

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 MAGGIORI: VIADOTTI
VIADOTTO MOLINO VECCHIO

Viadotto Molino Vecchio - Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00-VI02-STR-RE01		
L O P G 1 4 3	D	2 0 0 7	CODICE ELAB. T 0 0 V I 0 2 S T R R E 0 1	A	-
A	Emissione		30/11/2020	L.Sbrenna	F.Durastanti N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

**VIADOTTO MOLINO VECCHIO:
relazione di calcolo impalcato**

1. INTRODUZIONE	4
1.1. GENERALITA'	4
1.2. FASI COSTRUTTIVE	6
1.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
1.4. METODO E PARAMETRI DI CALCOLO	9
1.5. PRESCRIZIONE MATERIALI E LIMITI TENSIONALI	10
2. ANALISI DEI CARICHI	14
3. COMBINAZIONI DI CARICO	19
4. GEOMETRIA IMPALCATO.....	20
5. GEOMETRIA TRAVE.....	22
6. MODELLO DI CALCOLO	26
7. PROGETTO TRAVE CAMPATA DI RIVA.....	28
7.1. ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE LONGITUDINALE	28
7.2. SOLLECITAZIONI.....	31
7.3. PROGETTO A FLESSIONE DELLA TRAVE.....	35
7.3.1. SLE – CALCOLO DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	35
7.3.2. SLU – CALCOLO A ROTTURA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE	46
7.3.3. PROGETTO A TAGLIO-TORSIONE DELLA TRAVE	54
7.3.4. PROGETTO ARMATURA DI CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA.....	57
8. PROGETTO TRAVE CAMPATA INTERMEDIA.....	60
8.1. ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE LONGITUDINALE	60
8.2. SOLLECITAZIONI.....	63
8.3. PROGETTO A FLESSIONE DELLA TRAVE.....	67
8.3.1. SLE – CALCOLO DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	67
8.3.2. SLU – CALCOLO A ROTTURA DELLE SEZIONI CARATTERISTICHE	76
8.3.3. PROGETTO A TAGLIO-TORSIONE DELLA TRAVE	84
8.3.4. PROGETTO ARMATURA DI CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA.....	87
9. IMPALCATO: EFFETTI LOCALI.....	90
9.1. SOLETTA.....	90
9.1.1. VERIFICA SBALZO	91
9.1.2. VERIFICA CAMPO	104
9.2. TRAVERSI	115
9.2.1. VERIFICHE DI RESISTENZA	116
10. Appendice 1: FENOMENI LENTI	120



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

11. Appendice 2: VISCOSITÀ IMPEDITA 131

1. INTRODUZIONE

1.1. GENERALITA'

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

Il viadotto ha sezione stradale ad unica carreggiata con impalcato largo 11.25 m. Lo sviluppo del viadotto è di 990 m su campate da 30 m ed i giunti di impalcato sono posti, in genere, ogni 6 campate; tra due giunti consecutivi lo schema statico dell'impalcato è a trave continua. Si analizza pertanto di seguito un impalcato a trave continua con sei campate (impalcato tipo).

L'impalcato è costituito da 4 travi prefabbricate in CAP a V alte 1.4 m con soletta in CA gettata in opera di spessore 25 cm. La geometria della sezione trasversale tipo è mostrata di seguito.

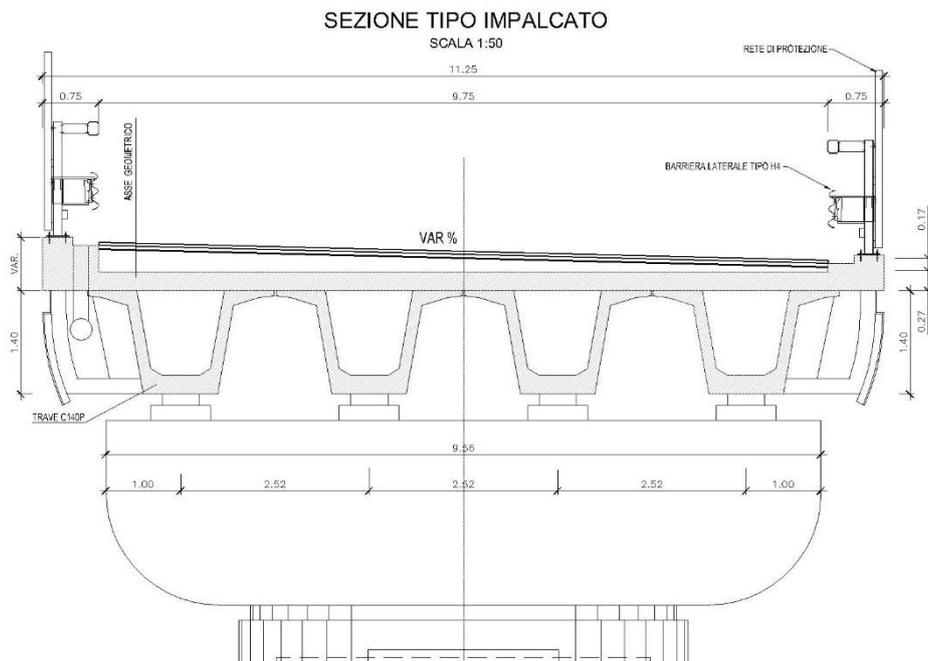


Figura 1-1: sezione trasversale tipo.

L'andamento planimetrico dell'opera è sostanzialmente rettilineo mentre dal profilo e della sezione longitudinale si desume la regolare altimetria del viadotto.

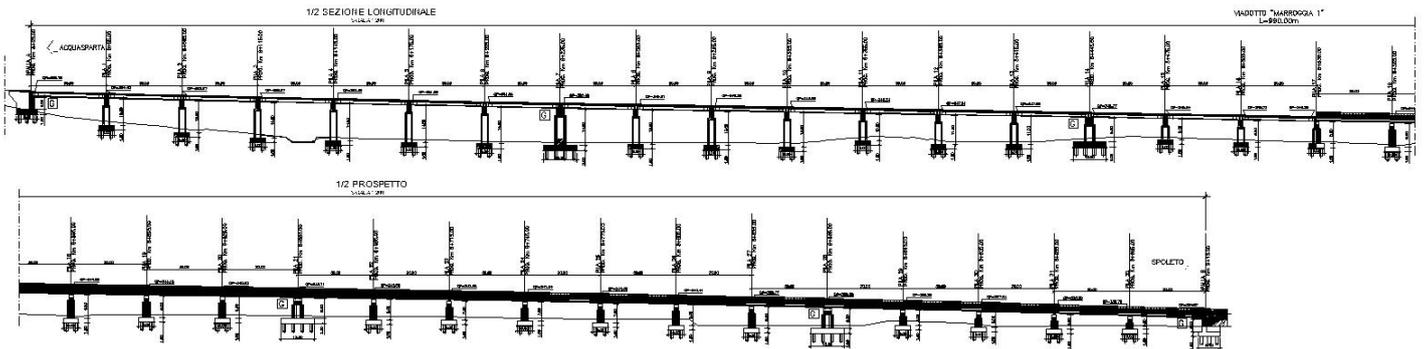


Figura 1-2: sezione e prospetto longitudinale.

I sistemi di fondazione delle sottostrutture sono tutti di tipo profondo ed in particolare si ha:

- Spalle: zattere su pali di grande diametro (24 pali Ø 1200);
- Pile intermedia (1-6, 8-13): zattera su pali di grande diametro (9 pali Ø 1200);
- Pile intermedia (restanti): zattera su pali di grande diametro (6 pali Ø 1200);
- Pile terminali (tipo F): zattera su pali di grande diametro (9 pali Ø 1200);
- Pile terminali (tipo E): zattera su pali di grande diametro (16 pali Ø 1200).

I dispositivi di vincolo dell'impalcato alla sottostruttura sono composti, per tutti gli allineamenti, da isolatori elastomerici, le cui caratteristiche sono descritte nella relazione delle sottostrutture.

1.2. FASI COSTRUTTIVE

L'impalcato viene realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e getto in opera di traversi e soletta collaboranti. Le travi sono autoportanti, non necessitano quindi di alcun rompitratta o puntellamento provvisorio durante l'esecuzione dell'impalcato. Si distinguono le successive fasi di lavoro:

Prima fase:

Le travi semplicemente appoggiate agli estremi resistono da sole al peso proprio, al peso dei traversi ed a quello della soletta gettata in opera. Per quanto riguarda la soletta si getta solo la porzione relativa ai traversi e comprendente una fascia lunga 12.0 m posta a cavallo dell'asse di ogni pila. In questa fase gli appoggi previsti sono provvisori, in quanto verranno successivamente sostituiti, in corrispondenza di ogni pila, con un unico appoggio il cui asse coincide con l'asse della pila stessa. Lo schema statico previsto è quello di trave semplicemente appoggiata.

Seconda fase:

In questa fase si è già in presenza di una struttura iperstatica in quanto le travi sono collegate tra di loro dai traversi posti in corrispondenza delle spalle e delle pile e dalla porzione di soletta corrispondente. Si procede allora al getto della porzione rimanente di soletta relativa alla parte centrale di ogni campata.

Terza fase:

Il sistema misto travi precomprese e soletta gettata in opera, divenuto solidale dopo la maturazione del calcestruzzo, resiste al peso delle sovrastrutture e dei carichi accidentali. In questa fase si passa ad uno schema statico di travata continua che prevede 6 campate con luce di calcolo definitiva di 30.0 m; tale continuità viene realizzata, oltre che con il getto di solidarizzazione tra le diverse campate, anche mediante l'ausilio di armature di post-tensione.

MODALITÀ DI COSTRUZIONE DELLE TRAVI

Le travi vengono costruite in uno stabilimento di prefabbricazione e successivamente

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

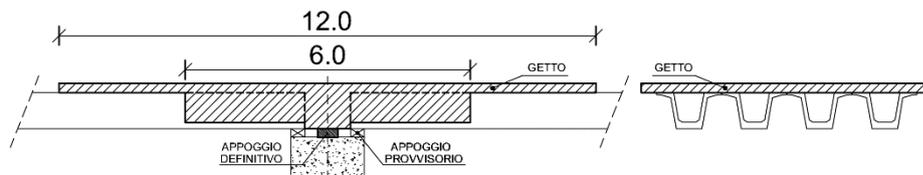
trasportate a piè d'opera e varate. Il sistema di precompressione è del tipo a fili aderenti. I trefoli che costituiscono l'armatura di precompressione vengono tesati sino alla tensione σ spi prevista nella presente relazione. Disposta l'armatura lenta per gli sforzi di taglio (staffe), ultimata la tesatura e fissata la cassetta, si procede al getto del calcestruzzo. La maturazione del calcestruzzo avviene con ciclo termico a vapore opportunamente tarato in funzione del mix-design e della resistenza R_{ckj} che è richiesta al momento del taglio dei trefoli. Una volta raggiunta la resistenza R_{ckj} si procede all'allentamento delle armature di precompressione ed allo stoccaggio del manufatto.

FASI DI LAVORO

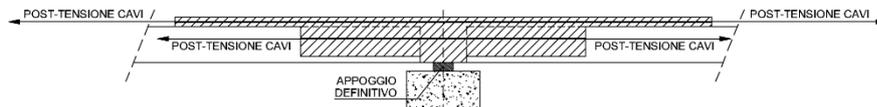
1 - POSA IN OPERA DELLE TRAVI IN C.A.P.



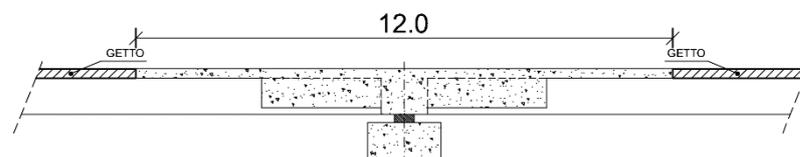
2 - GETTO TRAVERSO DI COLLEGAMENTO E SOLETTA CORRISPONDENTE



3 - POST-TENSIONE DELLA SOLETTA E DEL TRAVERSO e RIMOZIONE DEGLI APPOGGI PROVVISORI



4 - GETTO DELLA SOLETTA RESTANTE





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

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

C45/55



Classe di resistenza

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	27.0
$\sigma_{c,t} = 0.07$ f_{ck}	tensione ammissibile a trazione (con l'aggiunta di armatura sussidiaria)	MPa	3.2

Classe di esposizione XC4

CALCESTRUZZO PER SOLETTA E TRAVERSI

C32/40



Classe di resistenza

$R_{ck} =$	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

Tensioni in esercizio nel conglomerato in ambiente moderatamente aggressivo

$\sigma_{c,c} = 0.60$ f_{ck}	tensione ammissibile a compressione	MPa	19.2
$\sigma_{c,t} = 0.07$ f_{ck}	tensione ammissibile a trazione (con l'aggiunta di armatura sussidiaria)	MPa	2.2

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

$\sigma_{spi} = 0.8$ f_{ptk}	tensione ammissibile nell'acciaio all'atto della precompressione	MPa	1488
-----------------------------------	--	-----	------

Tensioni in esercizio

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

ACCIAIO DA PRECOMPRESSO

Barre Dywidag

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$f_{ptk} =$	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

$\sigma_{spi} = 0.85$ $f_{p(1)k}$	tensione ammissibile nell'acciaio all'atto della precompressione	MPa	710
--------------------------------------	--	-----	-----

Tensioni in esercizio

$\sigma_{sp} = 0.8$ $f_{p(1)k}$	tensione ammissibile nell'acciaio in esercizio	MPa	668
------------------------------------	--	-----	-----

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

$\sigma_s = 0.8 f_{yk}$	tensione ammissibile nell'acciaio in esercizio	MPa	360
-------------------------	--	-----	-----

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

<i>Classe di resistenza</i>			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_{ctk} =	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)

$\rho_T =$	peso proprio trave	kN/m	16.12
$\rho_R =$	peso proprio ringrosso	kN/m	2.96
$\rho_s =$	peso proprio soletta	kN/m	17.58
$\rho_t =$	peso proprio traverso	kN/m	35.00

PESO CARICHI PERMANENTI PORTATI (g2)

$\rho_{pav} =$	peso pavimentazione	kN/m ²	2.00
$\rho_{mp} =$	peso massetto pendenze	kN/m ²	3.87
$\rho_{csx} =$	peso cordolo sinistro	kN/m	7.69
$\rho_{cdx} =$	peso cordolo destro	kN/m	3.19
$\rho_{bs} =$	peso singola barriera di sicurezza	kN/m	2.00
$\rho_v =$	peso singola veletta	kN/m	1.00
$\rho_{spp,tot} =$	peso totale/impalcato	kN/m	73.15
$\rho_{spp} =$	peso/trave	kN/m	18.29

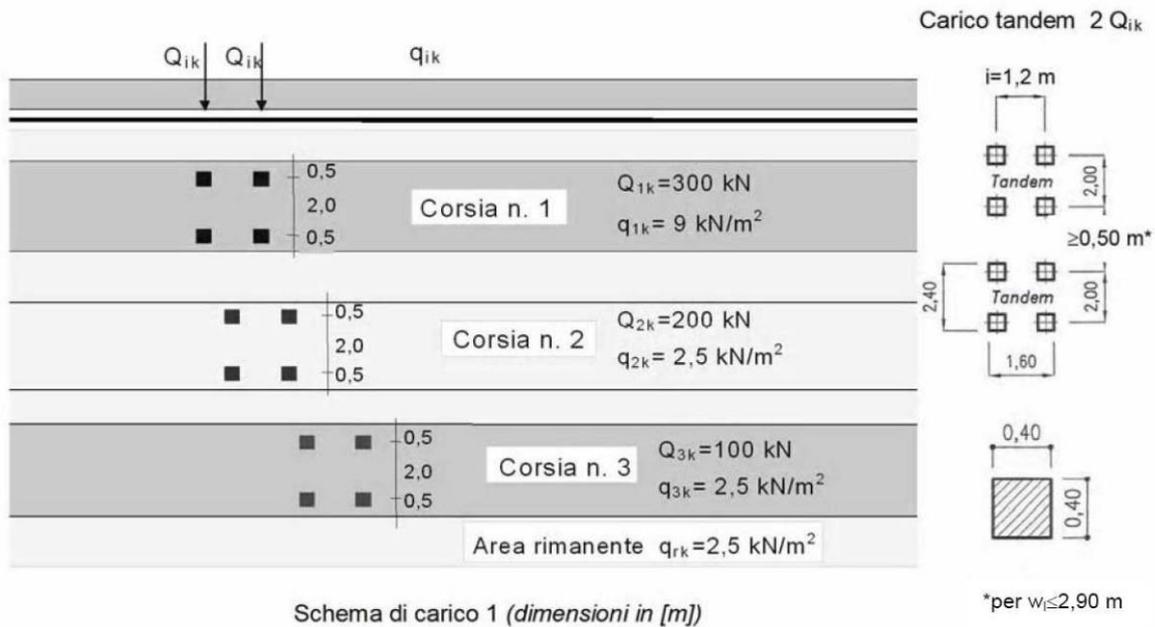
CARICHI MOBILI (q1)

dm 90

dm 08/EC

$\emptyset =$ coefficiente di amplificazione dinamica 1

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.



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		3
disposizione trave di progetto: sinistra "S"/destra "D"		D

corsia numero		1	2	3
eccentricità (rispetto al margine destro)		2.25	5.25	8.25
coefficiente di simultaneità carico TS/q1a		1.00	0.67	0.33
coefficiente di simultaneità carico UDL/q1b		1.00	0.28	0.28

Folla qf

carico ripartito superficialmente	kN/m ²	0
su marciapiede sinistro "S"/ destro "D"		D
larghezza marciapiede	m	0.75

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

carico ripartito linearmente	kN/m	0
eccentricità carico folla	m	0.375
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	441
$L =$	lunghezza totale della zona caricata	m	30
$n_c =$	numero campate continue per azioni longitudinali		1
$L_c =$	lunghezza singola campata	m	30

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	1200

AZIONE SISMICA (q6)

Si rinvia alla relazione di calcolo delle sottostrutture.

RESISTENZE PARASSITE DEI VINCOLI (q7)

$\mu =$	coefficiente di attrito	0.03
$q_7 =$	carico verticale appoggio x μ	

VARIAZIONI TERMICHE (ϵ_3)

$\Delta T_u =$	variazione termica uniforme	± 46	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta T_d =$	variazione termica differenziale	$+7/-5$	$^{\circ}\text{C}$

La termica differenziale è stata valutata in accordo all'EC-1-1-5.

Cautelativamente si assume un gradiente positivo e negativo dello stesso valore $\pm 7^{\circ}\text{C}$.

AZIONE VENTO (NTC2018)- (q5)

Tab. 3.3.I.

Zona		3	
	$V_{b,0}$	27	[m/s]
	a_0	500	[m]
	k_s	0.37	[]
altitudine sul livello del mare	a_s	400	[m]
coefficiente di altitudine	C_a	1.00	[]
tempo di ritorno	T_r	100	[anni]
		1.0392385	
coefficiente di ritorno	C_r	62	[]
densità dell'aria	ρ	1.25	[kg/m ³]
velocità di riferimento	V_b	27.00	[m/s]
velocità di riferimento	V_r	28.06	[m/s]
pressione cinetica di riferimento	q_r	492.08	[N/m ²]

Tab. 3.3.III.

Classe di rugosità	D
Esposizione del sito	30 km
Cat. di esposizione	II

Tab. 3.3.II.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Cat. di esposizione	Cat	II	
	K_r	0.19	
	z_0	0.05	[m]
	z_{min}	4	[m]
Altezza di riferimento	z_{max}	12	[m]
Coefficiente di esposizione	$C_e(z_{max})$	2.47	[]
Coefficiente di topografia	C_t	1	
Larghezza impalcato	b	11.25	[m]
Altezza impalcato (comprese le barriere o i veicoli)= altezza di riferimento	d	5.5	
b/d	2.05	2.23	[]
Coefficiente di pressione	1.8	1.88	[]
Coefficiente dinamico	1	1	
Pressione del vento	2.2	2.3	[kN/m ²] [kN/m]
Fora statica equivalente al metro di impalcato ($p \times d$)	f	12.0	

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

ε_1 = precompressione

ε_2 = effetti reologici (ritiro, viscosità e rilassamento)

ε_3 = variazioni termiche

ε_4 = cedimenti vincolari

COMBINAZIONI

STATO LIMITE ESERCIZIO - CARATTERISTICA

	g1	g2	q1			q3	q4	q5	q6	q7	q8	ε_1	ε_2	ε_3	ε_4
			TS	UDL	Folla										<input type="checkbox"/>
E1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0.6	1
E2	1	1	1	1	0.5	0	0	0.6	0	1	1	1	1	0.6	1
E3	1	1	0.75	0.4	0.5	1	0	0.2	0	1	1	1	1	0.6	1
E4	1	1	0.75	0.4	0.5	0	1	0.2	0	1	1	1	1	0.6	1
E5	1	1	0.75	0.4	0.5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
E6	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0.6	1

STATO LIMITE ULTIMO

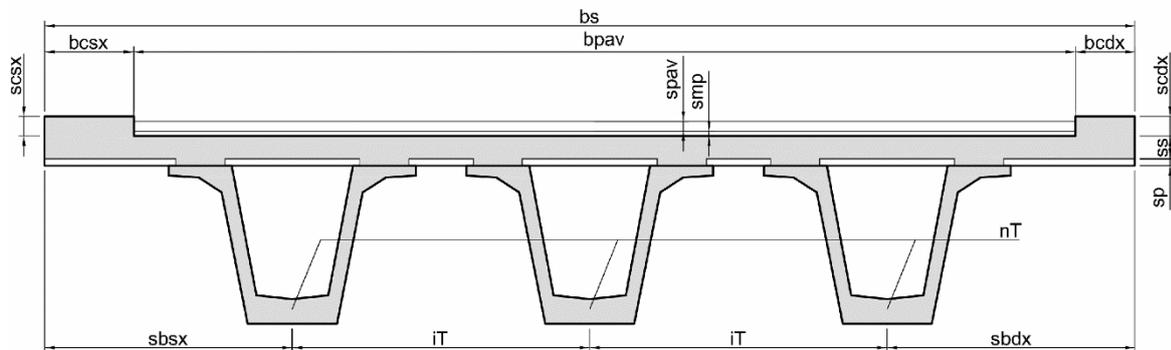
g1	g2	q1			q3	q4	q5	q6	q7	q8	ε_1	ε_2	ε_3	ε_4
		TS	UDL	Folla										<input type="checkbox"/>

U1	1.35	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1	1.2	0.9	1.2
U2	1.35	1.5	1.35	1.35	0.68	0	0	0.9	0	1.5	1.5	1	1.2	0.9	1.2
U3	1.35	1.5	1.01	0.54	0.68	1.35	0	0.3	0	1.5	1.5	1	1.2	0.9	1.2
U4	1.35	1.5	1.01	0.54	0.68	0	1.35	0.3	0	1.5	1.5	1	1.2	0.9	1.2
U5	1.35	1.5	1.01	0.54	0.68	0	0	0	0	0	0	1	1.2	1.5	1.2
U6	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0.6	1

4. GEOMETRIA IMPALCATO

Sezione trasversale

GEOMETRIA SEZIONE TRASVERSALE DI IMPALCATO



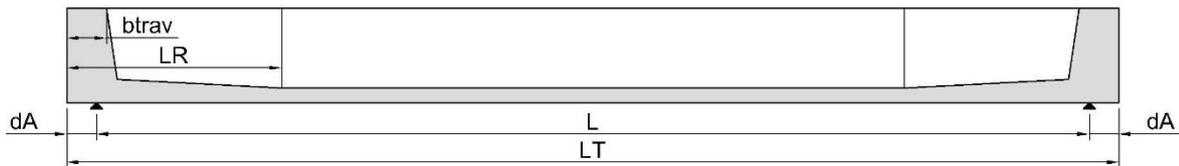
b_s =	larghezza soletta	m	11.25
s_s =	spessore getto soletta	m	0.25
s_p =	spessore predalle	m	0
b_d =	larghezza dado/trave	m	1.29
b_{pav} =	larghezza pavimentazione	m	9.75
s_{pav} =	spessore pavimentazione	m	0.1
s_{mp} =	spessore massetto pendenze	m	0.26
b_{csx} =	larghezza cordolo sinistro	m	0.75
s_{csx} =	spessore cordolo sinistro	m	0.41

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$b_{cdx} =$	larghezza cordolo destro	m	0.75
$s_{cdx} =$	spessore cordolo destro	m	0.17
$n_T =$	numero travi		4
$i_T =$	interasse travi	m	2.52
$sb_{dx} =$	sbalzo destro	m	1.85
$sb_{sx} =$	sbalzo sinistro	m	1.85

Sezione longitudinale

PROFILO LONGITUDINALE TRAVE



$L_T =$	lunghezza travi	m	30
$d_A =$	distanza bordo trave - appoggio	m	0
$L =$	luce di calcolo	m	30
$L_R =$	lunghezza ringrosso	m	3
$n_{trav} =$	numero traversi		2
$b_{trav} =$	larghezza traverso	m	1
$h_{trav} =$	altezza traverso	m	1.40
$a =$	semilunghezza del getto di soletta di I fase a cavallo dell'appoggio	m	6

5. GEOMETRIA TRAVE

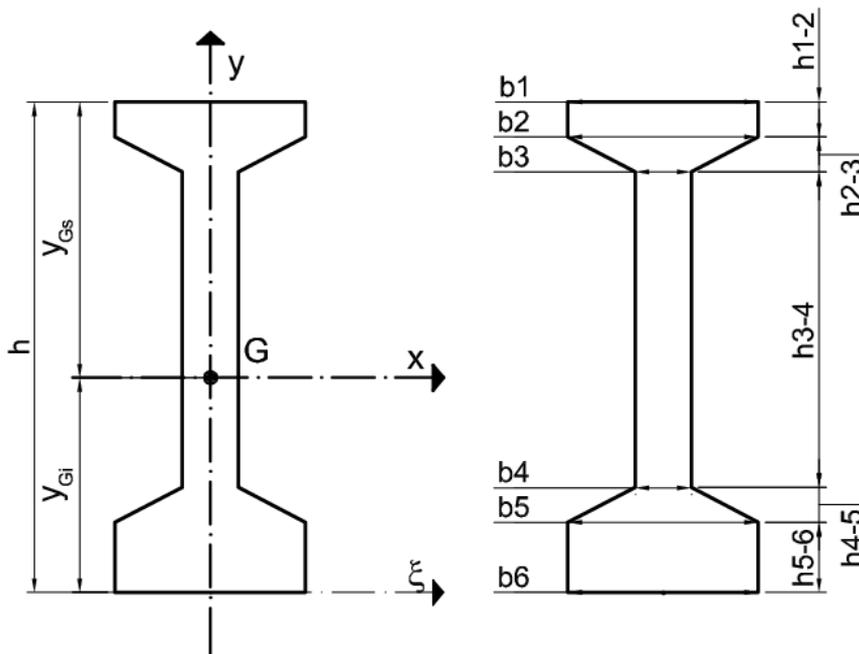
SEZIONE TRAVE

Flessione

numero sezioni	2
numero strisce in cui si suddivide la trave	7

Legenda

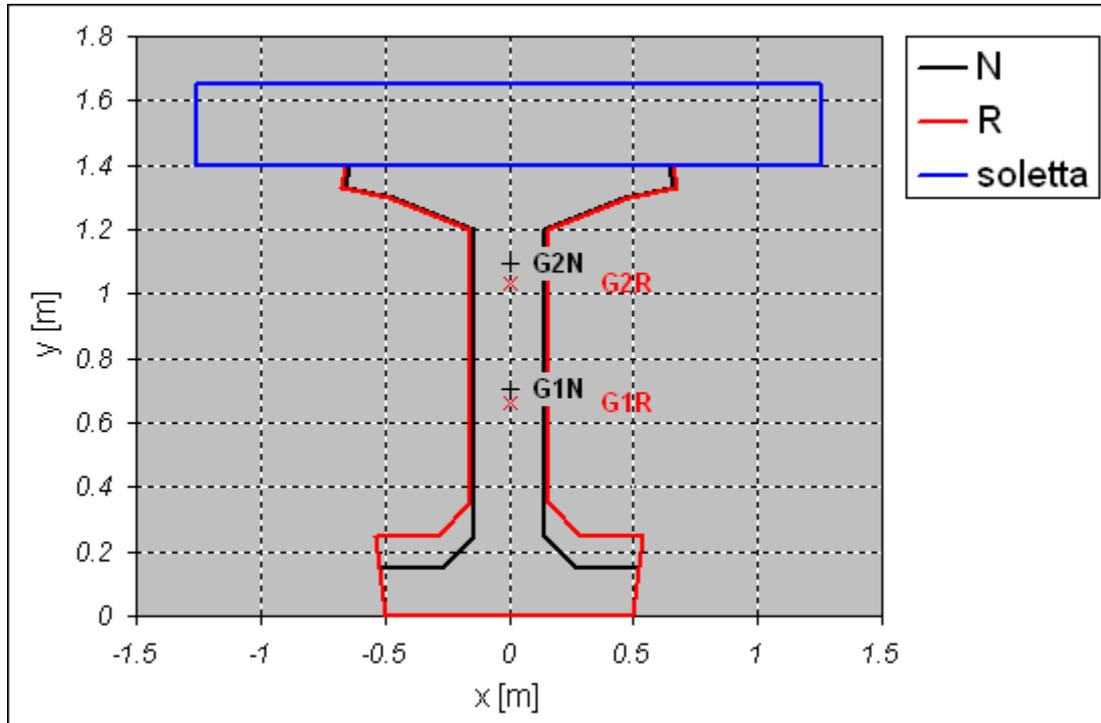
$b_i =$	larghezza della parte superiore del livello i (partendo dall'alto)	m
$h_{i-j} =$	altezza della striscia tra i livelli i e j	m
$h =$	altezza totale trave	m



nome sezione cls		N	R
$b_1 =$	m	1.2876	1.3224
$b_2 =$	m	1.3124	1.3474
$b_3 =$	m	0.9226	0.9574
$b_4 =$	m	0.28	0.315
$b_5 =$	m	0.28	0.315

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

b ₆ =	m	0.545	0.58
b ₇ =	m	1.045	1.08
b ₈ =	m	0.9925	0.9925
b ₉ =	m		
b ₁₀ =	m		
h ₁₋₂ =	m	0.071	0.071
h ₂₋₃ =	m	0.029	0.029
h ₃₋₄ =	m	0.1	0.1
h ₄₋₅ =	m	0.95	0.85
h ₅₋₆ =	m	0.1	0.1
h ₆₋₇ =	m	1E-07	1E-07
h ₇₋₈ =	m	0.15	0.25
h ₈₋₉ =	m		
h ₉₋₁₀ =	m		
h =	m	1.40	1.40



Caratteristiche geometriche sezione trave (1)

$A =$	area sezione	m^2	0.6449	0.7634
$S_{\xi} =$	momento statico rispetto all'asse ξ	m^3	0.456697	0.5069
$y_{Gs} =$	distanza baricentro-estradosso trave	m	0.69	0.74
$y_{Gi} =$	distanza baricentro-intradosso trave	m	0.71	0.66
$I_x =$	momento di inerzia rispetto all'asse x	m^4	0.1624	0.1849

SEZIONE TRAVE + SOLETTA

$n_s =$	coefficiente di omogeneizzazione soletta/trave		0.92	
$b_{s1} =$	larghezza soletta collaborante/trave	m	2.52	2.52
$s_s =$	spessore getto soletta	m	0.25	0.25
$s_p =$	spessore predalle=spessore dado	m	0.00	0.00
$b_d =$	larghezza dado/trave	m	1.29	1.29

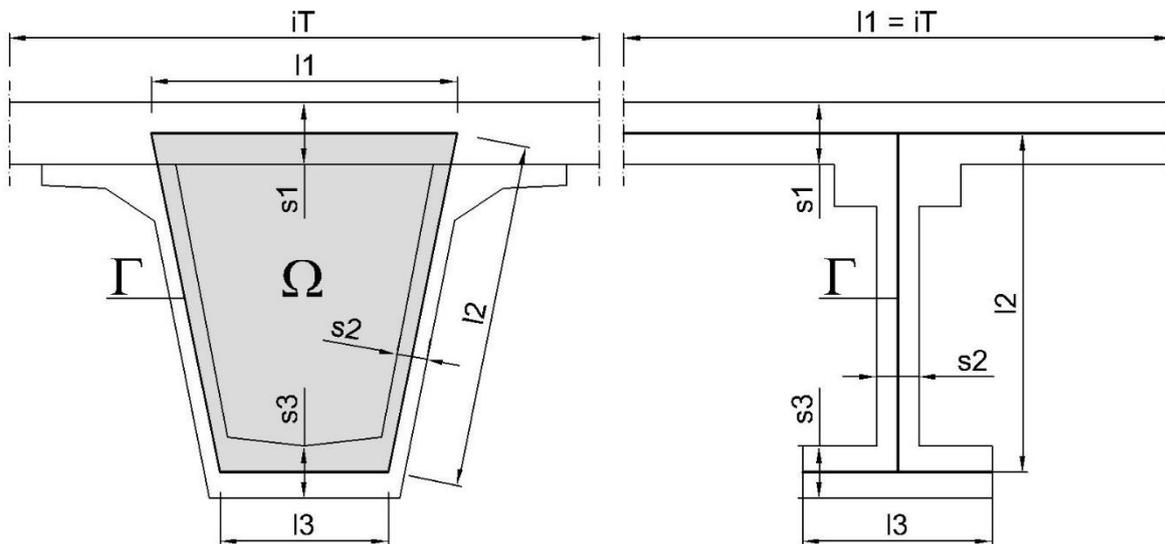
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Caratteristiche geometriche sezione trave+soletta (2)

A =	area sezione	m ²	1.2231	1.3416
S _ξ =	momento statico rispetto all'asse ξ	m ³	1.3385	1.3887
y _{Gs} =	distanza baricentro-estradosso soletta	m	0.5557	0.6149
y _{Gi} =	distanza baricentro-intradosso trave	m	1.0943	1.0351
I _x =	momento di inerzia rispetto all'asse x	m ⁴	0.3689	0.4318

Inerzia torsionale

sezione a cassone



l ₁ =	m	1.37	1.37	
s ₁ =	m	0.25	0.25	
l ₂ =	m	1.42	1.42	
s ₂ =	m	0.14	0.16	
l ₃ =	m	0.88	0.88	
s ₃ =	m	0.15	0.25	
Ω =	area sottesa dalla linea media Γ	m ²	1.5735	1.5735
I _T =	momento di inerzia torsionale	m ⁴	0.3084	0.3600

6. MODELLO DI CALCOLO

Le sollecitazioni sono valutate con riferimento alle fasi costruttive previste precedentemente illustrate.

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 in corrispondenza degli appoggi. La sezione resistente è costituita dalla sola trave.

In una seconda fase si considerano gli effetti della precompressione longitudinale in soletta e trasversi e del getto della parte restante di soletta. La sezione resistente è costituita dalla sola trave in campata e da trave+soletta nella fascia a cavallo degli appoggi.

In una terza fase si considerano gli effetti dei carichi permanenti portati, del successivo evolversi dei fenomeni lenti, delle variazioni termiche differenziali 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 rigidità del sistema travi + soletta + trasversi 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

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

soletta. L'inerzia torsionale della sezione degli elementi modellanti la soletta è ridotta del 50%. Il modello è riportato nella seguente figura.

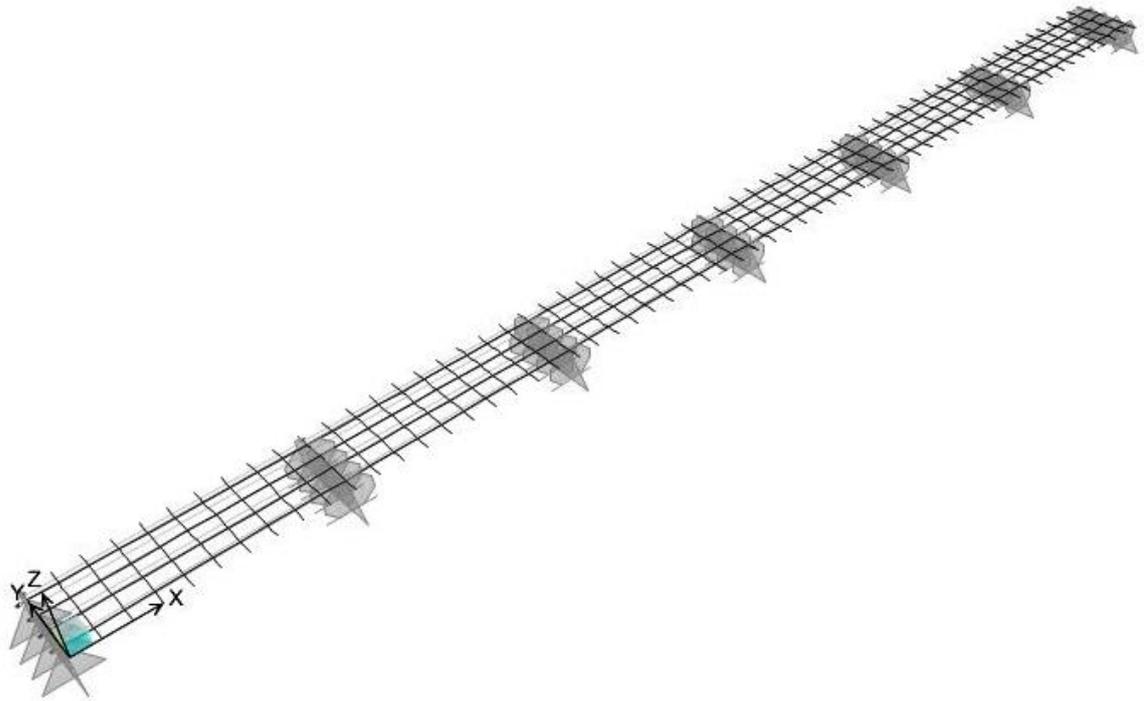


Figura 6-1: modello di calcolo agli elementi finiti.

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.

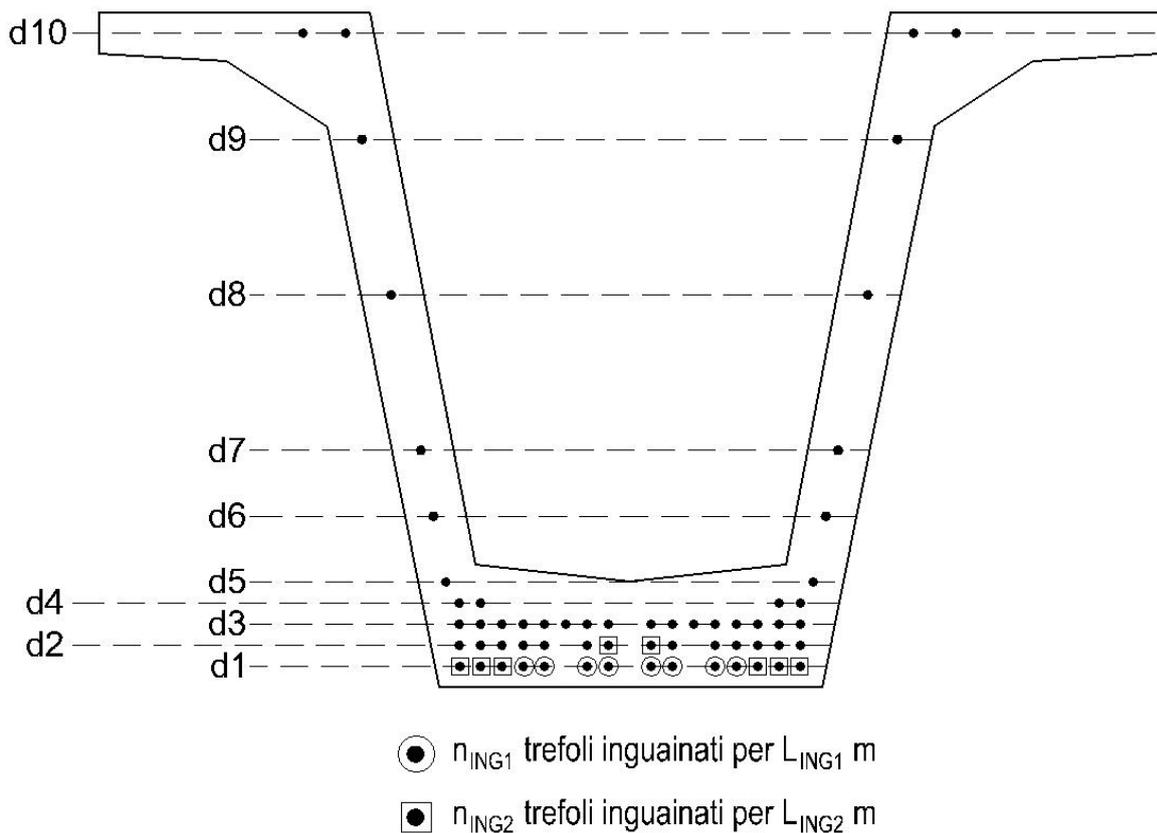
7. PROGETTO TRAVE CAMPATA DI RIVA

7.1. ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE LONGITUDINALE

Le travi delle campate di riva risultano essere più sollecitate.

Si adottano travi prefabbricate con 46 trefoli aderenti, opportunamente inguainati nella parte terminale delle stesse. In fase di seconda precompressione si impiegano 21 trefoli in soletta e 24 trefoli in corrispondenza del traverso per ciascuna trave.

SCHEMA DI PRECOMPRESSIONE



$n =$ coefficiente di omogeneizzazione

$\sigma_{spi} =$ tensione di tiro

MPa

5.4

1400

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$\emptyset =$	diametro trefolo	in	0.5
$A_{1p} =$	area trefolo	cm ²	1.39
$n_{ING1} =$	numero trefoli inguainati per L_{ING1}		12
$L_{ING1} =$	lunghezza di inguainamento 1	m	4
$n_{ING2} =$	numero trefoli inguainati per L_{ING2}		8
$L_{ING2} =$	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}
$A_3 =$	schema armatura efficace in appoggio: A_1 con trefoli in soletta	stanno inguainati i trefoli n_{ING1} e n_{ING2}

	nome schema armatura precompressione	A0	A1	A2	A3	d_i (cm)
$n_1 =$	numero trefoli livello 1	18	0	10	0	5
$n_2 =$	numero trefoli livello 2	14	12	14	12	10
$n_3 =$	numero trefoli livello 3	8	8	8	8	15
$n_4 =$	numero trefoli livello 4	2	2	2	2	20
$n_5 =$	numero trefoli livello 5	2	2	2	2	60
$n_6 =$	numero trefoli livello 6	2	2	2	2	100
$n_7 =$	numero trefoli livello 7	0	0	0	24	105
$n_8 =$	numero trefoli livello 8	0	0	0	21	153
$n_9 =$	numero trefoli livello 9	0	0	0	0	0
$n_{10} =$	numero trefoli livello 10	0	0	0	0	0
$n_{tot} =$	numero trefoli totale	46	26	38	71	
$d_{CR} =$	distanza del cavo risultante dal lembo inferiore della trave	cm	15.4	23.1	17.6	89.0

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$A_p =$ area trefoli cm^2 63.9 36.1 52.8 98.7

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 trasmissione	m	0.86
$\alpha_1 =$	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
$f_{bpt} =$	$\eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}(t)$	tensione di aderenza uniforme nel cls	MPa	4.8
$\eta_{p1} =$	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

7.2. SOLLECITAZIONI

COMBINAZIONE

U2

	γ
Precompressione	1.0
Peso proprio trave	1.4
Peso proprio soletta	1.4
Permanenti portati	1.5
Carichi mobili	1.4
Termica	0.9
Effetti reologici	1.2

sezione			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x =	ascissa sezione da asse appoggio	m	0	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00

Precompressione I fase (travi)

$N_p =$	sforzo normale precompressione	kN	0	-4964	-7255	-8783	-8783	-8783	-8783	-8783	-7255	-4964	0
$M_p =$	momento flettente precompressione	kNm	0	-2301	-3696	-4618	-4618	-4618	-4618	-4618	-3696	-2301	0

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Precompressione II fase (soletta e traversi)

$N_p =$	sforzo normale precompressione	kN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3678	-7881	-7881
$M_p =$	momento flettente precompressione	kNm	0	-42	-85	-127	-170	-212	-254	-297	1245	1202	1160	

Peso proprio trave

$M_T =$	momento flettente peso proprio trave	kNm	0	899	1585	2075	2369	2467	2369	2075	1585	899	0	
$V_T =$	sforzo di taglio peso proprio trave	kN	-314.5	-261.2	-195.9	-130.6	-65.3	0	65.3	130.6	195.9	261.2	326.5	

Peso proprio soletta in appoggi

$M_s =$	momento flettente peso proprio soletta	kNm	0	43	85	128	171	214	256	299	342	278	0	
$V_s =$	sforzo di taglio peso proprio soletta	kN	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	66	138	

Peso proprio soletta in campata

$M_s =$	momento flettente peso proprio soletta	kNm	0	723	1232	1527	1609	1477	1132	573	-200	-1079	-1959	
$V_s =$	sforzo di taglio peso proprio soletta	kN	-276	-205	-134	-63	8	80	151	222	293	293	293	

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Permanententi portati

$M_{pp} =$	momento flettente permanententi portati	kNm	0	843	1438	1787	1889	1744	1352	714	-172	-1305	-2684
$V_{pp} =$	sforzo di taglio permanententi portati	kN	-322	-240	-157	-75	7	89	172	254	336	419	501

Variazioni termiche differenziali

$M_{pp} =$	momento flettente permanententi portati	kNm	0	76	152	228	304	380	456	532	-608	-684	-760
$V_{pp} =$	sforzo di taglio permanententi portati	kN	-42	-42	-42	-42	42	42	42	42	42	42	42

Carichi mobili

$M_m =$	momento flettente carichi mobili	kNm	248	2213	3584	4388	4722	4659	4226	3425	-1635	-2397	-4173
$V_m =$	sforzo di taglio carichi mobili	kN	-845	-656	-537	-444	433	522	619	733	887	1107	1107
$T_m =$	momento torcente carichi mobili	kNm	780	736	645	529	423	353	307	290	341	458	751

Viscosità su struttura a vincoli variati



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

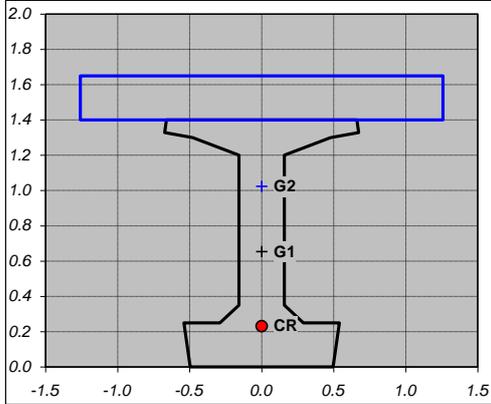
$M_{pp} =$	momento flettente permanenti portati	kNm	0	416	832	1248	1664	2080	2496	2912	3328	3744	4160
$V_{pp} =$	sforzo di taglio permanenti portati	kN	-139	-139	-139	-139	-139	-139	-139	-139	-139	-139	-139
Totale - azioni esterne													
N =	sforzo normale	kN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M =	momento flettente	kNm	248	5213	8909	11381	12728	13021	12288	10530	-688	-4288	-9576
V =	sforzo di taglio	kN	-1944	-1548	-1210	-899	420	728	1044	1377	1750	2188	2407
T =	momento torcente	kNm	780	736	645	529	423	353	307	290	341	458	751

7.3. PROGETTO A FLESSIONE DELLA TRAVE

7.3.1. SLE – CALCOLO DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

Sezione 1 Mmax x = ascissa sezione da asse appoggio 0.00 m

GEOMETRIA TRAVE



note: sezione di appoggio

Armatura di precompressione

$n_{tot} = 26$
 $d_{CR} = 23.1$ cm
 $A_p = 36.1$ cm²

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.

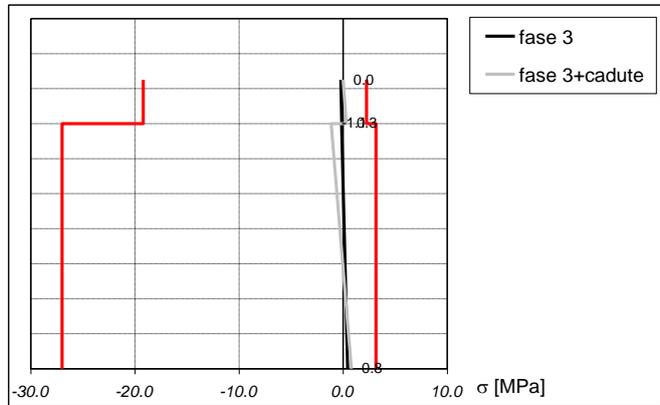
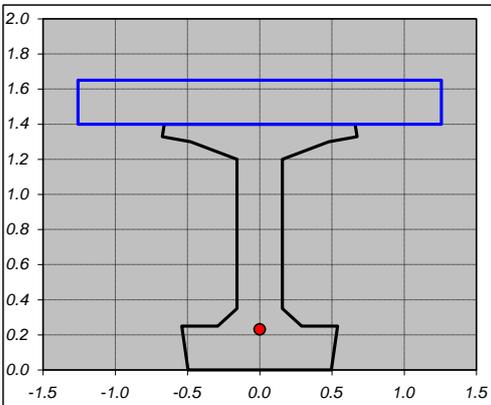
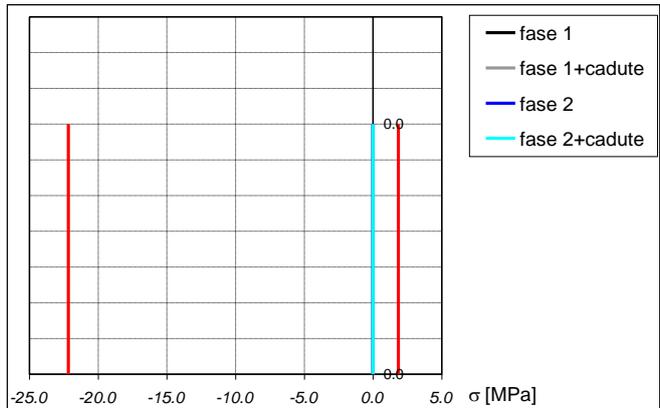
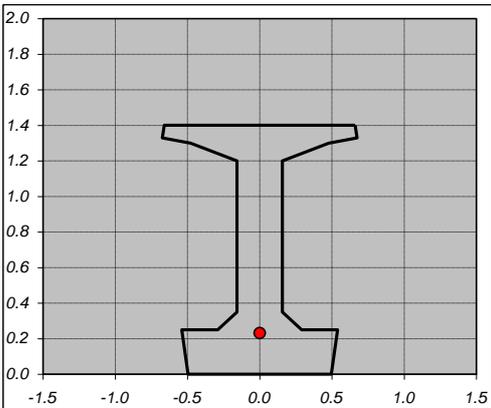
$A = 0.7828$
 $S_c = 0.5114$
 $y_{Gs} = 0.75$
 $y_{Gi} = 0.65$
 $I_x = 0.1885$
 $W_s = 0.2524$
 $W_i = 0.2885$

Sezione trave+soletta omog.

$A = 1.3610$ m²
 $S_c = 1.3932$ m³
 $y_{Gs} = 0.63$ m
 $y_{Gi} = 1.02$ m
 $I_x = 0.4442$ m⁴
 $W_{s,s} = 0.7092$ m³
 $W_s = 1.1802$ m³
 $W_i = 0.4340$ m³

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]				1300	verifica

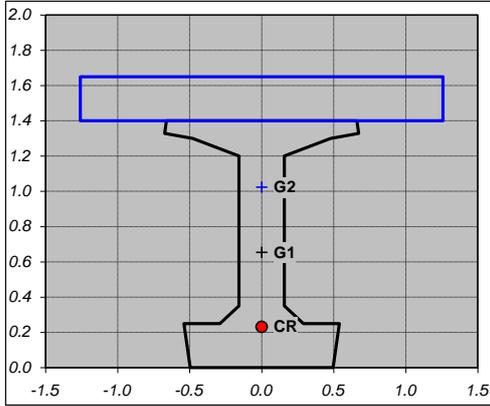


Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 2

x = ascissa sezione da asse appoggio 3.00 m
note: sezione fine guaina 1

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

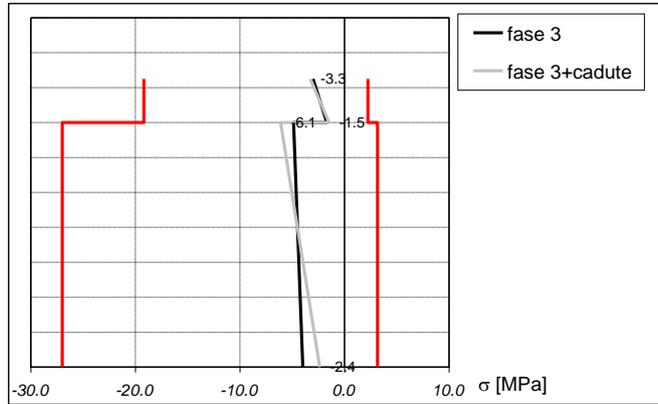
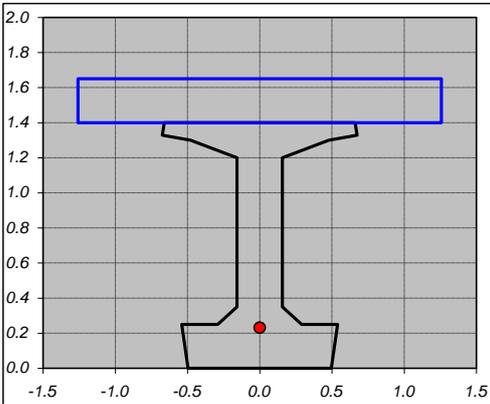
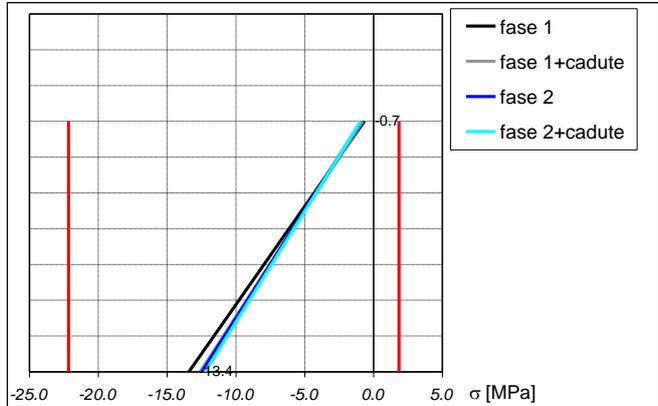
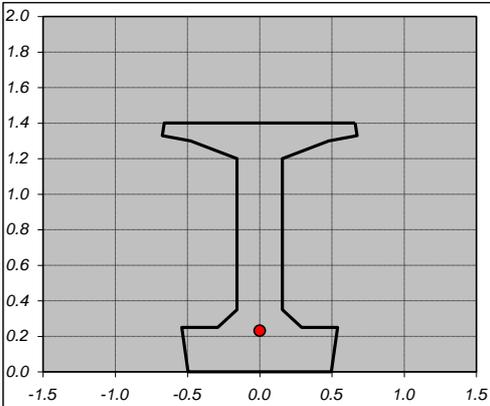
$n_{tot} = 26$
 $d_{CR} = 23.1 \text{ cm}$
 $A_p = 36.1 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6643$	$A = 1.2426 \text{ m}^2$
$S_x = 0.4612$	$S_x = 1.3430 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.71$	$y_{Gs} = 0.57 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.69$	$y_{Gi} = 1.08 \text{ m}$
$I_x = 0.1667$	$I_x = 0.3831 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6731 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2362$	$W_s = 1.2003 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2402$	$W_i = 0.3545 \text{ m}^3$

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
	$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$		1164	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

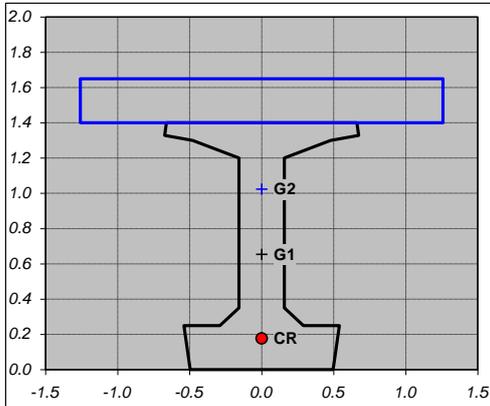
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 3

x = ascissa sezione da asse appoggio 6.00 m
note: prima sezione con guaina 2

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

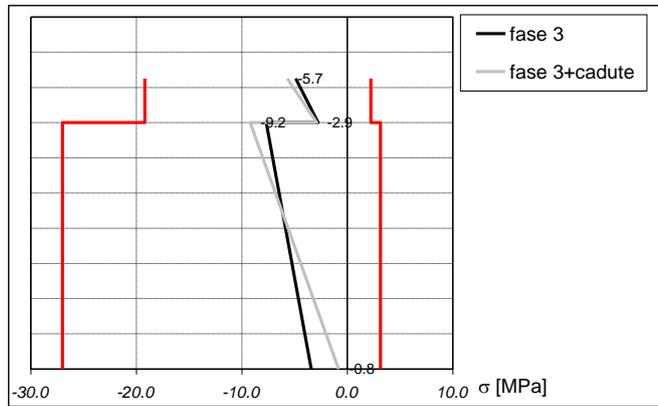
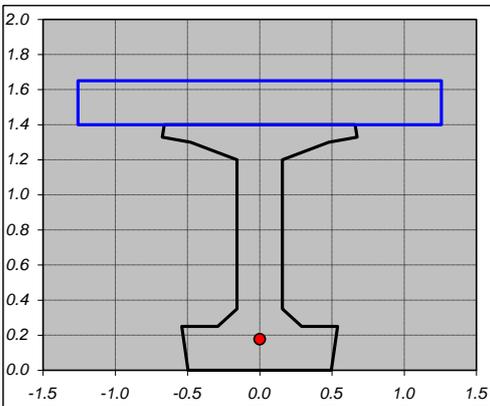
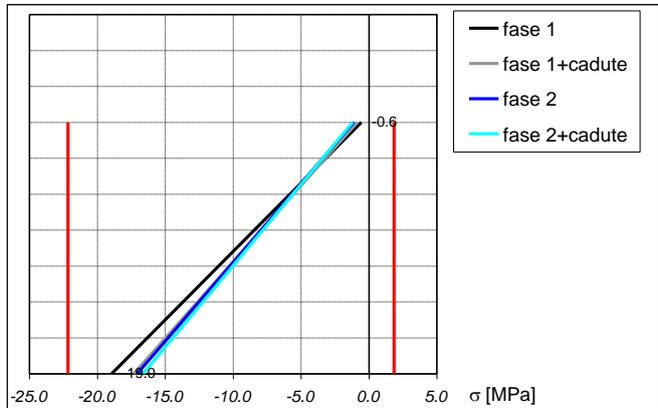
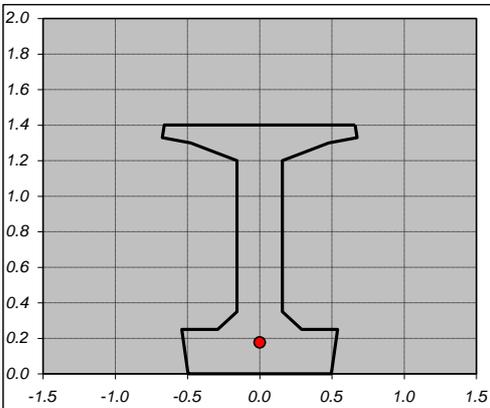
$n_{tot} = 38$
 $d_{CR} = 17.6 \text{ cm}$
 $A_p = 52.8 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6733$	$A = 1.2515 \text{ m}^2$
$S_{\xi} = 0.4617$	$S_{\xi} = 1.3435 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.71$	$y_{Gs} = 0.58 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.69$	$y_{Gi} = 1.07 \text{ m}$
$I_x = 0.1701$	$I_x = 0.3922 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6804 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2382$	$W_s = 1.2014 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2481$	$W_i = 0.3654 \text{ m}^3$

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
	$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$		1116	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

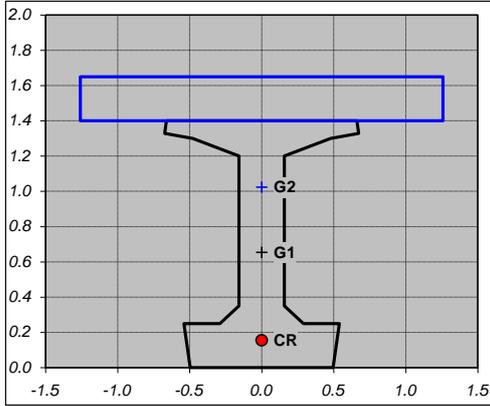
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 4

x = ascissa sezione da asse appoggio 9.00 m
note: prima sezione senza guaine

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

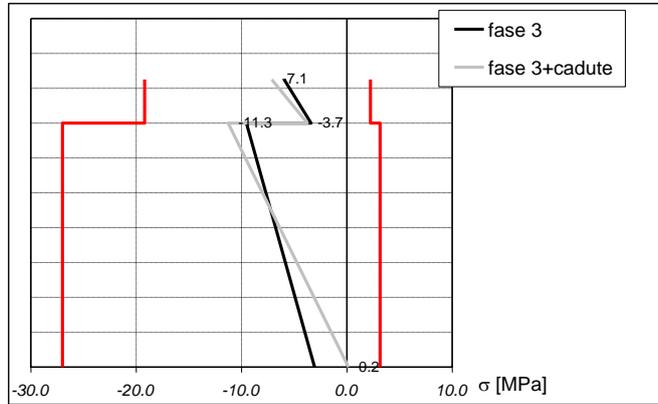
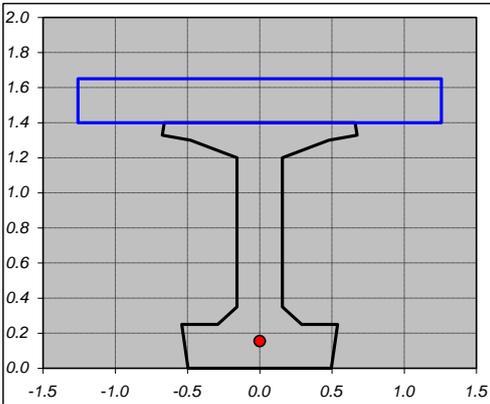
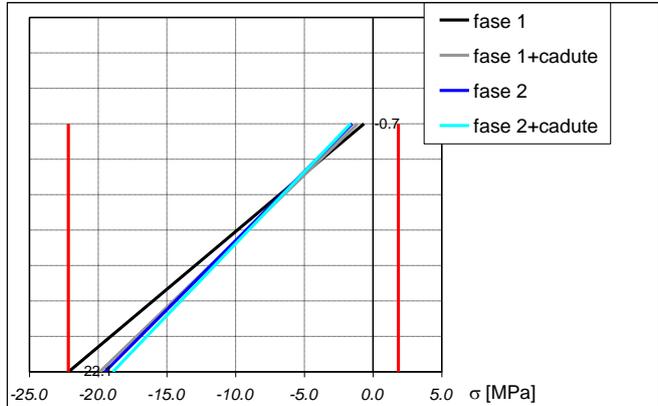
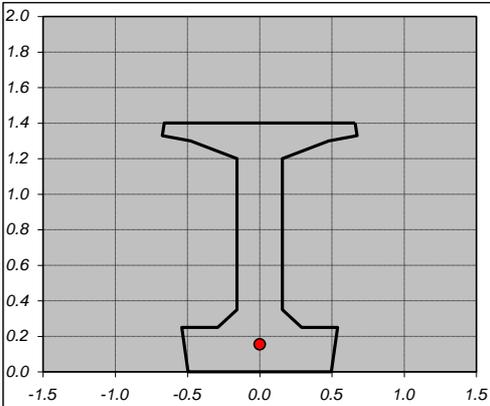
$n_{tot} = 46$
 $d_{CR} = 15.4 \text{ cm}$
 $A_p = 63.9 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6793$	$A = 1.2575 \text{ m}^2$
$S_x = 0.4620$	$S_x = 1.3438 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.72$	$y_{Gs} = 0.58 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.68$	$y_{Gi} = 1.07 \text{ m}$
$I_x = 0.1724$	$I_x = 0.3984 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6853 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2396$	$W_s = 1.2023 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2535$	$W_i = 0.3728 \text{ m}^3$

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
	$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$		1086	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

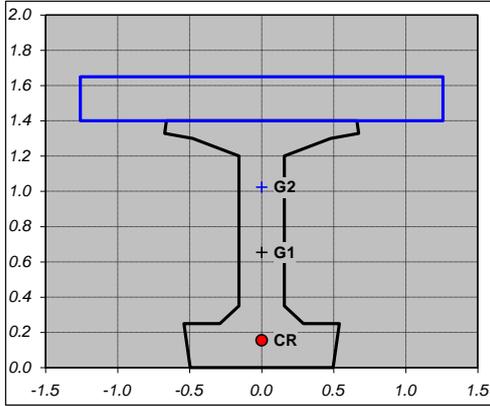
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione **6**

x = ascissa sezione da asse appoggio 15.00 m
note: sezione di Mmax

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

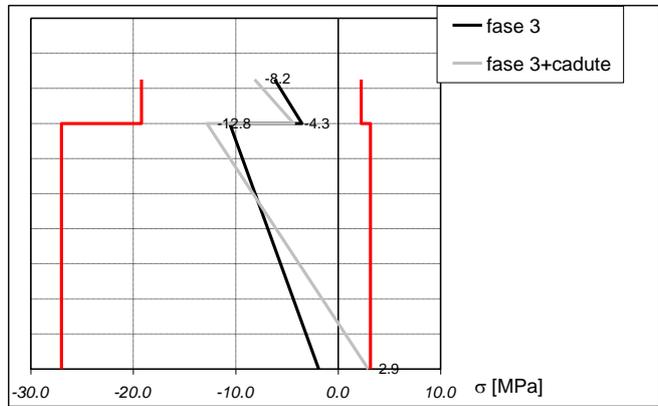
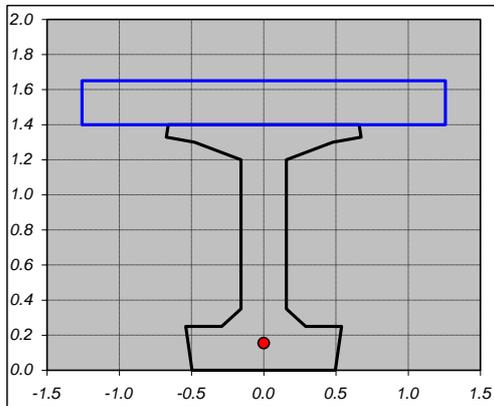
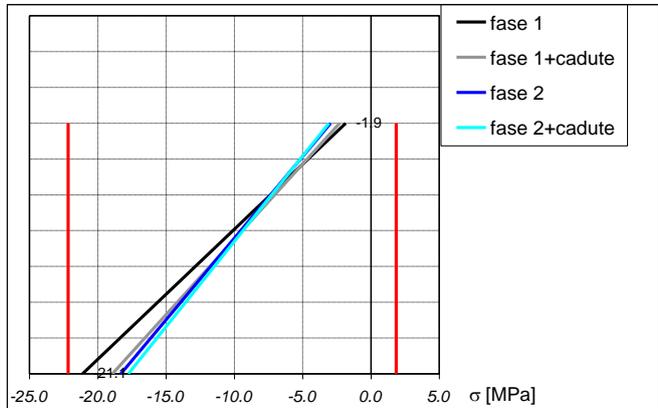
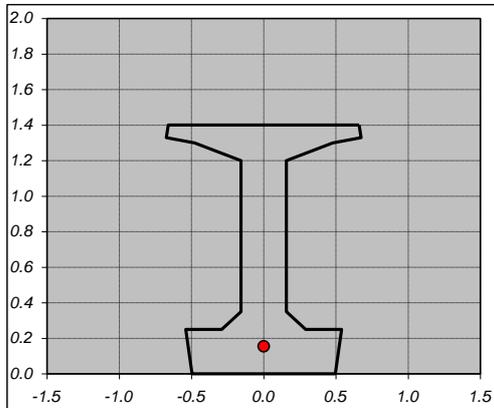
$n_{tot} = 46$
 $d_{CR} = 15.4 \text{ cm}$
 $A_p = 63.9 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6793$	$A = 1.2575 \text{ m}^2$
$S_x = 0.4620$	$S_x = 1.3438 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.72$	$y_{Gs} = 0.58 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.68$	$y_{Gi} = 1.07 \text{ m}$
$I_x = 0.1724$	$I_x = 0.3984 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6853 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2396$	$W_s = 1.2023 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2535$	$W_i = 0.3728 \text{ m}^3$

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
$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$				1107	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

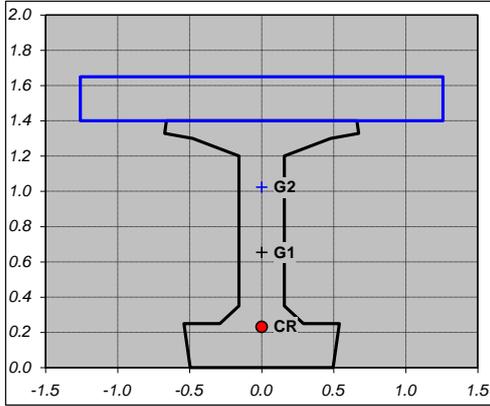
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 11

x = ascissa sezione da asse appoggio 30.00 m
note: sezione di appoggio intermedio

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

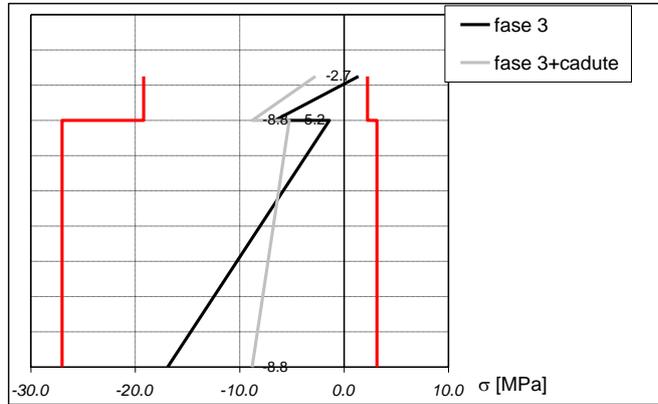
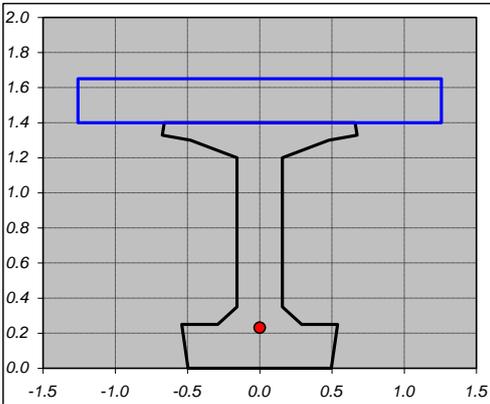
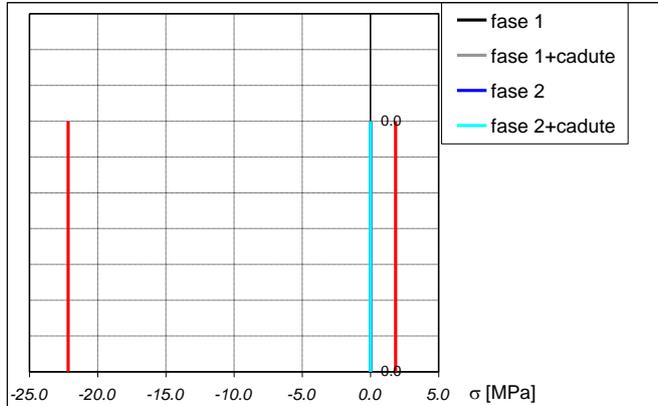
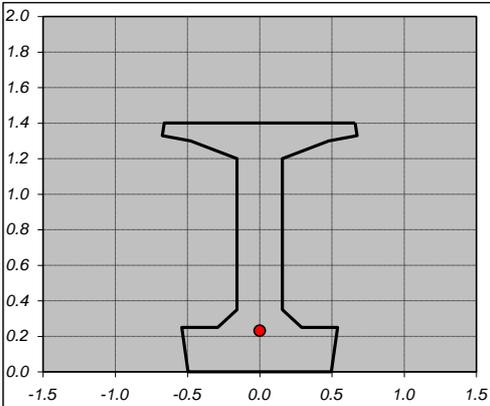
$n_{tot} = 26$
 $d_{CR} = 23.1 \text{ cm}$
 $A_p = 36.1 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.7828$	$A = 1.3610 \text{ m}^2$
$S_{\xi} = 0.5114$	$S_{\xi} = 1.3932 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.75$	$y_{Gs} = 0.63 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.65$	$y_{Gi} = 1.02 \text{ m}$
$I_x = 0.1885$	$I_x = 0.4442 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.7092 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2524$	$W_s = 1.1802 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2885$	$W_i = 0.4340 \text{ m}^3$

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
	$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$		1135	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

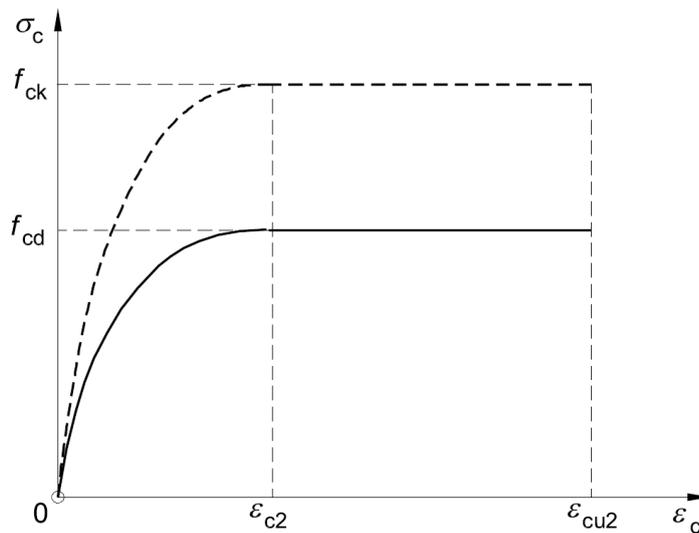
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

7.3.2. 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 deformazione al		2
$\epsilon_{c2} =$	raggiungimento della massima tensione		0.002
$\epsilon_{cu2} =$	deformazione ultima		0.0035



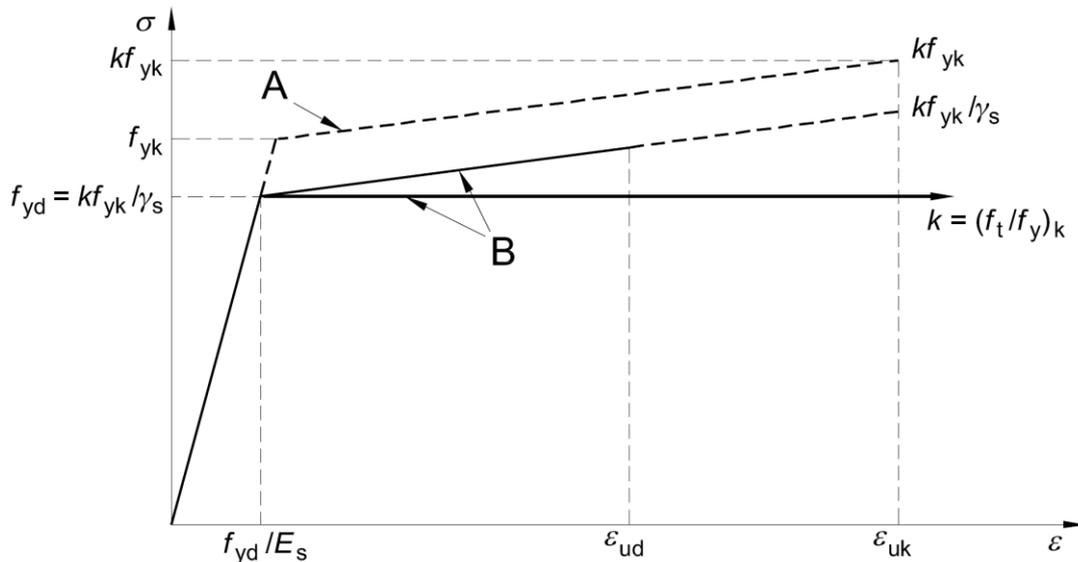
*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Acciaio per armature ordinarie



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

- A = diagramma idealizzato
B = diagramma di progetto

diagramma tensioni-deformazioni adottato

- bilineare finito con incrudimento elastico-perfettamente plastico indefinito

classe acciaio

C



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
ϵ_{yd} =	f_{yd}/E_s = deformazione a snervamento		0.0019
ϵ_{uk} =	deformazione ultima		0.075
ϵ_{ud} =	deformazione ultima di progetto		0.0675



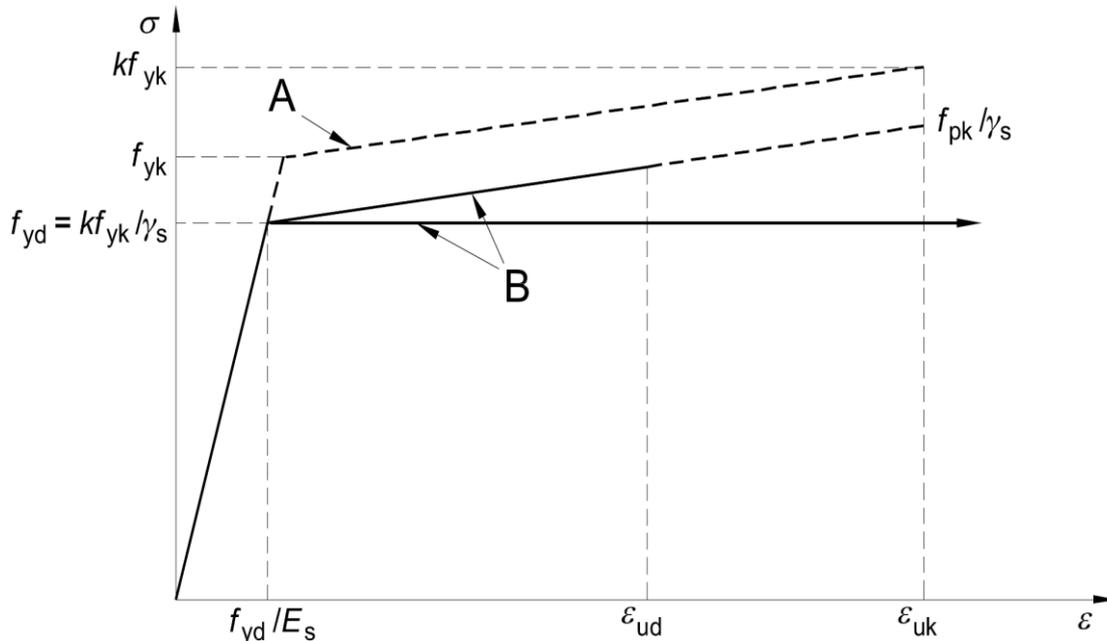
*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

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
incrudimento

elastico-perfettamente
plastico indefinito

$k =$	fattore di incrudimento = $(f_t/f_y)_k$		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
$\epsilon_{ud} =$	deformazione ultima di progetto		0.0315

**SEZIONE DI
VERIFICA**

6 ▾

MOMENTO MASSIMO

SLU + SLU -

calcolo a rottura

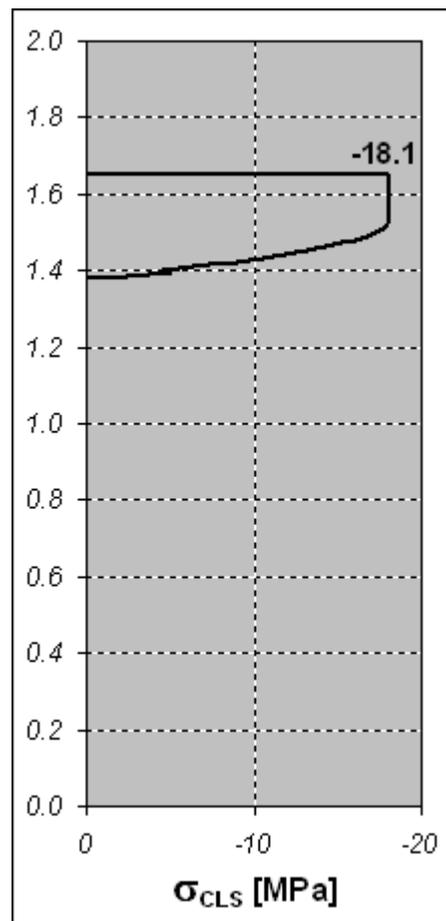
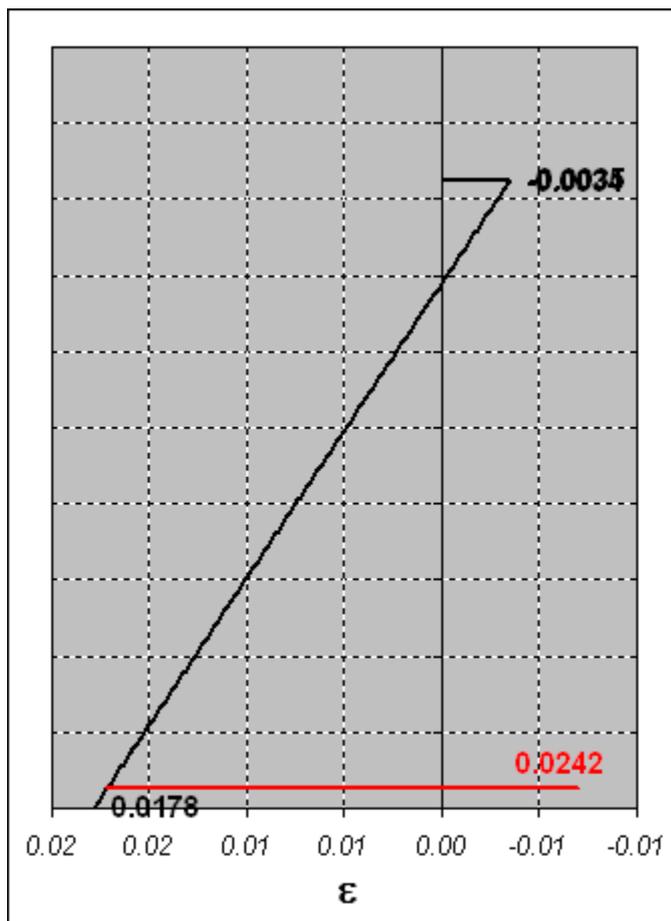
Tipo sezione CLS
Schema armatura di precompressione
Schema armatura lenta

N
A0
armatura lenta assente

$N_{Ed} =$	sforzo normale di progetto	kN	0
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	kNm	13030
$N_d =$	parametro di controllo	kN	0
$M_{Rd} =$	momento flettente resistente	kNm	13810 verifica

TIPO ROTTURA:

**CRISI CLS con TREFOLI
SNERVATI**



**SEZIONE DI
VERIFICA**

11 

MOMENTO MINIMO

SLU + SLU -

calcolo a rottura

Tipo sezione CLS

Schema armatura di precompressione

Schema armatura lenta

R

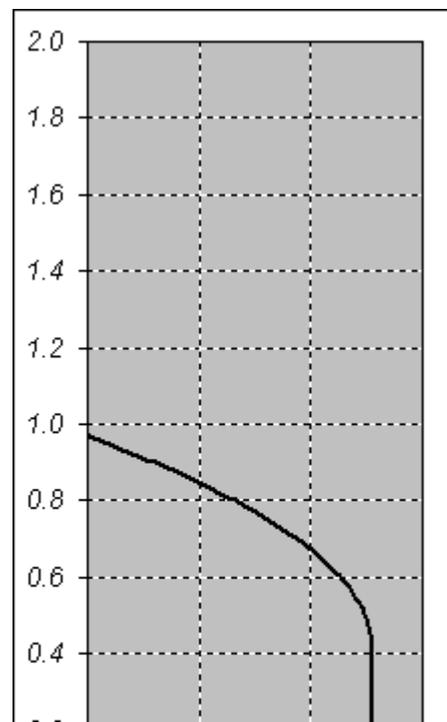
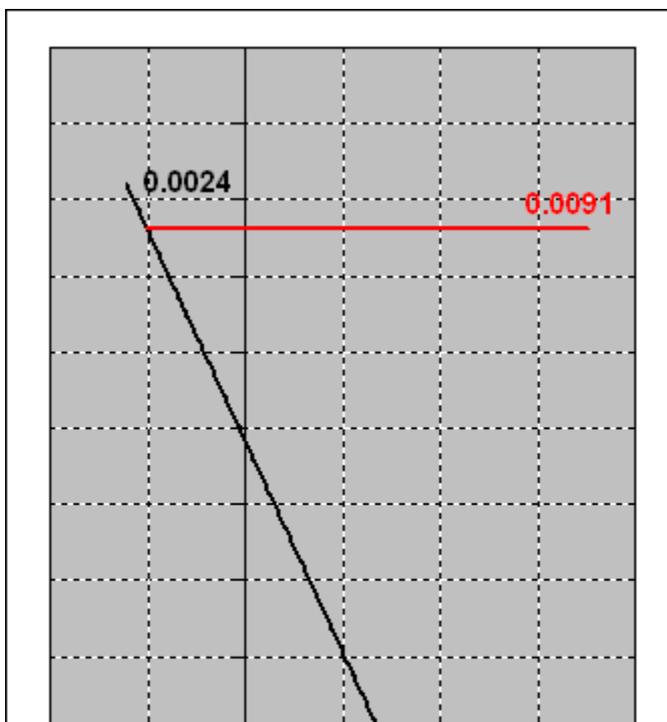
A3

armatura lenta assente

$N_{Ed} =$	sforzo normale di progetto	kN	0
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	kNm	-9576
$N_d =$	parametro di controllo	kN	0
$M_{Rd} =$	momento flettente resistente	kNm	-9645 verifica

TIPO ROTTURA:

**CRISI CLS con
ARMATURA SNERVATA**





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

ARMATURA TRASVERSALE A TAGLIO-TORSIONE

$p =$	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	10	20	20	20	20	20	20	10
$\emptyset =$	diametro ferri	mm	14	14	12	10	10	12	14	14
$n \emptyset =$	numero bracci totali		4	4	4	4	4	4	4	4
$A_s =$	area staffe	cm ²	6.2	6.2	4.5	3.1	3.1	4.5	6.2	6.2

ARMATURA LONGITUDINALE A TORSIONE

$p =$	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	30	32	36	46	64	85	64	32
$n \emptyset =$	numero ferri totali		17	16	14	11	8	6	8	16
$\emptyset =$	diametro ferri	mm	16	16	16	16	16	16	16	16
$A_{sl} =$	area armatura longitudinale - torsione	cm ²	34.2	32.2	28.1	22.1	16.1	12.1	16.1	32.2

RESISTENZA A TAGLIO

"taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw}/p \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$	kN	2795	1999	1700	1398	1674	2188	2548	3360	
$d =$	altezza utile sezione	m	1.42	1.42	1.47	1.50	1.50	1.47	1.47	
$A_{sw} =$	area staffe - taglio	cm ²	5.5	5.0	3.5	2.3	2.6	4.1	5.6	5.5
$f_{yd} =$	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391	391	391	391	391	391
$\alpha =$	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	deg	90	90	90	90	90	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	2897	2314	2323	2122	2038	2293	2548	3290
---	----	------	------	------	------	------	------	------	------

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$b_w =$	larghezza minima della sezione	m	0.32	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.32
$\sigma_{cp} =$	tensione di compressione del cls	MPa	3.3	3.4	4.7	5.5	5.6	5.4	8.0	10.3
$f_{cd} =$	resistenza di progetto a compressione	MPa	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
$f'_{cd} =$	resistenza a compressione ridotta	MPa	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
$\alpha_c =$	coefficiente maggiorativo		1.13	1.13	1.18	1.22	1.22	1.21	1.25	1.25
$\theta =$	angolo di inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse della trave	deg	45	32	28	23	22	26	30	41
$ctg\theta =$	intervallo di variabilità [1;2.5]		1.01	1.6	1.9	2.3	2.5	2.0	1.8	1.2
$ V_{Rcd} - V_{Rsd} =$	funzione da minimizzare	kN	102	315	624	725	364	105	0	70
$\theta_l =$	angolo di inclinazione prima fessurazione	deg	45	32	28	23	21	26	25	34

RESISTENZA A TORSIONE

bielle compresse

$T_{Rcd} = 2 \cdot \Omega \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot ctg\theta / (1 + ctg^2\theta)$			3160	2809	2809	2809	2809	2809	2809	3160
$\Omega =$	area sottesa dalla linea media Γ	m ²	1.5735	1.5735	1.5735	1.5735	1.5735	1.5735	1.5735	1.5735
$t =$	spessore della sezione cava	m	0.16	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.16
$f'_{cd} =$	resistenza a compressione ridotta	MPa	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
$\theta =$	angolo di inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse della trave	deg	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
$ctg\theta =$	intervallo di variabilità [0.4;2.5]		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
staffe										
$T_{Rsd} = 2 \cdot \Omega \cdot A_s/p \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$		kN	780	736	645	529	353	290	341	751

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$A_s =$	area staffe - torsione	cm ²	0.63	1.19	1.05	0.86	0.57	0.47	0.55	0.61
$f_{yd} =$	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391	391	391	391	391	391
$p =$	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	10	20	20	20	20	20	20	10
<i>armatura longitudinale</i>										
$T_{Rld} = 2 \cdot \Omega \cdot A_{sl} / u_m \cdot f_{yd} / \text{ctg}\theta$		kN	827	778	681	535	389	292	389	778
$A_{sl, \min} =$	area armatura longitudinale minima - torsione	cm ²	32.3	30.4	26.6	21.9	14.6	12.0	14.1	31.0
$u_m =$	perimetro medio del nucleo resistente	m	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1

7.3.4. PROGETTO ARMATURA DI CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA

GEOMETRIA SEZIONI DI PROGETTO

	sezione		1	2	3	4	6	8	9	11
$x =$	ascissa sezione da asse appoggio	m	0.00	3.00	6.00	9.00	15.00	21.00	24.00	30.00

TENSIONI TANGENZIALI

$V_2 =$	sforzo di taglio fase 2	kN	1152	884	685	514	610	980	1213	1432
$\tau_{Edi} =$	tensione tangenziale cls agente - interfaccia trave-soletta	MPa	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7
$\tau_{Rdi} =$	tensione tangenziale cls resistente - interfaccia trave-soletta	MPa	1.6	1.1	0.9	0.8	0.8	0.9	1.1	1.6
			√	√	√	√	√	√	√	√

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

ARMATURA TRASVERSALE DI CUCITURA

$\rho =$	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	10	20	20	20	20	20	20	10
$n \emptyset =$	numero bracci totali		4	4	4	4	4	4	4	4
$\emptyset =$	diametro ferri	mm	14	14	12	10	10	12	14	14
$A_s =$	area staffe	cm ²	6.2	6.2	4.5	3.1	3.1	4.5	6.2	6.2

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	1.62	1.06	0.91	0.78	0.78	0.91	1.06	1.62	
$C =$	fattore di scabrezza 1 - superficie liscia	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
$\mu =$	fattore di scabrezza 2 - superficie liscia	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
$f_{ctd} =$	resistenza di progetto a trazione - cls soletta	MPa	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	
$\sigma_n =$	tensione normale interfaccia (comp.>0)	MPa	0	0	0	0	0	0	0	
$\rho =$	A_s/A_i	0.005	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	
$A_s =$	area armatura	cm ²	6.16	6.16	4.52	3.14	3.14	4.52	6.16	6.16
$A_i =$	area giunto	cm ³	1288	2575	2575	2575	2575	2575	1288	
$f_{yd} =$	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391	391	391	391	391	
$\alpha =$	angolo di inclinazione armatura	deg	90	90	90	90	90	90	90	
$v =$	coefficiente di riduzione della resistenza	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$f_{cd} =$	resistenza di progetto compressione - cls soletta	a	MPa	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
------------	--	---	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

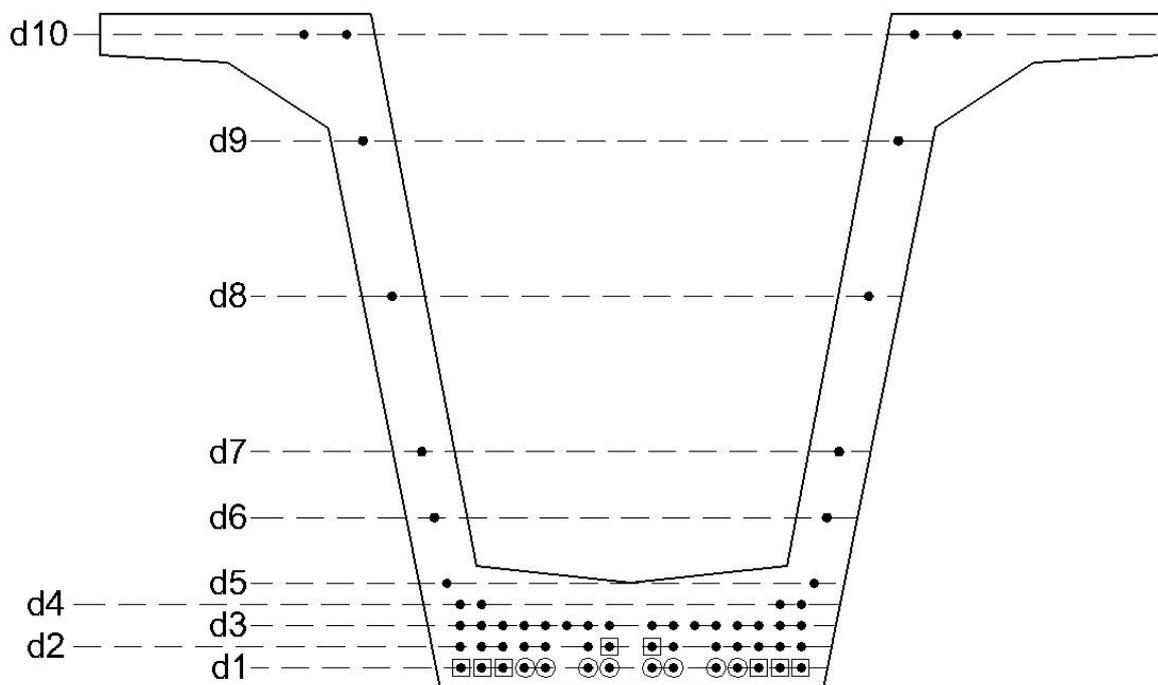
8. PROGETTO TRAVE CAMPATA INTERMEDIA

8.1. ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE LONGITUDINALE

Le travi delle campate di riva risultano essere più sollecitate.

Si adottano travi prefabbricate con 42 trefoli aderenti, opportunamente inguainati nella parte terminale delle stesse. In fase di seconda precompressione si impiegano 18 trefoli in soletta e 21 trefoli in corrispondenza del traverso per ciascuna trave.

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
$\varnothing =$	diámetro trefolo	in	0.5
$A_{1p} =$	area trefolo	cm ²	1.39
$n_{ING1} =$	numero trefoli inguainati per L_{ING1}		10

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

L_{ING1} =	lunghezza di inguainamento 1	m	4
n_{ING2} =	numero trefoli inguainati per L_{ING2}		8
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 x stanno inguainati i trefoli n_{ING1} e n_{ING2}
= $(0, L_{ING1}]$

A_2 = schema armatura efficace tratto x stanno inguainati solo i trefoli n_{ING2}
= $(L_{ING1}, L_{ING2}]$

A_3 = schema armatura efficace in appoggio: stanno inguainati i trefoli n_{ING1} e n_{ING2}
 A_1 con trefoli in soletta

nome schema armatura precompressione		A0	A1	A2	A3	d_i (cm)
n_1 =	numero trefoli livello 1	18	0	10	0	5
n_2 =	numero trefoli livello 2	14	14	14	14	10
n_3 =	numero trefoli livello 3	4	4	4	4	15
n_4 =	numero trefoli livello 4	2	2	2	2	20
n_5 =	numero trefoli livello 5	2	2	2	2	60
n_6 =	numero trefoli livello 6	2	2	2	2	100
n_7 =	numero trefoli livello 7	0	0	0	21	105
n_8 =	numero trefoli livello 8	0	0	0	18	153
n_9 =	numero trefoli livello 9	0	0	0	0	0
n_{10} =	numero trefoli livello 10	0	0	0	0	0
n_{tot} =	numero trefoli totale	42	24	34	63	
d_{CR} =	distanza del cavo risultante dal lembo inferiore della trave	cm	15.5	23.3	17.9	87.5
A_p =	area trefoli	cm ²	58.4	33.4	47.3	87.6

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 trasmissione	m	0.86
$\alpha_1 =$	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
$f_{bpt} =$	$\eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}(t)$	tensione di aderenza uniforme nel cls	MPa	4.8
$\eta_{p1} =$	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

8.2. SOLLECITAZIONI

COMBINAZIONE

U2 

	γ
Precompressione	1.00
Peso proprio trave	1.35
Peso proprio soletta	1.35
Permanenti portati	1.50
Carichi mobili	1.35
Termica	0.90
Effetti reologici	1.20

sezione			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x =	ascissa sezione da asse appoggio	m	0	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00

Precompressione I fase (travi)

$N_p =$	sforzo normale precompressione	kN	0	-4582	-6491	-8019	-8019	-8019	-8019	-8019	-6491	-4582	0
$M_p =$	momento flettente precompressione	kNm	0	-2117	-3302	-4232	-4232	-4232	-4232	-4232	-3302	-2117	0

Precompressione II fase (soletta e traversi)

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$N_p =$	sforzo normale precompressione	kN	-7881	-7881	-3678	0	0	0	0	0	-3153	-6830	-6830
$M_p =$	momento flettente precompressione	kNm	1143	1163	-400	-380	-360	-339	-319	-299	1079	1100	1120

Peso proprio trave

$M_T =$	momento flettente peso proprio trave	kNm	0	899	1585	2075	2369	2467	2369	2075	1585	899	0
$V_T =$	sforzo di taglio peso proprio trave	kN	-314.5	-261.2	-195.9	-130.6	-65.3	0	65.3	130.6	195.9	261.2	326.5

Peso proprio soletta in appoggi

$M_s =$	momento flettente peso proprio soletta	kNm	0	320	427	427	427	427	427	427	427	320	0
$V_s =$	sforzo di taglio peso proprio soletta	kN	-142	-71	0	0	0	0	0	0	0	71	142

Peso proprio soletta in campata

$M_s =$	momento flettente peso proprio soletta	kNm	-1959	-1251	-543	57	445	618	578	325	-142	-716	-1290
$V_s =$	sforzo di taglio peso proprio soletta	kN	-236	-236	-236	-165	-93	-22	49	120	191	191	191

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Permanententi portati

$M_{pp} =$	momento flettente permanententi portati	kNm	-2684	-1498	-558	134	580	779	731	436	-106	-895	-1931
$V_{pp} =$	sforzo di taglio permanententi portati	kN	-547	-444	-341	-238	-134	-31	72	175	278	381	386

Variazioni termiche differenziali

$M_{pp} =$	momento flettente permanententi portati	kNm	-760	-739	-718	696	675	654	632	611	-590	-568	-547
$V_{pp} =$	sforzo di taglio permanententi portati	kN	-12	-12	-12	-12	-12	-12	12	12	12	12	12

Carichi mobili

$M_m =$	momento flettente carichi mobili	kNm	-4173	-2714	-1931	3214	3814	4016	3844	3275	-1634	-2366	-3932
$V_m =$	sforzo di taglio carichi mobili	kN	-1070	-843	-685	-568	-472	-394	560	677	836	1062	1062
$T_m =$	momento torcente carichi mobili	kNm	751	705	637	539	445	373	324	302	348	465	752

Viscosità su struttura a vincoli variati

$M_{pp} =$	momento flettente permanententi portati	kNm	4160	4023	3886	3749	3612	3474	3337	3200	3063	2926	2789
------------	---	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

V_{pp} = sforzo di taglio permanenti portati kN 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Totale - azioni esterne

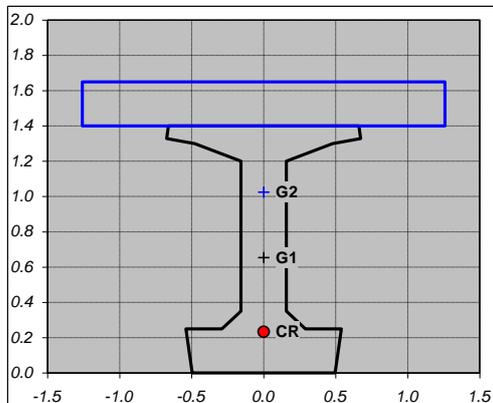
N =	sforzo normale	kN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M =	momento flettente	kNm	-9069	-4489	-1259	9889	11472	11999	11497	9941	-67	-2947	-7336
V =	sforzo di taglio	kN	-2314	-1859	-1461	-1105	-769	-452	750	1107	1505	1970	2112
T =	momento torcente	kNm	751	705	637	539	445	373	324	302	348	465	752

8.3. PROGETTO A FLESSIONE DELLA TRAVE

8.3.1. SLE – CALCOLO DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

Sezione 1 Mmin x = ascissa sezione da asse appoggio 0.00 m

GEOMETRIA TRAVE



note: sezione di appoggio

Armatura di precompressione

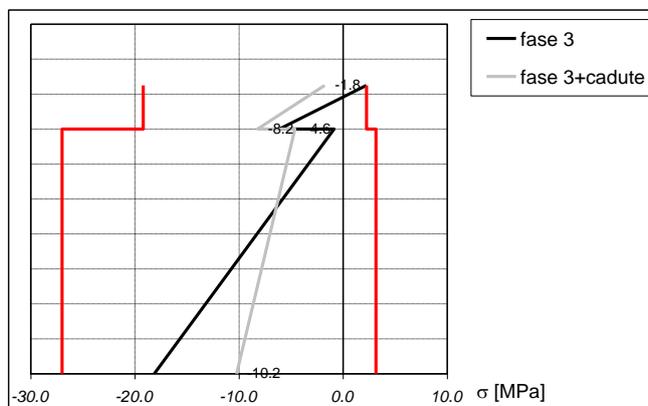
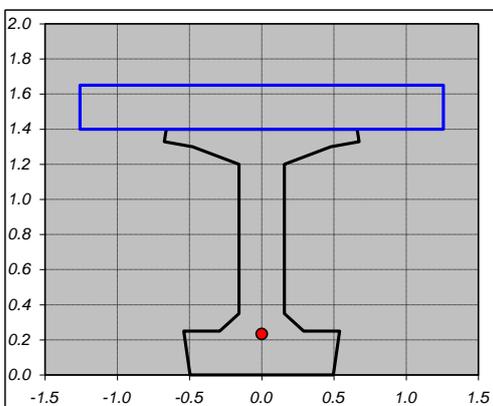
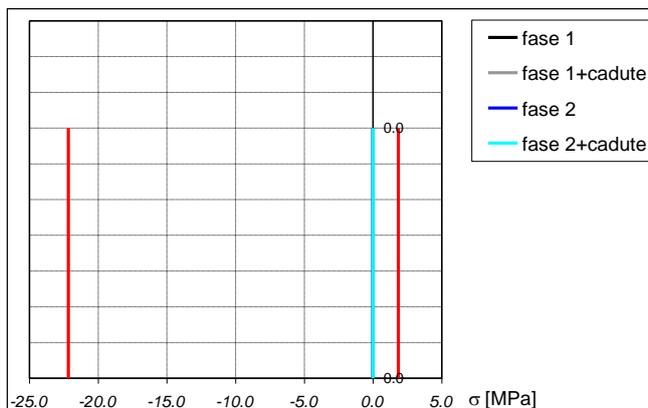
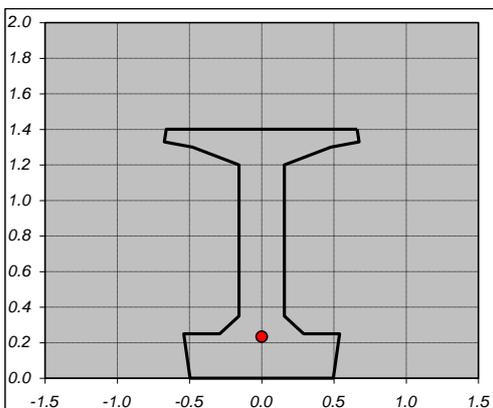
$n_{tot} = 24$
 $d_{CR} = 23.3$ cm
 $A_p = 33.4$ cm²

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.		Sezione trave+soletta omog.	
A =	0.7813	A =	1.3595 m ²
$S_c =$	0.5111	$S_c =$	1.3929 m ³
$y_{Gs} =$	0.75	$y_{Gs} =$	0.63 m
$y_{Gi} =$	0.65	$y_{Gi} =$	1.02 m
$I_x =$	0.1882	$I_x =$	0.4432 m ⁴
		$W_{s,s} =$	0.7086 m ³
$W_s =$	0.2523	$W_s =$	1.1803 m ³
$W_i =$	0.2877	$W_i =$	0.4326 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]				1129	verifica

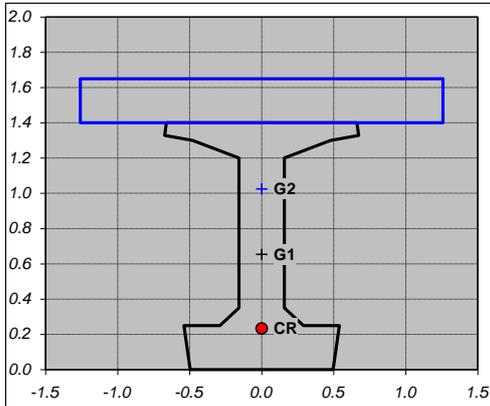


Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 2

x = ascissa sezione da asse appoggio 3.00 m
note: sezione fine guaina 1

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

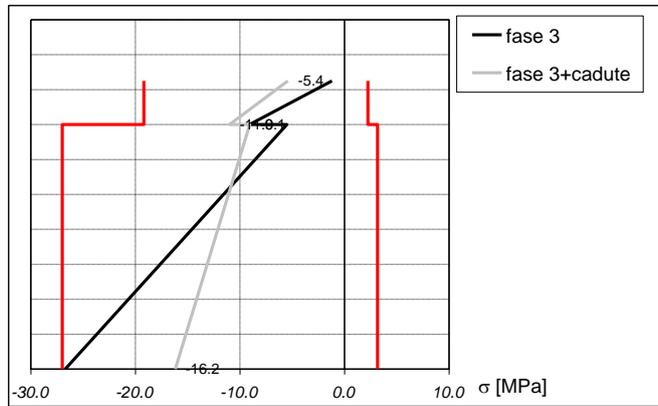
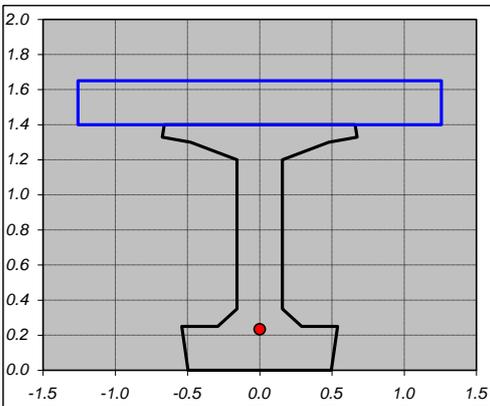
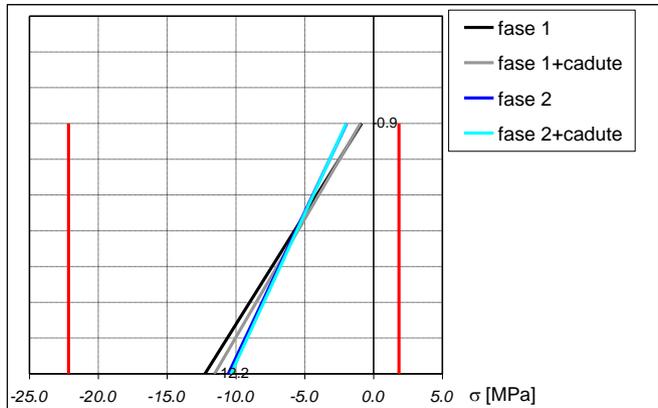
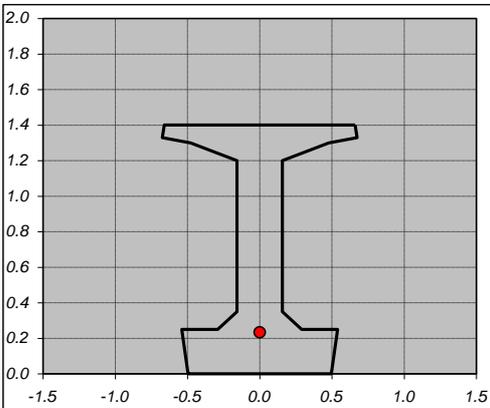
$n_{tot} = 24$
 $d_{CR} = 23.3 \text{ cm}$
 $A_p = 33.4 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6628$	$A = 1.2411 \text{ m}^2$
$S_x = 0.4609$	$S_x = 1.3427 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.70$	$y_{Gs} = 0.57 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.70$	$y_{Gi} = 1.08 \text{ m}$
$I_x = 0.1664$	$I_x = 0.3820 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6723 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2361$	$W_s = 1.2007 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2393$	$W_i = 0.3531 \text{ m}^3$

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
	$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$		973	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

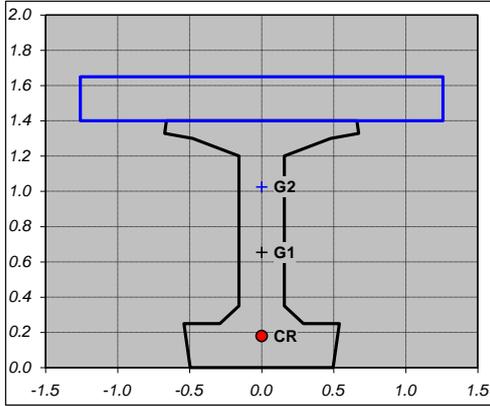
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 3

x = ascissa sezione da asse appoggio 6.00 m
note: prima sezione con guaina 2

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

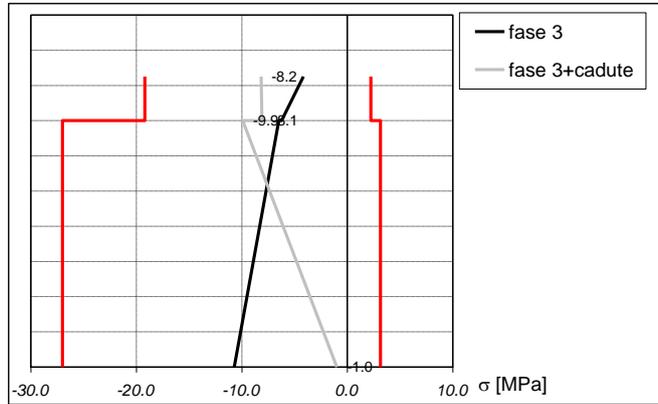
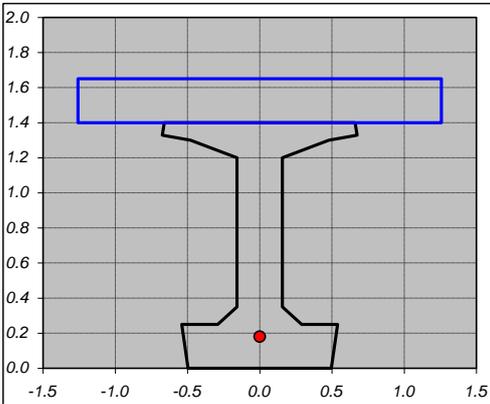
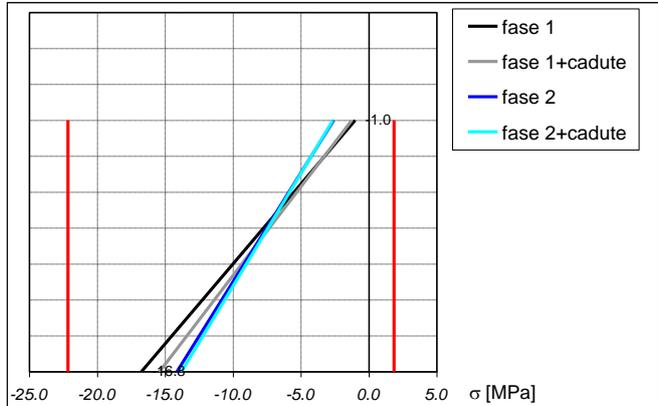
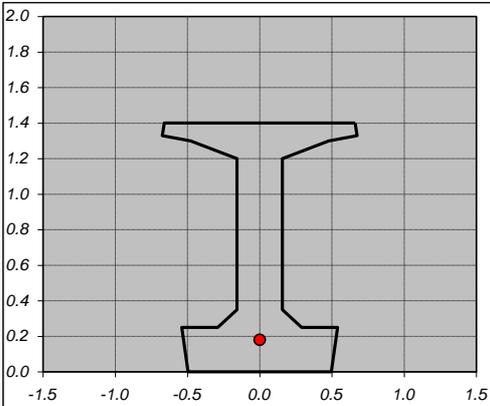
$n_{tot} = 34$
 $d_{CR} = 17.9 \text{ cm}$
 $A_p = 47.3 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6703$	$A = 1.2485 \text{ m}^2$
$S_{\xi} = 0.4613$	$S_{\xi} = 1.3431 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.71$	$y_{Gs} = 0.57 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.69$	$y_{Gi} = 1.08 \text{ m}$
$I_x = 0.1693$	$I_x = 0.3897 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6786 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2378$	$W_s = 1.2017 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2460$	$W_i = 0.3623 \text{ m}^3$

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]				1064	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

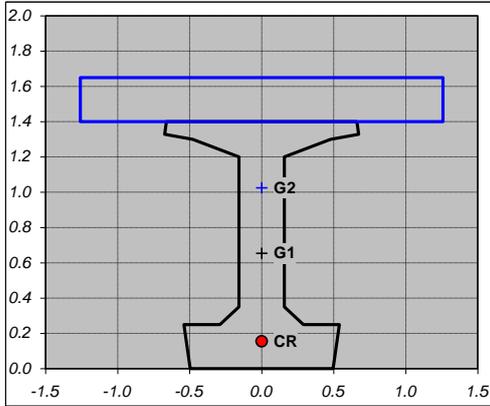
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 4

x = ascissa sezione da asse appoggio note: 9.00 m
sezione fine guaina 2

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

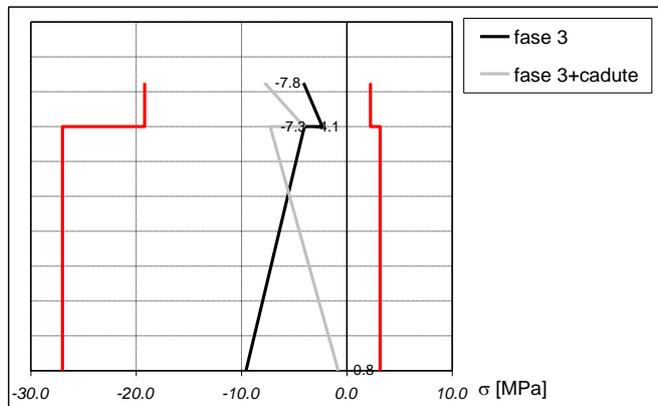
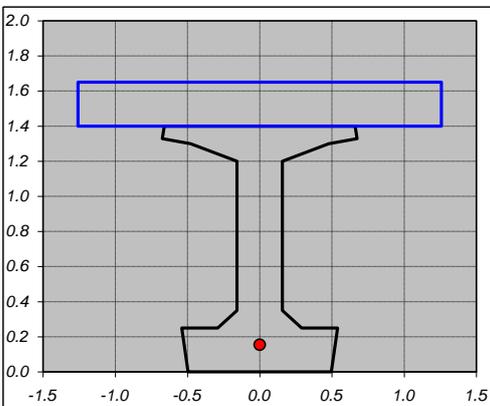
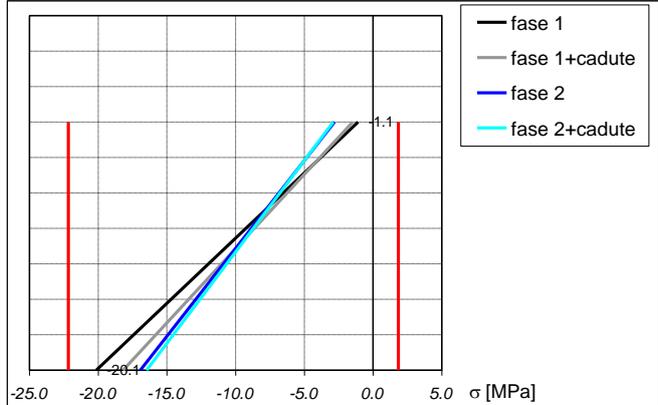
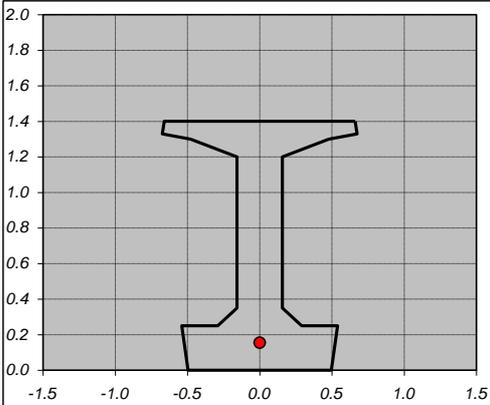
$n_{tot} = 42$
 $d_{CR} = 15.5 \text{ cm}$
 $A_p = 58.4 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6763$	$A = 1.2545 \text{ m}^2$
$S_x = 0.4616$	$S_x = 1.3434 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.72$	$y_{Gs} = 0.58 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.68$	$y_{Gi} = 1.07 \text{ m}$
$I_x = 0.1716$	$I_x = 0.3959 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6835 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2392$	$W_s = 1.2026 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2514$	$W_i = 0.3697 \text{ m}^3$

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
$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$				1076	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

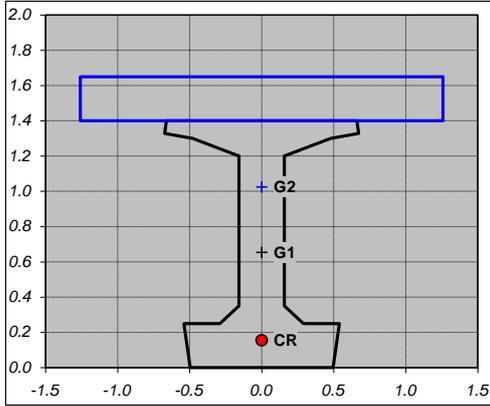
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Sezione 6

x = ascissa sezione da asse appoggio 15.00 m
note: prima sezione senza guaine

GEOMETRIA TRAVE



Armatura di precompressione

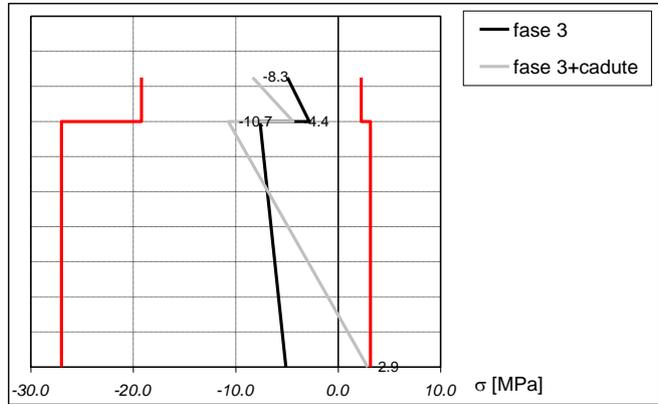
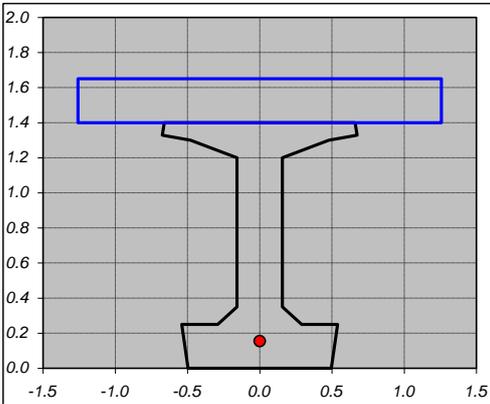
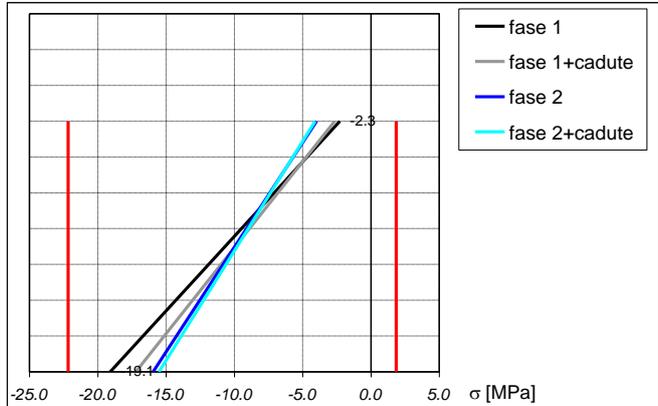
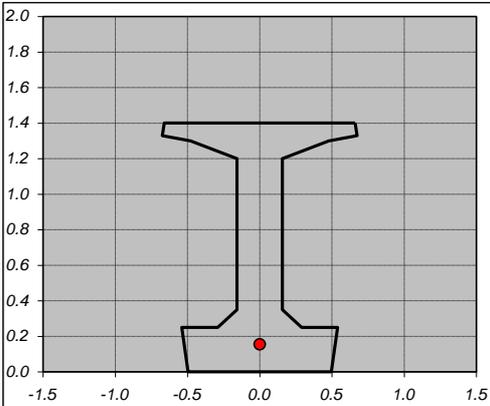
$n_{tot} = 42$
 $d_{CR} = 15.5 \text{ cm}$
 $A_p = 58.4 \text{ cm}^2$

Caratteristiche geometriche

Sezione trave omog.	Sezione trave+soletta omog.
$A = 0.6763$	$A = 1.2545 \text{ m}^2$
$S_x = 0.4616$	$S_x = 1.3434 \text{ m}^3$
$y_{Gs} = 0.72$	$y_{Gs} = 0.58 \text{ m}$
$y_{Gi} = 0.68$	$y_{Gi} = 1.07 \text{ m}$
$I_x = 0.1716$	$I_x = 0.3959 \text{ m}^4$
	$W_{s,s} = 0.6835 \text{ m}^3$
$W_s = 0.2392$	$W_s = 1.2026 \text{ m}^3$
$W_i = 0.2514$	$W_i = 0.3697 \text{ m}^3$

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
	$\sigma_p = \text{tensione finale acciaio [MPa]}$		1112	verifica





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

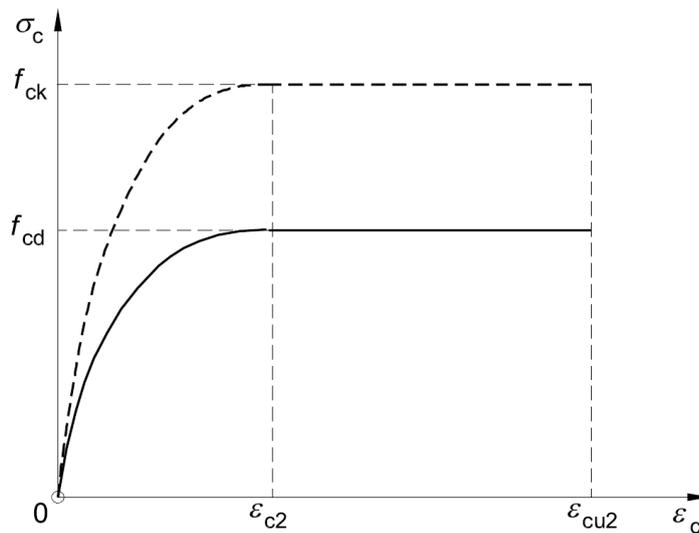
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

8.3.2. 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 deformazione al		2
$\epsilon_{c2} =$	raggiungimento della massima tensione		0.002
$\epsilon_{cu2} =$	deformazione ultima		0.0035



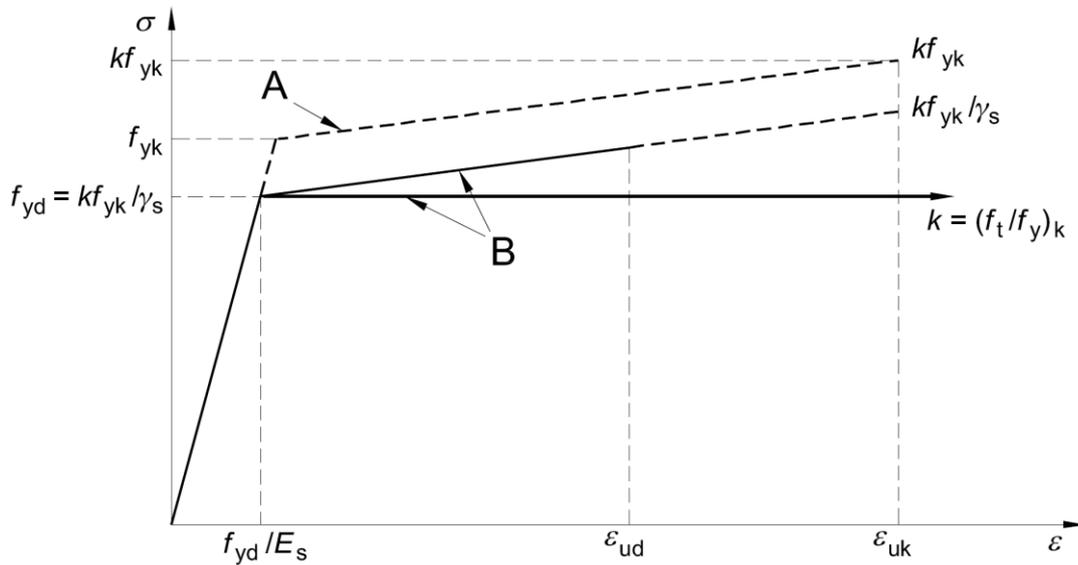
*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Acciaio per armature ordinarie



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

- A = diagramma idealizzato
B = diagramma di progetto

diagramma tensioni-deformazioni adottato

- bilineare finito con incrudimento elastico-perfettamente plastico indefinito

classe acciaio	C		
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
ϵ_{yd} =	f_{yd}/E_s = deformazione a snervamento		0.0019
ϵ_{uk} =	deformazione ultima		0.075
ϵ_{ud} =	deformazione ultima di progetto		0.0675

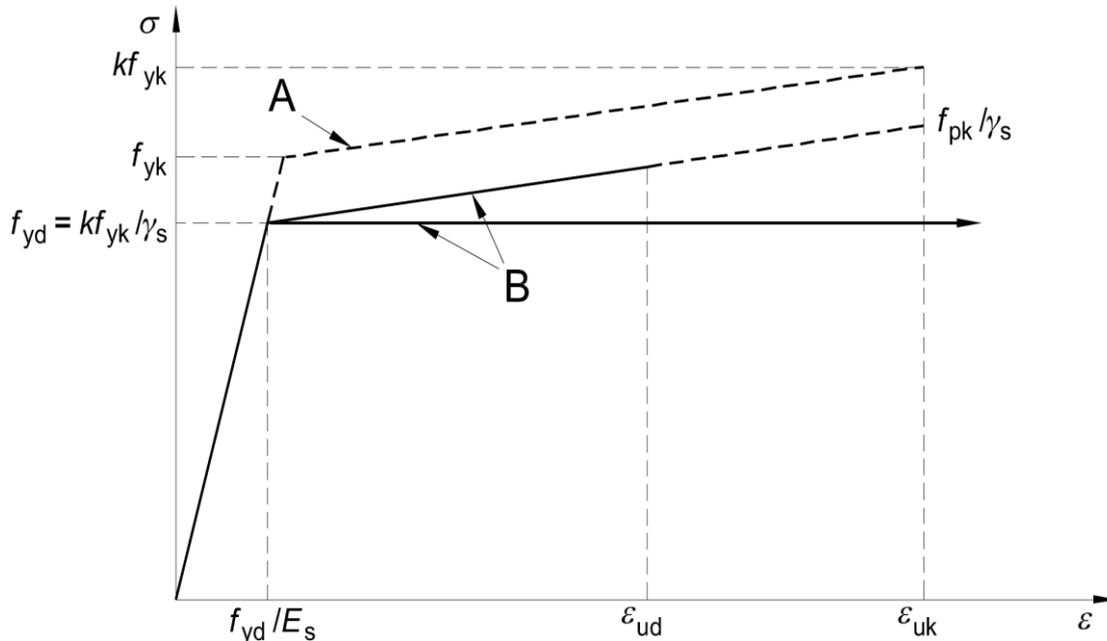


*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

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
incrudimento

elastico-perfettamente
plastico indefinito

$k =$	fattore di incrudimento = $(f_t/f_y)_k$		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
$\epsilon_{ud} =$	deformazione ultima di progetto		0.0315

**SEZIONE DI
VERIFICA**

6 ▾

MOMENTO MASSIMO

SLU + SLU -

calcolo a rottura

Tipo sezione CLS

Schema armatura di precompressione

Schema armatura lenta

N

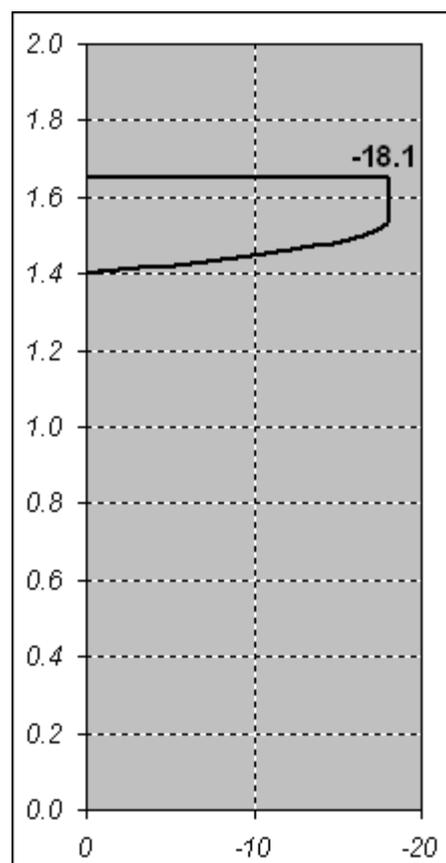
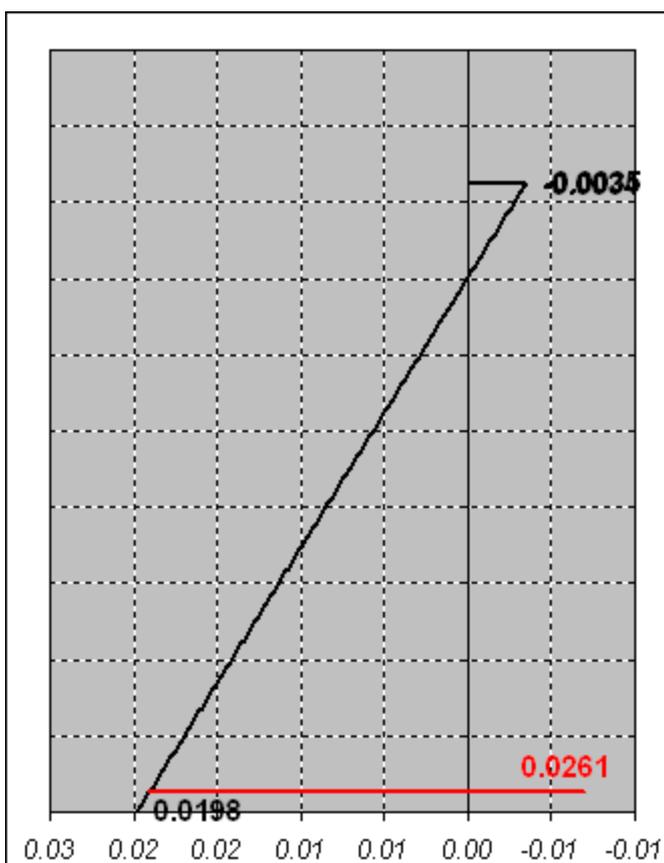
A0

armatura lenta assente

$N_{Ed} =$	sforzamento normale di progetto	kN	0
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	kNm	12435
$N_d =$	parametro di controllo	kN	0
$M_{Rd} =$	momento flettente resistente	kNm	12788 verifica

TIPO ROTTURA:

**CRISI CLS con TREFOLI
SNERVATI**



SEZIONE DI
VERIFICA

1 

MOMENTO MINIMO

SLU + SLU -

calcolo a rottura

Tipo sezione CLS

Schema armatura di precompressione

Schema armatura lenta

R

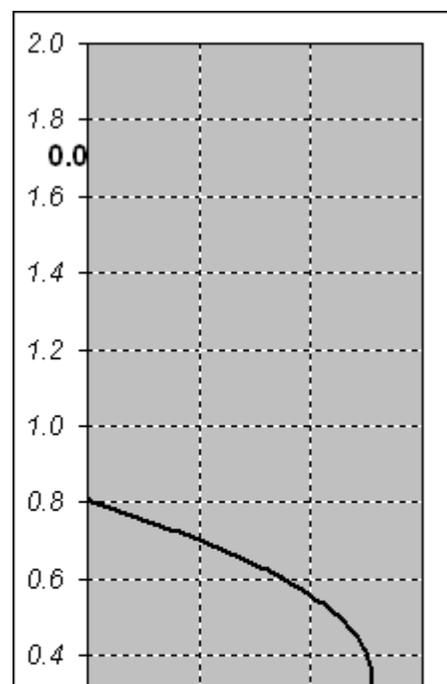
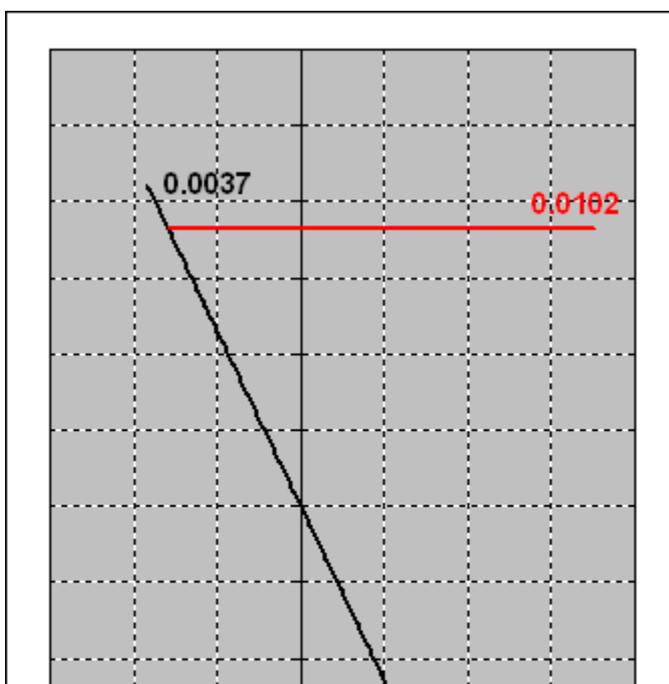
A3

L1

$N_{Ed} =$	sforzo normale di progetto	kN	0
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	kNm	-9576
$N_d =$	parametro di controllo	kN	0
$M_{Rd} =$	momento flettente resistente	kNm	-9650 verifica

TIPO ROTTURA:

**CRISI CLS con
ARMATURA SNERVATA**





*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

8.3.3. PROGETTO A TAGLIO-TORSIONE DELLA TRAVE

GEOMETRIA SEZIONI DI PROGETTO

	sezione		1	2	3	4
x =	ascissa sezione da asse appoggio	m	0.00	3.00	6.00	9.00

VERIFICA A TAGLIO-TORSIONE

Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

γ_{G1} =	carichi permanenti strutturali	1.35
γ_{G2} =	carichi permanenti non strutturali	1.5
$\gamma_{\epsilon 2}$ =	effetti reologici	1.2
$\gamma_{\epsilon 3}$ =	variazioni termiche	0.90
γ_Q =	carichi variabili da traffico	1.35

Sollecitazioni allo SLU

V_{Ed} =	valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	kN	2322	1867	1469	1113
T_{Ed} =	valore di calcolo del momento torcente agente	kNm	751	705	637	539

Resistenza di progetto

V_{Rd} =	resistenza a taglio di progetto	kN	3285	2165	1930	1229
T_{Rd} =	resistenza a torsione di progetto	kN	751	705	637	539
$T_{Ed}/T_{Rcd} + V_{Ed}/V_{Rcd} \leq 1$:	verifica bielle compresse di cls		0.95	0.98	0.85	0.67
			✓	✓	✓	✓

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

ARMATURA TRASVERSALE A TAGLIO-TORSIONE

p =	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	10	20	20	20
Ø =	diametro ferri	mm	14	14	12	10
n Ø =	numero bracci totali		4	4	4	4
A _s =	area staffe	cm ²	6.2	6.2	4.5	3.1

ARMATURA LONGITUDINALE A TORSIONE

p =	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	32	34	36	42
n Ø =	numero ferri totali		16	15	14	12
Ø =	diametro ferri	mm	16	16	16	16
A _{sl} =	area armatura longitudinale - torsione	cm ²	32.2	30.2	28.1	24.1

RESISTENZA A TAGLIO
"taglio trazione"

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw}/p \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$		kN	3340	2165	1930	1229
d =	altezza utile sezione	m	1.47	1.42	1.47	1.50
A _{sw} =	area staffe - taglio	cm ²	5.5	5.0	3.5	2.3
f _{yd} =	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391	391
α =	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	deg	90	90	90	90
<i>"taglio compressione"</i>			22	22	22	22

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$	kN	3285	2464	2268	2260	
$b_w =$	larghezza minima della sezione	m	0.32	0.28	0.28	0.28
$\sigma_{cp} =$	tensione di compressione del cls	MPa	10.0	9.2	7.0	5.0
$f_{cd} =$	resistenza di progetto a compressione	MPa	25.5	25.5	25.5	25.5
$f'_{cd} =$	resistenza a compressione ridotta	MPa	12.8	12.8	12.8	12.8
$\alpha_c =$	coefficiente maggiorativo		1.25	1.25	1.25	1.20
$\theta =$	angolo di inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse della trave	deg	41	30	25	26
$\text{ctg}\theta =$	intervallo di variabilità [1;2.5]		1.16	1.7	2.1	2.1
$ V_{Rcd} - V_{Rsd} =$	funzione da minimizzare	kN	55	298	337	1031
$\theta_l =$	angolo di inclinazione prima fessurazione	deg	35	24	27	28

RESISTENZA A TORSIONE
bielle compresse

$T_{Rcd} = 2 \cdot \Omega \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \text{ctg}\theta / (1 + \text{ctg}^2\theta)$		3110	3110	3110	3110	
$\Omega =$	area sottesa dalla linea media Γ	m ²	1.5735	1.5735	1.5735	1.5735
$t =$	spessore della sezione cava	m	0.16	0.16	0.16	0.16
$f'_{cd} =$	resistenza a compressione ridotta	MPa	12.8	12.8	12.8	12.8
$\theta =$	angolo di inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse della trave	deg	45.0	45.0	45.0	45.0
$\text{ctg}\theta =$	intervallo di variabilità [0.4;2.5]		1.0	1.0	1.0	1.0

staffe

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$T_{Rsd} = 2 \cdot \Omega \cdot A_s/p \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$		kN	751	705	637	539
$A_s =$	area staffe - torsione	cm ²	0.61	1.15	1.03	0.87
$f_{yd} =$	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391	391
$p =$	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	10	20	20	20
<i>armatura longitudinale</i>						
$T_{Rld} = 2 \cdot \Omega \cdot A_{sl} / u_m \cdot f_{yd} / ctg\theta$		kN	778	730	681	584
$A_{sl,min} =$	area armatura longitudinale minima - torsione	cm ²	31.0	29.2	26.3	22.3
$u_m =$	perimetro medio del nucleo resistente	m	5.1	5.1	5.1	5.1

8.3.4. PROGETTO ARMATURA DI CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA

GEOMETRIA SEZIONI DI PROGETTO

sezione			1	2	3	4
$x =$	ascissa sezione da asse appoggio	m	0.00	3.00	6.00	9.00

TENSIONI TANGENZIALI

$V_2 =$	sfuerzo di taglio fase 2	kN	1332	1105	947	751
$\tau_{Edi} =$	tensione tangenziale cls agente - interfaccia trave-soletta	MPa	0.7	0.6	0.5	0.4

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$\tau_{Rdi} =$	tensione tangenziale cls resistente - interfaccia trave-soletta	MPa	1.6	1.1	0.9	0.8
			✓	✓	✓	✓

ARMATURA TRASVERSALE DI CUCITURA

base

$p =$	interasse tra due armature trasversali consecutive	cm	10	20	20	20
$n \emptyset =$	numero bracci totali		4	4	4	4
$\emptyset =$	diametro ferri	mm	14	14	12	10

aggiuntiva

$n \emptyset =$	numero bracci totali		0	0	0	0
$\emptyset =$	diametro ferri	mm	0	0	0	0
$A_s =$	area staffe	cm ²	6.2	6.2	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	1.62	1.06	0.91	0.78
$C =$	fattore di scabrezza 1 - superficie liscia		0.35	0.35	0.35	0.35
$\mu =$	fattore di scabrezza 2 - superficie liscia		0.6	0.6	0.6	0.6
$f_{ctd} =$	resistenza di progetto a trazione - cls soletta	MPa	1.41	1.41	1.41	1.41
$\sigma_n =$	tensione normale interfaccia (comp.>0)	MPa	0	0	0	0
$\rho =$	A_s/A_i		0.005	0.002	0.002	0.001



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$A_s =$	area armatura	cm ²	6.16	6.16	4.52	3.14
$A_i =$	area giunto	cm ³	1288	2575	2575	2575
$f_{yd} =$	resistenza di progetto acciaio	MPa	391	391	391	391
$\alpha =$	angolo di inclinazione armatura	deg	90	90	90	90
$v =$	coefficiente di riduzione della resistenza		0.5	0.5	0.5	0.5
$f_{cd} =$	resistenza di progetto compressione - cls soletta	a MPa	18.1	18.1	18.1	18.1

9. IMPALCATO: EFFETTI LOCALI

9.1. SOLETTA

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

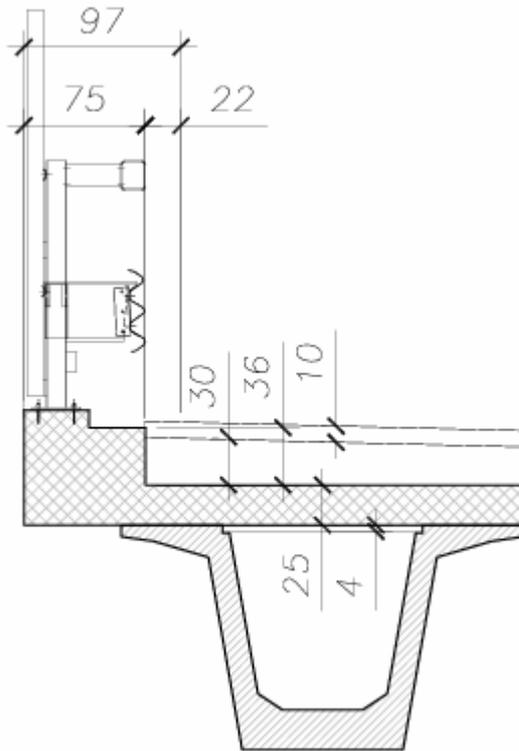
L'interasse delle travi è pari a 2.52 m, le fasce laterali hanno una larghezza di 1.84 m misurata dal baricentro delle travi di bordo, per un'estensione trasversale complessiva della soletta di 11.25 m. La soletta è gettata in opera con l'impiego di predalles a perdere dello spessore di 5 cm, appoggiate ai lembi delle travi a V prefabbricate, per uno spessore complessivo della soletta di 25 cm.

Nelle verifiche si trascura il contributo delle armature 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.

9.1.1. VERIFICA SBALZO

CALCOLO SBALZO SOLETTA

Si considera la porzione di soletta a sbalzo dall'anima esterna della trave di bordo; quello di seguito valutato è quello di dimensioni maggiori.



Dati di calcolo

Sbalzo	$L_{sb} =$	0.97	m
Larghezza cordolo	$L_c =$	0.75	m
Spessore cordolo	$sp_c =$	0.36	m
Spessore soletta	$sp_s =$	0.25	m
Larghezza pavimentazione	$L_{pav} =$	0.22	m
Spessore pavimentazione + massetto	$sp_{pav} =$	0.40	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	6.063	0.485	-2.940
marciapiede	6.750	0.595	-4.016
velette	1.000	0.970	-0.970
canalette	0.000	0.000	0.000
Sicurvia e barriera			
antirumore	2.000	0.770	-1.540
pavimentazione	0.660	0.110	-0.073

$$V_{pp} = 6.06 \text{ kNm}$$

$$V_{perm} = 10.41 \text{ kNm}$$

$$M_{pp} = -2.94 \text{ kNm}$$

$$M_{perm} = -6.60 \text{ kNm}$$

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 ($b_l \times b_t$) 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:

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



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

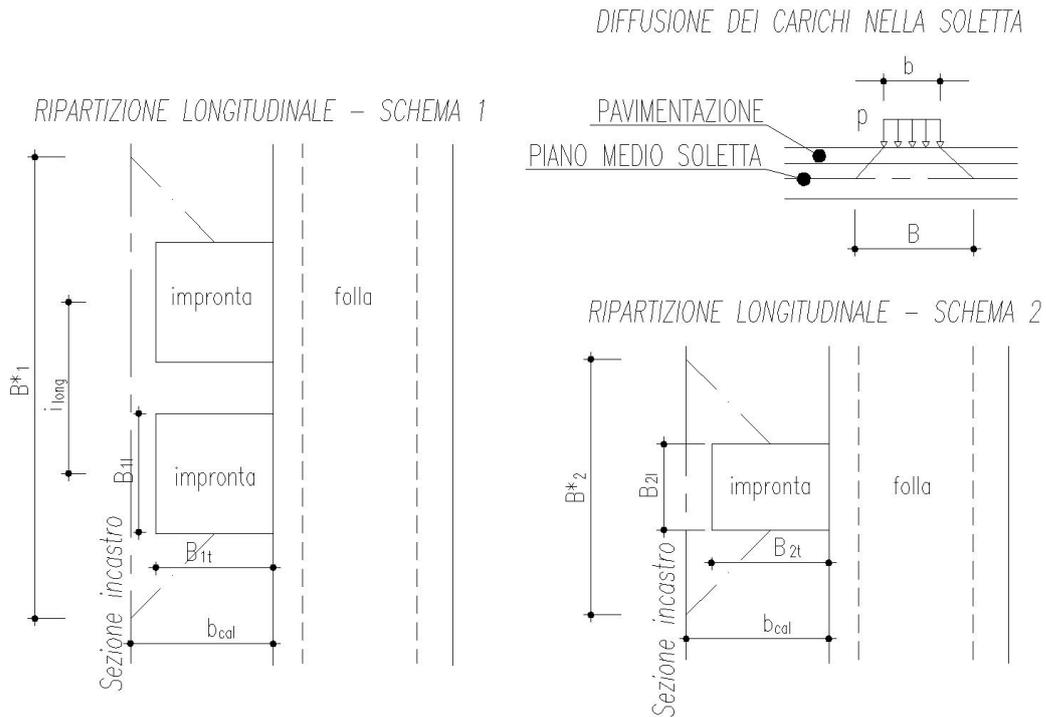
STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

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	$B =$	1.45	m
interasse impronte	$i_{long} =$	1.20	m
baricentro trasv. impronte	$b_{trasv} =$	0.37	m
lunghezza distribuzione	$B^* =$	3.40	m
carico impronta singola	$P =$	150	kN
carico distribuito	$q =$	9.00	kN
carico distribuito impronte schema 1	$p_1 =$	60.94	kN/m

	M_{mob1}	
momento max	$=$	-17.13 kNm
taglio max	$V_{mob1} =$	8.97 kN

SCHEMA 2

lato long. impronta di carico	$b_l =$	0.35	m
-------------------------------	---------	------	---

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

lato trasv. impronta di carico	$b_t =$	0.60	m
lato long. impronta proiettata	$B_l =$	1.40	m
lato trasv. impronta proiettata	$B_t =$	1.65	m
baricentro trasv. impronte	$b_{G,t} =$	0.37	m
lunghezza distribuzione	$B^* =$	2.15	m
carico impronta singola	$P =$	200	kN
carico distribuito impronte schema 2	$p_2 =$	56.51	kN/m

	M_{mob2}		
momento max	$=$	-15.68	kNm
taglio max	$V_{mob2} =$	4.71	kN

SCHEMA 5

larghezza di folla	$L_f =$	0.84	m
braccio larghezza di folla	$b_f =$	0.42	m
carico folla compatta	$q_5 =$	5.00	kN/m ²

	M_{mob5}		
momento max	$=$	-1.76	kNm
taglio max	$V_{mob5} =$	4.20	kN

INCREMENTO DINAMICO

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

SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE

momento mobili	$M_{mob} =$	-18.01	kNm
taglio mobili	$V_{mob} =$	11.07	kN

Carichi da vento su barriera e traffico

La pressione del vento (vedi paragrafo relativo) è pari a 2.3 kN/mq (si assume sempre il massimo sia ad impalcato carico che scarico).

La massima forza normale ed il momento flettente (caratteristici) che sollecitano lo sbalzo sono i seguenti:

- $N = 2.3 * 3.45 = 7.9$ kN/m
- $M = 2.3 * 3.45 * (3.45/2 + 0.485) = 17.5$ kNm/m



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Combinazioni delle azioni agli Stati Limite

Coefficienti γ

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

Coefficienti ψ

	ψ_0	ψ_1	ψ_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 per verifiche SLU e SLE

M_{pp} kNm	M_{perm} kNm	M_{mob} kNm	M_{vento} kNm
-2.94	-6.599	-18.01	-17.05

V_{pp} kN	V_{perm} kN	V_{mob} kN	N vento kN
6.063	10.41	11.07	7.9

	SLU 1	SLU 2	SLE-QP	SLE-F1	SLE-F2
Mslu =	-52.5	-56.7	-9.5	-23.0	-12.9
Vslu =	37.2	33.4	-	-	-
Nslu =	7.1	11.9	0.0	0.0	1.6



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Verifica a flessione SLU

Titolo :

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	25

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31.42	5
2	10.05	20

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd}

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

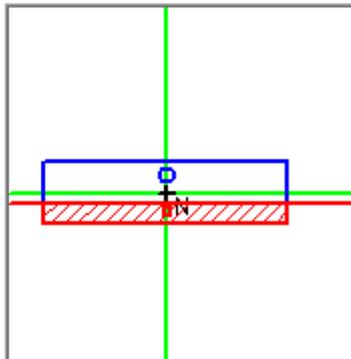
Materiali

 ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu}
 E_s N/mm² f_{cd}
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

N° rett.

 L₀ cm
 Precompresso



VERIFICHE A FESSURAZIONE SBALZO SINISTRO

Combinazione di azioni Frequente
Stato limite di apertura delle fessure

ESTRADOSSO SOLETTA

Sollecitazioni di verifica

M_{Ed} = momento sollecitante massimo 23.0 [kNm]

Determinazione del valore di calcolo di apertura delle fessure

h= altezza sezione		250 [mm]
d= altezza utile		200 [mm]
c = ricoprimento armatura		50 [mm]
	<i>Armatura tesa</i>	
n= numero barre		10
ϕ = diametro della barra		20 [mm]
n= numero barre		
ϕ = diametro della barra		[mm]
ϕ_{eq} = diametro equivalente		20 [mm]
A_s = area armatura tesa		3142 [mm ²]
	<i>Armatura compressa</i>	
A'_s = area armatura compressa		0 [mm ²]
Durata carichi		Breve
k_T = coefficiente durata carichi		0.6
Tipo di barre		Aderenza migliorata
k_1 = coefficiente aderenza barre		0.8
Sollecitazione		Flessione
k_2 = coefficiente stato sollecitazione		0.5
k_3		3.4
k_4		0.425
α_e = rapporto modulo acciaio/calcestruzzo		6.30
n= coefficiente omogeneizzazione acciaio-clc		15
x= distanza asse neutro - lembo compresso		98.0 [mm]
h_{eff} = altezza area efficace di cls teso attorno all'armatura		51 [mm]
$A_{c\,eff}$ = b h_{eff} = area efficace di cls teso attorno all'armatura		50656 [mm ²]
ρ_{eff} = $A_s/A_{c\,eff}$		0.062
Spaziatura barre		100 [mm]
$5(c+\phi/2)$		300 [mm]
Δs_{max} = distanza massima tra le fessure		224.8 [mm]

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

J_{dd} = momento inerzia sezione omogeneizzata parzializzata	804007468.1 [mm ⁴]
σ_c = tensione di compressione nel cls nella fibra più sollecitata	2.80 [MPa]
σ_t = tensione di trazione nel cls nella fibra più sollecitata	-4.35 [MPa]
σ_s = tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	-43.75 [MPa]
ε_{sm} = deformazione unitaria media delle barre di armatura	0.00013
w_d = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.03 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]
	Verificato

Verifica urto**Azioni di calcolo**Carichi verticali

Oltre ai carichi permanenti si considera lo Schema di Carico 2 previsto nelle NTC2008, costituito da due impronte di carico di dimensioni 0.35 x 0.60 m su ciascuna delle quali è applicata una forza di 200 kN; le impronte sono collocate longitudinalmente in mezzeria della zona di impalcato interessata dall'urto e trasversalmente una è posta all'estremità della piattaforma stradale mentre l'altra è distante 2.00 m da essa.

Carichi orizzontali

I carichi orizzontali che rappresentano l'urto vengono determinati a partire dal momento plastico che il montante della barriera metallica di sicurezza può fornire. Tale approccio ottempera quanto previsto dal § 4.7.3.3 della UNI EN 1991-2 così come emendato dall'appendice nazionale (G.U. 27 Marzo 2013, DM 31/07/2012).

In particolare, in accordo alle indicazioni da norma si considera una forza pari a 100 kN, applicata ad 1 m dal piano viabile (e 0.5 m fino al baricentro soletta).

Il momento agente è dunque pari a $100 \times 1.5 = 150$ kNm/m. Nella condizione eccezionale agisce quindi una forza normale di trazione di 100 kN/m ed un momento di 171 kNm/m.

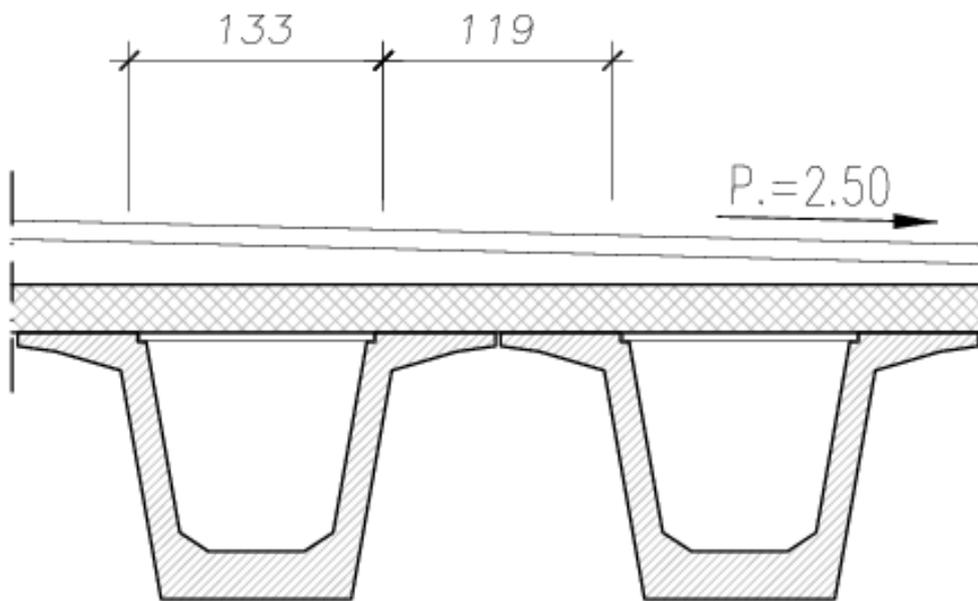
9.1.2. VERIFICA CAMPO

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*



$$b1 = 1.33 \quad \text{m}$$

$$b2 = 1.19 \quad \text{m}$$

$$b_{cal} = 1.33 \quad \text{m}$$

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

spessore soletta resistente	$s_{sol} =$	0.25	m
spessore tavelle	$s_{tav} =$	0.00	m
momento massimo	$M_{pp}^{max} =$	0.921	kNm
taglio massimo	$V_{pp}^{max} =$	4.156	kN

- Permanenti portati

spessore pavimentazione e massetto	$s_{pav} =$	0.15	m
peso pavimentazione e massetto	$q_{pav} =$	5.40	kN/m ²
momento massimo	$M_{pav}^{max} =$	0.796	kNm
taglio massimo	$V_{pav}^{max} =$	3.591	kNm

- Carichi da traffico

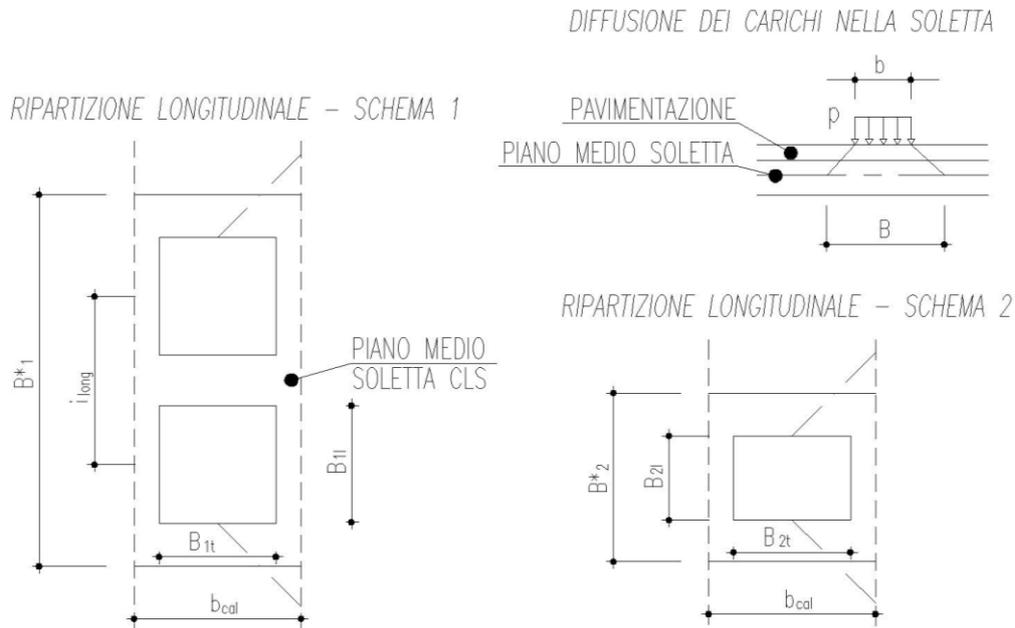
Si considerano i seguenti schemi di carico di normativa:

- 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 ($b \times b_t$) 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.

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.



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	$B^* =$	2.82	m
carico impronta singola	$P =$	150	kN
carico distribuito	$q =$	9	kN
carico distribuito impronte schema 1	$p_1 =$	112.18	kN/m

momento max $M_{mob1} = 11.39$ kNm

taglio max $V_{mob1} = 53.29$ 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

$m = 1$
 $\mu, \alpha = 0.0758$

$m = 3$ $m = 5$
 $\mu, \alpha = 0.02553$ $\mu, \alpha = 0.0153$

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

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

$$M_{rip} = 9.539 \text{ kNm}$$

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	$B^* =$	1.82	m
carico impronta singola	$P =$	200	kN
carico distribuito impronte schema 2	$p_2 =$	122.44	kN/m

$$\text{momento max } M_{mob2} = 15.52 \text{ kNm}$$

$$\text{taglio max } V_{mob2} = 55.10 \text{ kN}$$

Effetto trasverso Schema 2

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

$m = 1$	$m = 3$	$m = 5$
$\mu, \alpha = 0.0758$	$\mu, \alpha = 0.02553$	$\mu, \alpha = 0.0153$
$p_m = 51.80$	$p_m = -51.80$	$p_m = 51.80$
$M_m = 3.9271$	$M_m = 1.32244$	$M_m = 0.7935$

$$M_{rip} = 6.043 \text{ kNm}$$

INCREMENTO DINAMICO

coefficiente di incremento

$$\text{dinamico } q_2 = 1.00$$

SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

momento mobili $M_{\text{mob}} = 21.57 \text{ kNm}$
taglio mobili $V_{\text{mob}} = 55.10 \text{ kN}$

Combinazioni delle azioni agli Stati Limite

Combinazioni di carico SLU

Coefficienti γ

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.	fav	0.00
	temp.	1.20

Sollecitazioni verifiche SLU

M_{pp} kNm	M_{perm} kNm	M_{mob} kNm
0.921	0.796	21.57

$$M_{slu} = 31.55 \text{ kNm}$$

V_{pp} kN	V_{perm} kN	V_{mob} kN
4.156	3.591	55.10

$$V_{slu} = 77.11 \text{ kNm}$$

Combinazioni di carico SLE

Coefficienti ψ

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
traffico	0.75	0.75	0.00
vento car.	0.60	0.20	0.00

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

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
0.921	0.796	21.57

combinazione frequente
combinazione quasi-
permanente

$M_{freq} = 17.89 \text{ kNm}$

$M_{q-p} = 1.72 \text{ kNm}$

Verifiche sulla sezione

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

armatura superiore	$\emptyset 16/20$	$A_{s,sup} = 10.05 \text{ cm}^2$
armatura inferiore	$\emptyset 16/20$	$A_{s,inf} = 10.05 \text{ cm}^2$
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

$M_{slu} = 31.55 \text{ kNm}$

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

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

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. ?

Titolo : campo 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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Sd} 0 0 kN
M_{xSd} 0 0 kNm
M_{ySd} 0 0

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

L₀ 0 cm Col. modello

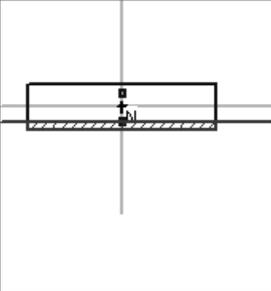
Precompresso

Materiali

FeB44k		C30/37	
ϵ_{su}	10 ‰	ϵ_{cu}	3.5
f_{yd}	373.9 N/mm ²	f_{cd}	18.75
E_s	200 000 N/mm ²	α	0.85 ?
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8 ?
ϵ_{syd}	1.870 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11.5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6933
		τ_{c1}	2.029

M_{xRd} -72.83 kN m

σ_c -15.94 N/mm²
 σ_s 373.9 N/mm²
 ϵ_c 2.592 ‰
 ϵ_s 10.00 ‰
d 20.00 cm
x 4.117 w/d 0.2058
 δ 0.7000



Verifica a taglio SLU

taglio di verifica SLU

$V_{slu} = 77.11 \text{ kN}$

SOLETTA SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

larghezza sezione	$b_w =$	100	cm
altezza sezione	$h =$	25	cm
altezza utile sezione	$d =$	20	cm
armatura longitudinale	$A_{sl} =$	10.05	cm ²
rapporto geometrico armatura long.	$\rho_l =$	0.0050	
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	$V_{Rd} =$	122.7	kN

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	-17.9 [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]
ϕ = 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 ²]
$A_{c\text{eff}} = b_{\text{eff}} d_{\text{eff}}$	170000 [mm ²]
$b_{\text{eff}} =$	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]
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	100.6 [MPa]
σ_{sr} = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata per ($\sigma_c = f_{ctm}$)	27.9 [MPa]
f_{ctm} = resistenza a trazione media per flessione	3.10 [MPa]
β_1 = coefficiente aderenza acciaio cls	1.0
β_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	0.22 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

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

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

9.2. TRAVERSI

L'impalcato in oggetto è caratterizzato dalla presenza di soli traversi di testata, in corrispondenza degli appoggi. Essi vengono gettati in opera, in modo da realizzare un concio pieno in testa pila, opportunamente precompresso sia in direzione longitudinale che trasversale. La precompressione trasversale è realizzata per mezzo di due cavi da 7 trefoli ciascuno (precompressione centrata).

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 1.0 m di soletta.

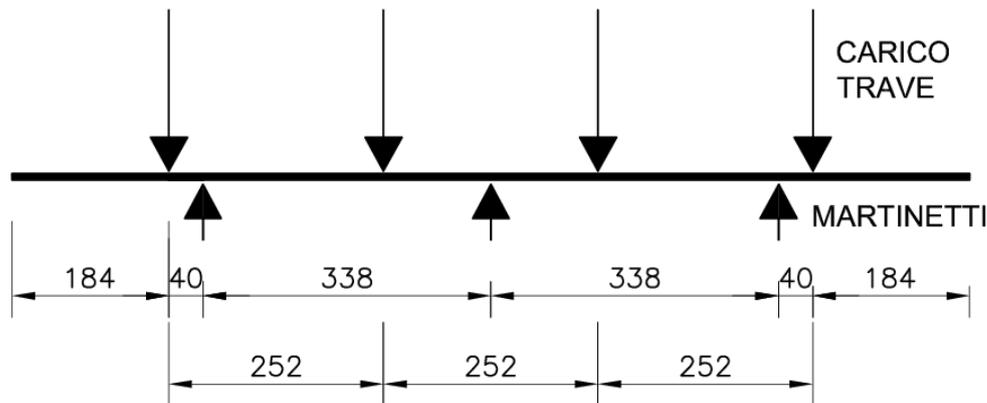


Figura 2: schema di sollevamento impalcato.

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

$$P = (p_{trave} + p_{soletta} + p_{perm.port.}) \cdot L + p_{traverso} \cdot L_{traverso} / n_{travi} = 1640 \text{ kN.}$$

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.

9.2.1. VERIFICHE DI RESISTENZA

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

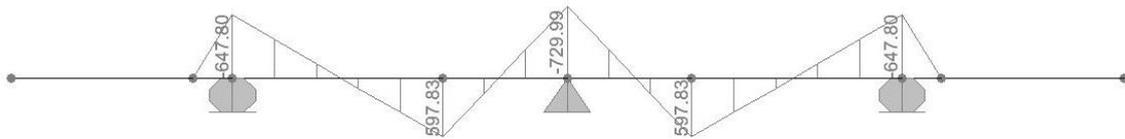


Figura 3: sollecitazioni flettenti in fase di sollevamento.

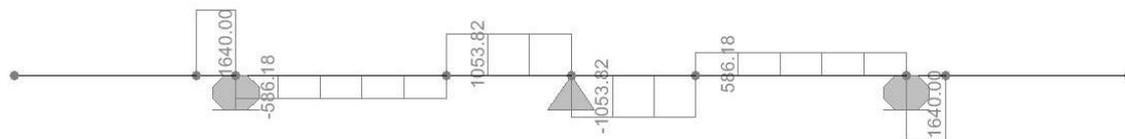


Figura 4: sollecitazioni taglianti in fase di sollevamento.

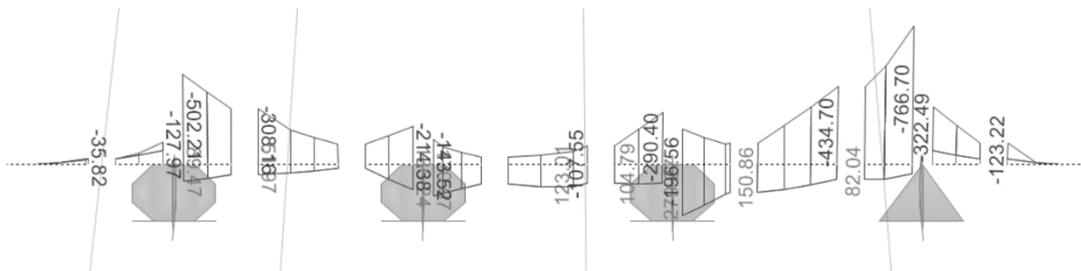


Figura 5: sollecitazioni flettenti in esercizio allo SLU.

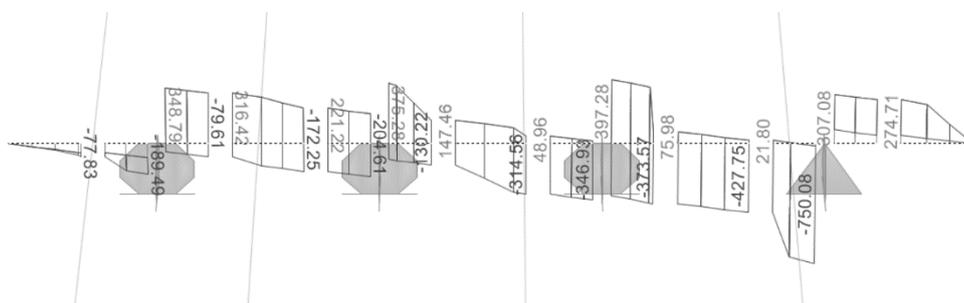


Figura 6: sollecitazioni taglianti in esercizio allo SLU.

Verifica a flessione

SEZIONE DI VERIFICA

2 ▾

calcolo a rottura

SLU + SLU -

Tipo sezione CLS

N

Schema armatura di precompressione

A0

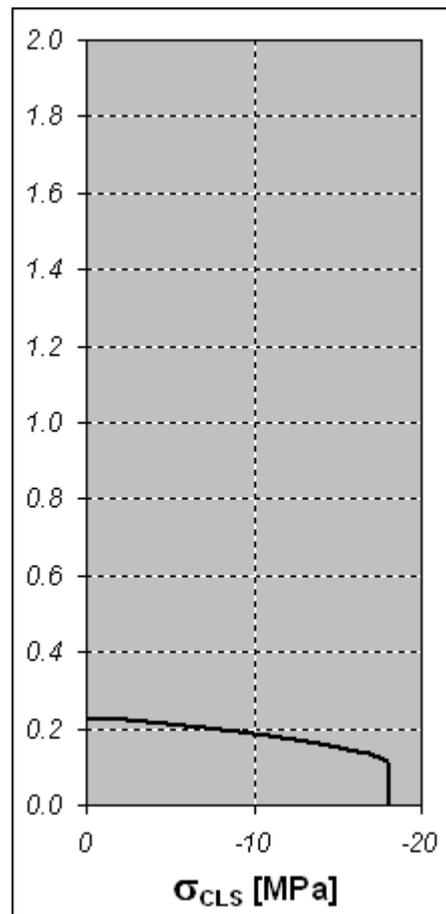
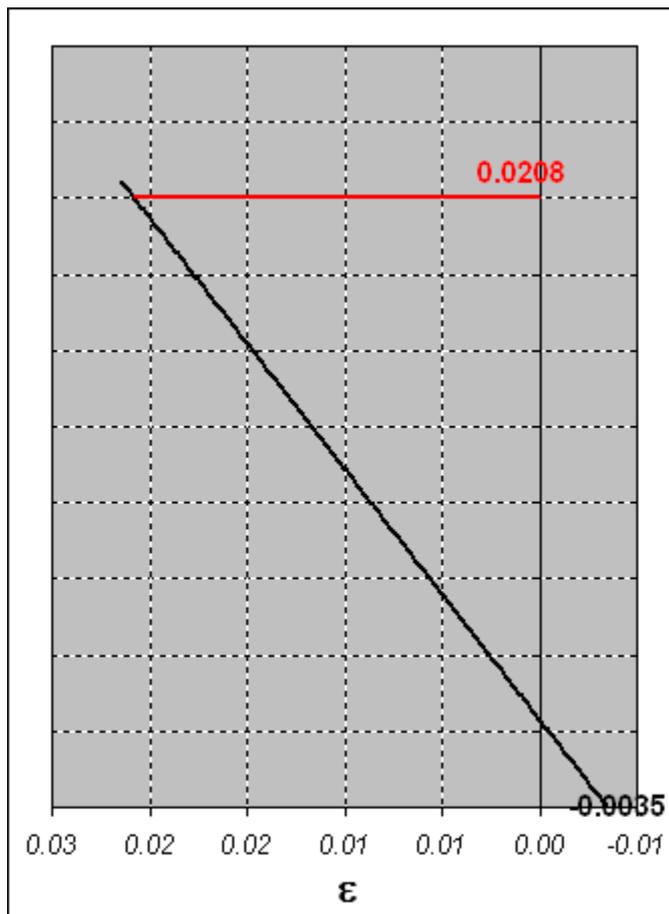
Schema armatura lenta

L1

$N_{Ed} =$	sforzo normale di progetto	kN	0
$M_{Ed} =$	momento flettente di progetto	kNm	-986
$N_d =$	parametro di controllo	kN	0
$M_{Rd} =$	momento flettente resistente	kNm	-2585 verifica

TIPO ROTTURA:

CRISI CLS con ARMATURA SNERVATA



Verifiche a taglio
Armatura trasversale a taglio

$V_{Sd} =$	taglio di calcolo	2214	[kN]
$b_w =$	larghezza sezione	1000	[mm]
$h =$	altezza sezione	1650	[mm]
$d =$	altezza utile sezione	1600	[mm]
$n^\circ \emptyset =$	numero armature trasversali	6	
$\emptyset =$	diametro armature trasversali	14	[mm]
$s =$	interasse armature trasversali	200	[mm]
$A_{sw} =$	area dell'armatura trasversale	924	[mm ²]
$f_{yd} =$	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	2487	[kN]
$f_{cd}' =$	resistenza a compressione del cls ridotta	8.8	[MPa]
$V_{Rcd} =$	resistenza a taglio compressione	6350	[kN]
$V_{Rd} =$	resistenza a taglio	2487	[kN]

verificato

10. Appendice 1: FENOMENI LENTI

Appendice 1: FENOMENI LENTI

FASI COSTRUTTIVE - TEMPISTICA

età del cls al momento di recisione dei trefoli	t_0	10 g
età del cls al momento di getto della soletta	t_1	60 g
età del cls al momento di precompressione seconda fase e esecuzione delle finiture	t_2	120 g
età del cls a tempo infinito	t_∞	18250 g

RESISTENZA

trave

resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	45 MPa
resistenza media a compressione del cls	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	53 MPa
maturazione a vapore (S/N)		S
età del calcestruzzo in funzione della temperatura	$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-(4000/[273 + T(\Delta t_i)] - 13,65)} \cdot \Delta t_i$	10.2 g
temperatura vapore	$T(\Delta t_i)$	80 °C
numero di giorni in cui risulta prevalente la temperatura T	Δt_i	1 g
resistenza caratteristica a compressione del cls al tempo t_0	$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8$ (MPa) per $3 < t < 28$ d. $f_{ck}(t) = f_{ck}$ per $t \geq 28$ d.	36.9 MPa
resistenza media a compressione del cls al tempo t_0	$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$	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

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

coefficiente che dipende dal tipo di cemento		0.25
soletta		
resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	32 MPa
resistenza media a compressione del cls	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	40 MPa
maturazione a vapore (S/N)		S
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 $t=t_1, t_0=t_0$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	0.83
coefficiente di viscosità per $t=t_2, t_0=t_0$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	1.02
coefficiente di viscosità per $t=t_\infty, t_0=t_0$	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	1.71
coefficiente di viscosità per $t=t_2-t_1, t_0=t_0$	$\varphi(t_2-t_1, t_0)$	0.19
coefficiente di viscosità per $t=t_\infty-t_2, t_0=t_0$	$\varphi(t_\infty-t_2, t_0)$	0.69
coefficiente nominale di viscosità	$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$	1.72
percentuale di viscosità al tempo t_1	$\alpha_{v,t1}$	48%
percentuale di viscosità al tempo t_2-t_1	$\alpha_{v,t2-t1}$	11%

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

<i>percentuale di viscosità al tempo $t_{\infty}-t_2$</i>	$\alpha_{v,t_{\infty}-t_2}$		40%
<i>coefficiente di influenza dell'umidità relativa</i>	$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}$	per $f_{cm} \leq 35$ MPa	1.26
	$\varphi_{RH} = 1 + \left[\frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2$	per $f_{cm} > 35$ MPa	
<i>umidità relativa</i>	RH		80 %
<i>coefficiente di influenza della resistenza del cls</i>	$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$		2.31
<i>resistenza media a compressione del cls</i>	$f_{cm} = f_{ck} + 8$		53 MPa
<i>coefficiente di influenza di t_0</i>	$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})}$		0.59
<i>dimensione fittizia dell'elemento - trave</i>	$h_0 = \frac{2A_c}{u}$		143 mm
<i>area della sezione trasversale - trave</i>	A_c		0.64 m ²
<i>perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera - trave</i>	u		9.00 m
<i>coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_1; t_0=t_0$</i>	$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{-0,3}$		0.481
<i>coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_2; t_0=t_0$</i>	$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{-0,3}$		0.592
<i>coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_{\infty}; t_0=t_0$</i>	$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{-0,3}$		0.992
<i>coefficiente dipendente da RH e h_0</i>	$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1 500$	per $f_{cm} \leq 35$	521
	$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1 500 \alpha_3$	per $f_{cm} \geq 35$	
<i>coefficiente 1 di influenza della resistenza del cls</i>	$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7}$		0.748

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

 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
 $t=t_2, t_0=t_1$

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

0.53

 coefficiente di viscosità per
 $t=t_\infty, t_0=t_1$

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

1.17

$$\varphi(t_\infty - t_2, t_1)$$

0.64

 coefficiente nominale di
 viscosità

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

1.18

 percentuale di viscosità al
 tempo t_2

$$\alpha_{v,t2}$$

45%

 percentuale di viscosità al
 tempo $t_\infty - t_2$

$$\alpha_{v,t_\infty - t_2}$$

54%

 coefficiente di influenza
 dell'umidità relativa

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

1.21

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

umidità relativa

RH

80 %

 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

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

0.42

 dimensione fittizia
 dell'elemento - trave

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

272 mm

 area della sezione
 trasversale - trave

 A_c
1.22 m²

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

perimetro dell'elemento a
contatto con l'atmosfera -
trave

u

9.00 m

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

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

0.449

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

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

0.987

coefficiente dipendente da
RH e h_0

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

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

806

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
 $t=t_\infty$, $t_0=t_2$

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

1.02

coefficiente nominale di
viscosità

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

1.03

percentuale di viscosità al
tempo t_∞

α_{v, t_∞}

99%

coefficiente di influenza
dell'umidità relativa

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

1.21

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

umidità relativa

RH

80 %

coefficiente di influenza della
resistenza del cls

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

2.31

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

resistenza media a compressione del cls	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	53 MPa
coefficiente di influenza di t_1	$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})}$	0.37
dimensione fittizia dell'elemento - trave	$h_0 = \frac{2A_c}{u}$	272 mm
area della sezione trasversale - trave	A_c	1.22 m ²
perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera - trave	u	9.00 m
coefficiente di evoluzione della viscosità nel tempo $t=t_\infty$; $t_0=t_2$	$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3}$	0.987
coefficiente dipendente da RH e h_0	$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500$ per $f_{cm} \leq 35$ $\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3$ per $f_{cm} \geq 35$	806
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

S

deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_1$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$	0.00009
deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_2$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$	0.00013
deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_\infty$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$	0.00021
coefficiente di influenza di h_0	k_h	0.93

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

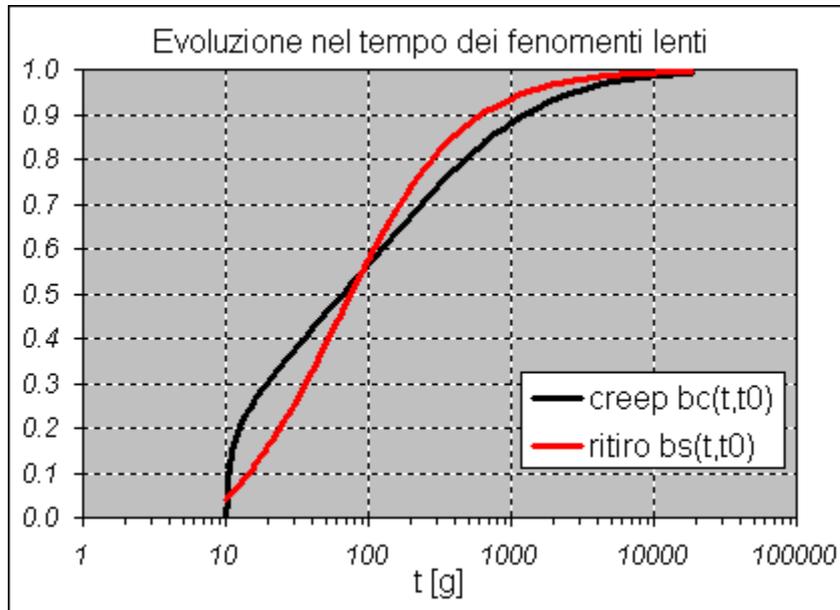
coefficiente di evoluzione del ritiro per essiccamento al tempo $t=t_1$	$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$	0.436
coefficiente di evoluzione del ritiro per essiccamento al tempo $t=t_2$	$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$	0.622
coefficiente 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	$\varepsilon_{cd} = 0,85 \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$	0.00022
coefficiente di influenza dell'umidità relativa	$\beta_{RH} = 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right]$	0.756
	RH_0	100
	f_{cm0}	10 MPa
coefficiente 1 di influenza del tipo di cemento	α_{ds1}	4
coefficiente 2 di influenza del tipo di cemento	α_{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

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

coefficiente di evoluzione del ritiro autogeno al tempo $t=t_2$	$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$	0.888
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	$\varepsilon_{cs}(t_1)$	0.00009
deformazione da ritiro al tempo t_2	$\varepsilon_{cs}(t_2)$	0.00013
deformazione da ritiro al tempo t_∞	$\varepsilon_{cs}(t_\infty)$	0.00021
deformazione da ritiro al tempo t_2-t_1	$\varepsilon_{cs}(t_2-t_1)$	0.00004
deformazione da ritiro al tempo $t_\infty-t_2$	$\varepsilon_{cs}(t_\infty-t_2)$	0.00008
valore finale della deformazione da ritiro	ε_{cs}	0.00021
percentuale di ritiro al tempo t_1	$\alpha_{cs,t1}$	44%
percentuale di ritiro al tempo t_2-t_1	$\alpha_{cs,t2-t1}$	19%
percentuale di ritiro al tempo $t_\infty-t_2$	$\alpha_{cs,t_\infty-t2}$	37%
soletta		S
deformazione da ritiro per essiccamento al tempo $t=t_\infty$	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_{fh} \varepsilon_{cd,0}$	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 ²
perimetro dell'elemento a contatto con l'atmosfera - soletta	u	2.52 m
coefficiente di influenza di h_0	k_{fh}	0.70

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

<i>coefficiente di evoluzione del ritiro per essiccamento al tempo $t=t_{\infty}$</i>	$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$	0.976
<i>età del cls all'inizio del ritiro per essiccamento</i>	t_s	10 g
<i>valore finale della deformazione da ritiro per essiccamento</i>	$\varepsilon_{cd} = 0,85 \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$	0.00026
<i>coefficiente di influenza dell'umidità relativa</i>	$\beta_{RH} = 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right]$	0.756
<i>umidità relativa</i>	RH	80 %
	RH ₀	100
	f _{cm0}	10 MPa
<i>coefficiente 1 di influenza del tipo di cemento</i>	α_{ds1}	4
<i>coefficiente 2 di influenza del tipo di cemento</i>	α_{ds2}	0.12
<i>deformazione da ritiro autogeno al tempo $t=t_{\infty}$</i>	$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty)$	0.00000
<i>valore finale della deformazione da ritiro autogeno</i>	$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 (f_{ck} - 10) 10^{-6}$	0.00000
<i>coefficiente di evoluzione del ritiro autogeno al tempo $t=t_{\infty}$</i>	$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$	1.000
<i>deformazione da ritiro al tempo t_{∞}</i>	$\varepsilon_{cs}(t_{\infty})$	0.00018
<i>valore finale della deformazione da ritiro</i>	ε_{cs}	0.00018
<i>percentuale di ritiro al tempo $t_{\infty}-t_2$</i>	$\alpha_{cs, t_{\infty}-t_2}$	98%



RILASSAMENTO

<i>tensione di tiro</i>	σ_{spi}	1400 MPa
<i>tensione di rottura caratteristica (frattile 5%)</i>	f_{ptk}	1860 MPa
<i>classe trefoli</i>	2 (basso rilassamento)	
<i>perdita per rilassamento % a 1000 h dopo la messa in tensione</i>	ρ_{1000}	2.5 %
<i>fattore in di influenza della tensione di tiro</i>	$\mu = \sigma_{spi}/f_{ptk}$	0.753
	t_0	240 ore
	t_1	1440 ore
	t_2	2880 ore
	t_∞	438000 ore
<i>tempo equivalente</i>	$t_{eq} = \frac{1,14}{T_{max} - 20} \sum_{i=1}^n (T_{(\Delta t_i)} - 20) \Delta t_i$	2596 ore
<i>temperatura massima</i>	T_{max}	80 °C
<i>perdite per rilassamento al tempo t_0</i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_0)$	26.4 MPa

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

<i>perdite per rilassamento al tempo t_1</i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_1)$	28.2 MPa
<i>perdite per rilassamento al tempo t_2</i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_2)$	29.9 MPa
<i>perdite per rilassamento al tempo t_∞</i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_\infty)$	67.4 MPa
<i>perdite per rilassamento nell'intervallo t_1-t_0</i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_1-t_0)$	1.8 MPa
<i>perdite per rilassamento nell'intervallo t_2-t_1</i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_2-t_1)$	1.6 MPa
<i>perdite per rilassamento nell'intervallo $t_\infty-t_2$</i>	$\Delta\sigma_{pr}(t_\infty-t_2)$	37.5 MPa

11. Appendice 2: VISCOSITÀ IMPEDITA

Gli effetti della viscosità nel calcestruzzo inducono nella struttura delle sollecitazioni aggiuntive qualora vari lo schema statico durante la vita della struttura. Nel caso in esame la trave precompressa in isostaticità (trave appoggiata), a seguito del getto del nodo in corrispondenza delle pile, è resa iperstatica (trave continua su più appoggi).

L'aumento o la diminuzione della monta nel tempo per effetto della viscosità (risultante dagli effetti contrastanti della precompressione e del peso proprio della trave) è infatti impedito dalla presenza del nodo di continuità agli appoggi (condizione di congruenza: rotazioni relative impedita).

L'impedimento di tali rotazioni induce un momento iperstatico valutabile tramite l'equazione dei tre momenti, si riportano di seguito i risultati.

Rotazione appoggio - TRAVE DI RIVA

Precompressione

	n_i	y_{Gi} cm	e_i m	L_i m	$n_i \cdot e_i \cdot L_i$ m^2
fascio 1 trefoli efficaci per L	26	23.1	0.86	30	674
fascio 2 trefoli efficaci per L-LING1	12	5	1.04	22	276
fascio 3 trefoli efficaci per L-LING2	8	5	1.04	18	150

$\sigma_p =$	tensione dopo perdite di prima fase	MPa	1040
$\phi_{ep} =$	rotazione elastica appoggi - precompressione	rad	-0.006

Peso proprio trave

$\phi_{pT} =$	rotazione elastica appoggi - pp trave	rad	0.001
---------------	---------------------------------------	-----	-------

Viscosità

$\varphi(t_\infty - t_2, t_0) =$	coefficiente di viscosità residua		0.69
$\phi_{v(e+pT)} =$	rotazione viscosa impedita	rad	-0.0032

Rotazione appoggio - TRAVE INTERMEDIA

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

Precompressione

		n_i	y_{Gi} cm	e_i m	L_i m	$n_i \cdot e_i \cdot L_i$ m^2
fascio						
1	trefoli efficaci per L	24	23.3	0.86	30	620
fascio						
2	trefoli efficaci per L-L _{ING1}	10	5	1.04	22	230
fascio						
3	trefoli efficaci per L-L _{ING2}	8	5	1.04	18	150

$\sigma_p =$	tensione dopo perdite di prima fase rotazione elastica appoggi - precompressione	MPa	1071			
$\phi_{ep} =$		rad	-0.006			

Peso proprio trave

$\phi_{pT} =$	rotazione elastica appoggi - pp trave	rad	0.001			
---------------	---------------------------------------	-----	-------	--	--	--

Viscosità

$\varphi(t_{\infty}-t_2, t_0) =$	coefficiente di viscosità residua		0.69			
$\phi_{v(e+pT)} =$	rotazione viscosa impedita	rad	-0.0029			

CONVENZIONI

positive le rotazioni antiorarie

DATI

N =	numero campate			6
$L_R =$	luce campata di riva	m		30
$L_I =$	luce campata intermedia	m		30
E =	modulo elastico cls trave	kPa		3.63E+07
J =	momento di inerzia trave+soletta	m^4		0.3689
$\phi_R = \phi^0_{S1}$	rotazione trave campata di riva \equiv rotazione appoggio 1 lato sinistro	rad		-0.0032
$\phi_I = \phi^0_{S2}$	rotazione trave campata intermedia \equiv rotazione appoggio 2 lato sinistro	rad		-0.0029

SOLUZIONE

$M_1 =$	momento appoggio 1	kNm		3467
---------	--------------------	-----	--	------

Relazione di calcolo impalcato in c.a.p.

$M_2 =$	momento appoggio 2	kNm	2324
$V_{1-2} =$	taglio campata 1	kN	-116
$V_{2-3} =$	taglio campata 2	kN	38

