

**S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"**  
**TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA**  
**1° stralcio: Madonna di Baiano-Fiorenzuola**

**SUPPORTO AGGIORNAMENTO PROG. DEFINITIVO**

COD. **PG143**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Federico Durastanti  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
 Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

**Il Responsabile di Progetto**

Arch. Pianificatore Marco Colazza

**Il Responsabile del Procedimento**

Dott. Ing.  
 Alessandro Micheli

**PROTOCOLLO**

**DATA**

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



Dott.Ing. N.Granieri  
 Dott.Arch. N.Kamenicky  
 Dott.Ing. V.Truffini  
 Dott.Arch. A.Bracchini  
 Dott.Ing. F.Durastanti  
 Dott.Ing. E.Bartolucci  
 Dott.Geol. G.Cerquiglini  
 Geom. S.Scopetta  
 Dott.Ing. L.Sbrenna  
 Dott.Ing. E.Sellari  
 Dott.Ing. L.Dinelli  
 Dott.Ing. L.Nani  
 Dott.Ing. F.Pambianco  
 Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini  
 Dott. Ing. S.Sacconi  
 Dott. Ing. G.Cordua  
 Dott. Ing. V.De Gori  
 Dott. Ing. C.Consorti  
 Dott. Ing. F.Dominici

Dott. Ing. V.Rotisciani  
 Dott. Ing. F.Macchioni  
 Geom. C.Vischini  
 Dott. Ing. V.Piunno  
 Dott. Ing. G.Pulli  
 Geom. C.Sugaroni



**OPERE D'ARTE MINORI**  
**CAVALCAVIA CIMITERO**

**Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.**

**CODICE PROGETTO**

**NOME FILE**

T00-CV01-STR-RE01

**REVISIONE**

**SCALA:**

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

L O P G 1 4 3    D    2 0 0 7

CODICE ELAB.

T 0 0 C V 0 1 S T R R E 0 1

A

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Emissione	30/11/2020	F.Brunori	F.Durastanti	N.Granieri

**PONTE CIMITERO:  
relazione impalcato**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
1.1	GENERALITA' .....	3
1.2	FASI REALIZZATIVE .....	6
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
1.4	METODO E PARAMETRI DI CALCOLO .....	6
1.5	PRESCRIZIONE MATERIALI E LIMITI TENSIONALI .....	7
<b>2</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>GEOMETRIA IMPALCATO .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>GEOMETRIA TRAVE .....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>SOLLECITAZIONI .....</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>PROGETTO A FLESSIONE DELLA TRAVE .....</b>	<b>33</b>
9.1	SLE – CALCOLO DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO .....	33
9.2	SLU – CALCOLO A ROTTURA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE .....	39
<b>10</b>	<b>IMPALCATO: EFFETTI LOCALI .....</b>	<b>52</b>
10.1	SOLETTA .....	52
10.1.1	Verifica sbalzo .....	53
10.1.2	Verifica campo .....	62
10.2	Traversi .....	71
10.2.1	Verifiche di resistenza .....	72
<b>11</b>	<b>REAZIONI VINCOLARI .....</b>	<b>76</b>
<b>12</b>	<b>Appendice 1: FENOMENI LENTI .....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 GENERALITA'

Oggetto della presente relazione è l'analisi, ai sensi delle NTC 2018, dell'impalcato del cavalcavia "Cimitero" afferente alla "Strada delle tre valli umbre" nel tratto Eggi - Acquasparta.

Il cavalcavia ha sezione stradale ad unica carreggiata con impalcato largo 8 m. Lo sviluppo del cavalcavia è di 29 m su una campata. In corrispondenza delle spalle, realizzate su paratie di pali di grande diametro, ci sono tre appoggi (uno sotto ogni trave). I dispositivi di vincolo dell'impalcato alla sottostruttura sono in acciaio-teflon e sono composti da un appoggio fisso e due unidirezionali trasversali sulla spalla fissa e uno unidirezionale longitudinale più due multidirezionali sulla spalla mobile. L'impalcato è costituito da 3 travi prefabbricate in CAP a V con contro soletta e soletta in CA gettata in opera di spessore 25 cm. La geometria della sezione trasversale tipo, la sezione longitudinale e quella trasversale in spalla sono mostrate di seguito.

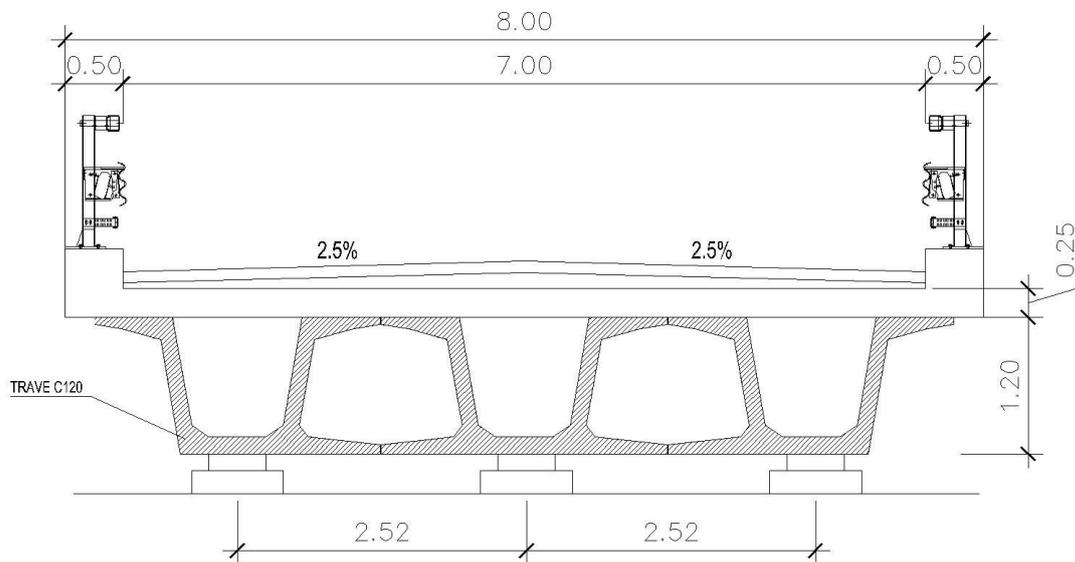


Figura 1-1: sezione trasversale tipo.

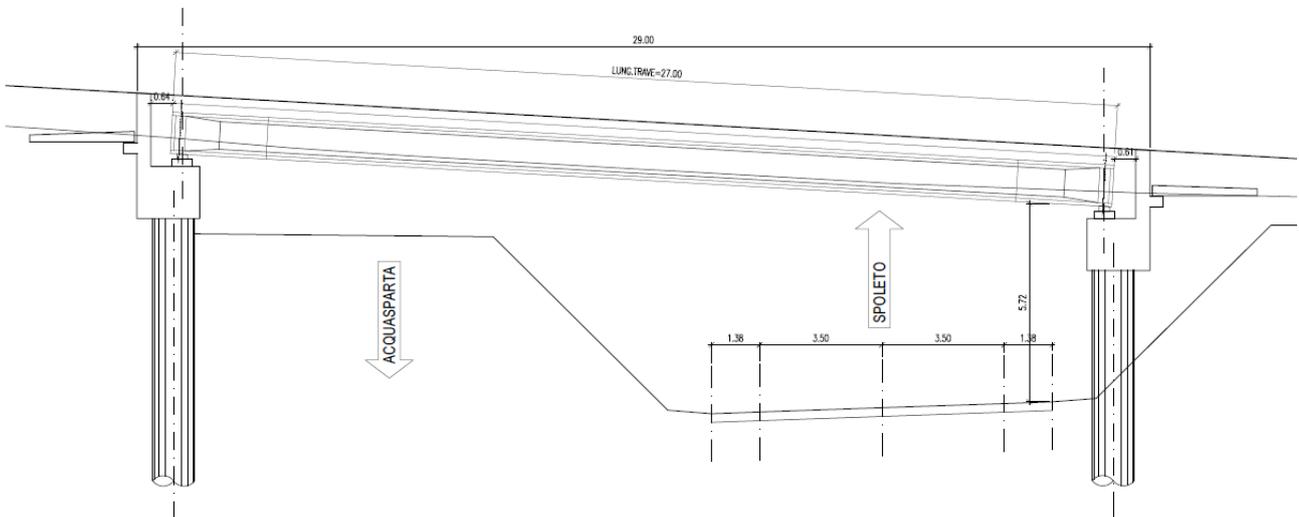


Figura 1-2: sezione longitudinale.

Le spalle sono realizzate un paratie di pali di grande diametro (1200 mm) profonde 18 m e 16 m rispettivamente per la spalla fissa e per quella mobile. Il prospetto della spalla su pali è mostrato di seguito.

Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

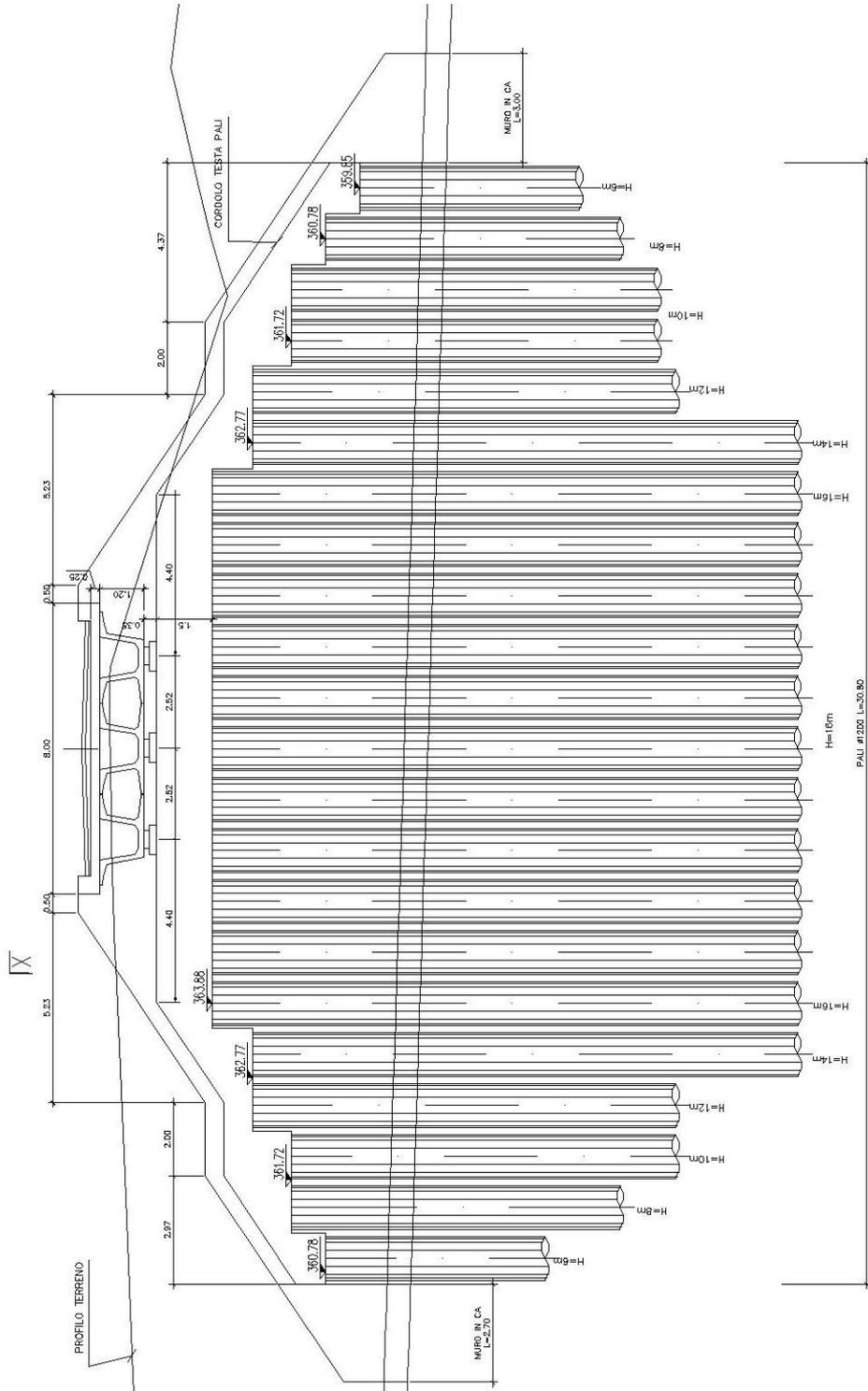


Figura 1-3: prospetto spalla.

## **1.2 FASI REALIZZATIVE**

Le opere saranno realizzate secondo la seguente successione di fasi:

- 1 - Prescavo per regolarizzazione superficiale e realizzazione piano di esecuzione di pali  $\Phi 1200$ .
- 2 - Realizzazione paratie e selle di appoggio
- 3 - Posa delle travi in c.a.p
- 4 - Realizzazione della soletta di completamento dell'impalcato
- 5 - Scavo per realizzazione sede stradale Acquasparta - Spoleto

In futuro sarà eseguito anche lo scavo per la realizzazione della sede stradale Spoleto - Acquasparta

## **1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I calcoli strutturali sono stati redatti nella piena osservanza delle normative vigenti, con particolare riferimento al **DECRETO MINISTERIALE 17 gennaio 2018 "AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"**.

## **1.4 METODO E PARAMETRI DI CALCOLO**

Il calcolo delle sollecitazioni è condotto in campo elastico lineare mediante modelli della struttura formulati secondo la teoria degli elementi finiti (maggiori esplicazioni si rimandano al seguito).

Le verifiche sono eseguite con il **metodo semiprobabilistico agli Stati Limite**. Si effettuano le seguenti verifiche:

- SLU - verifiche di resistenza;
- SLE - verifiche di apertura delle fessure, combinazioni rara e frequente;
- SLE - verifica dello stato tensionale sull'impalcato in esercizio;

Le unità di misura adottate per azioni e sollecitazioni sono i kN per le forze e i kN m per i momenti; sono positivi gli sforzi normali di trazione e i momenti che tendono le fibre inferiori. L'unità di misura per le tensioni è il MPa ( $N/mm^2$ ), si assumono positive le tensioni di trazione.

## 1.5 PRESCRIZIONE MATERIALI E LIMITI TENSIONALI

### CALCESTRUZZO PER TRAVI PREFABBRICATE

	Classe di resistenza		C45/55
$R_{ck} =$	resistenza caratteristica cubica	MPa	55
$f_{ck} =$	resistenza caratteristica cilindrica	MPa	45
$f_{cd} =$	resistenza di progetto a compressione	MPa	25.5
$f_{ctk} =$	resistenza a trazione per flessione caratteristica	MPa	3.19
$f_{ctk} =$	resistenza a trazione caratteristica	MPa	2.66
$E_{cm} =$	modulo elastico	MPa	36283

#### Tensioni iniziali nel conglomerato

$\sigma_{c,c} = 0.60 f_{ckj}$	tensione ammissibile a compressione	MPa	22.2
$\sigma_{c,t} = 0.05 f_{ckj}$	tensione ammissibile a trazione (senza l'aggiunta di armatura sussidiaria)	MPa	1.8
$f_{ckj} =$	resistenza caratteristica a compressione del conglomerato a j giorni di stagionatura	MPa	36.9
avendo assunto			
$R_{ckj} =$	resistenza caratteristica a compressione del conglomerato a j giorni di stagionatura	MPa	44.5
$E_{ckj} =$	modulo elastico del conglomerato a j giorni di stagionatura	MPa	34531

#### Tensioni in esercizio nel conglomerato in ambiente moderatamente aggressivo

$\sigma_{c,c} = 0.60 f_{ck}$	tensione ammissibile a compressione	MPa	<b>27.0</b>
$\sigma_{c,t} = 0.03 f_{ck}$	tensione ammissibile a trazione (senza l'aggiunta di armatura sussidiaria)	MPa	<b>1.4</b>

Classe di esposizione XC4

## CALCESTRUZZO PER SOLETTA E TRAVERSI

	Classe di resistenza		<b>C32/40</b>
$R_{ck} =$	resistenza caratteristica cubica	MPa	40
$f_{ck} =$	resistenza caratteristica cilindrica	MPa	32.0
$f_{cd} =$	resistenza di progetto a compressione	MPa	18.1
$f_{ctk} =$	resistenza a trazione per flessione caratteristica	MPa	2.54
$f_{ctk} =$	resistenza a trazione caratteristica	MPa	2.12
$E_{cm} =$	modulo elastico	MPa	33346

### *Tensioni in esercizio nel conglomerato in ambiente moderatamente aggressivo*

$\sigma_{c,c} = 0.60 f_{ck}$	tensione ammissibile a compressione	MPa	<b>19.2</b>
$\sigma_{c,t} = 0.03 f_{ck}$	tensione ammissibile a trazione (senza l'aggiunta di armatura sussidiaria)	MPa	<b>1.0</b>

Classe di esposizione XC4

## ACCIAIO DA PRECOMPRESSO

### *Trefoli stabilizzati da 0.6"*

$f_{ptk} =$	tensione caratteristica di rottura	MPa	1860
$f_{p(1)k} =$	tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	MPa	1670
$f_{pyd} =$	resistenza di progetto	MPa	1452
$E_s =$	modulo elastico	MPa	195000

### *Tensioni iniziali*

$\sigma_{spi} = 0.9 f_{p(1)k}$	tensione ammissibile nell'acciaio all'atto della precompressione	MPa	1503
--------------------------------	--	-----	------

### *Tensioni in esercizio*

$\sigma_{sp} = 0.8 f_{p(1)k}$	tensione ammissibile nell'acciaio in esercizio	MPa	<b>1336</b>
-------------------------------	--	-----	-------------

## ACCIAIO DA PRECOMPRESSO

### Barre Dywidag

$f_{ptk}$ =	tensione caratteristica di rottura	MPa	1030
$f_{p(1)k}$ =	tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	MPa	835
$f_d$ =	resistenza di progetto	MPa	726
$E_s$ =	modulo elastico	MPa	200000

### Tensioni iniziali

$\sigma_{spi}$ =	0.85 tensione ammissibile nell'acciaio all'atto della precompressione	MPa	710
------------------	---	-----	-----

## ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

### B450 C

$f_{yk}$ =	tensione caratteristica di snervamento	MPa	450
$f_{yd}$ =	resistenza di progetto	MPa	391
$E_s$ =	modulo elastico	MPa	206000

### Tensioni in esercizio

$\sigma_s = 0.6 f_{yk}$	tensione ammissibile nell'acciaio in esercizio	MPa	270
-------------------------	--	-----	-----

## CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONE SPALLE E MURI

### Classe di resistenza

### C32/40

$R_{ck}$ =	resistenza caratteristica cubica	MPa	40
$f_{ck}$ =	resistenza caratteristica cilindrica	MPa	32
$f_{cd}$ =	resistenza di progetto a compressione	MPa	18.1
$f_{ctk}$ =	resistenza a trazione per flessione caratteristica	MPa	2.54
$f_{ctk}$ =	resistenza a trazione caratteristica	MPa	2.12
$E_{cm}$ =	modulo elastico	MPa	33346

Classe di esposizione XC3

## CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI SPALLE E MURI

### Classe di resistenza

### C25/30

$R_{ck}$ =	resistenza caratteristica cubica	MPa	30
$f_{ck}$ =	resistenza caratteristica cilindrica	MPa	25
$f_{cd}$ =	resistenza di progetto a compressione	MPa	14.2
$f_{cfk}$ =	resistenza a trazione per flessione caratteristica	MPa	2.15
$f_{ctk}$ =	resistenza a trazione caratteristica	MPa	1.80
$E_{cm}$ =	modulo elastico	MPa	31476
Classe di esposizione XC2			

## 2 ANALISI DEI CARICHI

Si riporta nel seguito una descrizione dei carichi considerati per il dimensionamento delle strutture in oggetto.

### PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE (g1)

$p_T =$	peso proprio trave	kN/m	19.46
$p_R =$	peso proprio ringrosso	kN/m	2.79
$p_s =$	peso proprio soletta	kN/m	16.67
$p_t =$	peso proprio traverso	kN/m	9.00

### PESO CARICHI PERMANENTI PORTATI (g2)

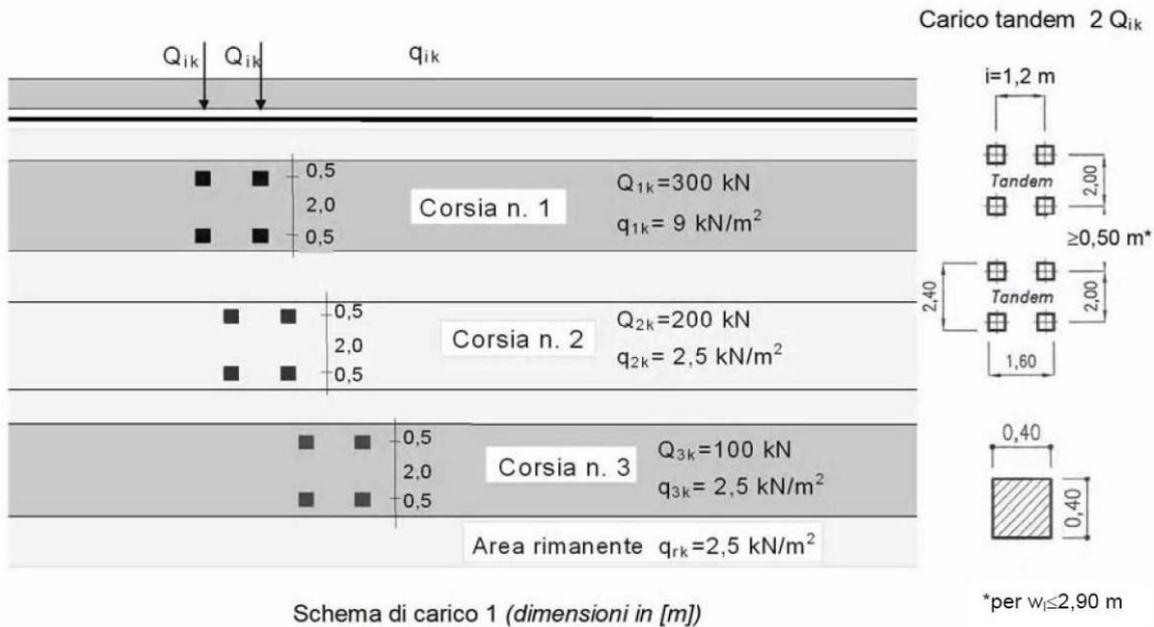
$p_{pav} =$	peso pavimentazione	kN/m <sup>2</sup>	2.50
$p_{mp} =$	peso massetto pendenze	kN/m <sup>2</sup>	0.88
$p_{csx} =$	peso cordolo sinistro	kN/m	2.50
$p_{cdx} =$	peso cordolo destro	kN/m	2.50
$p_{bs} =$	peso singola barriera di sicurezza	kN/m	2.00
$p_v =$	peso singola veletta	kN/m	1.00
$p_{spp,tot} =$	peso totale/impalcato	kN/m	34.63
$p_{spp} =$	peso/trave	kN/m	11.54

### CARICHI MOBILI (q1)

dm 90

dm 08/EC

$\emptyset =$	coefficiente di amplificazione dinamica	1
---------------	---	---



### Mezzo convenzionale TS/q1a

n° assi		2
carico asse	kN	300
carico totale assi	kN	600

### UDL/q1b

carico ripartito linearmente	kN/m	27
distanza UDL-TS	m	0

### Corsie e linee di carico

larghezza convenzionale corsie	m	3
numero massimo corsie		2
disposizione trave di progetto: sinistra "S"/destra "D"		D

corsia numero		1	2
eccentricità (rispetto al margine destro)		2.00	5.00
coefficiente di simultaneità carico TS/q1a		1.00	0.67
coefficiente di simultaneità carico UDL/q1b		1.00	0.28

### Folla qf

carico ripartito superficialmente	kN/m²	0
su marciapiede sinistro "S"/ destro "D"		D
larghezza marciapiede	m	0.5
carico ripartito linearmente	kN/m	0
eccentricità carico folla	m	0.25

coefficiente di simultaneità 0.5

### AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE (q3)

La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

$Q_3 =$	forza di frenamento o di accelerazione	kN	434
$L =$	lunghezza totale della zona caricata	m	27.5
$n_c =$	numero campate continue per azioni longitudinali		1
$L_c =$	lunghezza singola campata	m	27.5

### AZIONE CENTRIFUGA (q4)

Il carico concentrato  $Q_4$ , applicato a livello della pavimentazione, agisce in direzione normale all'asse del ponte.

$Q_4 =$	forza centrifuga	kN	0
$R =$	raggio planimetrico	m	1500
$Q_v =$	carico totale dovuto agli assi tandem	kN	1000

### AZIONE DEL VENTO (q5)

$q_5 =$	pressione del vento	kN/m <sup>2</sup>	2.50
$h_v =$	altezza superficie investita	m	4.59
$Q_5 =$	carico lineare	kN/m	11.5
$m_5 =$	momento torcente lineare	kNm/m	26.4

### AZIONE SISMICA (q6)

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Opera di tipo 2

$V_N =$  vita nominale 50 anni

Classe d'uso IV

$C_U =$  coefficiente d'uso 2.0

$V_R =$  periodo di riferimento per l'azione sismica 100 anni

Stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV

$P_{VR} =$	probabilità di superamento nel periodo di riferimento	10%
$T_R =$	Periodo di ritorno dell'azione sismica	949 anni

**PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA**

LAT =	latitudine	42.745
LON =	longitudine	12.738
$a_g =$	accelerazione orizzontale massima al sito	2.275 m/s <sup>2</sup>
$F_0 =$	coefficiente di amplificazione spettrale massima	2.405
$T_{C^*} =$	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	0.333 s

**CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE**

	<i>Categoria di sottosuolo</i>	<b>D</b>
$S_s =$	coefficiente di amplificazione stratigrafica	1.408
$C_c =$	coefficiente di sottosuolo	2.167
	<i>Categoria topografica</i>	<b>T1</b>
$S_T =$	coefficiente di amplificazione topografica	1.00
$S =$	$S_s \times S_T$	1.408
$\xi =$	coefficiente di smorzamento viscoso	5%
$\eta =$	$\sqrt{10/(5+\xi)}$	1.00

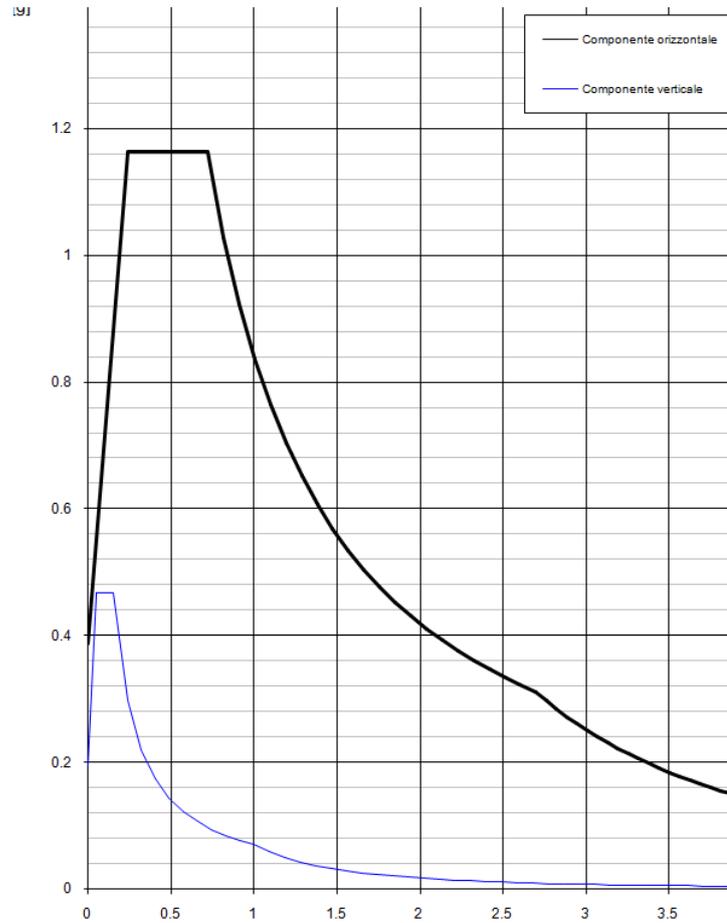
**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE**

*Componenti orizzontali*

$T_C =$	periodo di inizio tratto a v = cost	0.72 s
$T_B =$	periodo di inizio tratto ad a = cost	0.24 s
$T_D =$	periodo di inizio tratto a s = cost	2.70 s

*Componenti verticali*

$F_v =$	coefficiente di amplificazione spettrale massima	1.702
$T_C =$	periodo di inizio tratto a v = cost	0.15 s
$T_B =$	periodo di inizio tratto ad a = cost	0.05 s
$T_D =$	periodo di inizio tratto a s = cost	1.00 s



### RESISTENZE PARASSITE DEI VINCOLI (q7)

$\mu$  = coefficiente di attrito

0.03

$q_7$  = carico verticale appoggio x  $\mu$

### 3 COMBINAZIONI DI CARICO

Azioni permanenti

g1 = peso proprio delle strutture

g2 = carichi permanenti portati

Azioni variabili

q1 = carichi mobili

q3 = azione longitudinale di frenamento o di accelerazione

q4 = azione centrifuga

q5 = azione del vento

q6 = azione sismica

q7 = resistenze parassite dei vincoli

q8 = urto di veicoli in svio

Distorsioni

$\varepsilon$ 1 = precompressione

$\varepsilon$ 2 = effetti reologici (ritiro, viscosità e rilassamento)  
variazioni

$\varepsilon$ 3 = termiche  
cedimenti

$\varepsilon$ 4 = vincolari

#### COMBINAZIONI

#### STATO LIMITE ESERCIZIO - CARATTERISTICA

	g1	g2	q1			q3	q4	q5	q6	q7	q8	$\varepsilon$ 1	$\varepsilon$ 2	$\varepsilon$ 3	$\varepsilon$ 4
			TS	UDL	Folla										
<b>E1</b>	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0.6	1
<b>E2</b>	1	1	1	1	0.5	0	0	0.6	0	1	1	1	1	0.6	1
<b>E3</b>	1	1	0.75	0.4	0.5	1	0	0.2	0	1	1	1	1	0.6	1
<b>E4</b>	1	1	0.75	0.4	0.5	0	1	0.2	0	1	1	1	1	0.6	1
<b>E5</b>	1	1	0.75	0.4	0.5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
<b>E6</b>	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0.6	1

#### STATO LIMITE ULTIMO

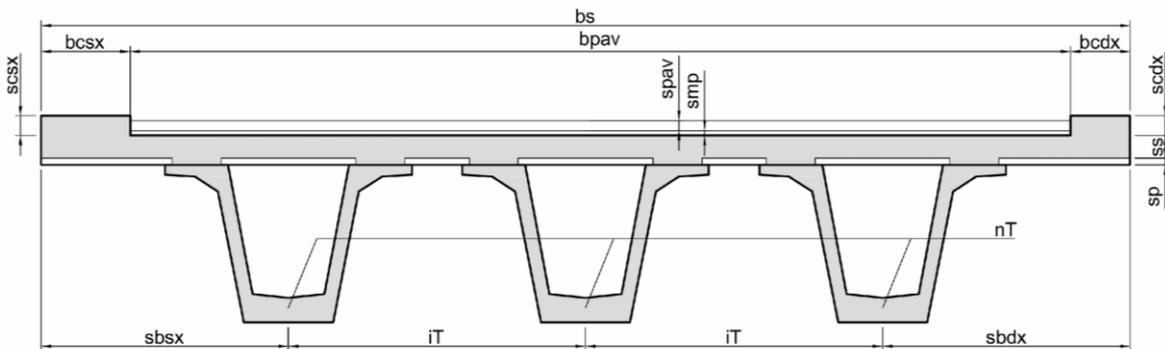
	g1	g2	q1			q3	q4	q5	q6	q7	q8	$\varepsilon$ 1	$\varepsilon$ 2	$\varepsilon$ 3	$\varepsilon$ 4
			TS	UDL	Folla										
<b>U1</b>	1.35	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1	1.2	0.90	1.2
<b>U2</b>	1.35	1.5	1.35	1.35	0.68	0	0	0.9	0	1.5	1.5	1	1.2	0.90	1.2

<b>U3</b>	1.35	1.5	1.01	0.54	0.68	<b>1.35</b>	0	0.3	0	1.5	1.5	1	1.2	0.90	1.2
<b>U4</b>	1.35	1.5	1.01	0.54	0.68	0	<b>1.35</b>	0.3	0	1.5	1.5	1	1.2	0.90	1.2
<b>U5</b>	1.35	1.5	1.01	0.54	0.68	0	0	0	0	0	0	1	1.2	<b>1.5</b>	1.2
<b>U6</b>	1	1	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	1	1	0.9	1

## 4 GEOMETRIA IMPALCATO

### Sezione trasversale

#### GEOMETRIA SEZIONE TRASVERSALE DI IMPALCATO

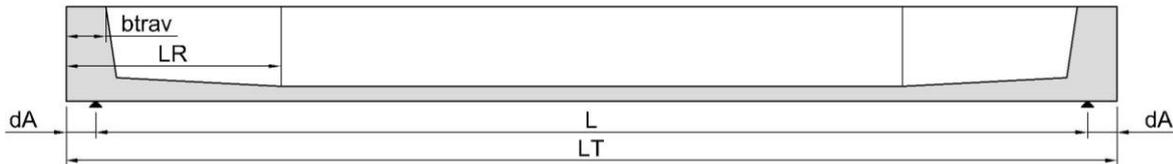


$b_s$ =	larghezza soletta	m	8
$s_s$ =	spessore getto soletta	m	0.25
$s_p$ =	spessore predalle	m	0
$b_d$ =	larghezza dado/trave	m	1.36
$b_{pav}$ =	larghezza pavimentazione	m	7
$s_{pav}$ =	spessore pavimentazione	m	0.10
$s_{mp}$ =	spessore medio massetto pendenze	m	0.04
$b_{csx}$ =	larghezza cordolo sinistro	m	0.5
$s_{csx}$ =	spessore cordolo sinistro	m	0.2
$b_{cdx}$ =	larghezza cordolo destro	m	0.5
$s_{cdx}$ =	spessore cordolo destro	m	0.2
$n_T$ =	numero travi		3
$i_T$ =	interasse travi	m	2.50
$s_{bdx}$ =	sbalzo destro	m	1.5

$sb_{sx} =$  sbalzo sinistro m 1.5

*Sezione longitudinale*

PROFILO LONGITUDINALE TRAVE



$L_T =$  lunghezza travi m 27.5

$d_A =$  distanza bordo trave - appoggio m 0.25

$L =$  luce di calcolo m 27

$L_R =$  lunghezza ringrosso m 2

$n_{trav} =$  numero traversi 2

$b_{trav} =$  larghezza traverso m 0.3

$h_{trav} =$  altezza traverso m 1.20

## 5 GEOMETRIA TRAVE

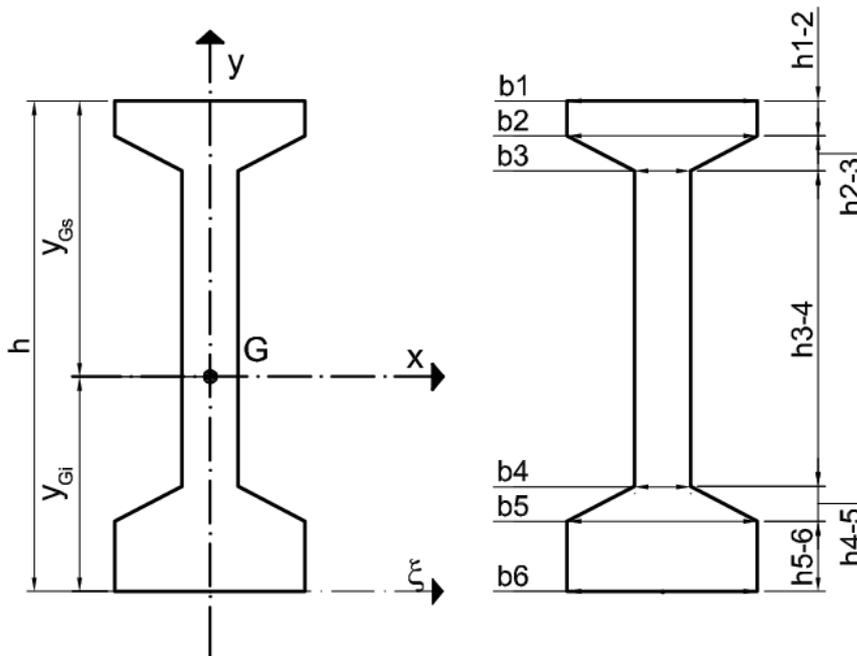
### SEZIONE TRAVE

#### Flessione

numero sezioni	2
numero strisce in cui si suddivide la trave	9

#### Legenda

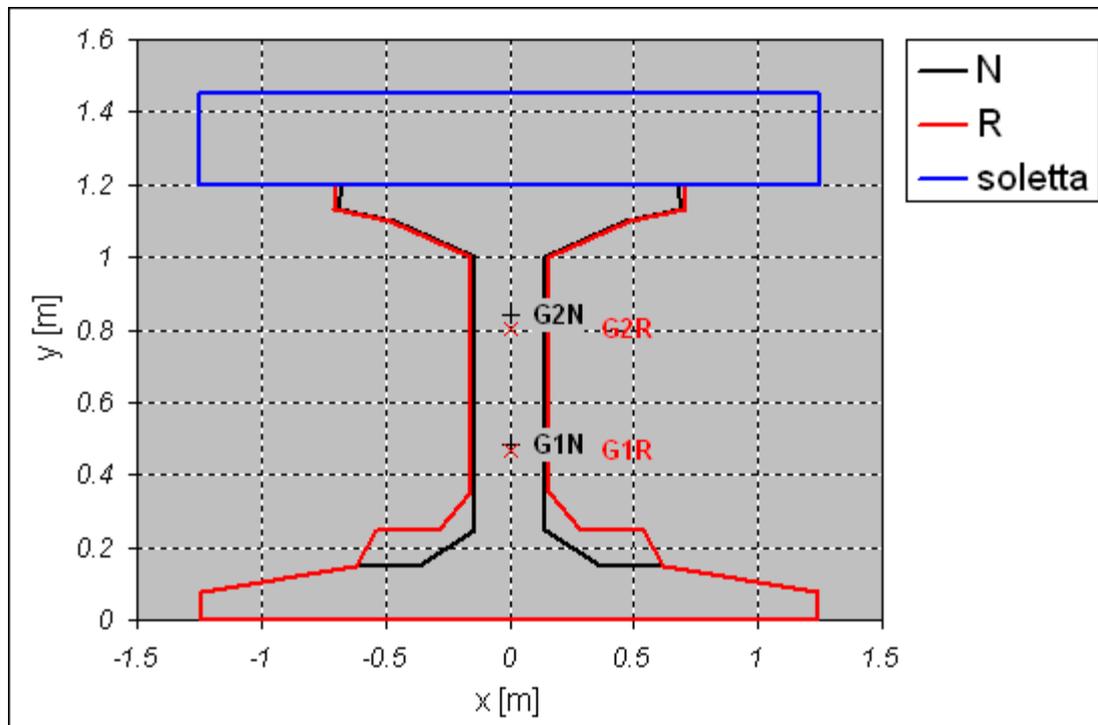
$b_i =$	larghezza della parte superiore del livello i (partendo dall'alto)	m
$h_{i-j} =$	altezza della striscia tra i livelli i e j	m
$h =$	altezza totale trave	m



nome sezione	cls	N	R
$b_1 =$	m	1.3574	1.3926
$b_2 =$	m	1.3806	1.4156
$b_3 =$	m	0.9226	0.9576
$b_4 =$	m	0.28	0.315
$b_5 =$	m	0.28	0.315

Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$b_6 =$	m	0.73	0.58
$b_7 =$	m	1.23	1.08
$b_8 =$	m	2.49	1.23
$b_9 =$	m	2.49	2.49
$b_{10} =$	m	2.49	2.49
$h_{1-2} =$	m	0.0659	0.0659
$h_{2-3} =$	m	0.0341	0.0341
$h_{3-4} =$	m	0.1	0.1
$h_{4-5} =$	m	0.75	0.65
$h_{5-6} =$	m	0.1	0.1
$h_{6-7} =$	m	1E-07	1E-07
$h_{7-8} =$	m	0.0716	0.1
$h_{8-9} =$	m	0.0784	0.0716
$h_{9-10} =$	m	1E-07	0.0784
$h =$	m	1.20	1.20



*Caratteristiche geometriche sezione trave (1)*

A =	area sezione	m <sup>2</sup>	0.778509	0.8900
S <sub>ξ</sub> =	momento statico rispetto all'asse ξ	m <sup>3</sup>	0.37616	0.4173
y <sub>Gs</sub> =	distanza baricentro-estradosso trave	m	0.72	0.73
y <sub>Gi</sub> =	distanza baricentro-intradosso trave	m	0.48	0.47
I <sub>x</sub> =	momento di inerzia rispetto all'asse x	m <sup>4</sup>	0.1536	0.1635

**SEZIONE TRAVE + SOLETTA**

n <sub>s</sub> =	coefficiente di omogeneizzazione soletta/trave		0.92	
b <sub>s1</sub> =	larghezza soletta collaborante/trave	m	2.50	2.50
s <sub>s</sub> =	spessore getto soletta	m	0.25	0.25
s <sub>p</sub> =	spessore predalle=spessore dado	m	0.00	0.00
b <sub>d</sub> =	larghezza dado/trave	m	1.36	1.36

*Caratteristiche geometriche sezione trave+soletta (2)*

A =	area sezione	m <sup>2</sup>	1.3529	1.4644
-----	--------------	----------------	--------	--------

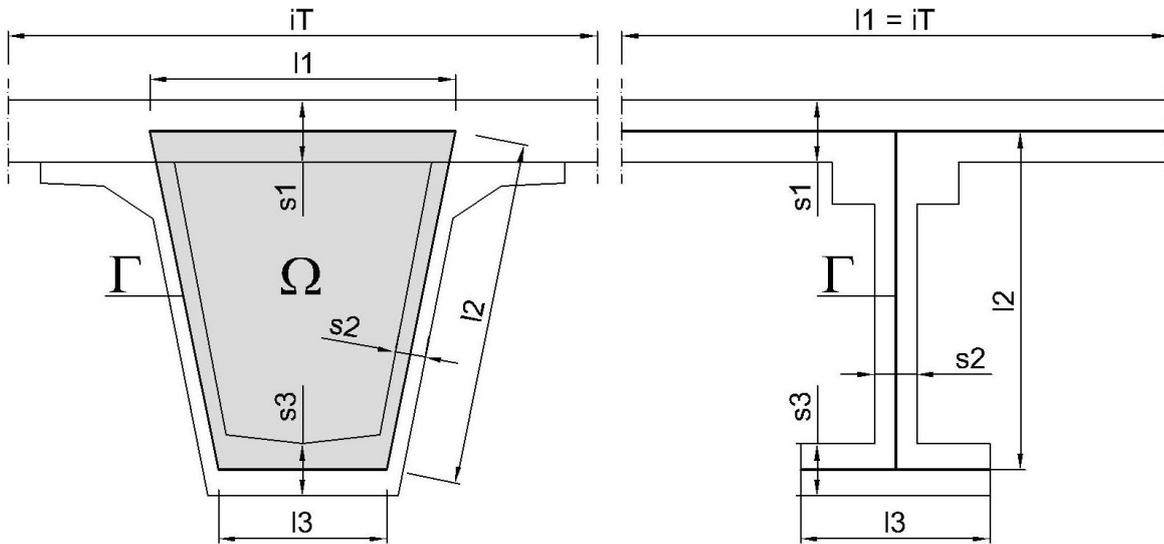
$S_{\xi} =$	momento statico rispetto all'asse $\xi$	$m^3$	1.1372	1.1784
$y_{Gs} =$	distanza baricentro-estradosso soletta	m	0.6094	0.6453
$y_{Gi} =$	distanza baricentro-intradosso trave	m	0.8406	0.8047
$I_x =$	momento di inerzia rispetto all'asse x	$m^4$	0.3908	0.4224

**Inerzia torsionale**

**sezione a cassone**

● sezione a cassone

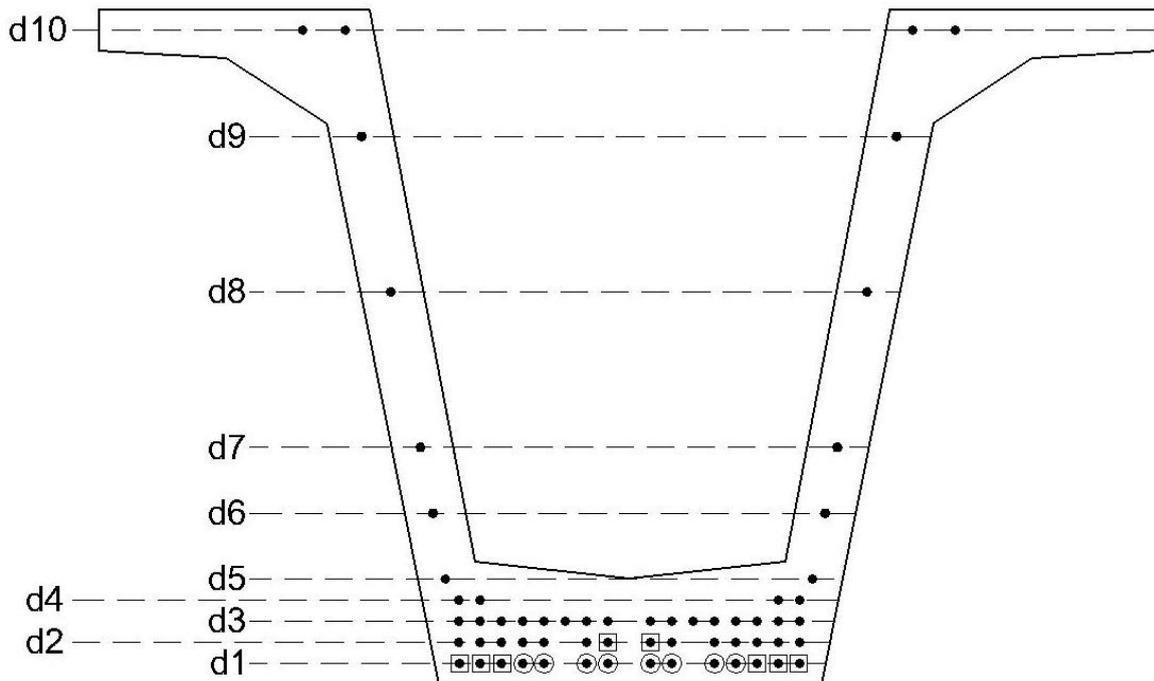
○ sezione a doppio T



$l_1 =$		m	1.32	1.3
$s_1 =$		m	0.25	0.25
$l_2 =$		m	1.27	1.22
$s_2 =$		m	0.14	0.16
$l_3 =$		m	0.88	0.88
$s_3 =$		m	0.15	0.25
$\Omega =$	area sottesa dalla linea media $\Gamma$	$m^2$	1.3759	1.3759
$I_T =$	momento di inerzia torsionale	$m^4$	0.2545	0.3100

## 6 ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

### SCHEMA DI PRECOMPRESSIONE



-   $n_{ING1}$  trefoli inguainati per  $L_{ING1}$  m  
  $n_{ING2}$  trefoli inguainati per  $L_{ING2}$  m

$n =$	coefficiente di omogeneizzazione		5.4
$\sigma_{spi} =$	tensione di tiro	MPa	1400
$\varnothing =$	diametro trefolo	in	0.5
$A_{1p} =$	area trefolo	cm <sup>2</sup>	1.39
$n_{ING1} =$	numero trefoli inguainati per $L_{ING1}$		12
$L_{ING1} =$	lunghezza di inguainamento 1	m	3
$n_{ING2} =$	numero trefoli inguainati per $L_{ING2}$		6
$L_{ING2} =$	lunghezza di inguainamento 2	m	6

Legenda

- $n_i$  = numero dei trefoli del livello  $i$  (partendo dal basso)
- $d_i$  = distanza dei trefoli del livello  $i$  dal lembo inferiore della trave cm
- $A_0$  = schema armatura di precompressione
- $A_1$  = schema armatura efficace tratto  $= (0, L_{ING1}]$  x stanno inguainati i trefoli  $n_{ING1}$  e  $n_{ING2}$
- $A_2$  = schema armatura efficace tratto  $= (L_{ING1}, L_{ING2}]$  x stanno inguainati solo i trefoli  $n_{ING2}$

	nome schema armatura precompressione	A0	A1	A2	$d_i$ (cm)
$n_1$ =	numero trefoli livello 1	24	6	18	5
$n_2$ =	numero trefoli livello 2	20	20	20	10
$n_3$ =	numero trefoli livello 3	10	10	10	15
$n_4$ =	numero trefoli livello 4	2	2	2	20
$n_5$ =	numero trefoli livello 5	2	2	2	60
$n_6$ =	numero trefoli livello 6	2	2	2	100
$n_7$ =	numero trefoli livello 7	0	0	0	120
$n_8$ =	numero trefoli livello 8	0	0	0	0
$n_9$ =	numero trefoli livello 9	0	0	0	0
$n_{10}$ =	numero trefoli livello 10	0	0	0	0
$n_{tot}$ =	numero trefoli totale	60	42	54	
$d_{CR}$ =	distanza del cavo risultante dal lembo inferiore della trave cm	13.8	17.6	14.8	
$A_p$ =	area trefoli cm <sup>2</sup>	83.4	58.4	75.1	

*Trasferimento della precompressione - punto 8.10.2.2 di UNI EN 1992-1-1:2005*

$l_{pt} =$	$\alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pm0} / f_{bpt}$	lunghezza	di	m	<b>0.86</b>
$\alpha_1 =$	rilascio: graduale=1 improvviso=1.25				1.25
$\alpha_2 =$	barre=0.25 trefoli=0.19				0.19
$\phi =$	diametro nominale armatura di precompressione			cm	1.27
$\sigma_{sp,t0} =$	tensione CR al tempo $t_0$			MPa	1374
$f_{bpt} =$	$\eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}(t)$			MPa	4.8

tensione di aderenza uniforme nel cls

$\eta_{p1}$ =	fili indentati=2.7 trefoli=3.2		3.2
$\eta_1$ =	buona aderenza=1 altrimenti=0.7		1
$f_{ctd}(t_0)$ =	resistenza a trazione di progetto all'istante del rilascio	MPa	1.50

## 7 MODELLO DI CALCOLO

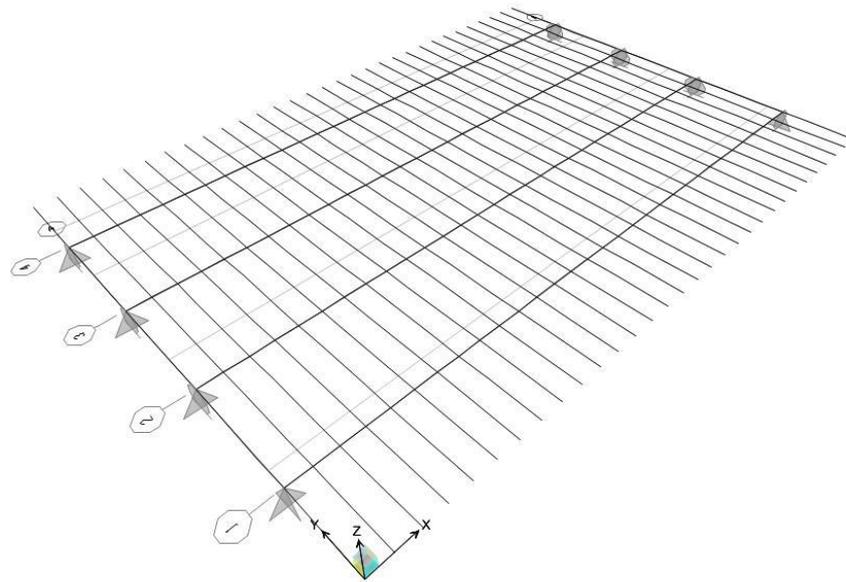
Le sollecitazioni sono valutate con riferimento alle fasi costruttive previste.

In una prima fase si considerano gli effetti della precompressione, del peso proprio della trave, della prima frazione di fenomeni lenti e del peso dovuto al getto della soletta. La sezione resistente è costituita dalla sola trave.

In una seconda fase si considerano gli effetti dei carichi permanenti portati, del successivo evolversi dei fenomeni lenti e dei carichi mobili. La sezione resistente è data dalla solidarizzazione della trave con la soletta.

Si considerano tre corsie di carico, disposte in modo da massimizzare le sollecitazioni sulla trave di bordo.

Per la valutazione delle sollecitazioni indotte dai carichi mobili si ricorre ad un modello bidimensionale agli elementi finiti implementato nel programma di calcolo SAP2000. Il modello prevede un graticcio piano di elementi frame che descrivono la geometria e la rigidezza del sistema travi + soletta + traversi di testata. La sezione della trave è costituita dalla sezione mista data dalla trave a cassoncino e dalla soletta (omogeneizzata a calcestruzzo  $R_{ck}=55$  MPa attraverso il fattore  $n^*=\sqrt{(40/55)}=0.85$ ). Si introducono dei braccetti rigidi per modellare la distanza trasversale tra il baricentro della trave e l'anima, in modo da definire in modo corretto la lunghezza libera della soletta. L'inerzia torsionale della sezione degli elementi modellanti la soletta è ridotta del 50%. Il modello è riportato nella seguente figura.



**Figura 7-1: modello di calcolo agli elementi finiti.**

Si riportano di seguito le caratteristiche della sollecitazione riferite alla trave di bordo e corrispondenti ai valori caratteristici delle azioni e alla combinazione di carico di progetto.

## 8 SOLLECITAZIONI

### VALORI CARATTERISTICI

sezione		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x =	ascissa sezione da asse appoggio m	0	0.90	1.80	2.70	3.60	4.50	5.40	6.30	7.20	8.10	9.00	9.90	10.80	11.70	12.60	13.50

### Precompressione

N <sub>p</sub> =	sfuerzo normale precompressione kN	-	-8020	-8020	-8020	10311	10311	10311	11457	11457	11457	11457	11457	11457	11457	11457	11457	11457
M <sub>p</sub> =	momento flettente precompressione kNm	-657	-2267	-2367	-2367	-3284	-3284	-3284	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736

### Peso proprio trave

M <sub>T</sub> =	momento flettente peso proprio trave kNm	0	232	446	643	824	990	1139	1273	1392	1494	1581	1652	1707	1746	1770	1778
V <sub>T</sub> =	sfuerzo di taglio peso proprio trave kN	-257	-242	-228	-210	-193	-175	-158	-140	-123	-105	-88	-70	-53	-35	-18	0

### Peso proprio soletta

M <sub>s</sub> =	momento flettente peso proprio soletta kNm	0	196	378	547	702	844	972	1087	1188	1276	1350	1411	1458	1492	1512	1519
V <sub>s</sub> =	sfuerzo di taglio peso proprio soletta kN	-225	-210	-195	-180	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0

### Permanenti portati

M <sub>pp</sub> =	momento flettente permanenti portati kNm	0	136	262	379	486	584	673	753	823	883	935	977	1010	1033	1047	1052
-------------------	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------



Direzione Progettazione e  
Realizzazione Lavori

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE  
Tratto Eggi-Acquasparta - 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO DEFINITIVO

Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$V_{pp}$ =	sforzo di taglio permanenti portati	kN	-122	-113	-105	-97	-89	-81	-73	-65	-57	-49	-41	-32	-24	-16	-8	0
---------------	--	----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	---

**Carichi mobili**

$M_m$ =	momento flettente carichi mobili	kNm	10	668	1231	1703	2104	2449	2749	3009	3233	3426	3587	3718	3819	3890	3930	3941
$V_m$ =	sforzo di taglio carichi mobili	kN	-753	-677	-617	-571	-535	-506	-480	-457	-435	-415	-395	-375	-356	-337	-320	-303
$T_m$ =	momento torcente carichi mobili	kNm	400	449	467	466	456	441	423	402	380	357	333	315	298	282	268	268

**COMBINAZIONE**
**U2** 
 $\gamma$ 

Precompressione	1
Peso proprio trave	1.4
Peso proprio soletta	1.4
Permanenti portati	1.5
Carichi mobili	1.4

<b>sezione</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
x =	ascissa sezione da asse appoggio m	0	0.90	1.80	2.70	3.60	4.50	5.40	6.30	7.20	8.10	9.00	9.90	10.80	11.70	12.60	13.50

**Precompressione**

$N_p =$	sforzo normale precompressione kN	-2325	-8020	-8020	-8020	10311	10311	10311	11457	11457	11457	11457	11457	11457	11457	11457	11457
$M_p =$	momento flettente precompressione kNm	-657	-2267	-2367	-2367	-3284	-3284	-3284	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736	-3736

**Peso proprio trave**

$M_T =$	momento flettente peso proprio trave kNm	0	313	602	868	1112	1336	1538	1719	1879	2017	2134	2230	2304	2357	2389	2400
---------	--	---	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$V_T =$	sforzo di taglio peso proprio trave	kN	-347	-327	-307	-284	-260	-236	-213	-189	-166	-142	-118	-95	-71	-47	-24	0
---------	--	----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	---

### **Peso proprio soletta**

$M_s =$	momento flettente peso proprio soletta	kNm	0	264	510	738	948	1139	1312	1467	1604	1722	1823	1905	1968	2014	2041	2050
$V_s =$	sforzo di taglio peso proprio soletta	kN	-304	-284	-263	-243	-223	-203	-182	-162	-142	-122	-101	-81	-61	-40	-20	0

### **Permanenti portati**

$M_{pp} =$	momento flettente permanenti portati	kNm	0	203	393	568	729	876	1010	1129	1234	1325	1402	1465	1514	1550	1571	1578
$V_{pp} =$	sforzo di taglio permanenti portati	kN	-182	-170	-158	-146	-134	-122	-109	-97	-85	-73	-61	-49	-36	-24	-12	0

### **Carichi mobili**

$M_m =$	momento flettente carichi mobili	kNm	14	902	1662	2299	2841	3306	3711	4062	4365	4626	4843	5019	5156	5251	5306	5320
$V_m =$	sforzo di taglio carichi mobili	kN	-1017	-914	-833	-771	-723	-682	-648	-617	-588	-560	-533	-507	-481	-456	-431	-408
$T_m =$	momento torcente carichi mobili	kNm	540	606	630	630	616	595	571	543	513	482	450	425	402	381	362	362

### **Totale - azioni esterne**



Direzione Progettazione e  
Realizzazione Lavori

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE  
Tratto Eggi-Acquasparta - 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO DEFINITIVO

Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

N =	sforzo normale	kN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M =	momento flettente	kNm	14	1682	3166	4473	5630	6658	7571	8377	9081	9690	10202	10618	10943	11172	11307	11348
V =	sforzo di taglio	kN	-1850	-1694	-1562	-1444	-1339	-1243	-1152	-1065	-980	-896	-813	-731	-649	-568	-488	-408
T =	momento torcente	kNm	540	606	630	630	616	595	571	543	513	482	450	425	402	381	362	362

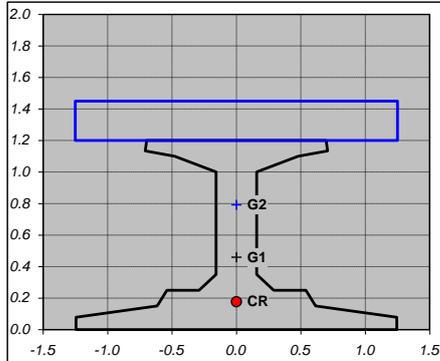
# 9 PROGETTO A FLESSIONE DELLA TRAVE

## 9.1 SLE – CALCOLO DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

Sezione 1

x = ascissa sezione da asse appoggio 0.00 m

GEOMETRIA TRAVE



note: sezione di appoggio

Armatura di precompressione

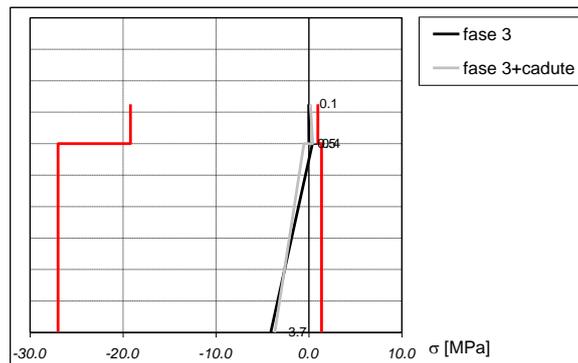
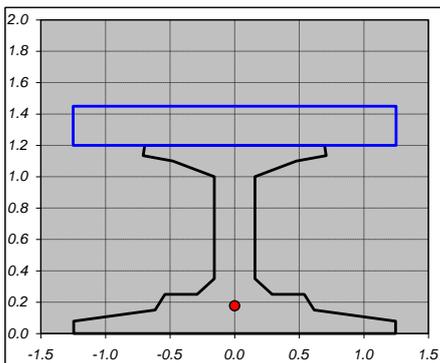
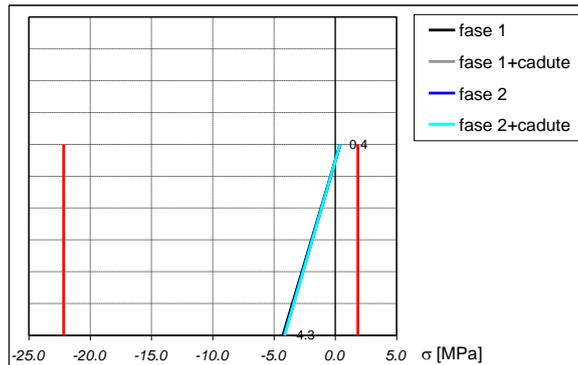
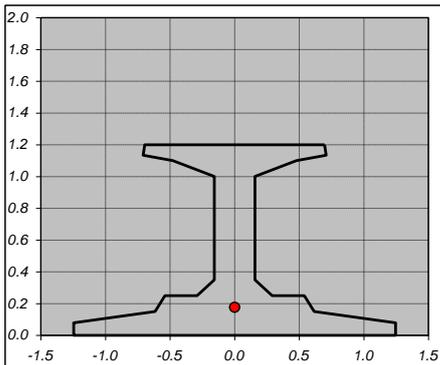
$n_{tot} = 42$   
 $d_{CR} = 17.6 \text{ cm}$   
 $A_p = 58.4 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.9214$	$A = 1.4958 \text{ m}^2$
$S_x = 0.4228$	$S_x = 1.1839 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.74$	$y_{Gs} = 0.66 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.46$	$y_{Gi} = 0.79 \text{ m}$
$I_x = 0.1661$	$I_x = 0.4345 \text{ m}^4$
$W_s = 0.2241$	$W_{s,s} = 0.6598 \text{ m}^3$
$W_i = 0.3619$	$W_s = 1.0636 \text{ m}^3$
	$W_i = 0.5490 \text{ m}^3$

VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

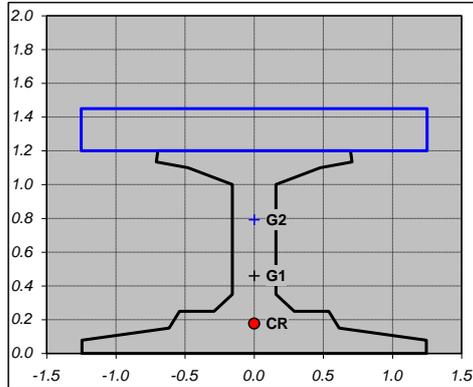
		$\sigma_{s,s}$	$\sigma_{i,s}$	$\sigma_{s,T}$	$\sigma_{i,T}$	
FASE 1	peso proprio trave, precompressione	-	-	verifica	verifica	
FASE 2	peso proprio soletta	-	-	verifica	verifica	
FASE 3	peso carichi permanenti portati, carichi mobili	verifica	verifica	verifica	verifica	
				$\sigma_p =$ tensione finale acciaio [MPa]	1215	verifica



Sezione 4

x = ascissa sezione da asse appoggio 2.70 m  
note: sezione fine guaina 1

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

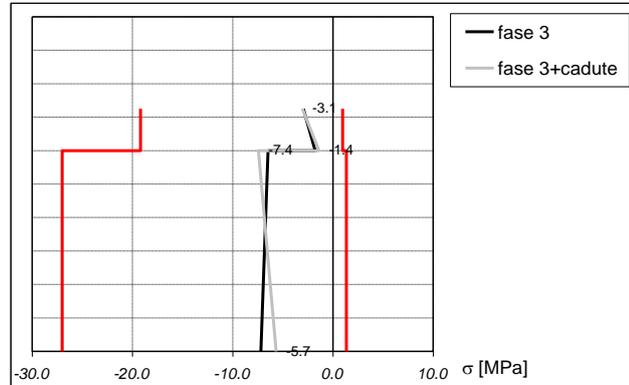
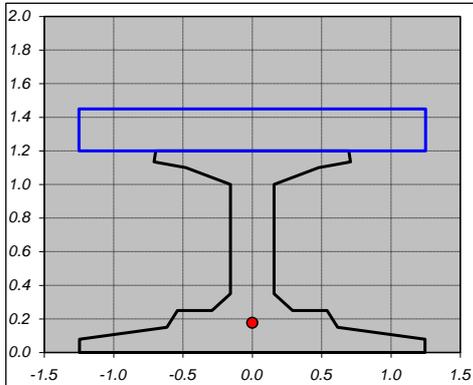
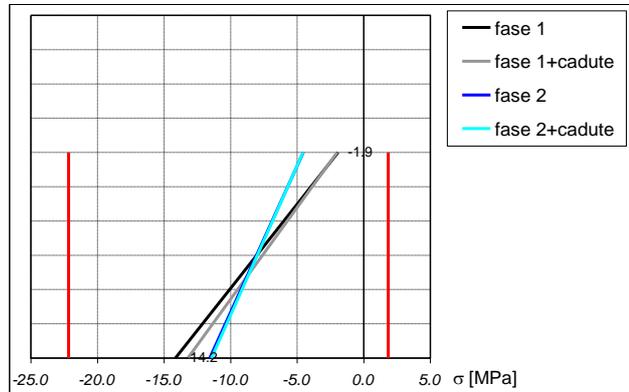
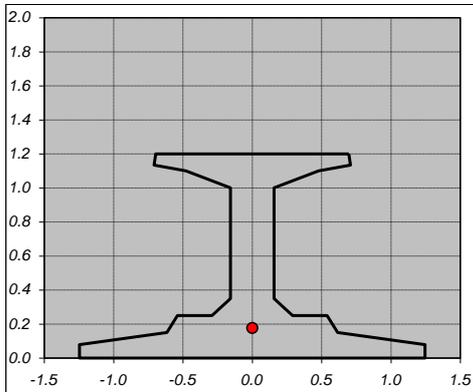
$n_{tot} = 42$   
 $d_{CR} = 17.6$  cm  
 $A_p = 58.4$  cm<sup>2</sup>

Caratteristiche geometriche  
Sezione trave omog.      Sezione trave+soletta omog.

A = 0.8099	A = 1.3843	m <sup>2</sup>
$S_x = 0.3817$	$S_x = 1.1428$	m <sup>3</sup>
$y_{Gs} = 0.73$	$y_{Gs} = 0.62$	m
$y_{Gi} = 0.47$	$y_{Gi} = 0.83$	m
$I_x = 0.1564$	$I_x = 0.4043$	m <sup>4</sup>
	$W_{s,s} = 0.6475$	m <sup>3</sup>
$W_s = 0.2146$	$W_s = 1.0797$	m <sup>3</sup>
$W_i = 0.3319$	$W_i = 0.4898$	m <sup>3</sup>

VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

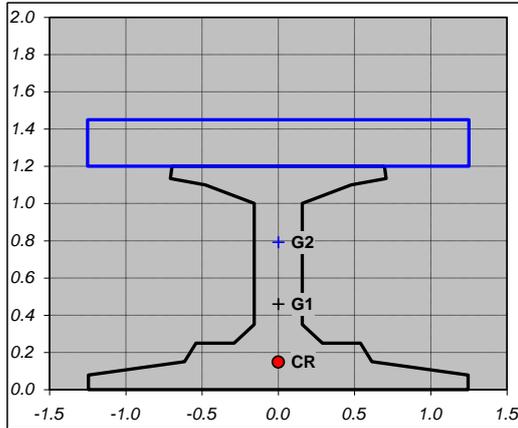
		$\sigma_{s,s}$	$\sigma_{i,s}$	$\sigma_{s,T}$	$\sigma_{i,T}$
FASE 1	peso proprio trave, precompressione	-	-	verifica	verifica
FASE 2	peso proprio soletta	-	-	verifica	verifica
FASE 3	peso carichi permanenti portati, carichi mobili	verifica	verifica	verifica	verifica
				$\sigma_p =$ tensione finale acciaio [MPa]	1076
					verifica



Sezione 5

x = ascissa sezione da asse appoggio 3.60 m  
note: prima sezione con guaina 2

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

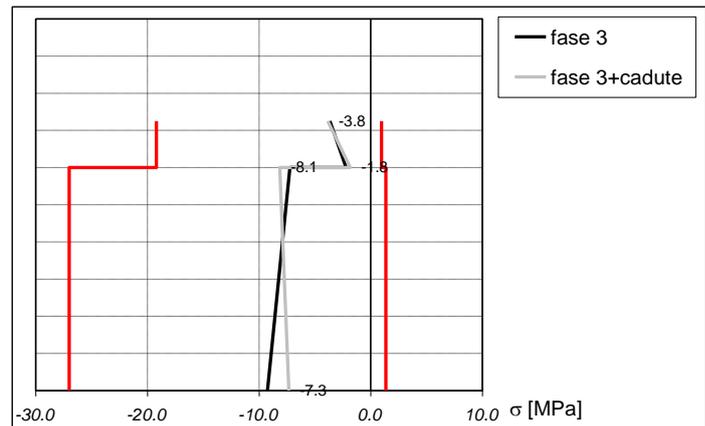
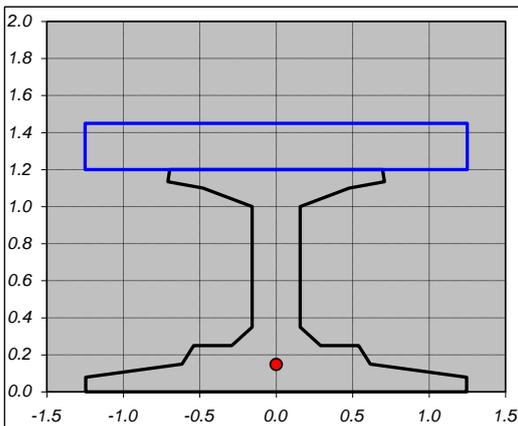
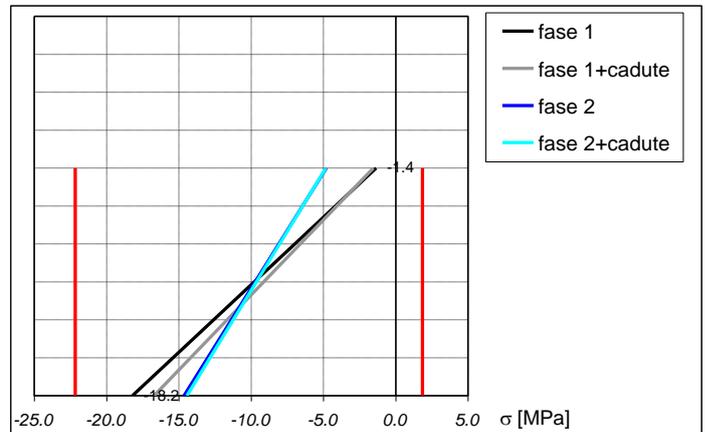
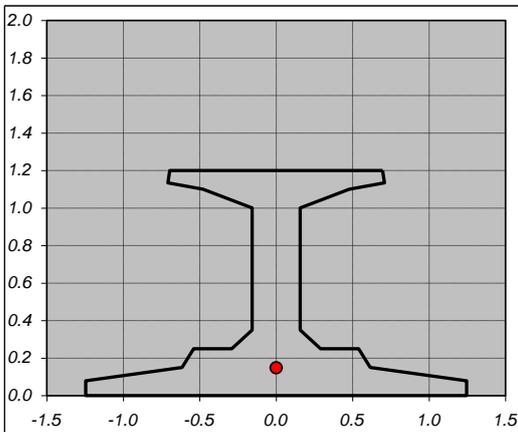
$n_{tot} = 54$   
 $d_{CR} = 14.8$  cm  
 $A_p = 75.1$  cm<sup>2</sup>

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
A = 0.8188	A = 1.3933 m <sup>2</sup>
$S_c = 0.3821$	$S_c = 1.1432$ m <sup>3</sup>
$y_{Gs} = 0.73$	$y_{Gs} = 0.63$ m
$y_{Gi} = 0.47$	$y_{Gi} = 0.82$ m
$I_x = 0.1579$	$I_x = 0.4096$ m <sup>4</sup>
$W_s = 0.2153$	$W_{s,s} = 0.6507$ m <sup>3</sup>
$W_i = 0.3383$	$W_s = 1.0794$ m <sup>3</sup>
	$W_i = 0.4992$ m <sup>3</sup>

VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

		$\sigma_{s,s}$	$\sigma_{i,s}$	$\sigma_{s,T}$	$\sigma_{i,T}$
FASE 1	peso proprio trave, precompressione	-	-	verifica	verifica
FASE 2	peso proprio soletta	-	-	verifica	verifica
FASE 3	peso carichi permanenti portati, carichi mobili	verifica	verifica	verifica	verifica
$\sigma_p =$ tensione finale acciaio [MPa]				1015	verifica



Sezione

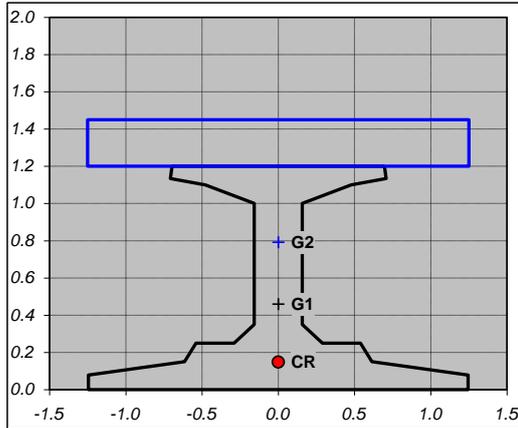
7



x = ascissa sezione da asse appoggio  
note: sezione fine guaina 2

5.40 m

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

$n_{tot} = 54$   
 $d_{CR} = 14.8$  cm  
 $A_p = 75.1$  cm<sup>2</sup>

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.

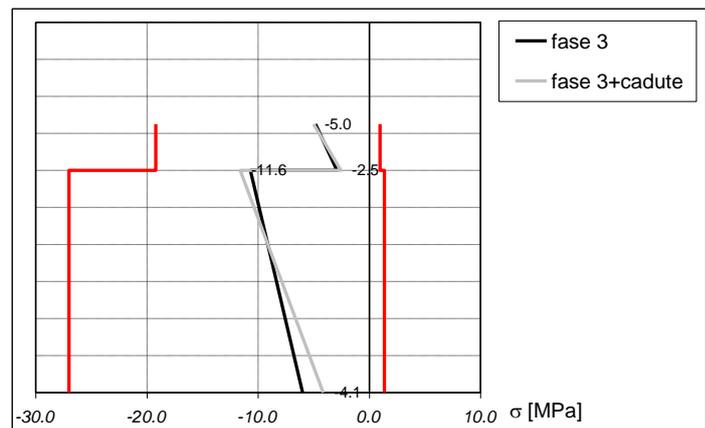
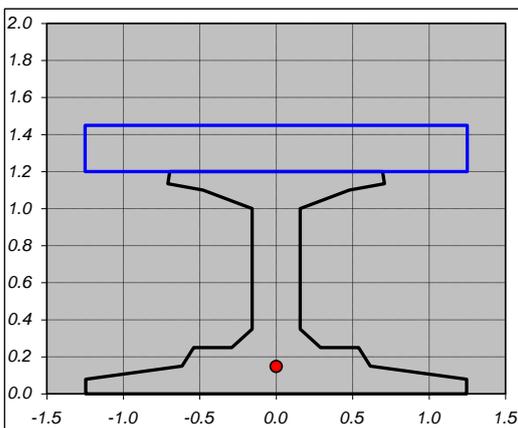
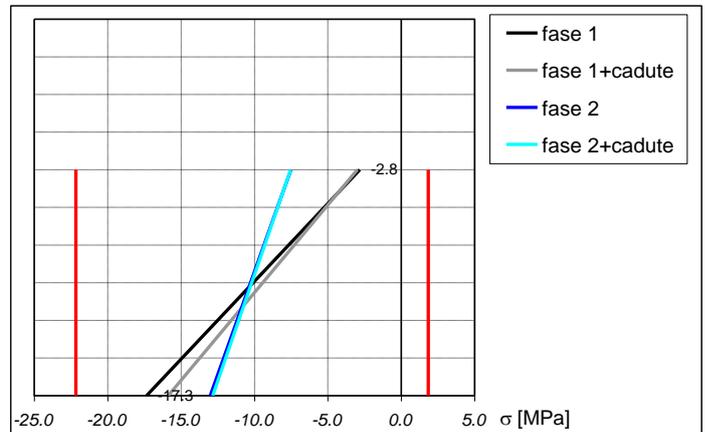
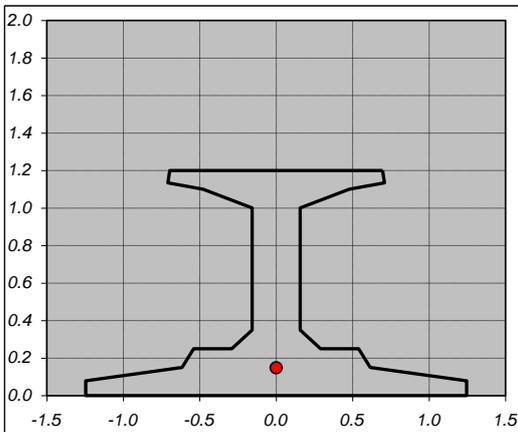
$A = 0.8188$   
 $S_c = 0.3821$   
 $y_{Gs} = 0.73$   
 $y_{Gi} = 0.47$   
 $I_x = 0.1579$   
 $W_s = 0.2153$   
 $W_i = 0.3383$

Sezione trave+soletta omog.

$A = 1.3933$  m<sup>2</sup>  
 $S_c = 1.1432$  m<sup>3</sup>  
 $y_{Gs} = 0.63$  m  
 $y_{Gi} = 0.82$  m  
 $I_x = 0.4096$  m<sup>4</sup>  
 $W_{s,s} = 0.6507$  m<sup>3</sup>  
 $W_s = 1.0794$  m<sup>3</sup>  
 $W_i = 0.4992$  m<sup>3</sup>

VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

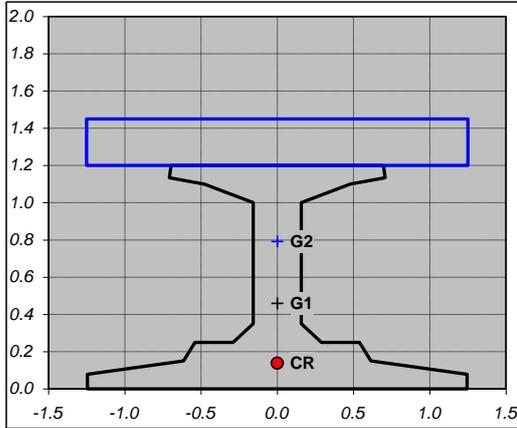
		$\sigma_{s,s}$	$\sigma_{i,s}$	$\sigma_{s,T}$	$\sigma_{i,T}$
FASE 1	peso proprio trave, precompressione	-	-	verifica	verifica
FASE 2	peso proprio soletta	-	-	verifica	verifica
FASE 3	peso carichi permanenti portati, carichi mobili	verifica	verifica	verifica	verifica
$\sigma_p =$ tensione finale acciaio [MPa]				1042	verifica



Sezione **8**

x = ascissa sezione da asse appoggio **6.30** m  
note: prima sezione senza guaine

**GEOMETRIA TRAVE**



**Armatura di precompressione**

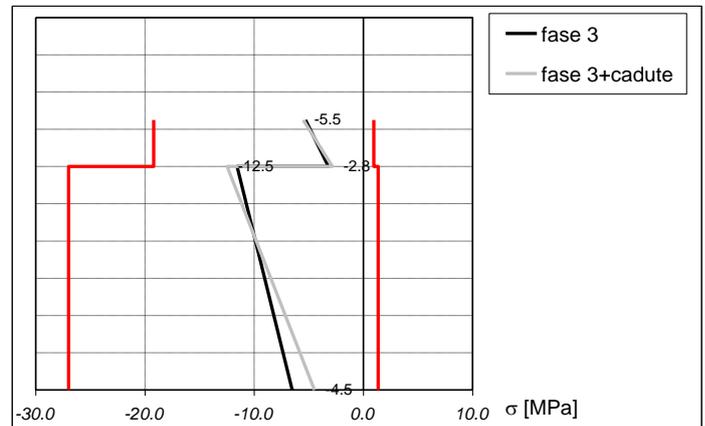
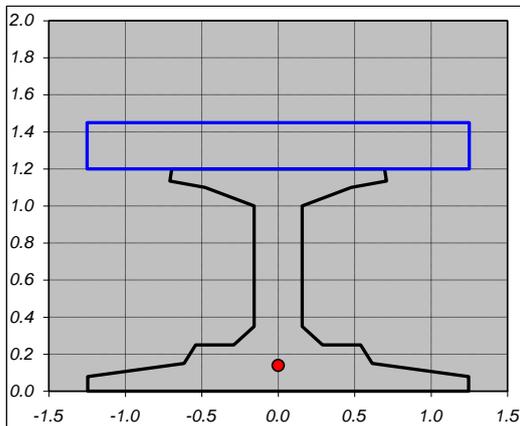
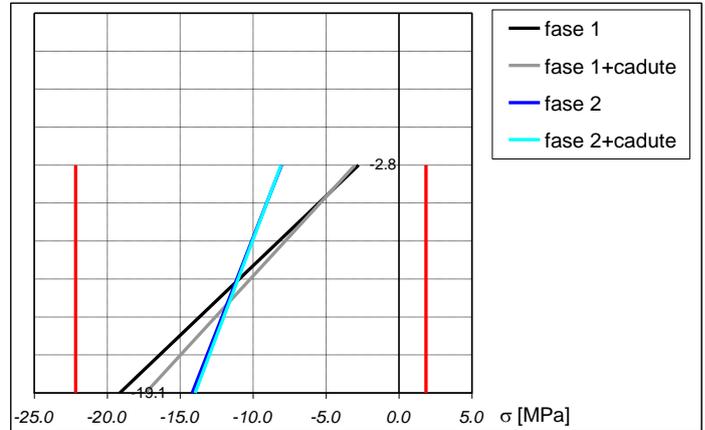
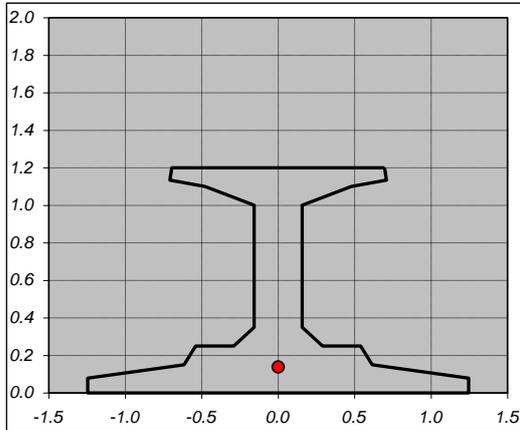
$n_{tot} = 60$   
 $d_{CR} = 13.8$  cm  
 $A_p = 83.4$  cm<sup>2</sup>

**Caratteristiche geometriche**

Sezione trave omog.		Sezione trave+soletta omog.	
A =	0.8233	A =	1.3977 m <sup>2</sup>
$S_x =$	0.3824	$S_x =$	1.1434 m <sup>3</sup>
$y_{Gs} =$	0.74	$y_{Gs} =$	0.63 m
$y_{Gi} =$	0.46	$y_{Gi} =$	0.82 m
$I_x =$	0.1586	$I_x =$	0.4122 m <sup>4</sup>
$W_{s,s} =$	0.2156	$W_{s,s} =$	0.6523 m <sup>3</sup>
$W_i =$	0.3415	$W_i =$	1.0792 m <sup>3</sup>
		$W_i =$	0.5039 m <sup>3</sup>

**VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO**

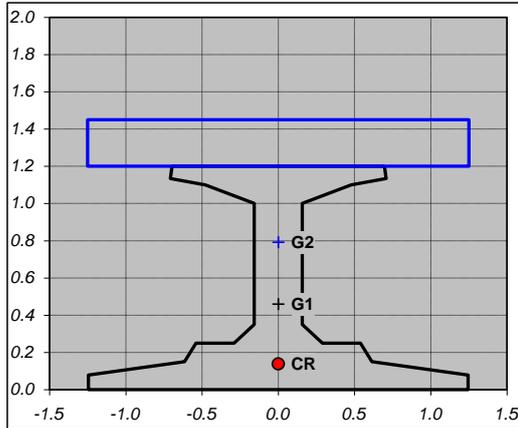
		$\sigma_{s,s}$	$\sigma_{i,s}$	$\sigma_{s,T}$	$\sigma_{i,T}$
FASE 1	peso proprio trave, precompressione	-	-	verifica	verifica
FASE 2	peso proprio soletta	-	-	verifica	verifica
FASE 3	peso carichi permanenti portati, carichi mobili	verifica	verifica	verifica	verifica
		$\sigma_p =$ tensione finale acciaio [MPa]		1017	verifica



Sezione 16

x = ascissa sezione da asse appoggio 13.50 m  
note: sezione di mezzeria

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

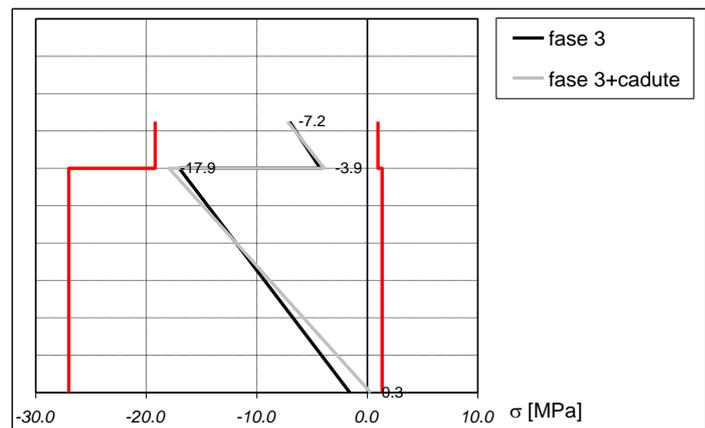
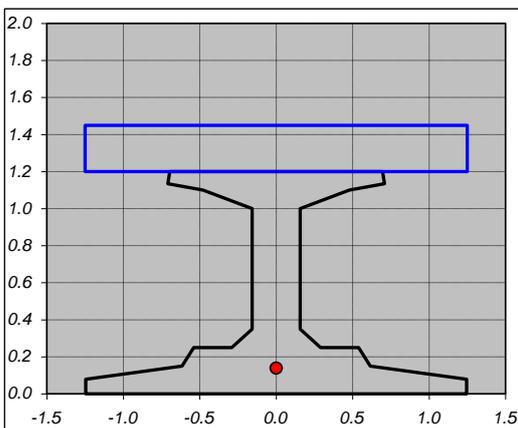
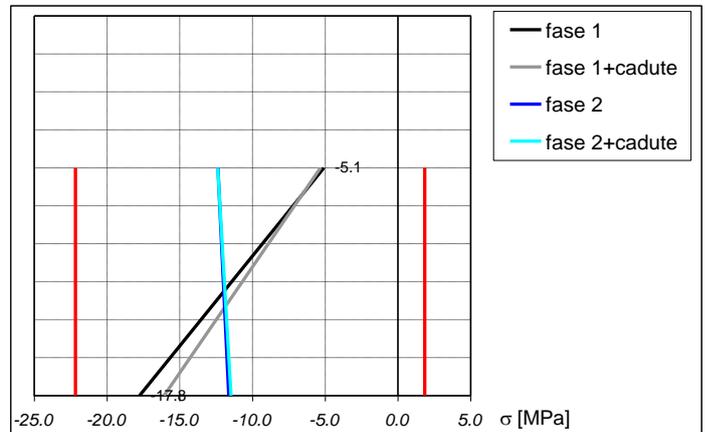
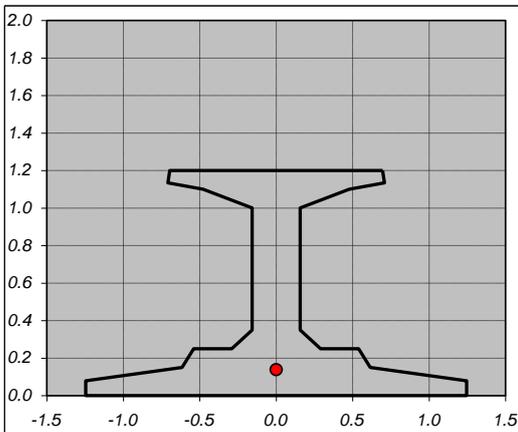
$n_{tot} = 60$   
 $d_{CR} = 13.8$  cm  
 $A_p = 83.4$  cm<sup>2</sup>

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
A = 0.8233	A = 1.3977 m <sup>2</sup>
$S_c = 0.3824$	$S_c = 1.1434$ m <sup>3</sup>
$y_{Gs} = 0.74$	$y_{Gs} = 0.63$ m
$y_{Gi} = 0.46$	$y_{Gi} = 0.82$ m
$I_x = 0.1586$	$I_x = 0.4122$ m <sup>4</sup>
$W_s = 0.2156$	$W_{s,s} = 0.6523$ m <sup>3</sup>
$W_i = 0.3415$	$W_s = 1.0792$ m <sup>3</sup>
	$W_i = 0.5039$ m <sup>3</sup>

VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

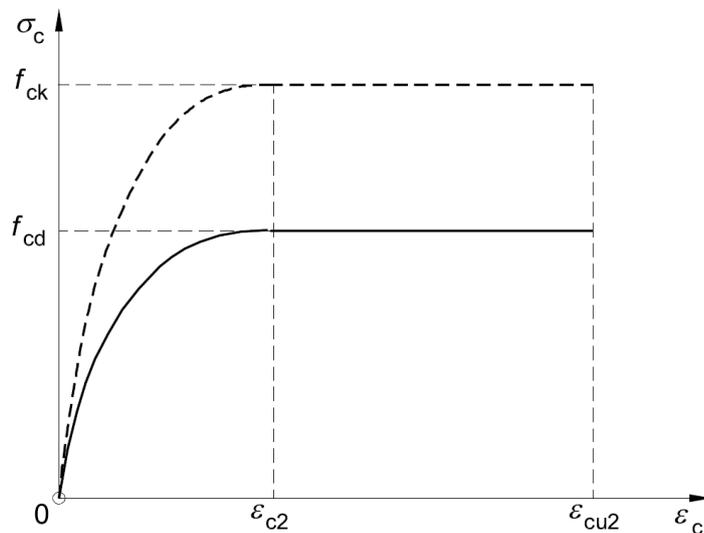
		$\sigma_{s,s}$	$\sigma_{i,s}$	$\sigma_{s,T}$	$\sigma_{i,T}$
FASE 1	peso proprio trave, precompressione	-	-	verifica	verifica
FASE 2	peso proprio soletta	-	-	verifica	verifica
FASE 3	peso carichi permanenti portati, carichi mobili	verifica	verifica	verifica	verifica
$\sigma_p =$ tensione finale acciaio [MPa]				1059	verifica



## 9.2 SLU – CALCOLO A ROTTURA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE

### LEGAMI COSTITUTIVI

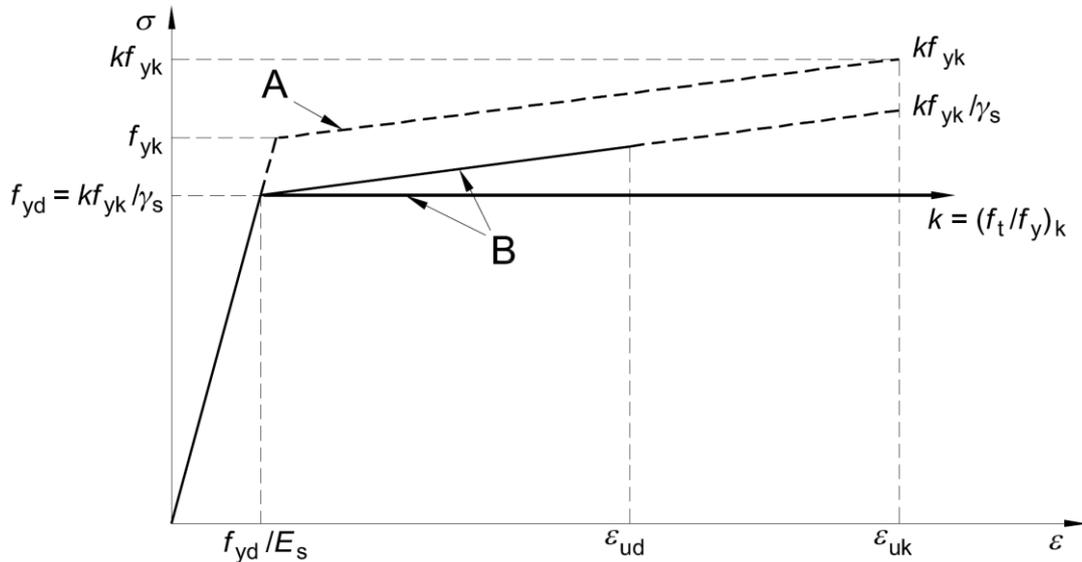
#### Calcestruzzo



Diagrammi parabola-rettangolo idealizzati e di progetto per calcestruzzo compresso

$\sigma_c =$	$f_{cd} [1 - (1 - \epsilon_c/\epsilon_{c2})^n]$	per	$0 \leq \epsilon_c < \epsilon_{c2}$
	$f_{cd}$	per	$\epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu2}$
$f_{cd,T} =$	resistenza di progetto compressione - cls trave	a	MPa 25.5
$f_{cd,s} =$	resistenza di progetto compressione - cls soletta	a	MPa 18.1
$n =$	esponente polinomiale		2
$\epsilon_{c2} =$	deformazione raggiungimento massima tensione	al della	0.002
$\epsilon_{cu2} =$	deformazione ultima		0.0035

### Acciaio per armature ordinarie



Diagrammi tensioni-deformazioni idealizzati e di progetto per acciai da armature ordinarie (tense e compresse)

- A = diagramma idealizzato  
B = diagramma di progetto

### diagramma tensioni-deformazioni adottato

- bilineare finito con incrudimento       elastico-perfettamente plastico indefinito

classe acciaio	<b>C</b>	
k =	fattore di incrudimento = $(f_t/f_y)_k$	1.15
$f_{yd}$ =	resistenza a snervamento di progetto	MPa 391
$f_{td}$ =	resistenza ultima di progetto	MPa 450
$E_{se}$ =	modulo elastico	MPa 206000
$E_{sp}$ =	modulo plastico	MPa 895
$\epsilon_{yd}$ =	$f_{yd}/E_s$ = deformazione a snervamento	a 0.0019
$\epsilon_{uk}$ =	deformazione ultima	0.075
$\epsilon_{ud}$ =	deformazione ultima di	0.0675



*Direzione Progettazione e  
Realizzazione Lavori*

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE  
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

**PROGETTO DEFINITIVO**

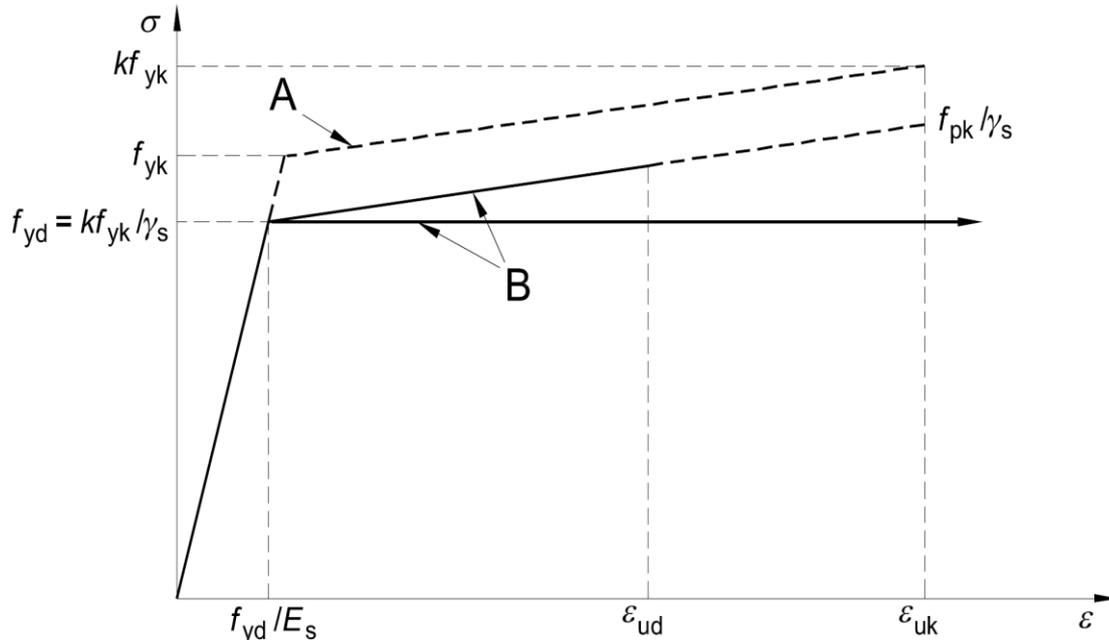
---

Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

---

progetto

### Acciaio da precompressione



Diagrammi tensioni-deformazioni idealizzati e di progetto per acciai da precompressione (tese e compresse)

A = diagramma idealizzato  
B = diagramma di progetto

### diagramma tensioni-deformazioni adottato

bilineare finito con  
incredimento

elastico-perfettamente  
plastico indefinito

k =	fattore di incredimento = $(f_t/f_y)_k$	1.11
$f_{yd}$ =	tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	MPa 1452
$f_{pd}$ =	resistenza ultima di progetto	MPa 1617
$E_{se}$ =	modulo elastico	MPa 195000
$E_{sp}$ =	modulo plastico	MPa 6869
$\epsilon_{yd}$ =	$f_{yd}/E_s$ = deformazione a snervamento	0.0074
$\epsilon_{uk}$ =	deformazione ultima	0.035



*Direzione Progettazione e  
Realizzazione Lavori*

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE  
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

**PROGETTO DEFINITIVO**

---

Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

---

$\epsilon_{ud} =$                       deformazione      ultima      di                      0.0315  
progetto

SEZIONE DI 4

calcolo a rottura

Tipo sezione CLS

N

Schema armatura di precompressione

A1

Schema armatura lenta

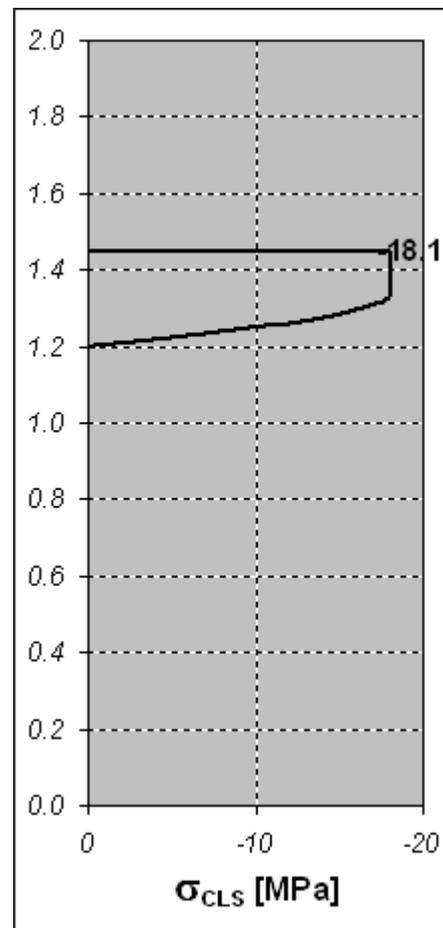
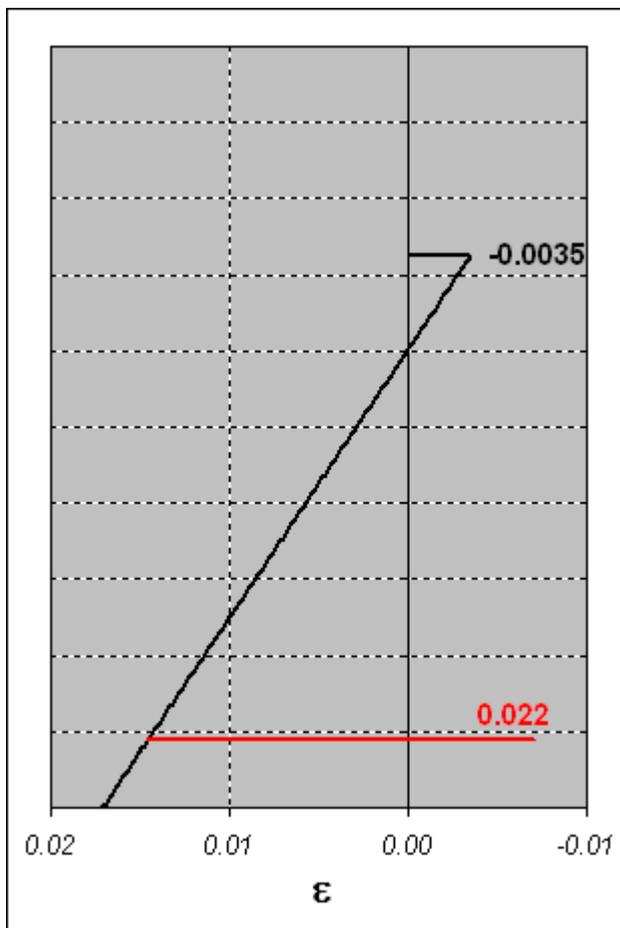
armatura lenta assente

$N_{Ed} =$	sforzo normale di progetto	di	kN	0
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	di	kNm	4473
$N_d =$	parametro di controllo		kN	0
$M_{Rd} =$	momento resistente flettente		kNm	10596

**verifica**

TIPO ROTTURA

**CRISI CLS con TREFOLI  
SNERVATI**



SEZIONE DI  
VERIFICA

7 

calcolo a rottura

Tipo sezione CLS

**N**

Schema armatura di precompressione

**A2**

Schema armatura lenta

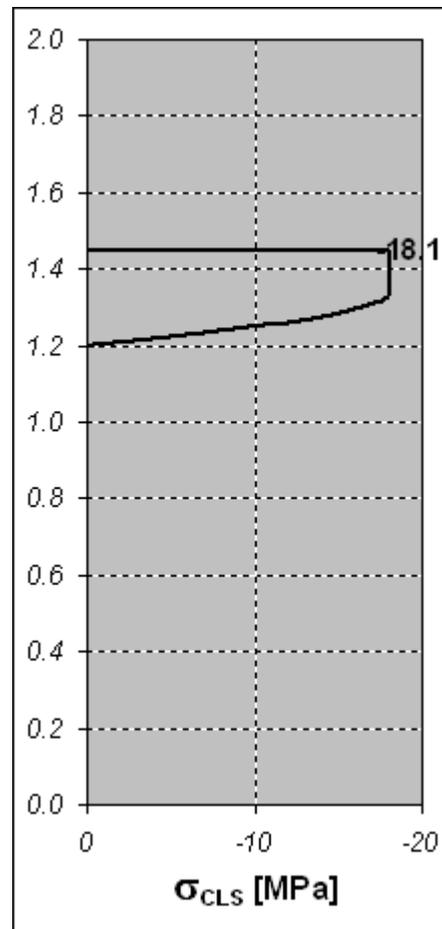
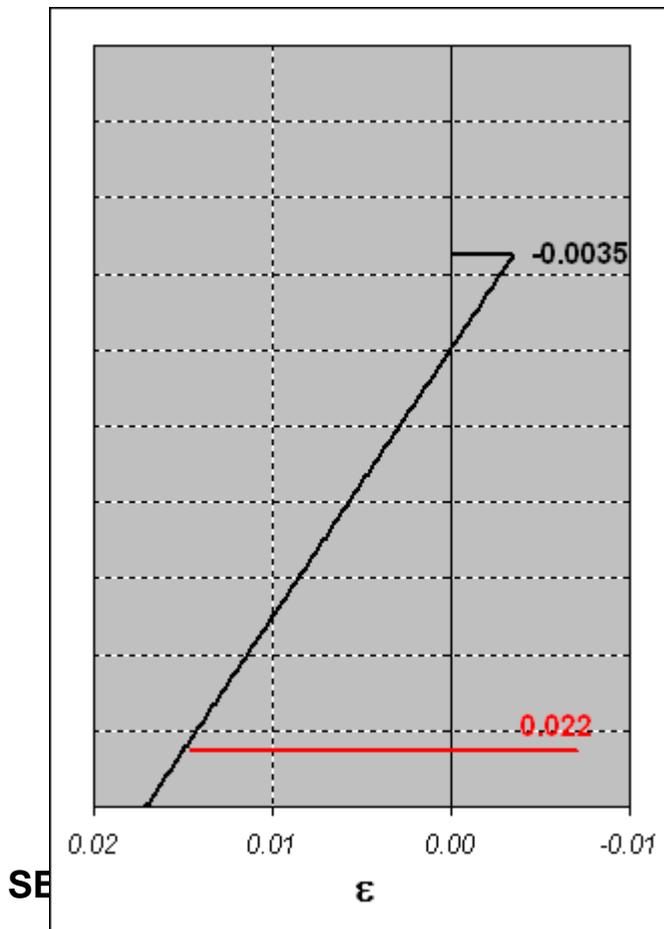
**armatura lenta assente**

$N_{Ed} =$	sforzo normale di progetto	di	kN	0
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	di	kNm	7571
$N_d =$	parametro di controllo		kN	0
$M_{Rd} =$	momento flettente resistente		kNm	10596

**verifica**

TIPO ROTTURA

**CRISI CLS con TREFOLI  
SNERVATI**



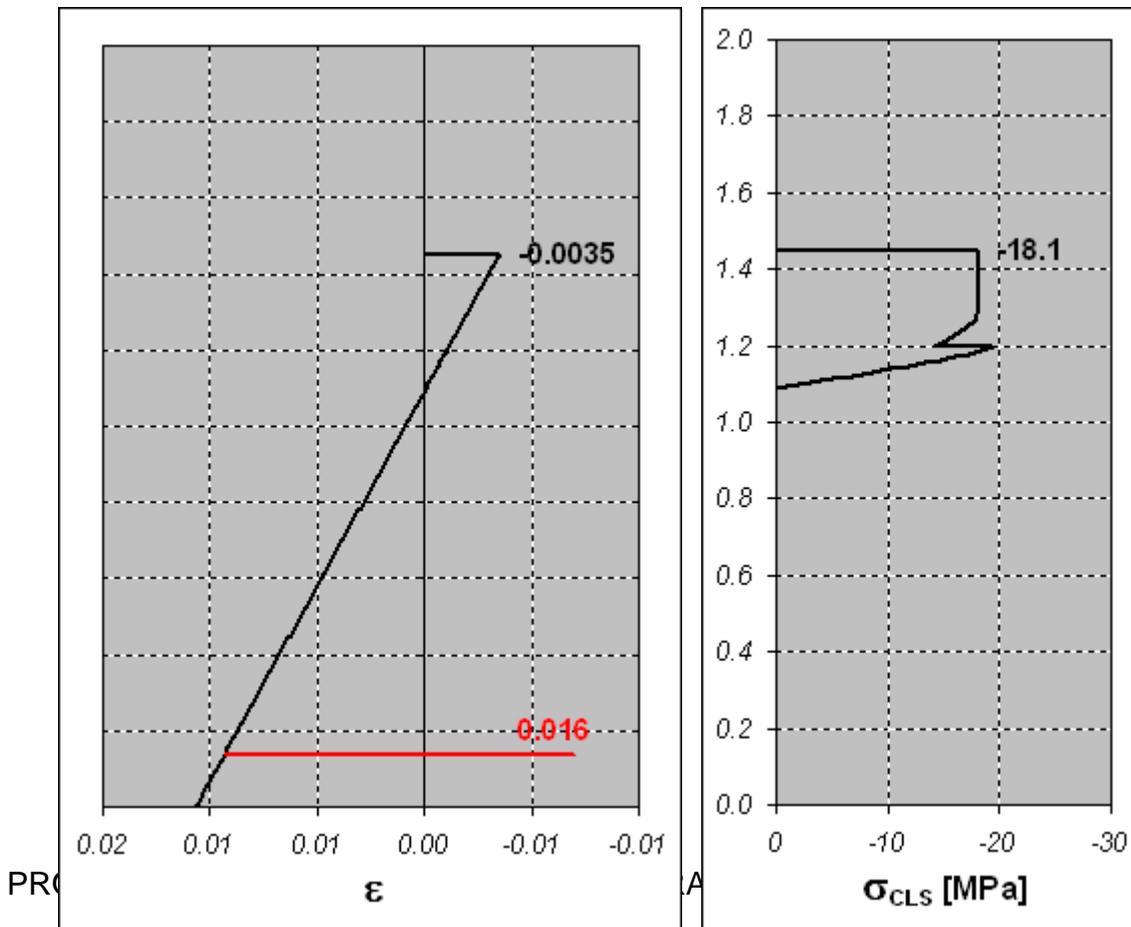
## VERIFICA

Tipo sezione CLS **N**  
 Schema armatura di precompressione **A0**  
 Schema armatura lenta **armatura lenta assente**

$N_{Ed} =$	sforzo normale di progetto	di	kN	0	
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	di	kNm	11348	
$N_d =$	parametro di controllo		kN	0	
$M_{Rd} =$	momento flettente resistente		kNm	14749	<b>verifica</b>

## TIPO ROTTURA

**CRISI CLS con TREFOLI  
SNERVATI**



## GEOMETRIA SEZIONI DI PROGETTO

	sezione		1	5	8
x =	ascissa sezione da asse appoggio	m	0.00	3.60	6.30
<i>Caratteristiche geometriche sezione trave+soletta cls</i>					
b <sub>i</sub> =	spessore trave - interfaccia trave-soletta	m	1.36	1.36	1.36
S <sub>i</sub> =	momento statico - interfaccia trave-soletta	m <sup>3</sup>	0.299	0.278	0.278
I <sub>x</sub> =	momento di inerzia rispetto all'asse x	m <sup>4</sup>	0.435	0.410	0.412

## TENSIONI TANGENZIALI

V <sub>2</sub> =	sforzo di taglio fase 2	kN	-875	-624	-522
τ <sub>i</sub> =	tensione tangenziale cls - interfaccia trave-soletta	MPa	0.4	0.3	0.3
A <sub>s,min</sub> =	area staffe minima	cm <sup>2</sup>	1.7	2.4	2.0

## ARMATURA TRASVERSALE DI CUCITURA

### base

p =	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	10	20	20
n ∅ =	numero bracci totali		4	4	4
∅ =	diametro ferri	mm	12	12	10

### aggiuntiva

n ∅ =	numero bracci totali		0	0	0
∅ =	diametro ferri	mm	0	0	0
A <sub>s</sub> =	area staffe	cm <sup>2</sup>	4.5	4.5	3.1
			✓	✓	✓

## PROGETTO A TAGLIO-TORSIONE DELLA TRAVE STATO LIMITE ULTIMO

### GEOMETRIA SEZIONI DI PROGETTO

	sezione		1	5	8
x =	ascissa sezione da asse appoggio	m	0.00	3.60	6.30

### VERIFICA A TAGLIO-TORSIONE

*Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU*

$\gamma_{G1}$ =	carichi permanenti strutturali	1.35
$\gamma_{G2}$ =	carichi permanenti non strutturali	1.5
$\gamma_Q$ =	carichi variabili da traffico	1.35

### *Sollecitazioni allo SLU*

$V_{Ed}$ =	valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	kN	1850	1339	1065
$T_{Ed}$ =	valore di calcolo del momento torcente agente	kNm	540	616	543

### *Resistenza di progetto*

$V_{Rd}$ =	resistenza a taglio di progetto	kN	2144	1651	1220
$T_{Rd}$ =	resistenza a torsione di progetto	kN	540	616	543
$T_{Ed}/T_{Rcd} + V_{Ed}/V_{Rcd} \leq 1$	: verifica bielle compresse di cls		0.88	0.94	0.81
			✓	✓	✓

### ARMATURA TRASVERSALE A TAGLIO-TORSIONE

$\rho$ =	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	20	20	20
$\emptyset$ =	diametro ferri	mm	14	12	10
$n \emptyset$ =	numero bracci totali		6	4	4
$A_s$ =	area staffe	cm <sup>2</sup>	9.2	4.5	3.1

### ARMATURA LONGITUDINALE A TORSIONE

$\rho =$	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	22	20	22
$n \emptyset =$	numero ferri totali		21	24	22
$\emptyset =$	diametro ferri	mm	12	12	12
$A_{sl} =$	area armatura longitudinale - torsione	cm <sup>2</sup>	23.8	27.1	24.9

## RESISTENZA A TAGLIO

### "taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw}/\rho \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$		kN	2144	1651	1220
$d =$	altezza utile sezione	m	1.27	1.30	1.31
$A_{sw} =$	area staffe - taglio	cm <sup>2</sup>	8.2	3.4	2.1
$f_{yd} =$	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391
$\alpha =$	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	deg	90	90	90

### "taglio compressione"

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$		kN	2700	1954	1812
$b_w =$	larghezza minima della sezione	m	0.32	0.28	0.28
$\sigma_{cp} =$	tensione di compressione del cls	MPa	4.7	5.5	6.1
$f_{cd} =$	resistenza di progetto compressione	MPa	25.5	25.5	25.5
$f'_{cd} =$	resistenza a compressione ridotta	MPa	12.8	12.8	12.8
$\alpha_c =$	coefficiente maggiorativo		1.19	1.21	1.24
$\theta =$	angolo di inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse della trave	deg	41	25	22
$\text{ctg}\theta =$	intervallo di variabilità [1;2.5]		1.16	2.1	2.5
$ V_{Rcd} - V_{Rsd} $	funzione da minimizzare	kN	556	304	592
$\theta_I =$	angolo di inclinazione prima fessurazione	deg	41	25	21

## RESISTENZA A TORSIONE

### bielle compresse

$T_{Rcd} = 2 \cdot \Omega \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \text{ctg}\theta / (1 + \text{ctg}^2\theta)$			2807	2456	2456
$\Omega =$	area sottesa dalla linea media $\Gamma$	m <sup>2</sup>	1.375	1.375	1.375

			9	9	9
t =	spessore della sezione cava	m	0.16	0.14	0.14
f <sub>cd</sub> =	resistenza a compressione ridotta	MPa	12.8	12.8	12.8
θ =	angolo di inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse della trave	deg	45.0	45.0	45.0
ctgθ =	intervallo di variabilità [0.4;2.5]		1.0	1.0	1.0
<b>staffe</b>					
T <sub>Rsd</sub> =	$2 \cdot \Omega \cdot A_s / p \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$	kN	540	616	543
A <sub>s</sub> =	area staffe - torsione	cm <sup>2</sup>	1.00	1.14	1.01
f <sub>yd</sub> =	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391
p =	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	20	20	20
<b>armatura longitudinale</b>					
T <sub>Rld</sub> =	$2 \cdot \Omega \cdot A_{sl} / u_m \cdot f_{yd} / ctg\theta$	kN	554	617	565
A <sub>sl,min</sub> =	area armatura longitudinale minima - torsione	cm <sup>2</sup>	23.2	27.1	23.9
u <sub>m</sub> =	perimetro medio del nucleo resistente	m	4.6	4.7	4.7

## PROGETTO CONNESSIONE STATO LIMITE ULTIMO

## ARMATURA TRAVE-SOLETTA

### GEOMETRIA SEZIONI DI PROGETTO

	sezione		1	5	8
x =	ascissa sezione da asse appoggio	m	0.00	3.60	6.30

### TENSIONI TANGENZIALI

V <sub>2</sub> =	sforzo di taglio fase 2	kN	1199	856	714
τ <sub>Edi</sub> =	tensione tangenziale cls agente - interfaccia trave-soletta	MPa	0.6	0.4	0.4
τ <sub>Rdi</sub> =	tensione tangenziale cls resistente - interfaccia trave-soletta	MPa	1.3	0.9	0.8
			✓	✓	✓

### ARMATURA TRASVERSALE DI CUCITURA

#### base

p =	interasse tra due armature trasversali	cm	20	20	20
-----	--	----	----	----	----

consecutive

n Ø =	numero bracci totali		6	4	4
Ø =	diametro ferri	mm	14	12	10
<i>aggiuntiva</i>					
n Ø =	numero bracci totali		0	0	0
Ø =	diametro ferri	mm	0	0	0
A <sub>s</sub> =	area staffe	cm <sup>2</sup>	9.2	4.5	3.1

### RESISTENZA A TAGLIO ALL'INTERFACCIA TRAVE-SOLETTA

$\tau_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$	MPa	1.29	0.89	0.77	
c =	fattore di scabrezza 1 - superficie liscia	0.35	0.35	0.35	
μ =	fattore di scabrezza 2 - superficie liscia	0.6	0.6	0.6	
f <sub>ctd</sub> =	resistenza di progetto a trazione - cls soletta	MPa	1.41	1.41	1.41
σ <sub>n</sub> =	tensione normale interfaccia (comp.>0)	MPa	0	0	0
ρ =	A <sub>s</sub> /A <sub>i</sub>		0.003	0.002	0.001
A <sub>s</sub> =	area armatura	cm <sup>2</sup>	9.24	4.52	3.14
A <sub>i</sub> =	area giunto	cm <sup>3</sup>	2715	2715	2715
f <sub>yd</sub> =	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391
α =	angolo di inclinazione armatura	deg	90	90	90
v =	coefficiente di riduzione della resistenza		0.5	0.5	0.5
f <sub>cd</sub> =	resistenza di progetto a compressione - cls soletta	MPa	18.1	18.1	18.1

## 10 IMPALCATO: EFFETTI LOCALI

### 10.1 SOLETTA

Si procede all'analisi degli effetti locali sulla soletta, soggetta all'azione dei carichi permanenti e dei carichi mobili.

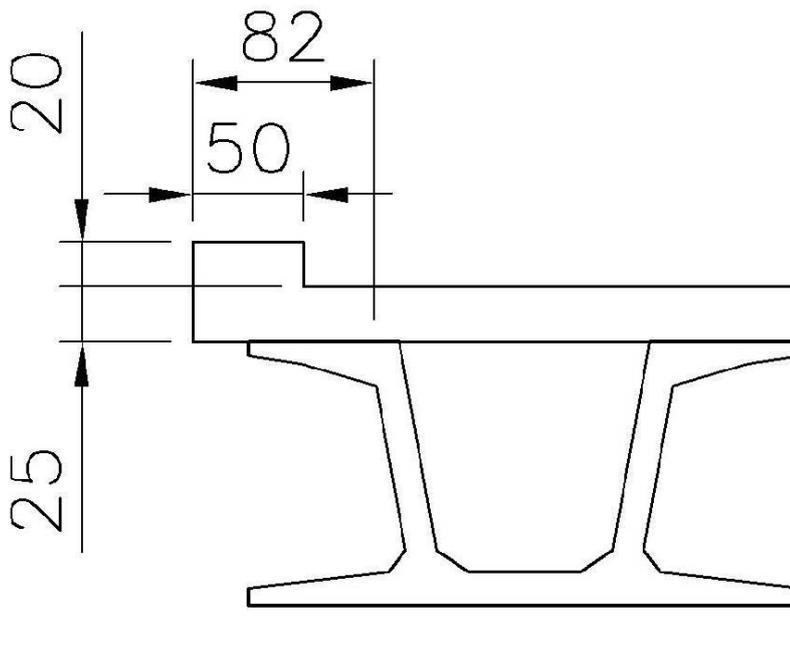
L'interasse delle travi è pari a 2.50 m, le fasce laterali hanno una larghezza di 1.50 m misurata dal baricentro delle travi di bordo, per un'estensione trasversale complessiva della soletta di 8.0 m. La soletta è gettata in opera con l'impiego di predalles a perdere dello spessore di 5 cm, appoggiate ai lembi delle travi a V prefabbricate, per uno spessore complessivo della soletta di 25 cm.

Nelle verifiche si trascura il contributo delle armatura presenti nel traliccio delle predalles, che comunque garantiscono la trasmissione degli sforzi di taglio tra la stessa e la soletta. I carichi mobili sono disposti in modo da massimizzare le caratteristiche della sollecitazione.

Si assume una diffusione dei carichi a 45° attraverso lo spessore della pavimentazione e della soletta. Per il carico concentrato del modello 1 (tandem system) si ottiene un'impronta in corrispondenza del piano medio della soletta pari a 85 cm x 85 cm.

### 10.1.1 Verifica sbalzo

Si considera la porzione di soletta a sbalzo dall'anima esterna della trave di bordo.



#### **Dati di calcolo**

Sbalzo	$L_{sb} =$	0.82	m
Larghezza cordolo	$L_c =$	0.50	m
Spessore cordolo	$sp_c =$	0.20	m
Spessore soletta	$sp_s =$	0.25	m
Larghezza pavimentazione	$L_{pav} =$	0.32	m
Spessore pavimentazione + massetto	$Sp_{pav} =$	0.10	m
Spessore tavelle	$Stav =$	0.00	m

#### **Azioni caratteristiche sulla soletta**

Pesi propri e permanenti portati

**TAGLIO**

**BRACCIO**

**MOMENTO**

	kN/m	m	kNm/m
soletta	5.125	0.410	-2.101
marciapiede	2.500	0.570	-1.425
velette	1.000	0.820	-0.820
canalette	0.000	0.000	0.000
sicurvia	2.000	0.570	-1.140
pavimentazione	0.960	0.160	-0.154

$$V_{pp} = 5.13 \text{ kNm} \qquad M_{pp} = -2.10 \text{ kNm}$$

$$V_{perm} = 6.46 \text{ kNm} \qquad M_{perm} = -3.54 \text{ kNm}$$

Carichi da traffico

Si considerano i seguenti schemi di carico di normativa:

SCHEMA 1 *due impronte di carico quadrate di lato b, a ridosso del sicurvia.*

SCHEMA 2 *singola impronta di carico rettangolare (b<sub>l</sub>x b<sub>t</sub>) a ridosso del sicurvia.*

SCHEMA 5 *carico di folla compatta sul marciapiede.*

Le impronte di carico, ognuna pesante P, viene proiettata dalla superficie di estradosso della pavimentazione fino al piano medio della soletta in calcestruzzo con una distribuzione a 45° verticale.

Il carico indotto da tali impronte si considera agente su una lunghezza di diffusione equivalente B\*,

ric conducendo il calcolo a piastra a quello di una trave a sbalzo.

Il valore della lunghezza di diffusione B\* è pari all'ingombro delle impronte effettive sul piano medio

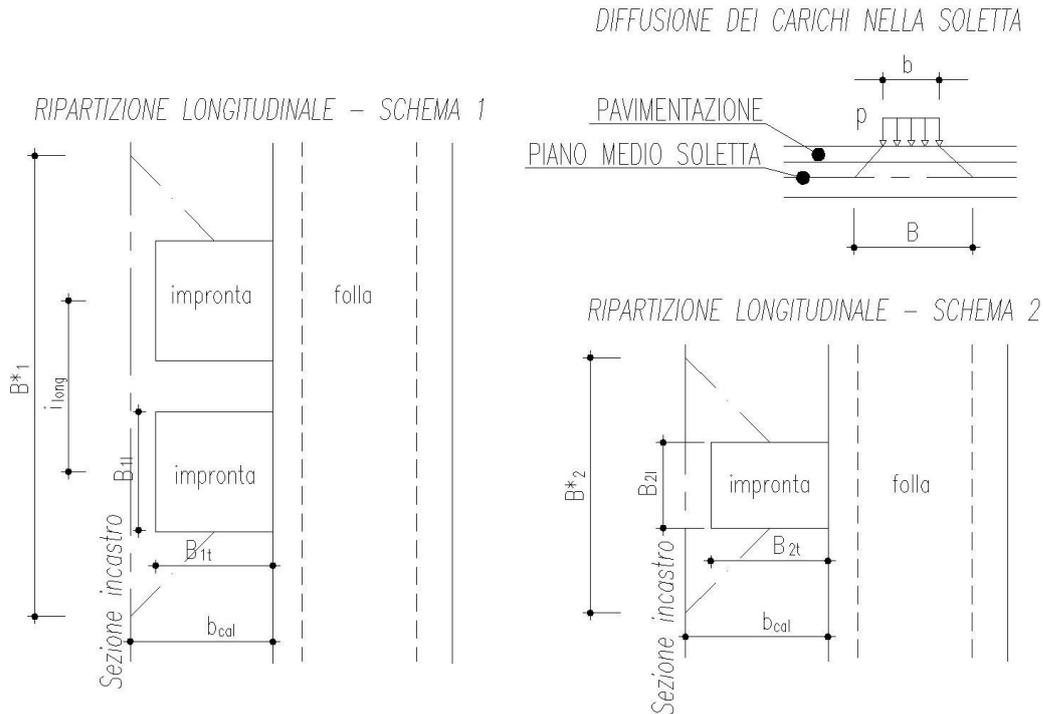
della soletta in cls, diffuso a 45° fino alla sezione di sbalzo.

Le sollecitazioni caratteristiche saranno pari al massimo tra le combinazioni:

$$\text{Max tra SCHEMA 1 e SCHEMA 2 + 0.5 * SCHEMA 5}$$

SCHEMA 5

Nella seguente figura si mostra il criterio di diffusione delle impronte di carico concentrate per lo Schema 1 e per lo Schema 2.



#### SCHEMA 1

lato impronta di carico	$b =$	0.40	m
lato impronta proiettata	$B =$	0.85	m
interasse impronte baricentro trasv. impronte	$i_{long} =$	1.20	m
lunghezza distribuzione carico impronta singola	$B^* =$	2.60	m
carico distribuito	$P =$	150	kN
carico distribuito impronte schema 1	$q =$	9.00	kN
	$p_1 =$	136.01	kN/m

	$M_{mob1}$	
momento max	$=$	-20.66 kNm
taglio max	$V_{mob1} =$	27.13 kN

#### SCHEMA 2

lato long. impronta di carico	$b_l =$	0.35	m
lato trasv. impronta di carico	$b_t =$	0.60	m
lato long. impronta proiettata	$B_l =$	0.80	m
lato trasv. impronta proiettata	$B_t =$	1.05	m
baricentro trasv. impronte	$b_{G,t} =$	0.27	m
lunghezza distribuzione carico impronta singola	$B^* =$	1.35	m
carico distribuito impronte schema 2	$P =$	200	kN
	$p_2 =$	141.62	kN/m
	$M_{mob2} =$	-21.03	kNm
momento max			
taglio max	$V_{mob2} =$	27.92	kN

#### SCHEMA 5

larghezza di folla	$L_f =$	0.00	m
braccio larghezza di folla	$b_f =$	0.00	m
carico folla compatta	$q_5 =$	5.00	kN/m <sup>2</sup>
	$M_{mob5} =$	0.00	kNm
momento max			
taglio max	$V_{mob5} =$	0.00	kN

#### INCREMENTO DINAMICO

coefficiente di incremento dinamico	$q_2 =$	1.00
-------------------------------------	---------	------

#### SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE

momento mobili	$M_{mob} =$	-21.03	kNm
taglio mobili	$V_{mob} =$	27.92	kN

#### **Combinazioni delle azioni agli Stati Limite**

- Combinazioni di carico SLU

### Coefficienti $\gamma$

pp	fav	1.00
	sfav	1.35
perm.	fav	0.00
	sfav	1.50
traffico	fav	0.00
	sfav	1.35
variabili	fav	0.00
	sfav	1.50
ritiro, visc. temp.	fav	0.00
	sfav	1.20

### Sollecitazioni verifiche SLU

$M_{pp}$ kNm	$M_{perm}$ kNm	$M_{mob}$ kNm
-2.101	-3.539	-21.03

$$M_{slu} = -36.54 \text{ kNm}$$

$V_{pp}$ kNm	$V_{perm}$ kNm	$V_{mob}$ kNm
5.125	6.460	27.92

$$V_{slu} = 50.12 \text{ kN}$$

### Combinazioni di carico SLE

### Coefficienti $\psi$

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
traffico	0.75	0.75	0.00
vento car.	0.60	0.20	0.00
vento scar	0.60	0.00	0.00
temp.	0.60	0.60	0.50

### Sollecitazioni verifiche SLE

$M_{pp}$	$M_{perm}$	$M_{mob}$

tm	tm	tm
-2.101	-3.539	-21.03

combinazione frequente  
combinazione quasi-  
permanente

$$M_{\text{freq}} = 21.41 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{q-p}} = -5.64 \text{ kNm}$$

### Verifiche sulla sezione

Si verifica la sezione di incastro della soletta avente le seguenti caratteristiche:

armatura superiore	Ø16/10	$A_{s,\text{sup}} = 20.11 \text{ cm}^2$
armatura inferiore	Ø16/20	$A_{s,\text{inf}} = 10.05 \text{ cm}^2$
altezza sezione	25	cm
copriferro superiore	5	cm
copriferro inferiore	5	cm
classe calcestruzzo	$R_{\text{ck}} =$	40 MPa

### Verifica a flessione SLU

momento di verifica SLU

$$M_{\text{slu}} = 36.54 \text{ kNm}$$

Verifica C.A. S.L.U. - File:

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. ?

Titolo : sbalzo soletta

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	25	1	10.05	5
			2	10.05	20

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Sd</sub> 0 kN  
M<sub>xSd</sub> 0 kNm  
M<sub>ySd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura: Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: FeB44k C30/37

ε<sub>su</sub> 10 ‰ ε<sub>cu</sub> 3.5  
f<sub>yd</sub> 373.9 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.75  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² α 0.85 ?  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
ε<sub>syd</sub> 1.870 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11.5  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6933  
τ<sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> -72.83 kN m

σ<sub>c</sub> -15.94 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 373.9 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 2.592 ‰  
ε<sub>s</sub> 10.00 ‰  
d 20.00 cm  
x 4.117 x/d 0.2058  
δ 0.7000

### Verifica a taglio SLU

taglio di verifica SLU

$$V_{slu} = 50.12 \text{ kN}$$

### SOLETTA SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

larghezza sezione	b <sub>w</sub> =	100	cm
altezza sezione	h =	25	cm
altezza utile sezione	d =	20	cm
armatura longitudinale	A <sub>sl</sub> =	10.05	cm <sup>2</sup>
rapporto geometrico armatura long.	ρ <sub>l</sub> =	0.0050	
tensione media di compressione	σ <sub>cp</sub> =	0	MPa
coefficiente parziale resistenza	γ <sub>c</sub> =	1.5	MPa

## Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

cls

resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} =$	<b>33</b>	<b>MPa</b>
resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} =$	<b>2.69</b>	<b>MPa</b>
resistenza a taglio	$V_{Rd} =$	<b>122.7</b>	<b>kN</b>

**VERIFICHE A FESSURAZIONE**

**SLE-F**

**Stato limite di apertura delle fessure**

**ESTRADOSSO SOLETTA**

**Sollecitazioni di verifica**

$N_{Ed}$ = sforzo normale sollecitante massimo	0.0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento sollecitante massimo	-21.4 [kNm]

**Calcolo della distanza media tra le fessure**

$c$ = copriferro	50 [mm]
$s_{rm} = 2(c + s/10) + k_2 k_3 \phi / \rho_r =$	275 [mm]
$s$ = interasse barre tese ( $\leq 14 \phi$ )	200 [mm]
$\phi$ = diametro della barra	16 [mm]
$k_2$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.4
$k_3$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.125
$\rho_r = A_s / A_{c\text{ eff}}$	0.0059
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c\text{ eff}}$	1005 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c\text{ eff}} = b_{\text{ eff}} d_{\text{ eff}}$	170000 [mm <sup>2</sup> ]
$b_{\text{ eff}} =$	1000 [mm]
$d_{\text{ eff}} =$	170 [mm]

**Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura**

$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s [1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] \quad (>= 0.4 \sigma_s / E_s)$	0.00057
$0.4 \sigma_s / E_s =$	0.0002
$E_s$ = modulo di elasticità normale	206000 [MPa]
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	120.4 [MPa]
$\sigma_{sr}$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata per ( $\sigma_c = f_{cfm}$ )	27.9 [MPa]
$f_{cfm}$ = resistenza a trazione media per flessione	3.10 [MPa]
$\beta_1$ = coefficiente aderenza acciaio cls	1.0
$\beta_2$ = coefficiente di sollecitazione	0.5

**Verifica dell'apertura delle fessure**

$w_m = \epsilon_{sm} s_{rm}$ = valore medio di apertura delle fessure	0.16 [mm]
$w_k = 1.7 w_m$ = valore caratteristico di apertura delle fessure	<b>0.27</b> [mm]
$w$ = valore limite di apertura delle fessure	<b>0.30</b> [mm]

**verificato**

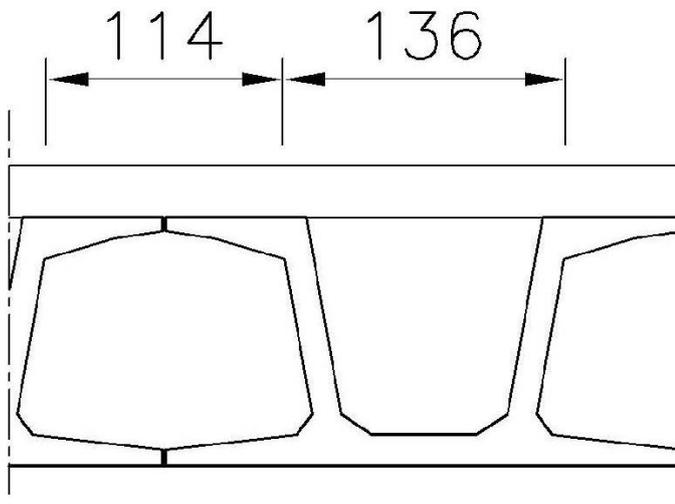
## 10.1.2 Verifica campo

### CALCOLO CAMPO SOLETTA

Si considera la soletta avente uno schema statico di trave incastrata tra le anime delle travi. La luce di

calcolo del campo di soletta è la distanza tra le semilarghezze delle ali superiori delle travi.

- b1 *campo di soletta compreso tra i piani medi delle anime della singola trave*
- b2 *campo di soletta compreso tra le sezioni critiche di due travi consecutive*



$$b1 = 1.36 \quad \text{m}$$

$$b2 = 1.14 \quad \text{m}$$

$$b_{\text{cal}} = \mathbf{1.36} \quad \text{m}$$

Stante l'armatura simmetrica della soletta si procede a verificare la sezione soggetta alla sollecitazione di momento flettente maggiore, considerato comunque positivo.

### **Azioni caratteristiche sulla soletta**

#### Pesi propri

$$\text{spessore soletta resistente} \quad s_{\text{sol}} = 0.25 \quad \text{m}$$

$$\text{spessore tavelle} \quad s_{\text{tav}} = 0.00 \quad \text{m}$$

$$\text{momento massimo} \quad M_{\text{pp}}^{\text{max}} = 0.963 \quad \text{kNm}$$

$$\text{taglio massimo } V_{pp}^{\max} = 4.250 \text{ kN}$$

Permanenti  
portati

spessore pavimentazione e massetto	$S_{pav} =$	0.15	m
peso pavimentazione e massetto	$q_{pav} =$	3.75	kN/m <sup>2</sup>
	$M_{pav}^{\max}$		
momento massimo	$=$	0.578	kNm
taglio massimo	$V_{pav}^{\max} =$	2.550	kNm

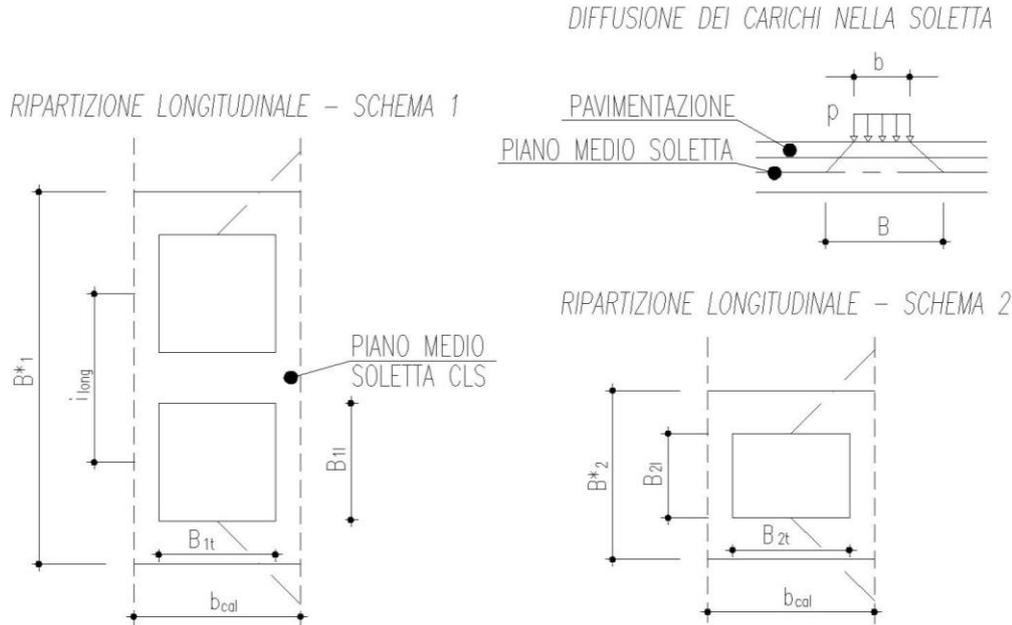
Carichi da  
traffico

Si considerano i seguenti schemi di carico di normativa:

- SCHEMA 1 *due impronte di carico quadrate di lato  $b$ , poste in mezzeria del campo di soletta considerato.*
- SCHEMA 2 *singola impronta di carico rettangolare ( $b_l \times b_t$ ) posta in mezzeria del campo di soletta.*

Le impronte di carico, ognuna pesante  $P$ , viene proiettata dalla superficie di estradosso della pavimentazione fino al piano medio della soletta in calcestruzzo con una distribuzione a 45° verticale.

Il carico indotto da tali impronte si considera agente su una lunghezza di diffusione equivalente  $B^*$ , riconducendo il calcolo a piastra ad un calcolo a trave continua su più appoggi. Il valore della lunghezza di diffusione  $B^*$  è pari all'ingombro delle impronte effettive sul piano medio della cls, maggiorato della semiluce di calcolo del campo di soletta.



### SCHEMA 1

lato impronta di carico	$b =$	0.40	m
lato impronta proiettata	$B =$	0.95	m
interasse impronte	$l_{long} =$	1.20	m
lunghezza distribuzione	$B^* =$	2.83	m
carico impronta singola	$P =$	150	kN
carico distribuito	$q =$	9	kN
carico distribuito impronte schema 1	$p_1 =$	111.59	kN/m

momento max	$M_{mob1} =$	11.73	kNm
taglio max	$V_{mob1} =$	53.00	kN

### Effetto trasverso Schema 1

$P =$	300	kN
$l =$	13.9	m
$d1 =$	6.35	m
$d2 =$	7.55	m
$x =$	6.95	m
$b =$	6.5	m

m = 1	m = 3	m = 5
mu,alfa= 0.0758	mu,alfa= 0.02553	mu,alfa= 0.0153
p1m = 42.77	p1m = -39.64	p1m = 33.62
p2m = 42.77	p2m = -39.64	p2m = 33.62
M1m = 3.243	M1m = 1.012	M1m = 0.515
M2m = 3.243	M2m = 1.012	M2m = 0.515

$$Mrip = 9.539 \text{ kNm}$$

#### SCHEMA 2

lato trasv. impronta di carico	$b_t =$	0.35	m
lato long. impronta di carico	$b_l =$	0.60	m
lato trasv. impronta proiettata	$B_t =$	0.90	m
lato long. impronta proiettata	$B_l =$	1.15	m
lunghezza distribuzione	$B^* =$	1.83	m
carico impronta singola	$P =$	200	kN
carico distribuito impronte schema 2	$p_2 =$	121.43	kN/m

$$\text{momento max } M_{mob2} = 15.87 \text{ kNm}$$

$$\text{taglio max } V_{mob2} = 54.64 \text{ kN}$$

#### Effetto trasverso Schema 2

$P =$	360	kN
$l =$	13.9	m
$d =$	6.95	m
$b =$	6.5	m

m = 1	m = 3	m = 5
mu,alfa= 0.0758	mu,alfa= 0.02553	mu,alfa= 0.0153
pm = 51.80	pm = -51.80	pm = 51.80
Mm = 3.9271	Mm = 1.32244	Mm = 0.7935

$$Mrip = 6.043 \text{ kNm}$$

#### INCREMENTO DINAMICO

coefficiente di incremento dinamico	$q_2 =$	1.00
--	---------	------

#### SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE

momento mobili  $M_{mob} = 21.91 \text{ kNm}$

taglio mobili  $V_{mob} = 54.64 \text{ kN}$

### Combinazioni delle azioni agli Stati Limite

#### Combinazioni di carico SLU

##### Coefficienti $\gamma$

pp	fav	1.00
	sfav	1.35
perm.	fav	0.80
	sfav	1.50
traffico	fav	0.00
	sfav	1.35
variabili	fav	0.00
	sfav	1.50
ritiro, visc. temp.	fav	0.00
	sfav	1.20

##### Sollecitazioni verifiche SLU

$M_{pp}$ kNm	$M_{perm}$ kNm	$M_{mob}$ kNm
0.963	0.578	21.91

$M_{slu} = 31.75 \text{ kNm}$

$V_{pp}$ kN	$V_{perm}$ kN	$V_{mob}$ kN
4.250	2.550	54.64

$V_{slu} = 75.14 \text{ kNm}$

#### Combinazioni di carico SLE

##### Coefficienti $\psi$

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
traffico	0.75	0.75	0.00
vento	0.60	0.20	0.00

car.			
vento			
scar	0.60	0.00	0.00
temp.	0.60	0.60	0.50

### Sollecitazioni verifiche SLE

$M_{pp}$ tm	$M_{perm}$ tm	$M_{mob}$ tm
0.963	0.578	21.91

combinazione frequente  
combinazione quasi-  
permanente

$$M_{freq} = 17.97 \text{ kNm}$$

$$M_{q-p} = 1.54 \text{ kNm}$$

### Verifiche sulla sezione

Si verifica la sezione di incastro della soletta con la seguente armatura:

armatura superiore	Ø16/20	$A_{s,sup} = 10.05 \text{ cm}^2$
armatura inferiore	Ø16/20	$A_{s,inf} = 10.05 \text{ cm}^2$
altezza sezione	25 cm	
copriferro superiore	5 cm	
copriferro inferiore	5 cm	
classe calcestruzzo	$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$	

### Verifica a flessione SLU

momento di verifica SLU

$$M_{slu} = 31.75 \text{ kNm}$$

Verifica C.A. S.L.U. - File:

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. ?

Titolo : sbalzo soletta

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	25	1	10.05	5
			2	10.05	20

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Sd</sub> 0 kN  
 M<sub>xSd</sub> 0 kNm  
 M<sub>ySd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

FeB44k	C30/37
ε <sub>su</sub> 10 ‰	ε <sub>cu</sub> 3.5
f <sub>yd</sub> 373.9 N/mm²	f <sub>cd</sub> 18.75
E <sub>s</sub> 200 000 N/mm²	α 0.85 ?
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> 15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> 0.8 ?
ε <sub>syd</sub> 1.870 ‰	σ <sub>c,adm</sub> 11.5
σ <sub>s,adm</sub> 255 N/mm²	τ <sub>co</sub> 0.6933
	τ <sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> -72.83 kN m

σ<sub>c</sub> -15.94 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 373.9 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 2.592 ‰  
 ε<sub>s</sub> 10.00 ‰  
 d 20.00 cm  
 x 4.117 x/d 0.2058  
 δ 0.7000

Verifica a taglio SLU

taglio di verifica SLU

V<sub>slu</sub> = 75.14 kN

SOLETTA SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

larghezza sezione	b <sub>w</sub> =	100	cm
altezza sezione	h =	25	cm
altezza utile sezione	d =	20	cm
armatura longitudinale	A <sub>sl</sub> =	10.05	cm²
rapporto geometrico armatura long.	ρ <sub>l</sub> =	0.0050	

## Cavalcavia cimitero - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

tensione media di compressione	$\sigma_{cp} =$	0	MPa
coefficiente parziale resistenza cls	$\gamma_c =$	1.5	MPa
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} =$	33	MPa
resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} =$	2.69	MPa
resistenza a taglio	$V_{Rd} =$	<b>122.7</b>	<b>kN</b>

**VERIFICHE A FESSURAZIONE**

**SLE-F**

**Stato limite di apertura delle fessure**

**ESTRADOSSO SOLETTA**

**Sollecitazioni di verifica**

$N_{Ed}$ = sforzo normale sollecitante massimo	0.0 [kN]
$M_{Ed}$ = momento sollecitante massimo	-18.0 [kNm]

**Calcolo della distanza media tra le fessure**

$c$ = copriferro	50 [mm]
$s_{rm} = 2(c + s/10) + k_2 k_3 \phi / \rho_r =$	275 [mm]
$s$ = interasse barre tese ( $\leq 14 \phi$ )	200 [mm]
$\phi$ = diametro della barra	16 [mm]
$k_2$ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.4
$k_3$ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.125
$\rho_r = A_s / A_{c\text{ eff}}$	0.0059
$A_s$ = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c\text{ eff}}$	1005 [mm <sup>2</sup> ]
$A_{c\text{ eff}} = b_{\text{ eff}} d_{\text{ eff}}$	170000 [mm <sup>2</sup> ]
$b_{\text{ eff}} =$	1000 [mm]
$d_{\text{ eff}} =$	170 [mm]

**Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura**

$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s [1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2]$ ( $\geq 0.4 \sigma_s / E_s$ )	0.00047
$0.4 \sigma_s / E_s =$	0.0002
$E_s$ = modulo di elasticità normale	206000 [MPa]
$\sigma_s$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	101.1 [MPa]
$\sigma_{sr}$ = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata per ( $\sigma_c = f_{cfm}$ )	27.9 [MPa]
$f_{cfm}$ = resistenza a trazione media per flessione	3.10 [MPa]
$\beta_1$ = coefficiente aderenza acciaio cls	1.0
$\beta_2$ = coefficiente di sollecitazione	0.5

**Verifica dell'apertura delle fessure**

$w_m = \epsilon_{sm} s_{rm}$ = valore medio di apertura delle fessure	0.13 [mm]
$w_k = 1.7 w_m$ = valore caratteristico di apertura delle fessure	<b>0.22</b> [mm]
$w$ = valore limite di apertura delle fessure	<b>0.30</b> [mm]

**verificato**

## 10.2 Traversi

L'impalcato in oggetto è caratterizzato dalla presenza di soli traversi di testata, in corrispondenza degli appoggi. Essi vengono prefabbricati, realizzando dei setti in corrispondenza delle testate della trave; in opera si eseguono i conci di sutura tra i setti delle travi accostate; a maturazione avvenuta si realizza una precompressione centrata a mezzo di 2 barre dywidag del diametro di 36 mm, antecedente la fase di getto della soletta.

La condizione di carico più sfavorevole per tali elementi strutturali è costituita dalle operazioni di sollevamento dell'impalcato per intervento di sostituzione degli apparecchi di appoggio. Si ipotizza e si richiede che il sollevamento avvenga mediante disposizione di almeno 3 martinetti, secondo lo schema riportato in figura e adottato nella valutazione delle caratteristiche della sollecitazione. Nei calcoli di seguito riportati, si considera una larghezza collaborante del traverso pari a 1.1 m di soletta.

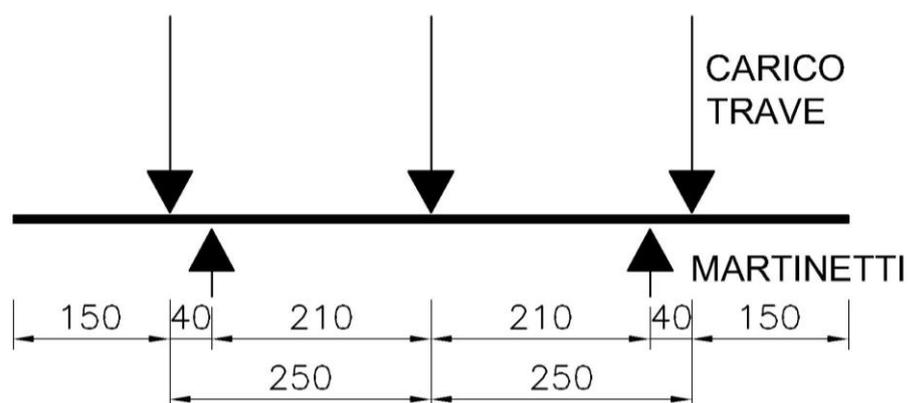


Figura 2: schema di sollevamento impalcato.

Il carico concentrato in corrispondenza delle estremità di ciascuna trave vale:

$$P = (p_{trave} + p_{soletta} + p_{perm.port.}) \cdot L/2 + p_{traverso} \cdot L_{traverso} / n_{travi} = 680 \text{ kN.}$$

Lo schema di calcolo del traverso è quello di trave continua, dove gli appoggi sono rappresentati dai martinetti, mentre le forze concentrate rappresentano l'impalcato, discretizzato in corrispondenza delle travi.

### 10.2.1 Verifiche di resistenza

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni ricavate dal modello descritto per la condizione di sollevamento e le verifiche per le sollecitazioni di flessione e taglio.

In particolare si effettuano:

- la verifica di resistenza a flessione della soletta collaborante con il traverso (SLE);
- la verifica a flessione del traverso (si garantisce la non parzializzazione della sezione);
- la verifica a taglio del traverso prefabbricato;
- la verifica dei giunti: il rapporto tra lo sforzo di taglio e lo sforzo normale in fase di sollevamento in corrispondenza dell'interfaccia traverso prefabbricato-concio gettato in opera deve essere inferiore a 0.35.

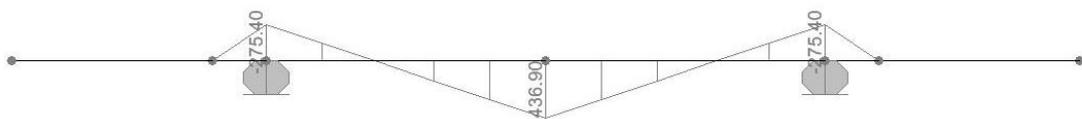


Figura 3: sollecitazioni flettenti in fase di sollevamento.

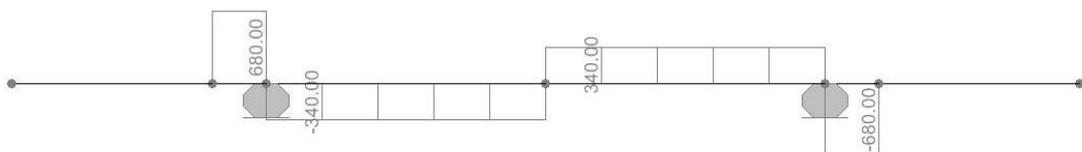


Figura 4: sollecitazioni taglianti in fase di sollevamento.

larghezza traverso	$b_t$ [m]	0.3
altezza traverso	$h_t$ [m]	1.2
larghezza collaborante soletta	$b_{eff,s}$ [m]	1.1
altezza soletta	$h_s$ [m]	0.25
<i>armatura superiore soletta</i>		
copriferro superiore	$c'$ [m]	0.05
interasse superiore	$i'$ [m]	0.20
numero	$n^\circ \emptyset$	5
diametro	$\emptyset$ [mm]	16
area	$A_{s'}$ [m <sup>2</sup> ]	0.0010
<i>armatura inferiore soletta</i>		
copriferro inferiore	$c$ [m]	0.05
interasse inferiore	$i$ [m]	0.20
numero	$n^\circ \emptyset$	5
diametro	$\emptyset$ [mm]	16
area	$A_s$ [m <sup>2</sup> ]	0.0010
<b>Armatura da precompressione</b>		
Barre Dywidag		
diametro barra	$\emptyset$ [mm]	36
numero barre	$n \emptyset$	2
tensione di tiro	$\sigma_p$ [MPa]	700
forza di precompressione barra	$N_{1p}$ [kN]	713
<b>Sollecitazioni di presso-flessione</b>		
sforzo normale sollecitante massimo	$N$ [kN]	-1425
momento sollecitante massimo	$M$ [kNm]	437
area sezione trasverso	$A$ [m <sup>2</sup> ]	0.36
posizione asse neutro	$y_n$ [m]	0.54
inerzia sezione omogeneizzata trave+soletta	$J_{id}$ [m <sup>4</sup> ]	0.1664

**Verifica a presso-flessione - momento positivo**

**Soletta**

tensione estradosso soletta	$\sigma_{s,s}$ [MPa]	-1.4 <b>verificato</b>
tensioni armatura superiore soletta	$\sigma_{a,s}$ [MPa]	-19.1 <b>verificato</b>

**Traverso**

tensione estradosso traverso	$\sigma_{s,t}$ [MPa]	-4.7 <b>verificato</b>
tensione intradosso traverso	$\sigma_{i,t}$ [MPa]	-1.6 <b>verificato</b>

**Sollecitazioni di presso-flessione - momento negativo**

sforzo normale sollecitante massimo	N [kN]	-1425
momento sollecitante massimo	M [kNm]	-275
area sezione trasverso	A [m <sup>2</sup> ]	0.36
posizione asse neutro	$y_n$ [m]	0.79
inerzia sezione omogeneizzata trave+soletta	$J_{id}$ [m <sup>4</sup> ]	0.0419

**Verifica a presso-flessione**

**Soletta**

tensione estradosso soletta	$\sigma_{s,s}$ [MPa]	5.2
tensioni armatura superiore soletta	$\sigma_{a,s}$ [MPa]	73.2 <b>verificato</b>

**Traverso**

tensione estradosso traverso	$\sigma_{s,t}$ [MPa]	-0.4 <b>verificato</b>
tensione intradosso traverso	$\sigma_{i,t}$ [MPa]	-8.3 <b>verificato</b>

### Verifiche a taglio

#### Armatura trasversale a taglio

$V_{Sd}$ =	taglio di calcolo	680	[kN]
$b_w$ =	larghezza sezione	300	[mm]
$h$ =	altezza sezione	1400	[mm]
$d$ =	altezza utile sezione	1350	[mm]
$n^\circ \emptyset$ =	numero armature trasversali	2	
$\emptyset$ =	diametro armature trasversali	14	[mm]
$s$ =	interasse armature trasversali	150	[mm]
$A_{sw}$ =	area dell'armatura trasversale	308	[mm <sup>2</sup> ]
$f_{yd}$ =	resistenza di progetto	374	[MPa]
$f_{cd}$ =	resistenza a compressione del cls	17.6	[MPa]
$v$ =	fattore di riduzione di $f_{cd}$	0.7	
$\alpha$ =	angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	90	[DEG]
$\cot \theta$ =		1.0	
$\theta$ =	angolo di inclinazione puntone compresso rispetto asse trave	45.0	[DEG]
$V_{Rsd}$ =	resistenza a taglio trazione	932	[kN]
$f_{cd}'$ =	resistenza a compressione del cls ridotta	8.8	[MPa]
$V_{Rcd}$ =	resistenza a taglio compressione	1607	[kN]
$V_{Rd}$ =	resistenza a taglio	<b>932</b>	[kN]

**verificato**

#### Verifica in fase di sollevamento

$V$ =	taglio di calcolo in corrispondenza del giunto	340	[kN]
$N_p$ =	sforzo normale di precompressione in corrispondenza del giunto	1425	[kN]
$V/N_p$ =	rapporto tra lo sforzo di taglio e lo sforzo normale	0.24	<b>&lt;0.35</b>

**verificato**

## 11 REAZIONI VINCOLARI

### SCHEMA DI VINCOLO

Legenda



F = appoggio fisso



UL = appoggio unilaterale longitudinale



UT = appoggio unilaterale trasversale



M = appoggio mobile

$R_v$  = reazione verticale appoggio  
 $R_l$  = reazione longitudinale appoggio  
 $R_t$  = reazione trasversale appoggio

#### Allineamento

trave 1

trave 2

trave 3

**A**

**F**

**UT**

**UT**

**B**

**UL**

**M**

**M**

n. appoggi	3	3
n. fissi longitudinali	3	0
n. fissi trasversali	1	1

#### VALORI CARATTERISTICI

azione		$R_v$ kN	$R_l$ kN	$R_t$ kN
peso proprio trave	g1	273	0	0
peso proprio traversi	g1	15	0	0
peso proprio soletta	g1	229	0	0
permanenti portati	g2	159	0	0

carichi mobili	q1	753	0	0
azione di frenamento	q3	0	145	0
azione centrifuga	q4	0	0	0
vento	q5	0	0	158
sismica	q6	0	543	1083

COMBINAZIONE	U6		Rv	RI	Rt
azione		$\gamma$	kN	kN	kN
peso proprio trave		1.00	273	0	0
peso proprio traversi		1.00	15	0	0
peso proprio soletta		1.00	229	0	0
permanenti portati		1.00	159	0	0
carichi mobili		0.00	0	0	0
azione di frenamento		0.00	0	0	0
azione centrifuga		0.00	0	0	0
vento		0.00	0	0	0
sismica		1.00	0	543	1083
<b>totale</b>			<b>676</b>	<b>543</b>	<b>1083</b>

COMBINAZIONE	U2		Rv	RI	Rt
azione		$\gamma$	kN	kN	kN
peso proprio trave		1.35	369	0	0
peso proprio traversi		1.35	20	0	0
peso proprio soletta		1.35	309	0	0
permanenti portati		1.50	238	0	0
carichi mobili		1.35	1017	0	0
azione di frenamento		0.00	0	0	0
azione centrifuga		0.00	0	0	0
vento		0.90	0	0	142
sismica		0.00	0	0	0
<b>totale</b>			<b>1953</b>	<b>0</b>	<b>142</b>

## 12 Appendice 1: FENOMENI LENTI

### FASI COSTRUTTIVE - TEMPISTICA

età del cls al momento di recisione dei trefoli	$t_0$	7 g
età del cls al momento di getto della soletta	$t_1$	60 g
età del cls al momento di esecuzione delle finiture	$t_2$	90 g
età del cls a tempo infinito	$t_\infty$	18250 g

### RESISTENZA

#### trave

resistenza caratteristica	cilindrica	$f_{ck}$	45 MPa
resistenza compressione del cls	media	$a$ $f_{cm} = f_{ck} + 8$	53 MPa
maturazione a vapore (S/N)			S
età del calcestruzzo in funzione della temperatura		$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)} - 13,65} \cdot \Delta t_i$	10.2 g
temperatura vapore		$T(\Delta t_i)$	80 °C
numero di giorni in cui risulta prevalente la temperatura $T$		$\Delta t_i$	1 g
resistenza compressione del cls al tempo $t_0$	caratteristica	$a$ $f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8$ (MPa) per $3 < t < 28$ d. $f_{ck}(t) = f_{ck}$ per $t \geq 28$ d.	36.9 MPa
resistenza compressione del cls al tempo $t_0$	media	$a$ $f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$	44.9 MPa
coefficiente che dipende dall'età $t_0$ del cls		$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{s\left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$	0.848
tipo di cemento		classe R/N/S	N
coefficiente che dipende dal tipo di cemento			0.25
<b>soletta</b>			
resistenza caratteristica	cilindrica	$f_{ck}$	32 MPa

resistenza media a compressione del cls	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	40 MPa
maturazione a vapore (S/N)		N
tipo di cemento	classe R/N/S	N
coefficiente che dipende dal tipo di cemento		0.25

## MODULO ELASTICO

modulo elastico del cls al tempo $t_0$	$E_{cm}(t) = [f_{cm}(t) / f_{cm}]^{0.3} E_{cm}$	34531 MPa
modulo elastico del cls	$E_{cm} = 22 [(f_{cm})/10]^{0.3}$	36283 MPa

## VISCOSITÀ

### carichi di fase 1

coefficiente di viscosità per $t=t_1, t_0=t_0$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	0.97
coefficiente di viscosità per $t=t_2, t_0=t_0$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	1.09
coefficiente di viscosità per $t=t_\infty, t_0=t_0$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	1.89
coefficiente di viscosità per $t=t_2-t_1, t_0=t_0$	$\varphi(t_2-t_1, t_0)$	0.13
coefficiente di viscosità per $t=t_\infty-t_2, t_0=t_0$	$\varphi(t_\infty-t_2, t_0)$	0.80
coefficiente nominale di viscosità	$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$	1.90
percentuale di viscosità al tempo $t_1$	$\alpha_{v,t1}$	51%
percentuale di viscosità al tempo $t_2-t_1$	$\alpha_{v,t2-t1}$	7%
percentuale di viscosità al tempo $t_\infty-t_2$	$\alpha_{v,t_\infty-t2}$	42%

coefficiente di influenza dell'umidità relativa	$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa}$	1.39
	$\varphi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$	
umidità relativa	RH	70 %
coefficiente di influenza della resistenza del cls	$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$	2.31
resistenza media compressione del cls	$a \quad f_{cm} = f_{ck} + 8$	53 MPa
coefficiente di influenza di $t_0$	$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})}$	0.59
dimensione fittizia dell'elemento - trave	$h_0 = \frac{2A_c}{u}$	143 mm
area della sezione trasversale - trave	$A_c$	0.64 m <sup>2</sup>
perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera - trave	$u$	9.00 m
coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_1$ ; $t_0=t_0$	$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$	0.508
coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_2$ ; $t_0=t_0$	$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$	0.574
coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_\infty$ ; $t_0=t_0$	$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$	0.993
coefficiente dipendente da RH e $h_0$	$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1\,500 \quad \text{per } f_{cm} \leq 35$ $\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1\,500 \alpha_3 \quad \text{per } f_{cm} \geq 35$	427
coefficiente 1 di influenza della resistenza del cls	$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7}$	0.748
coefficiente 2 di influenza della resistenza del cls	$\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2}$	0.920
coefficiente 3 di influenza della resistenza del cls	$\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5}$	0.813

### carichi di fase 2

coefficiente di viscosità per $t=t_2, t_0=t_1$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	<b>0.51</b>
coefficiente di viscosità per $t=t_\infty, t_0=t_1$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	1.27
	$\varphi(t_\infty - t_2, t_1)$	<b>0.76</b>
coefficiente nominale di viscosità	$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$	<b>1.29</b>
percentuale di viscosità al tempo $t_2$	$\alpha_{v, t_2}$	<b>40%</b>
percentuale di viscosità al tempo $t_\infty - t_2$	$\alpha_{v, t_\infty - t_2}$	<b>59%</b>
coefficiente di influenza dell'umidità relativa	$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa}$ $\varphi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$	1.32
umidità relativa	RH	70 %
coefficiente di influenza della resistenza del cls	$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$	2.31
resistenza media compressione del cls	a $f_{cm} = f_{ck} + 8$	53 MPa
coefficiente di influenza di $t_1$	$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})}$	0.42
dimensione fittizia dell'elemento - trave	$h_0 = \frac{2A_c}{u}$	272 mm
area della sezione trasversale - trave	$A_c$	1.22 m <sup>2</sup>
perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera - u trave		9.00 m

coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo  $t=t_2$ ;  $t_0=t_1$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$$

0.396

coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo  $t=t_\infty$ ;  $t_0=t_1$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$$

0.990

coefficiente dipendente da RH e  $h_0$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{per } f_{cm} \leq 35$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 \quad \text{per } f_{cm} \geq 35$$

629

coefficiente 1 di influenza della resistenza del cls

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7}$$

0.748

coefficiente 2 di influenza della resistenza del cls

$$\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2}$$

0.920

coefficiente 3 di influenza della resistenza del cls

$$\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5}$$

0.813

### carichi di fase 3

coefficiente di viscosità per  $t=t_\infty$ ,  $t_0=t_2$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$$

1.18

coefficiente nominale di viscosità

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

1.19

percentuale di viscosità al tempo  $t_\infty$

$$\alpha_{v, t_\infty}$$

99%

coefficiente di influenza dell'umidità relativa

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa}$$

1.32

$$\varphi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

umidità relativa

RH

70 %

coefficiente di influenza della resistenza del cls

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

2.31

resistenza media a compressione del cls

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

53 MPa

coefficiente di influenza di  $t_1$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})}$$

0.39

dimensione dell'elemento - trave	fittizia $h_0 = \frac{2A_c}{u}$		272 mm
area della sezione trasversale - trave	$A_c$		1.22 m <sup>2</sup>
perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera - u trave			9.00 m
coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_0$ ; $t_0=t_2$	$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$		0.990
coefficiente dipendente da RH e $h_0$	$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1 500$ $\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1 500 \alpha_3$	per $f_{cm} \leq 35$ per $f_{cm} \geq 35$	629
coefficiente 1 di influenza della resistenza del cls	$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7}$		0.748
coefficiente 2 di influenza della resistenza del cls	$\alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2}$		0.920
coefficiente 3 di influenza della resistenza del cls	$\alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5}$		0.813

## RITIRO

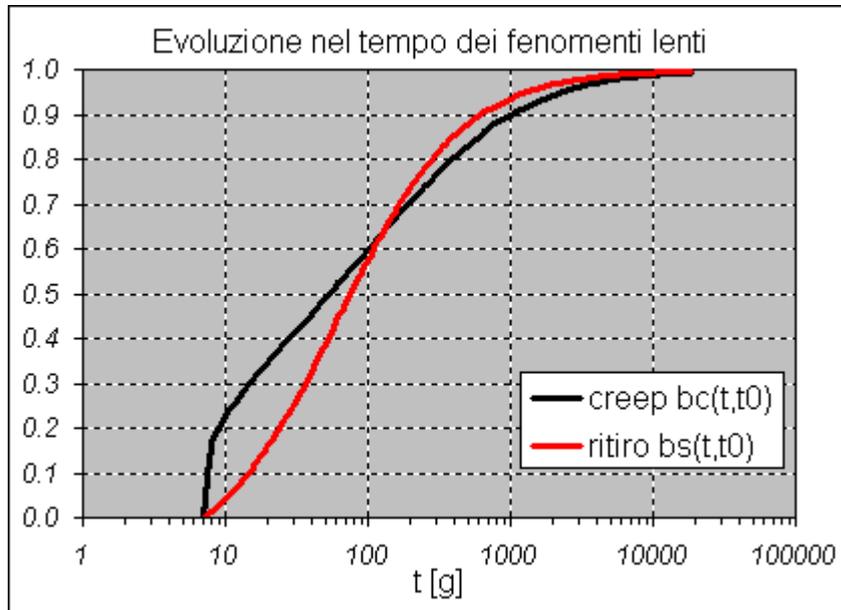
### trave

deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_1$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$		0.00012
deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_2$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$		0.00015
deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_\infty$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$		0.00028
coefficiente di influenza di $h_0$	$k_h$		0.93
coefficiente di evoluzione del ritiro per essiccamento al tempo $t=t_1$	$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$		0.436

coefficiente di evoluzione del ritiro per essiccamento al tempo $t=t_2$	$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$	0.547
coefficiente di evoluzione del ritiro per essiccamento al tempo $t=t_\infty$	$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$	0.996
età del cls all'inizio del ritiro per essiccamento	$t_s$	7 g
valore finale della deformazione da ritiro per essiccamento	$\varepsilon_{cd} = 0,85 \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$	0.00030
coefficiente di influenza dell'umidità relativa	$\beta_{RH} = 1,55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right]$	1.018
	$RH_0$	100
	$f_{cm0}$	10 MPa
coefficiente 1 di influenza del tipo di cemento	$\alpha_{ds1}$	4
coefficiente 2 di influenza del tipo di cemento	$\alpha_{ds2}$	0.12
deformazione da ritiro autogeno al tempo $t=t_1$	$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty)$	0.00000
deformazione da ritiro autogeno al tempo $t=t_2$	$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty)$	0.00000
deformazione da ritiro autogeno al tempo $t=t_\infty$	$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty)$	0.00000
valore finale della deformazione da ritiro autogeno	$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 (f_{ck} - 10) 10^{-6}$	0.00000
coefficiente di evoluzione del ritiro autogeno al tempo $t=t_1$	$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$	0.788
coefficiente di evoluzione del ritiro autogeno al tempo $t=t_2$	$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$	0.850

coefficiente di evoluzione del ritiro autogeno al tempo $t=t_{\infty}$	$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$	1.000
deformazione da ritiro al tempo $t_1$	$\varepsilon_{cs}(t_1)$	<b>0.00012</b>
deformazione da ritiro al tempo $t_2$	$\varepsilon_{cs}(t_2)$	0.00015
deformazione da ritiro al tempo $t_{\infty}$	$\varepsilon_{cs}(t_{\infty})$	0.00028
deformazione da ritiro al tempo $t_2-t_1$	$\varepsilon_{cs}(t_2-t_1)$	<b>0.00003</b>
deformazione da ritiro al tempo $t_{\infty}-t_2$	$\varepsilon_{cs}(t_{\infty}-t_2)$	<b>0.00013</b>
valore finale della deformazione da ritiro	$\varepsilon_{cs}$	<b>0.00028</b>
percentuale di ritiro al tempo $t_1$	$\alpha_{cs,t_1}$	<b>44%</b>
percentuale di ritiro al tempo $t_2-t_1$	$\alpha_{cs,t_2-t_1}$	<b>11%</b>
percentuale di ritiro al tempo $t_{\infty}-t_2$	$\alpha_{cs,t_{\infty}-t_2}$	<b>45%</b>
<b>soletta</b>		
deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_{\infty}$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$	0.00018
dimensione fittizia dell'elemento - soletta	$h_0 = \frac{2A_c}{u}$	500 mm
area della sezione trasversale - soletta	$A_c$	0.63 m <sup>2</sup>
perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera - soletta	$u$	2.52 m
coefficiente di influenza di $h_0$	$k_h$	0.70
coefficiente di evoluzione del ritiro per essiccamento al tempo $t=t_{\infty}$	$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$	0.976

età del cls all'inizio del ritiro per essiccamento	$t_s$		7 g
valore finale della deformazione da ritiro per essiccamento	$\varepsilon_{cd} = 0,85 \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$		0.00026
coefficiente di influenza dell'umidità relativa	$\beta_{RH} = 1,55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right]$		0.756
umidità relativa	RH		80 %
	RH <sub>0</sub>		100
	f <sub>cm0</sub>		10 MPa
coefficiente 1 di influenza del tipo di cemento	$\alpha_{ds1}$		4
coefficiente 2 di influenza del tipo di cemento	$\alpha_{ds2}$		0.12
deformazione da ritiro autogeno al tempo t=t <sub>∞</sub>	$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty)$		0.00005
valore finale della deformazione da ritiro autogeno	$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 (f_{ck} - 10) 10^{-6}$		0.00006
coefficiente di evoluzione del ritiro autogeno al tempo t=t <sub>∞</sub>	$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$		1.000
deformazione da ritiro al tempo t <sub>∞</sub>	$\varepsilon_{cs}(t_{\infty})$		0.00023
valore finale della deformazione da ritiro	$\varepsilon_{cs}$		0.00024
percentuale di ritiro al tempo t <sub>∞</sub> -t <sub>2</sub>	$\alpha_{cs,t_{\infty}-t_2}$		98%



## RILASSAMENTO

tensione di tiro	$\sigma_{spi}$	1400 MPa
tensione di rottura caratteristica (frattile 5%)	$f_{ptk}$	1860 MPa
classe trefoli	2 (basso rilassamento)	
perdita per rilassamento % a 1000 h dopo la messa in tensione	$\rho_{1000}$	2.5 %
fattore in di influenza della tensione di tiro	$\mu = \sigma_{spi}/f_{ptk}$	0.753
	$t_0$	168 ore
	$t_1$	1440 ore
	$t_2$	2160 ore
	$t_\infty$	438000 ore
tempo equivalente	$t_{eq} = \frac{1,14}{T_{max} - 20} \sum_{i=1}^n (T_{(\Delta t_i)} - 20) \Delta t_i$	2596 ore
temperatura massima	$T_{max}$	80 °C
perdite per rilassamento al tempo $t_0$	$\Delta\sigma_{pr}(t_0)$	26.3 MPa

<i>perdite per rilassamento al tempo <math>t_1</math></i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_1)$	28.2 MPa
<i>perdite per rilassamento al tempo <math>t_2</math></i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_2)$	29.1 MPa
<i>perdite per rilassamento al tempo <math>t_\infty</math></i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_\infty)$	67.4 MPa
<i>perdite per rilassamento nell'intervallo <math>t_1-t_0</math></i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_1-t_0)$	<b>1.9</b> MPa
<i>perdite per rilassamento nell'intervallo <math>t_2-t_1</math></i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_2-t_1)$	<b>0.9</b> MPa
<i>perdite per rilassamento nell'intervallo <math>t_\infty-t_2</math></i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_\infty-t_2)$	<b>38.3</b> MPa