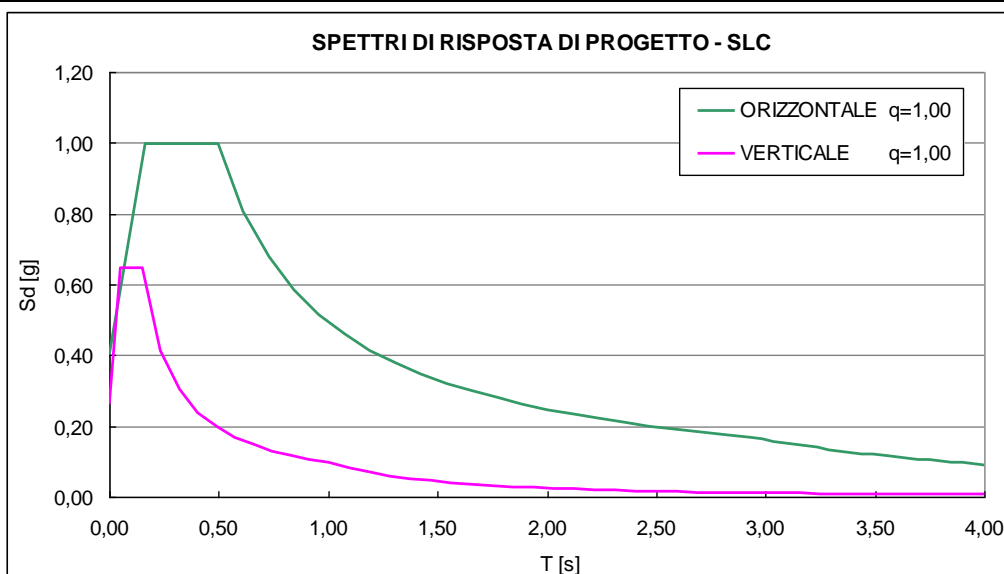


Tabella 10 – Definizione degli spettri di risposta elastici orizzontali e verticali

**3.4. Modello di calcolo**

L'analisi globale è stata effettuata, con riferimento ai carichi individuati al paragrafo precedente, su un modello agli elementi finiti di tipo "beam" comprensivo dell'impalcato, degli archi e delle pile in c.a., come mostrato in Figura 9 e Figura 10.

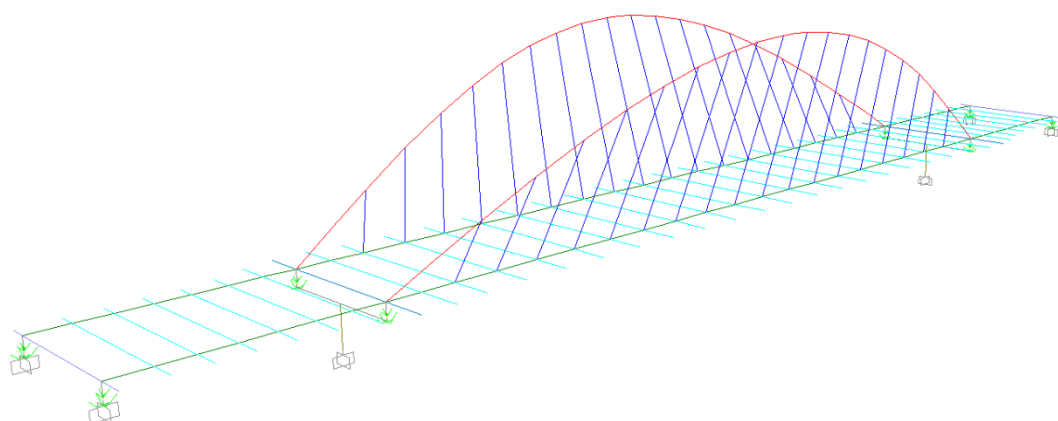


Figura 9 - Modello globale ad aste

Mandataria:


**3TI PROGETTI ITALIA**  
INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.

Mandanti:



Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei

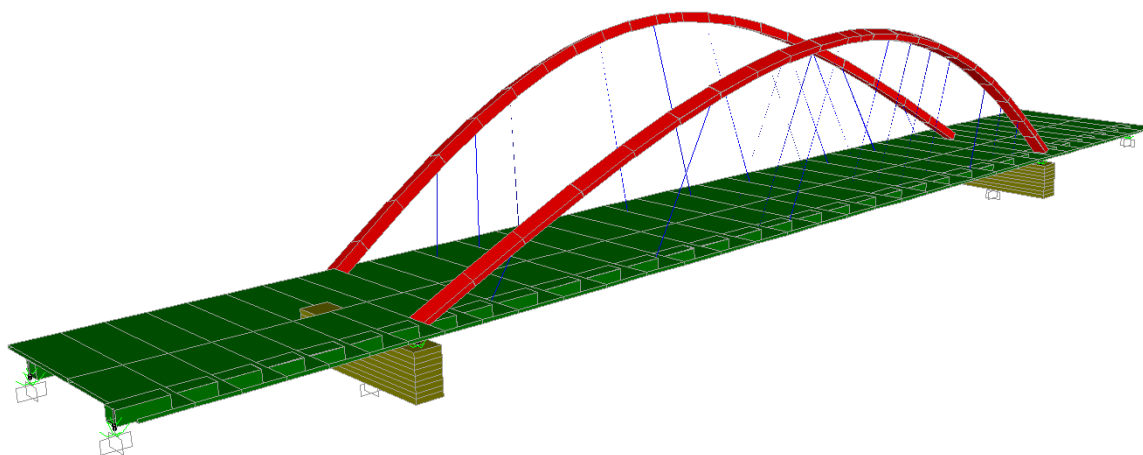


Figura 10 - Modello globale in vista estrusa

Le analisi agli elementi finiti sono state effettuate con l'utilizzo del programma SAP2000; in particolare gli effetti del transito dei carichi mobili sono stati studiati mediante l'apposito modulo interno al programma che li dispone in base alle linee di influenza in modo da determinare su ogni sezione i massimi valori di sollecitazione.

Le analisi, di tipo elastico lineare, sono eseguite per le fasi costruttive (montaggio della carpenteria metallica e getto della soletta) e per le situazioni di esercizio della struttura (a breve termine e a lungo termine).

Ai fini delle verifiche di resistenza, per quanto riguarda la prima condizione di carico, la soletta è stata considerata realizzata in un unico getto. Con tale ipotesi si sovrastimano le tensioni sulla carpenteria metallica e quindi si perviene ad una verifica conservativa della sicurezza.

La larghezza collaborante della soletta per la definizione delle caratteristiche inerziali della sezione, sia per l'analisi strutturale che per la verifica, è stata valutata con le indicazioni del punto 4.3.2.3 delle NTC 2018.

Per la disposizione dei carichi mobili sull'impalcato in esame si adotta la condizione di carico indicata in Figura 11.

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>		
			Dott. Geol. Giovanni Mancini	
			Dott. Archeol. Luca Fornari	
			Dott. Agr. Emiliano Pompei	



<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		rev: <b>01</b>   pag. 26

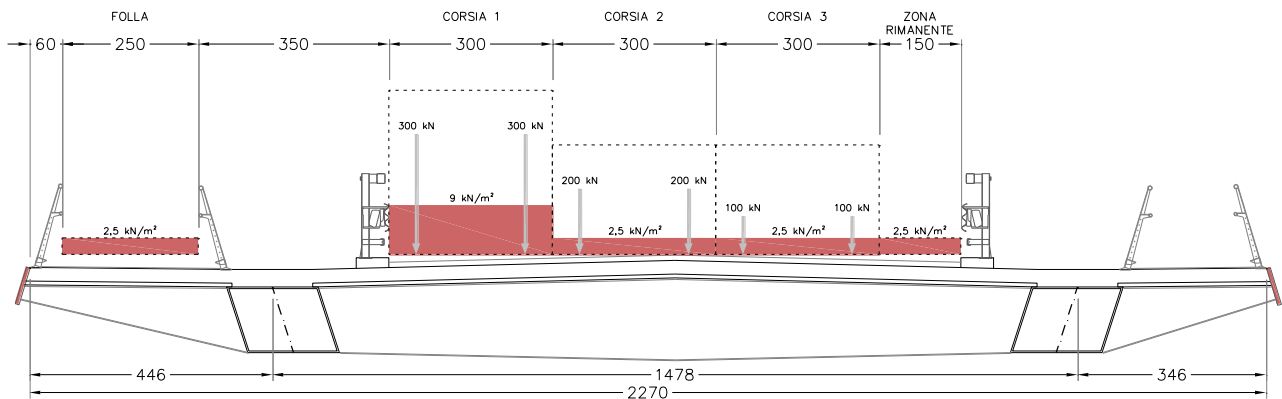


Figura 11 - Disposizione trasversale dei carichi mobili sull'impalcato

### 3.5. Risultati delle analisi

Di seguito si riporta una sintesi delle principali analisi svolte, che hanno consentito di dimensionare i principali elementi strutturali:

- Analisi statica in campo lineare;
- Analisi di buckling lineare per la determinazione del carico critico della sovrastruttura;
- Analisi modale per la determinazione dei modi di vibrare e delle relative frequenze.

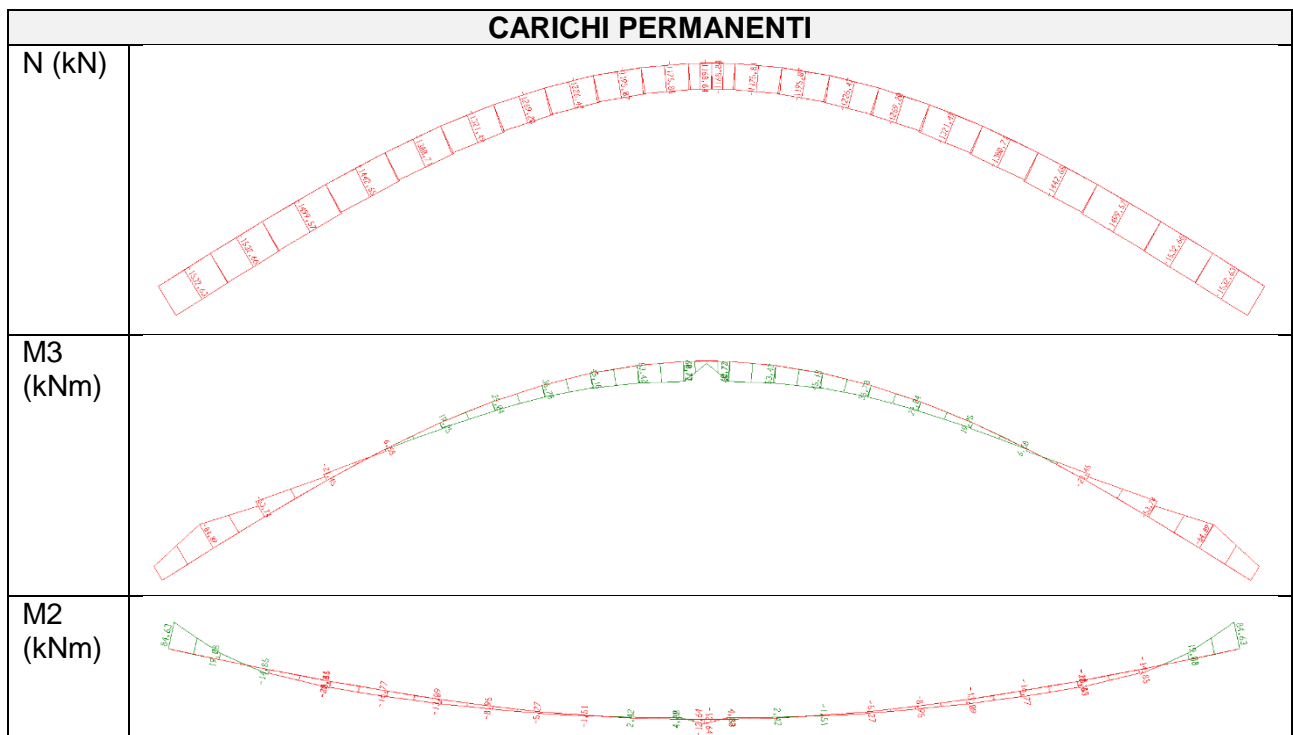
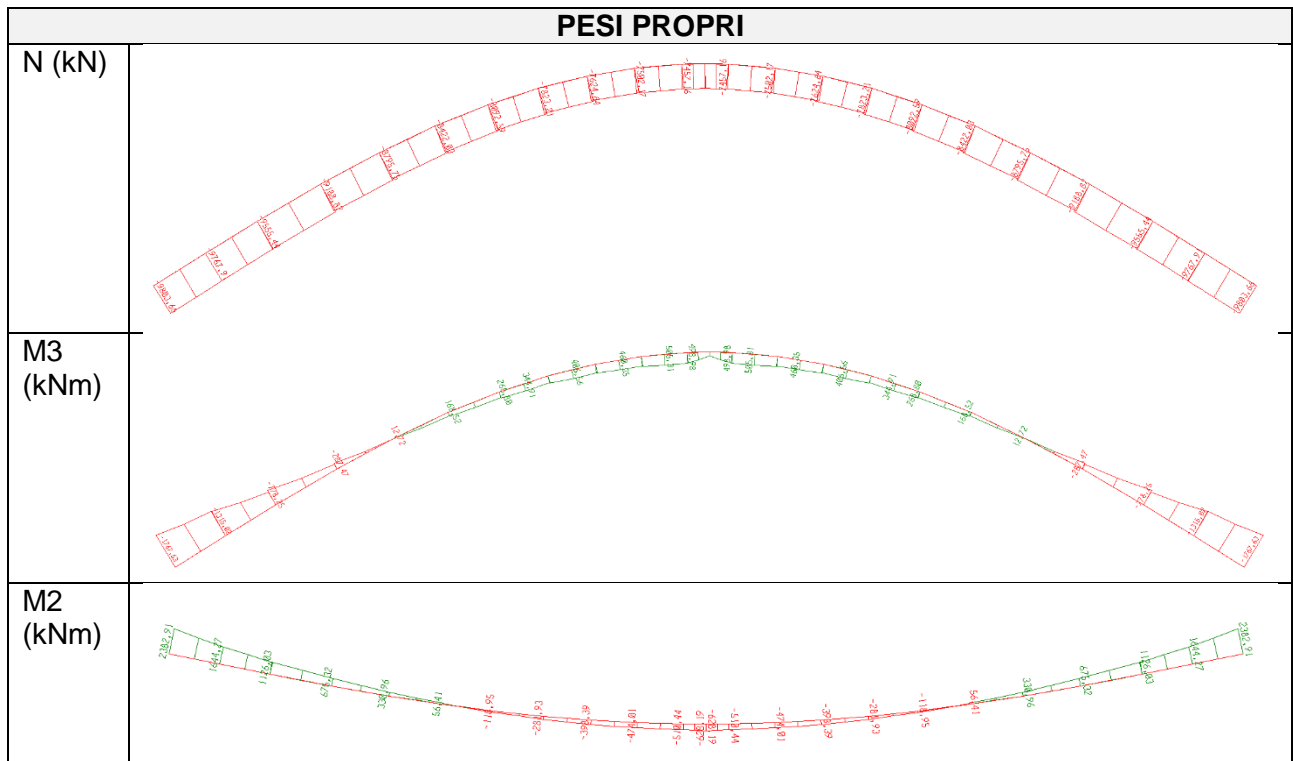
#### 3.5.1 Risultati dell'analisi statica

Si riportano di seguito le sollecitazioni indotte dai carichi elementari sull'arco e sulla trave di impalcato lato valle.

<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>	
	<b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.		<b>Dott. Geol. Giovanni Mancini</b>
			<b>Dott. Archeol. Luca Fornari</b>
			<b>Dott. Agr. Emiliano Pompei</b>

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		rev: <b>01</b> pag. 27

### Sollecitazioni sull'arco



Mandataria:		Mandanti:		
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

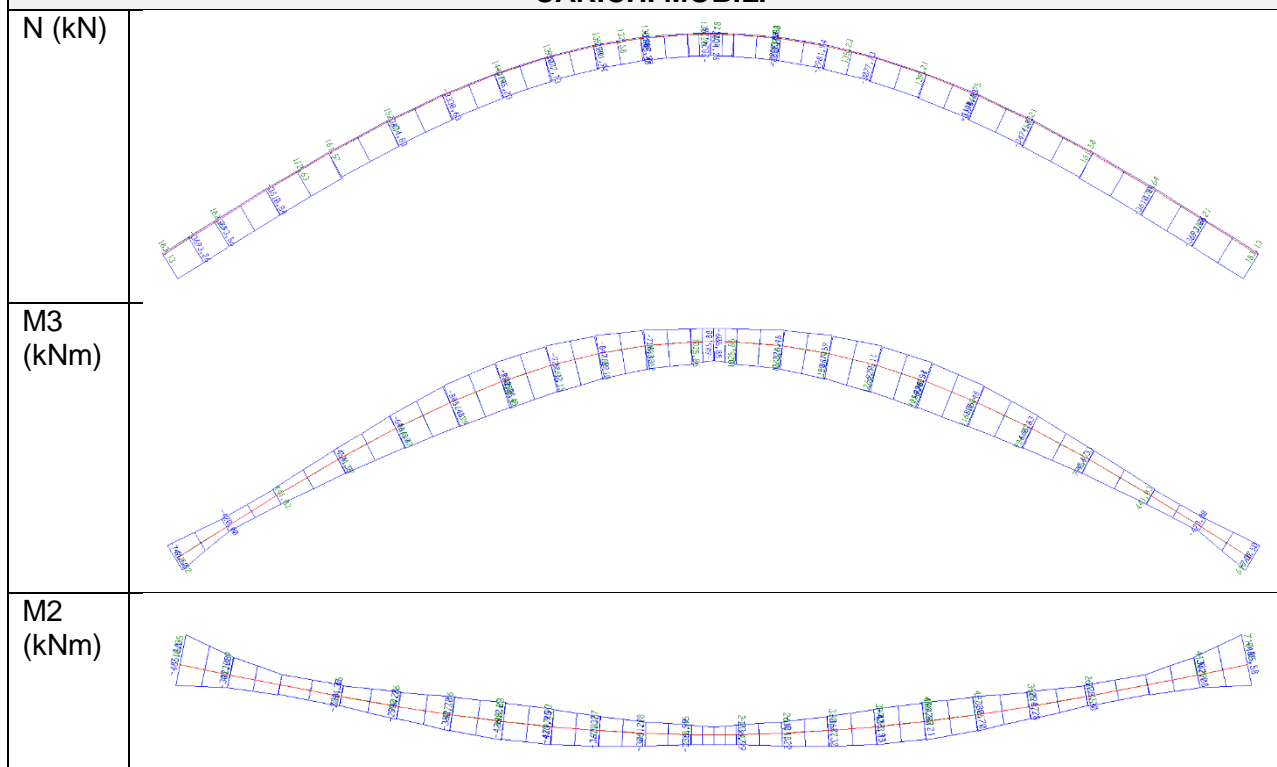
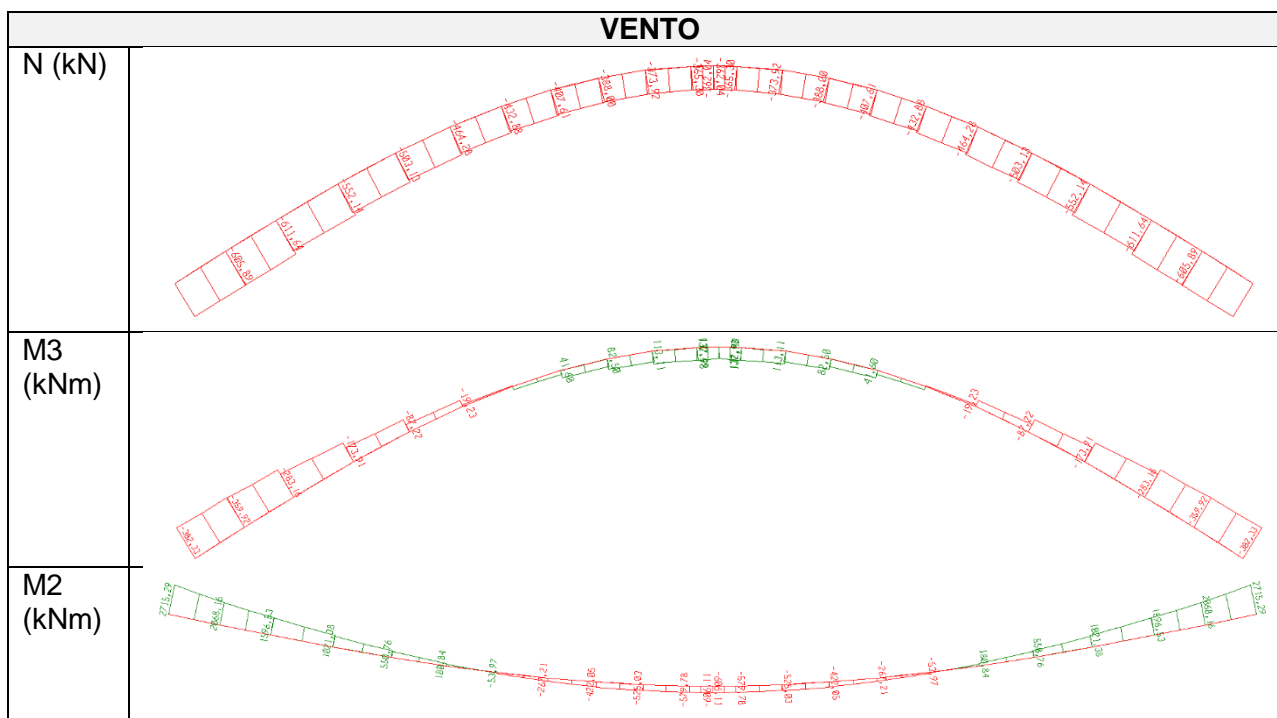
Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 28

**CARICHI MOBILI****VENTO**

Mandataria:



Mandanti:



Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei

**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

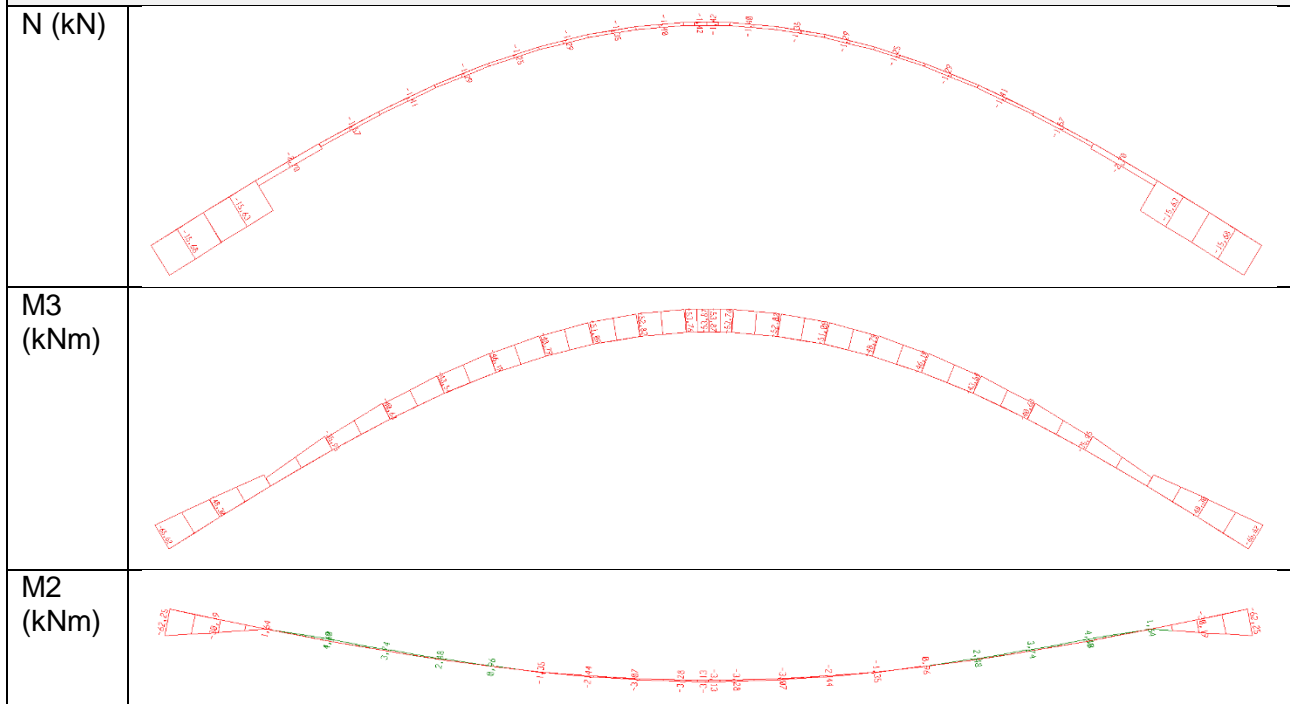
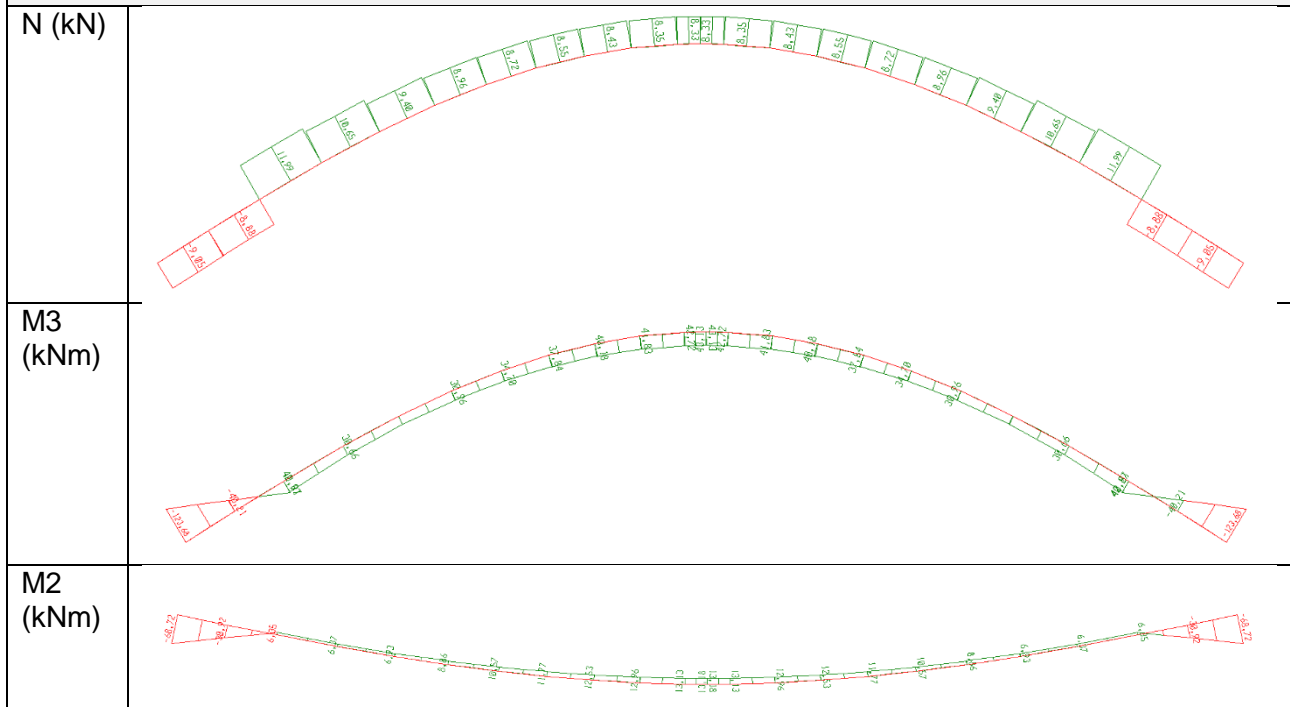
Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 29

**RITIRO****VARIAZIONI TERMICHE**

Mandataria:

**3TI PROGETTI ITALIA**  
INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.

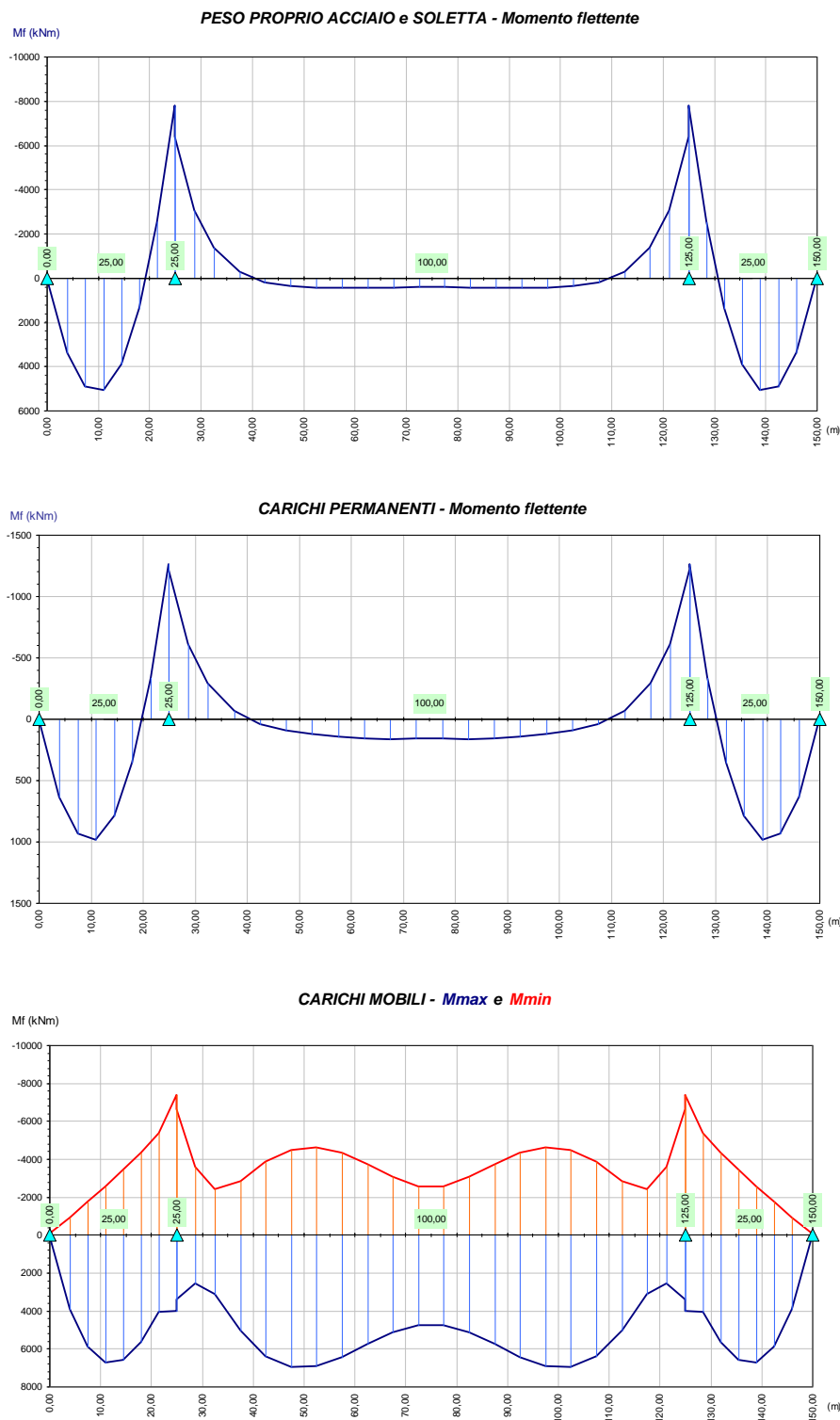
Mandanti:



Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei

**Sollecitazioni sull'impalcato - trave di valle**

Mandataria:

**3TI PROGETTI ITALIA**  
INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.

Mandanti:



Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei

# BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

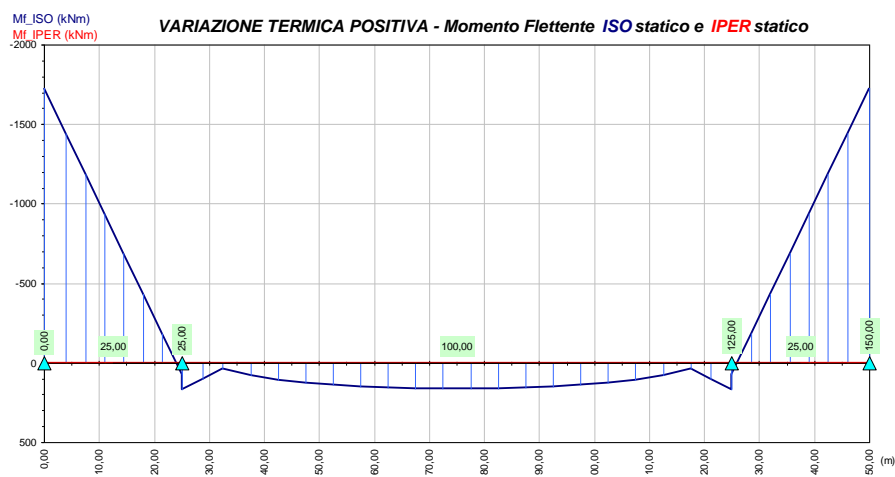
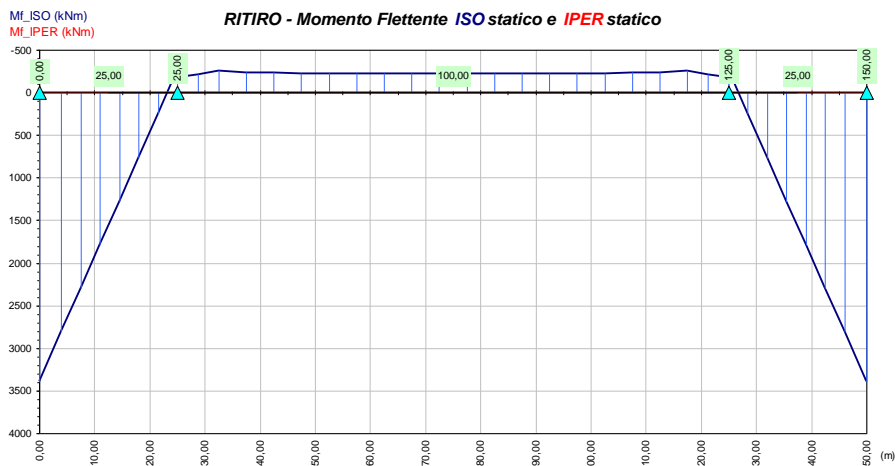
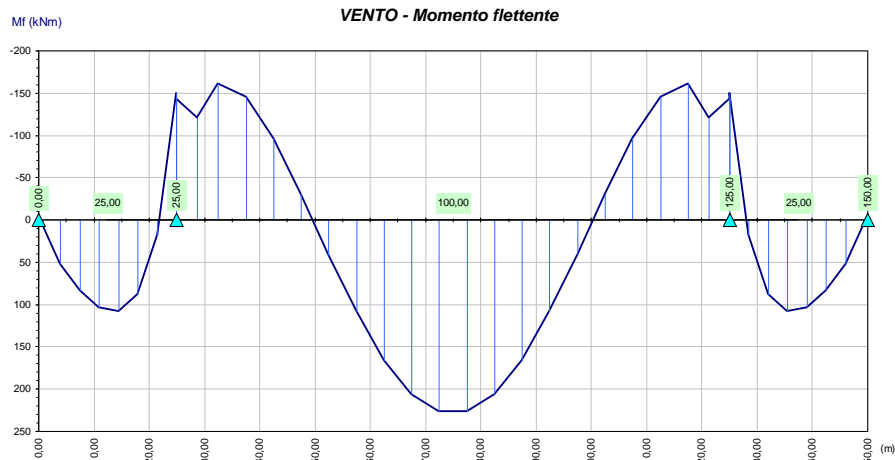
Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 31



Mandataria:



Mandanti:



Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei



<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b> pag. 32
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		

Tali sollecitazioni sono state utilizzate per effettuare il dimensionamento degli elementi strutturali principali e verificare le dimensioni assunte.

Si riporta a titolo di esempio la verifica di resistenza allo SLU dell'impalcato nella sezione di appoggio di pila e nella sezione di mezzzeria della campata centrale.

### Verifica di resistenza - Sezione di appoggio di pila

CARATTERISTICHE MECCANICHE ACCIAIO			
Coefficiente parziale acciaio	$g_{M0}$	1,05	---
Coefficiente parziale acciaio	$g_{M1}$	1,10	---
Tens. snervamento anima	$f_{yw}$	3550	Kg/cm <sup>2</sup>
Tens. snervamento flangia sup.	$f_{yfs}$	3550	Kg/cm <sup>2</sup>
Tens. snervamento flangia inf.	$f_{yfi}$	3550	Kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0,3	---
Modulo elastico	$E_a$	2060000	Kg/cm <sup>2</sup>

TRAVE IN ACCIAIO			
Altezza totale	$h_a$	166,0	cm
Larghezza ala superiore	$b_3$	168,0	cm
Spessore ala superiore	$t_3$	4,0	cm
Altezza anima	$b_2$	158,0	cm
Spessore anima	$t_2$	2,5	cm
Larghezza ala inf.	$b_1$	168,0	cm
Spessore ala inf.	$t_1$	4,0	cm
Area anima	$A_w$	395,0	cm <sup>2</sup>
Area totale	$A_a$	1548,6	cm <sup>2</sup>
Posiz. baricentro (Ga)	$Y_a$	93,0	cm
Inerzia rispetto a Ga	$I_a$	8238464,5	cm <sup>4</sup>

Mandatara:		Mandanti:	
	3TI PROGETTI ITALIA INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.		Dott. Geol. Giovanni Mancini
			Dott. Archeol. Luca Fornari
			Dott. Agr. Emiliano Pompei

## BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 33

SEZIONE TIPO 1			
		$n_1$	5,95
Acc.+Cls.+Arm. (Azioni di breve durata)			
Modulo elastico cls	$E_{c1}$	346218	Kg/cm <sup>2</sup>
Area	$A_1$	1822	cm <sup>2</sup>
Posiz. baricentro (G)	$Y_1$	104	cm
Inerzia rispetto a G	$I_1$	9405436	cm <sup>4</sup>
Mom. statico soletta	$S_1$	16449	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to F	$W_{1,F}$	-895120	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to E	$W_{1,E}$	-896554	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to D	$W_{1,D}$	-150681	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to C	$W_{1,C}$	-160999	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to B	$W_{1,B}$	94450	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to A	$W_{1,A}$	90803	cm <sup>3</sup>

SEZIONE TIPO 2			
		$n_2$	14,96
Acc.+Cls.+Arm. (Ritiro)			
Modulo elastico cls	$E_{c2}$	137701	Kg/cm <sup>2</sup>
Area	$A_2$	1814	cm <sup>2</sup>
Posiz. baricentro (G)	$Y_2$	103	cm
Inerzia rispetto a G	$I_2$	9372618	cm <sup>4</sup>
Mom. statico soletta	$S_2$	16002	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to F	$W_{2,F}$	-2232439	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to E	$W_{2,E}$	-2236000	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to D	$W_{2,D}$	-149465	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to C	$W_{2,C}$	-159649	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to B	$W_{2,B}$	94394	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to A	$W_{2,A}$	90739	cm <sup>3</sup>

SEZIONE TIPO 3			
		$n_3$	15,64
Acc.+Cls.+Arm. (Azioni di lunga durata)			
Modulo elastico cls	$E_{c3}$	131714	Kg/cm <sup>2</sup>
Area	$A_3$	1814	cm <sup>2</sup>
Posiz. baricentro (G)	$Y_3$	103	cm
Inerzia rispetto a G	$I_3$	9371671	cm <sup>4</sup>
Mom. statico soletta	$S_3$	15990	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to F	$W_{3,F}$	-2333369	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to E	$W_{3,E}$	-2337090	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to D	$W_{3,D}$	-149430	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to C	$W_{3,C}$	-159610	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to B	$W_{3,B}$	94393	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to A	$W_{3,A}$	90737	cm <sup>3</sup>

SEZIONE TIPO 4			
Acciaio+Armature			
Area	$A_4$	1808	cm <sup>2</sup>
Posiz. baricentro (G)	$Y_4$	103	cm
Inerzia rispetto a G	$I_4$	9350779	cm <sup>4</sup>
Mom. statico armature	$S_4$	15705	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to D	$W_{4,D}$	-148662	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to C	$W_{4,C}$	-158758	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to B	$W_{4,B}$	94357	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to A	$W_{4,A}$	90696	cm <sup>3</sup>
Modulo arm. sup.	$W_{4,A11}$	-164918	cm <sup>3</sup>

SEZIONE TIPO 5			
Solo Acciaio			
Area	$A_5$	1549	cm <sup>2</sup>
Modulo p.to D	$W_{5,D}$	-112792	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to C	$W_{5,C}$	-119327	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to B	$W_{5,B}$	92610	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to A	$W_{5,A}$	88625	cm <sup>3</sup>

	SOLLECITAZIONI			$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )							
	N (kN)	M (kNm)	Coef.	Sez. tipo	Fibra A	Fibra B	Fibra C	Fibra D	Fibra E	Fibra F	Fibra su Af1
Peso acciaio+Peso soletta in cls	-4	-7785	1,35	5	-1186	-1135	880	931	0	0	0
Vento	236	-150	0,9	4	-1	0	19	19	0	0	19
Carichi permanenti	0	-1260	1,5	4	-208	-200	119	127	0	0	115
Precompressione	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Cedimento appoggi	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Effetti ISO ritiro: soletta	10382	---	0	---	---	---	---	---	0	0	---
Effetti ISO ritiro: struttura mista	-10382	-263	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Effetti IPER ritiro: struttura mista	0	0	1,2	4	0	0	0	0	0	0	0
Effetti ISO var. term. positiva: soletta	-11408	---	0	---	---	---	---	---	0	0	---
Effetti ISO var. term. positiva: struttura mista	11408	70	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Effetti IPER var. term. positiva: struttura mista	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Carichi accidentali	9	-7354	1,35	4	-1094	-1051	626	668	0	0	603
Effetti ISO var. term. negativa: soletta	11408	---	0	---	---	---	---	---	0	0	---
Effetti ISO var. term. negativa: struttura mista	-11408	-70	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Effetti IPER var. term. negativa: struttura mista	0	0	0,9	4	0	0	0	0	0	0	0
					-2489	-2387	1644	1746	0	0	736
					0,74	0,71	0,49	0,52	0	0	736
					0,72	0,50	0,46	0,49	0	0	736
					$\gamma_{11}$ inferiore	$\gamma_{11}$ superiore	$\gamma_{11}$ min cls	$\gamma_{11}$ Af1			
					0,70	0,67	0,46	0,49	SLE TENSIONI - SIGMA		
						0,82	0,66		SLE TENSIONI - INTERAZ		
						0,82			max - interazione		
					INTERAZIONE SLU N-M-V						
					$\gamma_{11}$	0,50					
					$M_{t,Rd} / M_{pl,Rd}$	0,84					
					$\gamma_{1+3}$	---					
					$\gamma_{13}$	0,52					
					SLE TENSIONI - TAGLIO	0,46					
					$\gamma_{13}(C_w)$	0,53					

Mandataria:

Mandanti:

3TI PROGETTI ITALIA  
INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.

Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001	rev: <b>01</b>	pag. 34

## Verifica di resistenza - Sezione di mezzzeria della campata centrale

CARATTERISTICHE MECCANICHE ACCIAIO			
Coefficiente parziale acciaio	$g_{M0}$	<b>1,05</b>	---
Coefficiente parziale acciaio	$g_{M1}$	<b>1,10</b>	---
Tens. snervamento anima	$f_{yw}$	<b>3550</b>	Kg/cm <sup>2</sup>
Tens. snervamento flangia sup.	$f_{yfs}$	<b>3550</b>	Kg/cm <sup>2</sup>
Tens. snervamento flangia inf.	$f_{yfi}$	<b>3550</b>	Kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	$n$	<b>0,3</b>	---
Modulo elastico	$E_a$	<b>2060000</b>	Kg/cm <sup>2</sup>

TRAVE IN ACCIAIO			
Altezza totale	$h_a$	<b>126,0</b>	cm
Larghezza ala superiore	$b_3$	<b>168,0</b>	cm
Spessore ala superiore	$t_3$	<b>3,0</b>	cm
Altezza anima	$b_2$	<b>119,0</b>	cm
Spessore anima	$t_2$	<b>2,0</b>	cm
Larghezza ala inf.	$b_1$	<b>168,0</b>	cm
Spessore ala inf.	$t_1$	<b>4,0</b>	cm
Area anima	$A_w$	<b>238,0</b>	cm <sup>2</sup>
Area totale	$A_a$	<b>1414,0</b>	cm <sup>2</sup>
Posiz. baricentro (Ga)	$Y_a$	<b>56,0</b>	cm
Inerzia rispetto a Ga	$I_a$	<b>4619967,0</b>	cm <sup>4</sup>

SEZIONE TIPO 1				SEZIONE TIPO 3			
		$n_1$	5,95			$n_3$	15,64
Acc.+Cls.+Arm. (Azioni di breve durata)				Acc.+Cls.+Arm. (Azioni di lunga durata)			
Modulo elastico cls	$E_{c1}$	346218	Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo elastico cls	$E_{c3}$	131714	Kg/cm <sup>2</sup>
Area	$A_1$	1790	cm <sup>2</sup>	Area	$A_3$	1778	cm <sup>2</sup>
Posiz. baricentro (G)	$Y_1$	70	cm	Posiz. baricentro (G)	$Y_3$	70	cm
Inerzia rispetto a G	$I_1$	5983885	cm <sup>4</sup>	Inerzia rispetto a G	$I_3$	5946797	cm <sup>4</sup>
Mom. statico soletta	$S_1$	20082	cm <sup>3</sup>	Mom. statico soletta	$S_3$	19557	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to F	$W_{1,F}$	-637120	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to F	$W_{3,F}$	-1653355	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to E	$W_{1,E}$	-638262	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to E	$W_{3,E}$	-1656299	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to D	$W_{1,D}$	-107271	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to D	$W_{3,D}$	-105901	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to C	$W_{1,C}$	-113368	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to C	$W_{3,C}$	-111879	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to B	$W_{1,B}$	90368	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to B	$W_{3,B}$	90314	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to A	$W_{1,A}$	85220	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to A	$W_{3,A}$	85142	cm <sup>3</sup>
SEZIONE TIPO 2				SEZIONE TIPO 4			
		$n_2$	14,96			Acciaio+Armature	
Acc.+Cls.+Arm. (Ritiro)				Area			
Modulo elastico cls	$E_{c2}$	137701	Kg/cm <sup>2</sup>	Area	$A_4$	1771	cm <sup>2</sup>
Area	$A_2$	1778	cm <sup>2</sup>	Posiz. baricentro (G)	$Y_4$	70	cm
Posiz. baricentro (G)	$Y_2$	70	cm	Inerzia rispetto a G	$I_4$	5923779	cm <sup>4</sup>
Inerzia rispetto a G	$I_2$	5947839	cm <sup>4</sup>	Mom. statico armature	$S_4$	19231	cm <sup>3</sup>
Mom. statico soletta	$S_2$	19572	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to D	$W_{4,D}$	-105061	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to F	$W_{2,F}$	-1582040	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to C	$W_{4,C}$	-110965	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to E	$W_{2,E}$	-1584858	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to B	$W_{4,B}$	90280	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to D	$W_{2,D}$	-105940	cm <sup>3</sup>	Modulo p.to A	$W_{4,A}$	85093	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to C	$W_{2,C}$	-111920	cm <sup>3</sup>	Modulo arm. sup.	$W_{4,A11}$	-118040	cm <sup>3</sup>
Modulo p.to B	$W_{2,B}$	90315	cm <sup>3</sup>	SEZIONE TIPO 5			
Modulo p.to A	$W_{2,A}$	85144	cm <sup>3</sup>			Solo Acciaio	
				Area	$A_5$	1414	cm <sup>2</sup>
				Modulo p.to D	$W_{5,D}$	-66014	cm <sup>3</sup>
				Modulo p.to C	$W_{5,C}$	-68970	cm <sup>3</sup>
				Modulo p.to B	$W_{5,B}$	88820	cm <sup>3</sup>
				Modulo p.to A	$W_{5,A}$	82478	cm <sup>3</sup>

Mandataria:		Mandanti:	
 <b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
			Dott. Archeol. Luca Fornari
			Dott. Agr. Emiliano Pompei

**BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO**

Regione Marche – LOTTO 2

San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)

Relazione sulle strutture

Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001



rev: 01

pag. 35

	SOLLECITAZIONI			Sez. tipo	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )								
	N (kN)	M (kNm)	Coeff.		Fibra A	Fibra B	Fibra C	Fibra D	Fibra E	Fibra F	Fibra su Af1		
Peso acciaio+Peso soletta in cls	7435	420	1,35	5	779	774	628	624	0	0	0		
Vento	1403	226	0,9	1	94	93	53	52	9	9	54		
Carichi permanenti	1168	162	1,5	3	127	126	77	76	5	5	78		
Precompressione	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0		
Cedimento appoggi	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0		
Effetti ISO ritiro: soletta	10367	---	0	---	---	---	---	---	0	0	---		
Effetti ISO ritiro: struttura mista	-10367	-222	0	2	0	0	0	0	0	0	0		
Effetti IPER ritiro: struttura mista	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0		
Effetti ISO var. term. positiva: soletta	-11374	---	0,9	---	---	---	---	---	-9019	-9019	---		
Effetti ISO var. term. positiva: struttura mista	11374	164	0,9	1	589	588	559	558	94	94	560		
Effetti IPER var. term. positiva: struttura mista	0	0	0,9	1	0	0	0	0	0	0	0		
Carichi accidentali	1770	4752	1,35	1	886	843	-432	-464	-78	-78	-398		
Effetti ISO var. term. negativa: soletta	11374	---	0	---	---	---	---	---	0	0	---		
Effetti ISO var. term. negativa: struttura mista	-11374	-164	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
Effetti IPER var. term. negativa: struttura mista	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
					2476	2424	884	845	-8990	-8990	294		
					0,73	0,72	0,26	0,25					
					0,72		0,26		-8990		294		
					$\gamma_{11}$ inferiore		$\gamma_{11}$ superiore		$\sigma_{min}$ cls		$\sigma_{Af1}$		
					0,70	0,68	0,25	0,24	SLE TENSIONI - SIGMA				
						0,69	0,26		SLE TENSIONI - INTERAZ				
						0,69			max - interazione				
					INTERAZIONE SLU N-M-V								
					$\gamma_{11}$		0,31						
					$M_{t,Rd} / M_{pl,Rd}$		0,41						
					$\gamma_{1+3}$		---						
					$\gamma_{13}$		0,06						
					SLE TENSIONI - TAGLIO								
					$\gamma_{13}(C_w)$		0,06						

**3.5.2 Risultati dell'analisi di buckling**

Gli effetti della non-linearità geometrica sono trascurabili per l'impalcato, mentre l'arco è l'elemento compresso con la maggiore snellezza dell'intera struttura. Si tratta di un elemento snello con un sensibile "difetto" di verticalità, che produce una deviazione tra la direzione del carico gravitazionale da peso proprio ed il piano dell'arco.

E' stata pertanto eseguita un'analisi di buckling lineare della struttura per valutare il moltiplicatore critico dei carichi che comporta l'instabilità globale dell'arco fuori dal piano, assumendo come stato tensionale di riferimento quello indotto dai pesi propri, dai carichi permanenti e dai carichi mobili disposti sulla campata centrale.

Si è ottenuto così un moltiplicatore critico minimo  $\alpha_{cr}$  pari a 12,65 per deformazioni associate all'arco, come visibile in Figura 12.

Mandatario:		Mandanti:		
				Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei

<b>BRETELLA DI COLLEGAMENTO LUNGOTENNA - PORTO S. ELPIDIO</b>		
Regione Marche – LOTTO 2		
San Marco – Svincolo autostrada A 14 Porto S. Elpidio (FM)		
Relazione sulle strutture		rev: <b>01</b>   pag. 36
Codice documento: 15347-PFTE-01-STR-RPT-001		

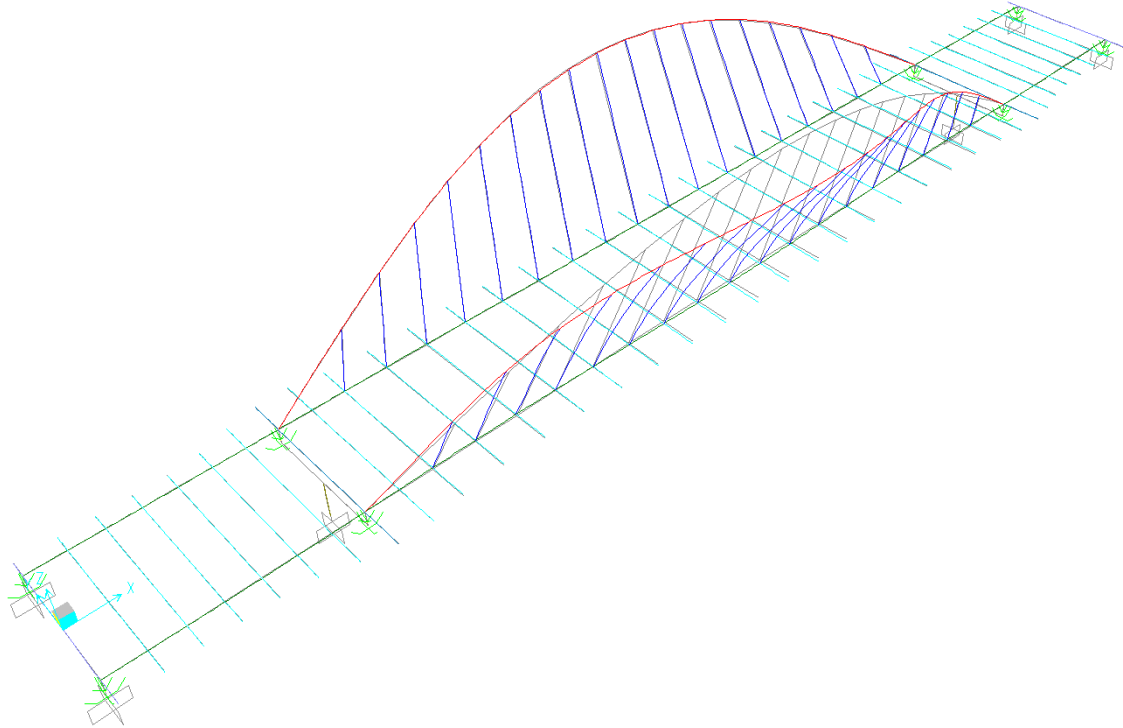


Figura 12 - Primo modo fuori dal piano

Poiché il moltiplicatore dei carichi applicati che induce l'instabilità globale della struttura,  $\alpha_{cr}$ , è risultato maggiore di 10, come prescritto al par. 4.2.3.4 delle NTC 2018, si può condurre l'analisi globale della struttura con la teoria del primo ordine trascurando gli effetti delle deformazioni.

### 3.5.3 Risultati dell'analisi modale

L'analisi modale è condotta per determinare i modi di vibrare della struttura e le relative frequenze. Nell'analisi si considerano le masse strutturali e quelle associate ai pesi permanenti portati. Sono escluse le masse associate ai sovraccarichi variabili.

Il comportamento del ponte è quello tipico di una struttura isolata. Di seguito si riportano i principali risultati delle analisi in oggetto.

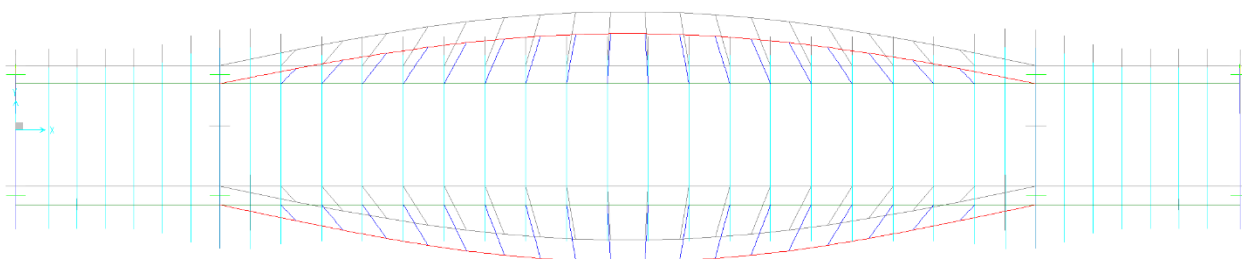
<b>Mandataria:</b>		<b>Mandanti:</b>		
	<b>3TI PROGETTI ITALIA</b> INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.			Dott. Geol. Giovanni Mancini
				Dott. Archeol. Luca Fornari
				Dott. Agr. Emiliano Pompei



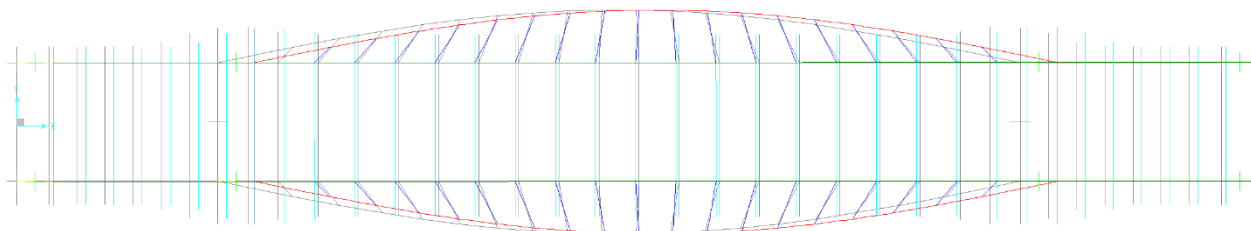
MODO	PERIODO	FREQUENZA	FORMA MODALE
	s	Hz	
1	2,93	0,34	1° TRASLAZIONALE TRASVERSALE
2	2,91	0,34	1° TRASLAZIONALE LONGITUDINALE
3	2,29	0,44	1° TORSIONALE

*Tabella 11 - Classificazione dei primi modi di vibrare*

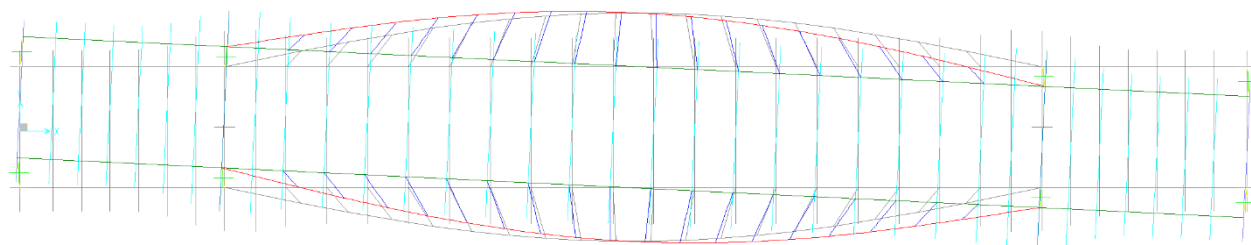
Forma del modo 1



Forma del modo 2



Forma del modo 3



Mandataria:

**3TI PROGETTI ITALIA**  
INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.

Mandanti:



Dott. Geol. Giovanni Mancini

Dott. Archeol. Luca Fornari

Dott. Agr. Emiliano Pompei