



PROVINCIA DI RAVENNA

Presidente della Provincia
Claudio Casadio

Assessore ai LL.PP. - Viabilità
Secondo Valgimigli

SETTORE LAVORI PUBBLICI

UNITA' ORGANIZZATIVA PROGETTAZIONE STRADE

RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 306 CASOLANA 1° LOTTO 2° STRALCIO

PROGETTO ESECUTIVO

Tavola/Elaborato

STR_001

PONTE AL KM 0+634.50
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

Scala

-

Data

05 dicembre 2011

Dirigente del Settore Lavori Pubblici:

Dott. Ing. Valentino Natali

Responsabile Unico del Procedimento:

Dott. Ing. Valentino Natali

Progettista:



Prof. Ing. Claudio Comastri

Studio Tecnico di Ingegneria
40037 Sasso Marconi (BO) - via Castello n.7
tel. +39.51.6750312 fax. +39.51.6750370
E-mail: thesis@studiothesis.it

COMUNE DI RIOLO TERME

PROVINCIA DI RAVENNA

SETTORE LAVORI PUBBLICI - UNITA ORGANIZZATIVA PROGETTAZIONE STRADE

INTERVENTO DI RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 306 "CASOLANA" – 1° LOTTO 2° STRALCIO

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO



THESIS ENGINEERING



A	05/12/2011	Nota tecnica	E. Comastri	B. Barbieri	C. Comastri
Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione



1. PROGETTO

1.1 CODICI

Codice Commessa: 02.2011
Committente: Provincia di Ravenna
Anno costruzione opera previsto: //

Intervento di progetto Thesis: Opere Civili e Geotecnica

Progettista: prof. Ing. Claudio Comastri
Collaborazioni specialistiche: Ing. Barbara Barbieri
Ing. Elisa Maniezzo
Arch. Cinzia Fontanelli
Geom. Simone Lamma
Geom. Cristiano Lamma

1.2 STRUTTURA DOCUMENTO

Pagine numerate: N. 48
Fogli A4: N. 48
Foglia A3: N.0
Tavole allegate: N.0

1.3 REDAZIONE DOCUMENTO

Redazione documento: Ing. Elia Comastri
Controllo documento: Ing. Barbara Barbieri
Approvazione documento: Ing. Claudio Comastri
Revisione: A
Data ultima revisione:
Autorizzazione alla trasmissione: Ing. Claudio Comastri

1.4 INDIRIZZO DI TRASMISSIONE

Provincia di Ravenna
Trasmissione: Direttamente a mano e Email
Data di trasmissione: 05/12/2011



2. INDICE

1. PROGETTO.....	2
1.1 Codici	2
1.2 Struttura Documento.....	2
1.3 Redazione Documento	2
1.4 Indirizzo di trasmissione.....	2
2. INDICE.....	3
3. DOCUMENTO DI RIFERIMENTO.....	4
4. UNITA' DI MISURA E CONVENZIONI DI SEGNO	5
5. DATI GEOMETRICI IMPALCATO.....	6
6. MODALITA' DI COSTRUZIONE DELL'IMPALCATO	7
7. MODALITA' DI COSTRUZIONE DELLE TRAVI	7
8. SOVRACCARICHI ADOTTATI E NORME DI CALCOLO	8
9. RESISTENZE DI CALCOLO E COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEI MATERIALI	9
9.1 CALCESTRUZZO PER LE TRAVI PREFABBRICATE C45/55	9
9.2 CALCESTRUZZO PER SOLETTA E TRAVERSI C28/35	10
9.3 ACCIAIO PER C.A.P.	10
10. METODO ED IPOTESI DI CALCOLO	13
11. SISTEMA DI RIFERIMENTO	16
12. RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI.....	17
13. ANALISI DEI CARICHI.....	18
13.1 VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI PERMANENTI	18
13.2 VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI VARIABILI.....	18
14. PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE GENERATI DALLE AZIONI CARATTERISTICHE SULLA TRAVE PREFABBRICATA	21
14.1 PRECOMPRESSIONE - SOLLECITAZIONI - $M(Kgcm)$ - $N(Kg)$	21
14.2 MOMENTO FLETTENTE - SOLLECITAZIONI - $M(Kgcm)$	22
14.3 TAGLIO - SOLLECITAZIONI - $V(Kg)$	23
14.4 MOMENTO TORCENTE - SOLLECITAZIONI - $T(Kgcm)$	24
15. TRAVE PREFABBRICATA VH160.....	26
16. CADUTE DI TENSIONE.....	29
16.1 RILASSAMENTO DELL'ACCIAIO DA PRECOMPRESSIONE.....	29
16.2 RITIRO DEL CALCESTRUZZO.....	29
16.3 VISCOSITA' DEL CALCESTRUZZO	29
16.4 RIPARTIZIONE PERCENTUALE DELLE CADUTE DI TENSIONE NELLE FASI	30
17. STATI LIMITE DI ESERCIZIO.....	31
17.1 S.L.E. - STATO LIMITE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO.....	31
17.1.1 PROCEDIMENTO DI CALCOLO DELLE TENSIONI NELLE SEZIONI DI VERIFICA.....	31
17.1.2 CALCOLO TENSIONI LONGITUDINALI.....	31
17.1.3 TENSIONI LONGITUDINALI NELLA TRAVE IN C.A.P. E NELLA SOLETTA.....	35
17.2 S.L.E. - STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE	37
17.3 S.L.E. - STATO LIMITE DI FESSURAZIONE	38
18. STATI LIMITE ULTIMI.....	40
18.1 S.L.U. (Comb. Fondamentale) - STATO LIMITE ULTIMO DI RESISTENZA PER TENSIONI NORMALI	40
18.2 S.L.U. (Comb. Fondamentale) - STATO LIMITE ULTIMO PER SOLLECITAZIONI DI TAGLIO	42
18.2.1 VERIFICA DELLE BIELLE DI CALCESTRUZZO	42
18.2.2 VERIFICA DELL'ARMATURA TRASVERSALE D'ANIMA	45
18.2.3 VERIFICA ARMATURA LONGITUDINALE ALL'APPOGGIO.....	48



3. DOCUMENTO DI RIFERIMENTO

Le analisi, i calcoli e le considerazioni, valutazioni descritte nella presente relazione di calcolo si riferiscono unicamente alle caratteristiche architettoniche del progetto definitivo e alle caratteristiche geometriche e morfologiche del sito di costruzione dichiarato dagli elaborati di progetto documenti trasmessi a questo Studio dall'Ufficio Settore Lavori Pubblici della Provincia di Ravenna.

Qualunque variazione rispetto alle architetture dell'opera, alla posizione ed alla configurazione del sistema, alla struttura ed ai carichi assunti nella presente relazione come riferimento, determina automaticamente l'annullamento della relazione e del proprio contenuto.

Si riportano i documenti assunti come riferimento per i calcoli di verifica e dimensionamento esposti nella presente relazione:

Relazioni generali

Relazione tecnico-illustrativa

Relazione Geotecnica

Relazione Geologica

Relazioni di calcolo

Relazione di calcolo spalle - PR23600PDRC003_R02

Relazione di calcolo sovrastruttura stradale - PR23600PDRC001-B14

Elaborati grafici

Planimetria del corpo stradale: - TAV 1/3 B01 PR236 00 PD TR 002

- TAV 2/3 B02 PR236 00 PD TR 003

- TAV 3/3 B03 PR236 00 PD TR 004

Tavole da Progetto Esecutivo relative all'impalcato

- IST_102_PE_STD_002_PONTE_impalcato_carpenteria

- IST_102_PE_STD_001_PONTE pianta e sezioni



4. UNITA' DI MISURA E CONVENZIONI DI SEGNO

Ove non sia diversamente specificato, le grandezze contenute nella presente relazione sono espresse nelle seguenti unità di misura:

lunghezza : cm

forza : Kg

I diametri delle barre di armatura lenta sono sempre espressi in millimetri, i diametri dei trefoli di precompressione sono invece espressi in pollici (=25.4 mm).

I carichi agenti sull'impalcato sono, come è naturale assumere, positivi se diretti verso il basso. Le tensioni sono positive se di compressione nel calcestruzzo, e positive se di trazione per quanto riguarda l'acciaio.



5. DATI GEOMETRICI IMPALCATO

L'impalcato ha pianta trapezoidale e travi di lunghezza variabile. Per il calcolo delle sollecitazioni si ipotizza, a favore di sicurezza, un impalcato regolare a pianta rettangolare con travi di luce pari alla luce di calcolo maggiore.

Luce di calcolo	3500.000
Larghezza cordolo sinistro	150.000
Larghezza carreggiata	1050.000
Larghezza cordolo destro	80.000
Larghezza fuori tutto	1280.000
Tipo travi	VH160
Larghezza sezione	202.000
Lunghezza retrotrave	60.000
Lunghezza ringrosso	100.000
Lunghezza svasatura	50.000
Numero travi	5
Interasse travi	258.000
Eccentricita' travi-soletta	0.000
Spessore medio soletta	25.000
Spessore minimo soletta	20.000
Spessore medio cordoli	20.000



6. MODALITA' DI COSTRUZIONE DELL'IMPALCATO

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 due fasi successive di lavoro:

PRIMA FASE:

Le travi semplicemente appoggiate agli estremi resistono da sole al peso proprio ed a quello della porzione di soletta gettata in opera.

SECONDA FASE:

Il sistema misto travi precomprese e soletta gettata in opera, divenuto solidale dopo la maturazione del calcestruzzo, resiste al peso della porzione di soletta a sbalzo gettata in seconda fase, al peso delle sovrastrutture e al peso dei carichi accidentali.

7. MODALITA' DI COSTRUZIONE DELLE TRAVI

Le travi vengono costruite in uno stabilimento di prefabbricazione e successivamente 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 s_{pi} prevista nella presente relazione. Disposta l'armatura lenta per gli sforzi di taglio (staffe), ultimata la tesatura e fissata la cassetatura, 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.



8. SOVRACCARICHI ADOTTATI E NORME DI CALCOLO

Nella stesura del calcolo sono rispettate le seguenti norme:

Normative sulle strutture in c.a. e c.a.p.:

- Legge 05.11.1971 n.1086 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- D.M. 14.01.2008 - Norme tecniche per le costruzioni

Normative sulle costruzioni prefabbricate:

- D.M. 03.12.1987 - Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.

- Circ. Min. LL.PP. 16.03.1989 - Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.



9. RESISTENZE DI CALCOLO E COEFFICIENTI DI SICUREZZA DEI MATERIALI

9.1 CALCESTRUZZO PER LE TRAVI PREFABBRICATE C45/55

Confezionato con proveniente da cava e con inerte vagliato e lavato 400 daN/mc di cemento Portland.

Rck a tempo infinito $\geq 550.00 \text{ kg/cm}^2$

Rckj al taglio trefoli $\geq 420.00 \text{ kg/cm}^2$

La resistenza caratteristica cilindrica a compressione vale:

a tempo infinito $f_{ck} = 0.83 R_{ck} = 0.83 \times 550 = 456.50 \text{ kg/cm}^2$

al taglio trefoli $f_{ckj} = 0.83 R_{ckj} = 0.83 \times 420 = 348.60 \text{ kg/cm}^2$

La resistenza di calcolo a compressione vale:

a tempo infinito $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 456.50 / 1.5 = 258.68 \text{ kg/cm}^2$

al taglio trefoli $f_{cdj} = \alpha_{cc} f_{ckj} / \gamma_c = 0.85 \times 348.60 / 1.5 = 197.54 \text{ kg/cm}^2$

Nel calcolo a rottura si utilizza il diagramma parabola-rettangolo con tensione massima pari a:

$$f_{cd} = 258.68 \text{ kg/cm}^2$$

La resistenza di calcolo a trazione per flessione vale:

a tempo infinito $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 32.40 / 1.5 = 21.60 \text{ kg/cm}^2$

al taglio trefoli $f_{ctdj} = f_{ctkj} / \gamma_c = 22.56 / 1.5 = 15.04 \text{ kg/cm}^2$

Nelle condizioni di esercizio la massima tensione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:



al taglio dei trefoli

$$\sigma_{cj} < 0,70 f_{ck} = 244.02 \text{ Kg/cm}^2$$

a cadute avvenute

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} = 273.90 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (per comb. caratteristica rara)}$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} = 205.43 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (per comb. quasi permanente)}$$

9.2 CALCESTRUZZO PER SOLETTA E TRAVERSI C28/35

a tempo infinito $R_{ck} \geq 350.00 \text{ daN/cm}^2$

La resistenza caratteristica cilindrica a compressione vale:

$$\text{a tempo infinito } f_{ck} = 0.83 R_{ck} = 0.83 \times 350 = 290.50 \text{ kg/cm}^2$$

La resistenza di calcolo a compressione vale:

$$\text{a tempo infinito } f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 290.50 / 1.5 = 164.62 \text{ Kg/cm}^2$$

Nel calcolo a rottura si utilizza il diagramma parabola-rettangolo con tensione massima pari a:

$$f_{cd} = 188.13 \text{ Kg/cm}^2$$

Nelle condizioni di esercizio la massima tensione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} = 174.30 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (per comb. caratteristica rara)}$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} = 130.73 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (per comb. quasi permanente)}$$

9.3 ACCIAIO PER C.A.P.

L'acciaio usato per la precompressione delle travi è trefolo da 6/10" stabilizzato.

$$\text{carico a rottura } f_{ptk} \geq 19000.00 \text{ DaN/cm}^2$$

$$\text{carico caratteristico all'1\% } f_{p(1)k} \geq 17000.00 \text{ DaN/cm}^2$$



In base al punto 4.1.8.1.5 del D.M. 14/01/2008/, le tensioni iniziali all'atto della tesatura dei cavi deve rispettare le più restrittive delle seguenti limitazioni (per armature pretese):

$$\begin{aligned}\sigma_{spi} &\leq 0.90 \times f_{p(1)k} = 0.90 \times 17000.00 = 15300.00 \text{ DaN/cm}^2 \\ \sigma_{spi} &\leq 0.80 \times f_{ptk} = 0.80 \times 19000.00 = 15200.00 \text{ DaN/cm}^2\end{aligned}$$

In entrambi i casi è ammessa una sovratensione pari a

$$0,05 f_{p(1)k} = 850.00 \text{ DaN/cm}^2$$

In base al punto 11.3.3.3 del D.M. 14/01/2008, nel caso di trefoli stabilizzati (armatura di classe 2), le cadute di tensione $\Delta\sigma_{pr}$ per rilassamento al tempo t si possono valutare mediante l'espressione:

$$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,1\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

Essendo:

$$\begin{aligned}\sigma_{pi} &\text{ tensione iniziale nel cavo;} \\ \rho_{1000} &= 2.5 \\ \mu &= \sigma_{pi} / f_{pk}; = 14350/19000 = 0.75\end{aligned}$$

si ottiene

$$\begin{aligned}\text{per } t = 1000 \text{ ore} &\quad \Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0,66 \times 2,5 \times e^{6,825} (1000/1000)^{0,75(1-0,75)} 10^{-5} = 1,52\% \\ \text{per } t = 5000 \text{ ore} &\quad \Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0,66 \times 2,5 \times e^{6,825} (5000/1000)^{0,75(1-0,75)} 10^{-5} = 2,05\%\end{aligned}$$

In base ai punti 4.1.8.1.2 e 4.1.2.2.5.2 del D.M. 14/01/2008, per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica, la tensione massima in esercizio deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_{sp} = 0.8 \times f_{yk} = 0.8 \times 0.85 f_{ptk} = 12920 \text{ DaN/cm}^2$$

Nel calcolo a rottura si utilizza il diagramma triangolo-rettangolo con tensione massima pari a:

$$f_{ptd} = f_{p(1)k} / \gamma_s = 17000.00 / 1.15 = 14782.61 \text{ DaN/cm}^2$$

ACCIAIO B450C

Questo tipo di acciaio costituisce l'armatura per assorbire gli sforzi di taglio nella trave, gli sforzi di aderenza tra la trave prefabbricata e la soletta gettata in opera ed altri sforzi locali di trazione nei manufatti.



Costituisce l'armatura della soletta e dei traversi.

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 4500.00 \text{ DaN/cm}^2$

La tensione massima per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la seguente limitazione

$$\sigma_s = 0.8 \times f_{yk} = 0.8 \times 4500.00 = 3600 \text{ DaN/cm}^2$$

Nel calcolo a rottura si utilizza il diagramma triangolo-rettangolo con tensione massima pari a:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 4500 / 1.15 = 3913.04 \text{ DaN/cm}^2$$



10. METODO ED IPOTESI DI CALCOLO

L'impalcato viene realizzato con travi in semplice appoggio collaboranti tra loro grazie all'azione della soletta. Esso si presenta, quindi, come una lastra appoggiata sui lati opposti e che presenta una forte ortotropia.

Per la ricerca delle sollecitazioni nei vari elementi componenti l'impalcato si ricorre al metodo di Massonnet che permette, mediante l'ausilio di opportuni coefficienti, di risolvere la ripartizione dei carichi e conoscere le sollecitazioni.

Questo metodo fu proposto da Guyon nel 1946 per un grigliato di travi prive di rigidità torsionale, ripreso da Massonnet nel 1950 per tener conto della torsione, infine esteso da Bares; questi ultimi Autori hanno sistemato in modo definitivo la materia in un libro ("Les calculs des grillages de pontres ed dalles orthotropes selon la Méthod Guyon – Massonnet – Bares", Dunod, Parigi, 1966) che fornisce un gran numero di tabelle direttamente utilizzabili dal progettista e che ne ha agevolato una larga diffusione.

Nel grigliato ortotropo il procedimento di Massonnet trae origine dallo studio di un graticcio appoggiato in corrispondenza degli estremi delle travi principali longitudinali e libero sugli altri estremi; graticcio che si suppone equivalente ad una piastra ortotropa.

Se si osserva un graticcio di travi si constata che si tratta di una struttura a travi bidirezionali a direzioni per lo più ortogonali. Il comportamento dell'impalcato dipende essenzialmente dalle rigidità flessionali e torsionali dei due ordini di travi e dalla loro reciproca influenza.

Si può, pertanto, pensare di assimilare l'impalcato ad una piastra ortotropa nella quale la caratterizzazione di comportamento nelle due direzioni sia data dalle rigidità flessionali e torsionali anziché dai legami costitutivi dei materiali.

Il metodo di Massonnet considera l'impalcato reale come una lastra rettangolare di larghezza teorica

$$2 \times B = n \times i$$

$$n = n.\text{travi} , i = \text{interasse travi}$$



e lunghezza pari alla luce di calcolo; tiene conto della differente deformabilità della lastra in senso longitudinale e in senso trasversale.

Si considera una condizione di carico

$$p(x;e) = P_m \sin(\pi x/l)$$

variabile con legge sinusoidale ed agente parallelamente all'asse x con eccentricità e ; per tale carico la deformata ha una legge $w(x,y;e)$ che si ottiene integrando l'equazione di Huber. Esprimendo in serie di Levy, la deformata assume la forma

$$w(x,y;e) = w(1/2,y;e) \sin(\pi x/l)$$

considerando una condizione di carico avente la stessa legge di variazione e lo stesso P_m ma distribuito su tutta la larghezza dell'impalcato

$$p(x;e) = (P_m/2b) \sin(\pi x/l)$$

si avrà una deformata cilindrica che può assumere la forma

$$w(x) = w(1/2) \sin(\pi x/l)$$

Si può, quindi, definire per una trave di ordinata y e carico di eccentricità e , il coefficiente di ripartizione trasversale (adimensionale)

$$K(y;e) = w(x,y;e) / w(x) = w(1/2,y;e) / w(1/2)$$

Si ha, pertanto, per il carico unitario di eccentricità e , il rapporto fra il carico su una trave di ordinata y e il carico medio $1/n$ dove n è il numero delle travi.

Il valore di $K(y;e)$ è stato calcolato dal Massonnet e tabellato in base ai parametri dai quali dipende e precisamente:

- dal rapporto y/b rappresentante la posizione della trave longitudinale presa in considerazione (e lungo la quale y ha sempre lo stesso valore);
- dal rapporto e/b che rappresenta la posizione del carico
- dal rapporto di rigidità torsionale α (compreso tra 0 e 1)



- dal rapporto adimensionale di rigidità flessionale θ

Non viene considerato nel calcolo l'effetto dei traversi di testata. Per valutare gli effetti delle azioni sia per gli stati limite ultimi che per gli stati limite di esercizio si conduce un'analisi statica elastica lineare.



11. SISTEMA DI RIFERIMENTO

Si considera l'impalcato come un piano in cui un sistema di assi ortogonali x, y individua ogni punto di esso. L'asse x è assunto longitudinalmente all'asse delle travi, l'asse y ortogonalmente. L'origine di questo sistema di riferimento è posizionata sulla intersezione tra l'asse di simmetria delle travi prefabbricate e un asse degli appoggi (è indifferente quale dei due assi appoggi viene assunto come origine x).

Le grandezze y rappresentano perciò le eccentricità dei carichi ed hanno segno negativo verso sinistra e positivo verso destra, guardando le sezioni nelle figure allegate.

Le grandezze x sono sempre positive; $x = 1750.00$ e' la mezzeria dell'impalcato.

L'asse delle z , ortogonale al piano x, y , ha lo zero sul fondo delle travi prefabbricate ed ha valori positivi verso l'alto.



12. RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI

Parametri di Massonnet :

Luce di calcolo travi principali	L = 35000
Interasse traversi	L1 = 1
Semilarghezza teorica impalcato	B = 510
Interasse travi	B1 = 204

Trave : Traverso :

Ap = 13901	Ae = 20 cm ²
Dp = 108	De = 10 cm
Jp = 58917552	Je = 667 cm ⁴
Cp = 20709270	Ce = 667 cm ⁴

Larghezza soletta collaborante con trave = 204.00

Coeff. di omogen. cls soletta / cls trave = 1.000

Theta = 0.632 Radice alfa = 1.000

Si calcolano i coefficienti d'influenza della 5a trave che ha una eccentricita' y = -408.000 cm e che risulta essere la piu' sollecitata :

y -510 -383 -255 -128 0 128 255 383 510

K0 4.15 3.12 2.10 1.23 0.57 0.10 -0.24 -0.50 -0.74

K1 2.15 1.86 1.49 1.14 0.85 0.63 0.47 0.37 0.29

K α 2.15 1.86 1.49 1.14 0.85 0.63 0.47 0.37 0.29

Si calcolano i coefficienti d'influenza del traverso nella sezione

y = 0.00 (y=0 in asse travi).

$\mu\alpha$ -0.0472 -0.0351 -0.0152 0.0262 0.1145 0.0262 -0.0152 -0.0351 -0.0472



13. ANALISI DEI CARICHI

13.1 VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI PERMANENTI

Peso proprio trave (tratto in campata)	22.003 Kg/cm
(tratto d'estremita')	30.611 Kg/cm
Peso della soletta (1a fase)	14.781

Vengono considerati ripartiti in egual modo tra tutte le travi e distribuiti uniformemente lungo x :

Paviment.(0.030 Kg/cm ²) (2a fase)	4.200 Kg/cm/trave
Peso dei cordoli (2a fase)	3.850 kg

Viene considerato concentrato in direzione y e uniformemente distribuito in direzione x :

carico	Kg/cm	ecc. y	K Massonnet	μ Massonnet
barriera	1.5000	-412.500	1.938	-0,03832
barriera	1.5000	337.500	0.398	-0,02952
muretto+veletta	10.0000	27.500	0.278	-0,04877
muretto+veletta	10.0000	527.500	2.186	-0,04877

13.2 VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI VARIABILI

AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO

Il numero delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo dei ponti è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, comprese le eventuali banchine di rispetto e per sosta di emergenza, nonché gli eventuali marciapiedi non protetti e di altezza inferiore a 20 cm, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3.00 m. In ogni caso il numero delle colonne non deve essere inferiore a 2, a meno che la larghezza della sede stradale sia inferiore a 5,40 m.



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

Per i ponti di 1a Categoria si devono considerare, compatibilmente con le larghezze precedentemente definite, le seguenti intensità dei carichi

Tabella 1 *Intensità dei carichi concentrati Q_{ik} e di quelli uniformemente distribuiti q_{ik} per le diverse corsie*

Posizione	Carico asse Q_{ik} [kg]	q_{ik} [kg/cm²]
Corsia Numero 1	30000	0.090
Corsia Numero 2	20000	0.025
Corsia Numero 3	10000	0.025
Altre corsie	0.00	0.025

Categoria ponte : 1a

Disposizione carichi mobili per verificare la 1a trave:

Posizione	Intensità		Eccentricità (cm)	K Massonet
	Carico asse Q_{ik} [kg]	q_{ik} [kg/cm²]		
Corsia Numero 1	30000	0.090	-237.500	1.440
Corsia Numero 2	20000	0.025	62.500	0.729
Corsia Numero 3	0	0.025	262.500	0.464

Le colonne di carico vengono posizionate in direzione x in modo da generare la massima sollecitazione nella specifica sezione di verifica.

AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE

Tali azioni generano forze agenti nel piano x-y dell'impalcato (vd. Cap.8 Sistema di riferimento - L'asse x è assunto longitudinalmente all'asse delle travi, l'asse y ortogonalmente), ed in particolare lungo l'asse x longitudinale. Le suddette forze generano a loro volta delle sollecitazioni che risultano trascurabili considerata l'elevata rigidità della struttura nel proprio piano. Pertanto nel valutare lo stato di sollecitazione delle travi in cap e della soletta collaborante non si considerano le azioni di frenamento o di accelerazione.



AZIONE DI NEVE E VENTO – RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI

Il carico neve si considera non concomitante con i carichi da traffico. Essendo questi ultimi più onerosi per la struttura il carico da neve non viene considerato. Per quanto riguarda il vento e le resistenze passive dei vincoli vale quanto già esplicitato in precedenza per frenatura ed accelerazione; tali carichi risultano significativi per il dimensionamento degli apparecchi di appoggio e per le sottostrutture.



14. PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE GENERATI DALLE AZIONI CARATTERISTICHE SULLA TRAVE PREFABBRICATA

14.1 PRECOMPRESSIONE - SOLLECITAZIONI - M(KGCM) - N(KG)

Xsezione	taglio trefoli		cadute taglio trefoli - getto soletta		cadute getto soletta - tempo infinito	
	Nprec	Mprec	DNprec	DMprec	DNprec	DMprec
0	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-
74	718074	-26862179	-72032	2694603	-66995	5218204
111	718074	-26862179	-71334	2668498	-65868	5130409
148	917539	-35436396	-105535	4075866	-95319	7534850
185	917539	-35436396	-104658	4041997	-93917	7424033
222	917539	-35436396	-103800	4008876	-92547	7315667
259	917539	-35436396	-102962	3976504	-91207	7209750
296	917539	-35436396	-102143	3944881	-89898	7106284
333	917539	-35436396	-101344	3914007	-88620	7005268
370	1117004	-44836021	-141845	5693597	-121622	9793799
407	1117004	-44836021	-140889	5655209	-120110	9672054
444	1117004	-44836021	-139957	5617800	-118637	9553411
481	1236683	-50978330	-167515	6905258	-139982	11421459
518	1236683	-50978330	-166515	6864048	-138413	11293428
555	1236683	-50978330	-165543	6823976	-136887	11168931
592	1236683	-50978330	-164598	6785041	-135404	11047967
629	1236683	-50978330	-163681	6747244	-133965	10930538
666	1356362	-57633300	-194160	8250088	-156724	12985138
703	1356362	-57633300	-193191	8208912	-155215	12860069
740	1356362	-57633300	-192253	8169053	-153753	12739006
777	1356362	-57633300	-191346	8130513	-152340	12621947
814	1356362	-57633300	-190470	8093292	-150976	12508893
851	1356362	-57633300	-189625	8057389	-149660	12399843
888	1356362	-57633300	-188811	8022805	-148392	12294799
925	1356362	-57633300	-188029	7989539	-147172	12193759
962	1476041	-64794047	-221562	9725933	-171243	14428807
999	1476041	-64794047	-220756	9690578	-169999	14323954
1036	1476041	-64794047	-219986	9656745	-168808	14223615
1073	1476041	-64794047	-219249	9624434	-167671	14127790
1110	1476041	-64794047	-218548	9593645	-166587	14036478
1147	1476041	-64794047	-217881	9564378	-165557	13949680
1184	1476041	-64794047	-217249	9536633	-164580	13867396
1221	1476041	-64794047	-216652	9510410	-163657	13789626
1258	1476041	-64794047	-216089	9485709	-162788	13716369
1295	1476041	-64794047	-215561	9462530	-161972	13647626
1332	1476041	-64794047	-215068	9440873	-161210	13583397
1369	1476041	-64794047	-214609	9420737	-160501	13523682
1406	1476041	-64794047	-214185	9402124	-159846	13468480
1443	1476041	-64794047	-213796	9385033	-159244	13417792



1480	1476041	-64794047	-213441	9369463	-158696	13371618
1517	1476041	-64794047	-213121	9355416	-158202	13329957
1554	1476041	-64794047	-212836	9342891	-157761	13292811
1591	1476041	-64794047	-212585	9331887	-157374	13260178
1628	1476041	-64794047	-212369	9322406	-157040	13232058
1665	1476041	-64794047	-212188	9314446	-156760	13208453
1702	1476041	-64794047	-212041	9308009	-156533	13189361
1739	1476041	-64794047	-211929	9303093	-156360	13174783
1776	1476041	-64794047	-211852	9299700	-156241	13164718
1840	1476041	-64794047	-211800	9297423	-156161	13157966

14.2 MOMENTO FLETTENTE - SOLLECITAZIONI - M(KGCM)

sezione (cm)	M peso trave	M peso soletta	M perm. 2ª fase	M var. 2ª fase
0	0	0	0	0
37	1497701	996190	930755	1545198
74	2954622	1972144	1842604	3058720
111	4377386	2927863	2735546	4540566
148	5769910	3863346	3609582	5990735
185	7132312	4778593	4464711	7409228
222	8464593	5673605	5300934	8796044
259	9766752	6548382	6118251	10151184
296	11038788	7402923	6916662	11474648
333	12280703	8237228	7696166	12766436
370	13492497	9051298	8456763	14026547
407	14674168	9845133	9198455	15254982
444	15825718	10618732	9921240	16451740
481	16947145	11372095	10625119	17616823
518	18038451	12105223	11310091	18750228
555	19099635	12818115	11976157	19851958
592	20130697	13510772	12623316	20922011
629	21131638	14183193	13251570	21960388
666	22102456	14835379	13860916	22967089
703	23043153	15467329	14451357	23942113
740	23953728	16079044	15022891	24885461
777	24834181	16670523	15575519	25797132
814	25684512	17241766	16109240	26677128
851	26504722	17792774	16624055	27525446
888	27294809	18323547	17119964	28342089
925	28054775	18834084	17596966	29127055
962	28784619	19324385	18055062	29880345
999	29484341	19794451	18494252	30601959
1036	30153941	20244282	18914535	31291896
1073	30793419	20673877	19315912	31950157
1110	31402776	21083236	19698383	32576741
1147	31982011	21472360	20061947	33171650
1184	32531123	21841248	20406605	33734882
1221	33050114	22189901	20732356	34266437
1258	33538984	22518318	21039201	34766316



1295	33997731	22826500	21327140	35234519
1332	34426357	23114446	21596172	35671046
1369	34824860	23382156	21846298	36075896
1406	35193242	23629631	22077518	36449070
1443	35531502	23856871	22289831	36790568
1480	35839640	24063875	22483238	37100389
1517	36117657	24250643	22657739	37378534
1554	36365551	24417176	22813333	37625003
1591	36583324	24563474	22950021	37839795
1628	36770975	24689536	23067802	38022911
1665	36928504	24795362	23166678	38174350
1702	37055911	24880953	23246646	38294114
1739	37153197	24946308	23307709	38382201
1776	37220360	24991428	23349865	38438611
1840	37265422	25021700	23378148	38461403

14.3 TAGLIO - SOLLECITAZIONI - V(KG)

sezione (cm)	V peso trave	V peso soletta	V perm. 2ª fase	V var. 2ª fase
0	41045	27198	25411	42190
37	39912	26651	24900	41571
74	38879	26104	24389	40952
111	38043	25557	23878	40333
148	37229	25010	23367	39714
185	36415	24463	22856	39095
222	35601	23916	22345	38475
259	34786	23369	21834	37856
296	33972	22822	21323	37237
333	33158	22275	20812	36618
370	32344	21728	20301	35999
407	31530	21182	19790	35380
444	30716	20635	19279	34761
481	29902	20088	18768	34141
518	29088	19541	18257	33522
555	28274	18994	17746	32903
592	27459	18447	17235	32284
629	26645	17900	16724	31665
666	25831	17353	16213	31046
703	25017	16806	15702	30427
740	24203	16259	15191	29808
777	23389	15712	14680	29188
814	22575	15166	14169	28569
851	21761	14619	13658	27950
888	20947	14072	13147	27331
925	20133	13525	12636	26712
962	19318	12978	12125	26093
999	18504	12431	11614	25474
1036	17690	11884	11104	24854



1073	16876	11337	10593	24235
1110	16062	10790	10082	23616
1147	15248	10243	9571	22997
1184	14434	9697	9060	22378
1221	13620	9150	8549	21759
1258	12806	8603	8038	21140
1295	11992	8056	7527	20521
1332	11177	7509	7016	19901
1369	10363	6962	6505	19282
1406	9549	6415	5994	18663
1443	8735	5868	5483	18044
1480	7921	5321	4972	17425
1517	7107	4774	4461	16806
1554	6293	4227	3950	16187
1591	5479	3681	3439	15567
1628	4665	3134	2928	14948
1665	3850	2587	2417	14329
1702	3036	2040	1906	13710
1739	2222	1493	1395	13091
1776	1408	946	884	12472
1840	0	0	0	11401

14.4 MOMENTO TORCENTE - SOLLECITAZIONI - T(KGCM)

sezione cm	T accidentale kgcm	T 2ª fase kgcm
0	-399461	-1914581
37	-396436	-1905109
74	-393411	-1895636
111	-390387	-1886164
148	-387362	-1876692
185	-384337	-1867220
222	-381312	-1857747
259	-378287	-1848275
296	-375263	-1838803
333	-372238	-1829330
370	-369213	-1819858
407	-361270	-1792379
444	-353326	-1764899
481	-345383	-1737420
518	-337439	-1709940
555	-329496	-1682461
592	-321552	-1654982
629	-313609	-1627502
666	-305665	-1600023
703	-297722	-1572543
740	-289778	-1545064
777	-279555	-1502297



814	-269332	-1459531
851	-259108	-1416764
888	-248885	-1373997
925	-238662	-1331231
962	-228439	-1288464
999	-218216	-1245697
1036	-207992	-1202930
1073	-197769	-1160164
1110	-187546	-1117397
1147	-177701	-1063575
1184	-167857	-1009753
1221	-158012	-955931
1258	-148167	-902109
1295	-138323	-848287
1332	-128478	-794464
1369	-118633	-740642
1406	-108788	-686820
1443	-98944	-632998
1480	-89099	-579176
1517	-81382	-519650
1554	-73664	-460123
1591	-65947	-400597
1628	-58230	-341070
1665	-50513	-281544
1702	-42795	-222017
1739	-35078	-162491
1776	-27361	-102965
1840	-14012	0



15. TRAVE PREFABBRICATA VH160

Coeff. torsione (per calcolo Massonnet) = 20709270.000

Area torsionale (per calcolo tensioni) = 16785.5000

Sezione larga 202.000 cm

Vertice n.	sezione di estremita'		sezione in campata	
	y	z	y	z
1	-101.000	155.000	-101.000	155.000
2	-101.000	160.000	-101.000	160.000
3	-101.000	160.000	-101.000	160.000
4	-41.600	160.000	-55.751	160.000
5	-24.300	42.000	-38.200	43.100
6	-17.000	35.400	-31.300	36.600
7	0.000	34.000	0.000	34.000
8	17.000	35.400	31.300	36.600
9	24.300	42.000	38.200	43.100
10	41.600	160.000	55.751	160.000
11	101.000	160.000	101.000	160.000
12	101.000	160.000	101.000	160.000
13	101.000	155.000	101.000	155.000
14	101.000	149.000	101.000	149.000
15	93.000	147.000	93.000	147.000
16	68.300	134.000	68.300	134.000
17	48.194	0.000	48.194	0.000
18	-48.194	0.000	-48.194	0.000
19	-68.300	134.000	-68.300	134.000
20	-93.000	147.000	-93.000	147.000
21	-101.000	149.000	-101.000	149.000



Sezione in campata

Spessore complessivo anime =	33.000
Area sezione di calcestruzzo =	8801.115
quota z baricentro =	71.111
J baricentrico =	25459157.562

Sezione di estremita'

Spessore complessivo anime =	61.000
Area sezione di calcestruzzo =	12244.499
quota z baricentro =	78.820
J baricentrico =	31705208.759

ARMATURE DI PRECOMPRESSIONE

Tipo acciaio : 6/10" stabilizzato.

Numero trefoli : 74

Per contenere le tensioni entro i limiti consentiti dalle norme vengono disposte verso le sezioni di estremita' della trave 38 guaine che annullano ivi l'effetto di altrettanti trefoli.

La lunghezza delle guaine (L guaine) e' quella reale, cioe' misurata dalla testata del manufatto.

quota z	n.trefoli	n.guaine	L guaine
155.00	2		
149.00	2		
135.00			
129.00			
123.00			
80.00	2		
60.00			



43.50				
37.50				
31.50	2			
25.50	12	10	100.00	
20.50	12	10	300.00	
15.50	14	6	400.00	
10.50	14	6	600.00	
5.50	14	6	900.00	

ascissa	cavo risultante		sezione sola trave		
	Asp	dsp	At	dt	Jt
0.00	<sezione non precompressa>				
47.00	50.040	32.639	12010.6	77.07	31912232
1840.00	102.860	24.649	9315.4	68.55	27067242

ascissa	sezione trave + soletta		
	At	dt	Jt
0.00	<sezione non precompressa>		
47.00	17923.1	108.55	68299241
1840.00	15227.9	108.91	66461075

Coeff. di omogeneizzazione E acc.precomp. / E cls trave = 6.00

Coeff. di omogeneizzazione E cls soletta / E cls trave = 1.00

Larghezza soletta collaborante con trave = 236.50

Tensione iniziale di precompressione = 14350.00

(la tesatura iniziale al martinetto è pari a 14500 Kg/cm², si tiene conto di una caduta elastica iniziale pari a 150 Kg/cm²).



16. CADUTE DI TENSIONE

16.1 RILASSAMENTO DELL'ACCIAIO DA PRECOMPRESSIONE

In assenza di dati sperimentali afferenti al lotto considerato, la caduta di tensione $\Delta\sigma_{pr}$ per rilassamento al tempo t ad una temperatura di 20 °C può assumersi pari ai valori calcolati con le seguenti formule:

$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,1\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$	Classe 2	Trecce, filo o trefolo stabilizzato	[$\rho_{1000} =$ 2,5]
--	-------------	--	---------------------------

dove:

σ_{pi} è la tensione iniziale nel cavo;

ρ_{1000} è la perdita per rilassamento (in percentuale) a 1000 ore dopo la messa in tensione, a 20 °C e a partire da una tensione iniziale pari a 0,7 della resistenza f_p del campione provato;

$$\mu = \sigma_{pi} / f_{pk};$$

f_{pk} è la resistenza caratteristica dell'acciaio da precompressione;

t è il tempo misurato in ore dalla messa in tensione.

La caduta finale per rilassamento può essere valutata con le formule sopra scritte per un tempo $t = 500000$ ore.

Si ottiene così:

$$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,1\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5} = 0,66 \times 2,5 \times e^{6,825} (500)^{0,75(1-0,75)} 10^{-5} = 4,87\%$$

16.2 RITIRO DEL CALCESTRUZZO

L'accorciamento dovuto al ritiro viene assunto pari a:

$$\epsilon_{cs} = 0.000300$$

e la conseguente caduta di tensione nell'acciaio da precompressione viene calcolata in base al modulo elastico dell'acciaio stesso:

$$\Delta\sigma_{sp} = -(0.000300 \times 2000000) = -600.00$$

16.3 VISCOSITA' DEL CALCESTRUZZO



Il valore della deformazione lenta del calcestruzzo (viscosità) al fine del calcolo delle cadute di tensione nell'acciaio si assume, secondo le norme (D.M. 14.01.2008 – punto 11.2.10.7), pari a 2.30 volte la deformazione elastica.

16.4 RIPARTIZIONE PERCENTUALE DELLE CADUTE DI TENSIONE NELLE FASI

	Rilass.	Ritiro	Viscosità
Posa in tens. - taglio trefoli	0	0	0
Taglio trefoli - getto soletta	0.5	0.5	0.5
Getto soletta - tempo infinito	0.5	0.5	0.5



17. STATI LIMITE DI ESERCIZIO

17.1 S.L.E. - STATO LIMITE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO

17.1.1 PROCEDIMENTO DI CALCOLO DELLE TENSIONI NELLE SEZIONI DI VERIFICA

Per valutare lo stato tensionale nelle sezioni di verifica distingueremo le seguenti fasi:

PRIMA FASE (SOLA TRAVE)

- a) al manifestarsi della precompressione
- b) prima del getto della soletta
- c) dopo il getto della soletta e del cls tra le travi

SECONDA FASE (TRAVE + SOLETTA)

- d) impalcato scarico
- e) impalcato carico

Per la precompressione P , per le azioni permanenti G e per le azioni variabili considerate Q , si assumono, nella combinazione di carico allo stato limite delle tensioni di esercizio

combinazione caratteristica (rara) $G1 + G2 + P + Q$

dove

$G1$ = permanenti strutturali

$G2$ = permanenti non strutturali

P = precompressione

Q = azioni variabili

17.1.2 CALCOLO TENSIONI LONGITUDINALI

PRIMA FASE (SOLA TRAVE)



a) al manifestarsi della precompressione

In base a quanto esposto nel capitolo precedente, le cadute di tensione maturate al momento del taglio dei trefoli sono:

per rilassamento acciaio	0.00
per ritiro calcestruzzo	0.00

Sforzo iniziale di precompressione (al taglio dei trefoli) :

$$N_{pi} = A_{sp} \times (14350.00 - 0.00)$$
$$M_{pi} = N_{pi} \times (D_t - D_{sp})$$

Subito dopo il taglio dei trefoli, si manifesta la precompressione nella trave che, inarcandosi, risulta sollecitata dallo sforzo di precompressione e dal peso proprio.

Si calcolano le tensioni, comprensive dell'effetto della caduta istantanea per deformazione elastica:

$$\sigma_e \text{ all'estradosso della trave}$$
$$\sigma_i \text{ all'intradosso della trave}$$

b) prima del getto della soletta

Nello spazio di tempo che intercorre tra il taglio dei trefoli e il getto della soletta si sono verificate le ulteriori cadute di tensione nell'acciaio:

per rilassamento acciaio	-344.09
per ritiro calcestruzzo	-300.00

che saranno costanti lungo la trave e perciò le stesse per tutte le sezioni di verifica, mentre

$$\text{per viscosità } \Delta \sigma_{sp} = -(0.333 \times 2.300 \times 6.00 \times \sigma_c)$$



dove

σ_c è la tensione nel calcestruzzo in corrispondenza del baricentro dell'armatura di precompressione.

Si calcolano quindi i valori delle cadute di sforzo totale e momento di precompressione:

$$\Delta N_p = A_{sp} \times \Delta \sigma_{sp}$$

$$\Delta M_p = \Delta N_p \times (D_t - D_{sp})$$

Con questi valori si ricavano le tensioni risultanti ai lembi della trave prima del getto della soletta:

σ e all'estradosso della trave

σ i all'intradosso della trave

c) dopo il getto della soletta

Il momento dovuto al getto della soletta provoca un ulteriore incremento delle tensioni nella trave prefabbricata:

σ e all'estradosso della trave

σ i all'intradosso della trave

SECONDA FASE (TRAVE + SOLETTA)

d) impalcato scarico

Le residue cadute di tensione nell'acciaio sono:

per rilassamento acciaio -344.09

per ritiro calcestruzzo -300.00

che saranno ancora costanti lungo la trave, mentre

per viscosità $\Delta \sigma_{sp} = -(0.667 \times 2.300 \times 6.00 \times \sigma_c)$



con

σ_c tensione nel calcestruzzo in corrispondenza del baricentro dei trefoli.

Vengono calcolati i valori finali della precompressione:

$$\Delta N_p = A_{sp} \times \Delta \sigma_{sp}$$

$$\Delta M_p = \Delta N_p \times (D_t - D_{sp})$$

Le tensioni nella sezione resistente trave+soletta diventano:

σ_e e all'estradosso della trave

σ_i i all'intradosso della trave

σ_s s al lembo superiore della soletta

σ_s s al lembo inferiore della soletta

e) impalcato carico

Vengono sommate alle tensioni calcolate al punto d) le tensioni dovute alla sovrastruttura ed ai carichi mobili. Si ottiene:

σ_e e all'estradosso della trave

σ_i i all'intradosso della trave

σ_s s al lembo superiore della soletta

σ_s s al lembo inferiore della soletta



17.1.3 TENSIONI LONGITUDINALI NELLA TRAVE IN C.A.P. E NELLA SOLETTA

	FASE A		FASE B		FASE C	
74	-2,330	142,927	-1,084	127,801	74	5,652
111	2,530	139,142	3,764	124,163	111	13,765
148	-0,594	178,722	1,738	156,417	148	14,916
185	4,053	175,134	6,366	153,015	185	22,666
222	8,598	171,625	10,892	149,688	222	30,244
259	13,040	168,196	15,315	146,436	259	37,651
296	17,378	164,847	19,635	143,259	296	44,887
333	21,615	161,576	23,854	140,158	333	51,951
370	14,862	203,126	18,806	172,871	370	49,613
407	18,883	200,050	22,801	170,000	407	56,310
444	22,803	197,052	26,695	167,201	444	62,836
481	18,340	221,828	23,655	185,853	481	62,290
518	22,047	219,010	27,330	183,250	518	68,456
555	25,653	216,270	30,905	180,719	555	74,452
592	29,156	213,608	34,378	178,259	592	80,279
629	32,556	211,023	37,749	175,871	629	85,934
666	25,839	237,169	32,864	195,124	666	83,143
703	29,028	234,762	36,017	192,927	703	88,438
740	32,114	232,433	39,069	190,800	740	93,563
777	35,098	230,180	42,020	188,744	777	98,519
814	37,980	228,004	44,870	186,758	814	103,305
851	40,759	225,905	47,619	184,842	851	107,922
888	43,437	223,884	50,268	182,997	888	112,369
925	46,013	221,939	52,815	181,222	925	116,646
962	36,784	249,643	45,861	201,228	962	111,154
999	39,148	247,871	48,192	199,632	999	115,073
1036	41,410	246,175	50,423	198,105	1036	118,824
1073	43,571	244,555	52,554	196,646	1073	122,406
1110	45,630	243,012	54,584	195,256	1110	125,819
1147	47,587	241,545	56,513	193,935	1147	129,064
1184	49,442	240,155	58,343	192,683	1184	132,140
1221	51,196	238,841	60,072	191,499	1221	135,047
1258	52,848	237,602	61,701	190,384	1258	137,785
1295	54,398	236,441	63,229	189,337	1295	140,355
1332	55,846	235,355	64,657	188,360	1332	142,756
1369	57,192	234,346	65,985	187,451	1369	144,988
1406	58,437	233,413	67,212	186,610	1406	147,051
1443	59,580	232,557	68,339	185,839	1443	148,946
1480	60,621	231,776	69,366	185,136	1480	150,672
1517	61,560	231,072	70,292	184,502	1517	152,229
1554	62,398	230,444	71,118	183,937	1554	153,618
1591	63,134	229,893	71,843	183,440	1591	154,838
1628	63,768	229,418	72,468	183,012	1628	155,889
1665	64,300	229,019	72,993	182,653	1665	156,771
1702	64,730	228,696	73,418	182,362	1702	157,485
1739	65,059	228,450	73,742	182,140	1739	158,030
1776	65,286	228,280	73,966	181,987	1776	158,406
1840	65,438	228,166	74,116	181,884	1840	158,658



sezione (cm)	FASE D			FASE E		
	σ sup	σ inf	σ soletta sup	σ sup	σ inf	σ soletta sup
74	5,197	109,092	1,578	8,975	100,651	7,265
111	13,317	103,138	1,551	18,926	90,608	9,994
148	14,384	127,073	2,381	21,786	110,727	13,492
185	22,142	121,543	2,346	31,296	101,325	16,089
222	29,728	116,134	2,311	40,596	92,131	18,628
259	37,142	110,848	2,278	49,685	83,146	21,109
296	44,385	105,685	2,245	58,564	74,369	23,532
333	51,457	100,643	2,213	67,232	65,801	25,897
370	49,108	124,787	3,248	66,435	86,972	29,192
407	55,811	120,153	3,208	74,657	79,025	31,424
444	62,344	115,638	3,168	82,669	71,281	33,600
481	61,844	128,189	3,907	83,599	81,068	36,424
518	68,016	124,010	3,863	91,171	73,855	38,474
555	74,017	119,947	3,821	98,534	66,842	40,466
592	79,848	115,999	3,779	105,688	60,029	42,402
629	85,508	112,166	3,739	112,632	53,415	44,281
666	82,817	125,367	4,592	111,162	64,450	46,884
703	88,115	121,859	4,547	117,665	58,353	48,637
740	93,243	118,464	4,505	123,959	52,452	50,334
777	98,202	115,181	4,463	130,045	46,747	51,974
814	102,991	112,010	4,423	135,922	41,238	53,558
851	107,610	108,951	4,385	141,591	35,925	55,085
888	112,060	106,005	4,348	147,051	30,807	56,555
925	116,340	103,171	4,312	152,302	25,886	57,968
962	111,001	117,401	5,274	147,851	38,850	60,157
999	114,921	114,868	5,236	152,664	34,415	61,447
1036	118,673	112,444	5,199	157,269	30,172	62,682
1073	122,256	110,129	5,164	161,667	26,121	63,860
1110	125,670	107,924	5,131	165,857	22,262	64,982
1147	128,916	105,827	5,099	169,839	18,594	66,047
1184	131,992	103,839	5,069	173,614	15,119	67,057
1221	134,900	101,961	5,041	177,181	11,835	68,010
1258	137,639	100,191	5,014	180,540	8,744	68,907
1295	140,210	98,530	4,989	183,692	5,844	69,747
1332	142,611	96,979	4,965	186,636	3,136	70,532
1369	144,844	95,536	4,944	189,372	0,621	71,260
1406	146,908	94,203	4,923	191,901	-1,703	71,932
1443	148,804	92,978	4,905	194,222	-3,835	72,547
1480	150,530	91,863	4,888	196,335	-5,775	73,106
1517	152,088	90,857	4,873	198,241	-7,523	73,609
1554	153,477	89,959	4,859	199,939	-9,080	74,056
1591	154,697	89,171	4,847	201,430	-10,444	74,447
1628	155,748	88,492	4,837	202,712	-11,616	74,781
1665	156,631	87,921	4,828	203,787	-12,597	75,059
1702	157,345	87,460	4,821	204,655	-13,385	75,281
1739	157,890	87,108	4,816	205,315	-13,982	75,446



1776	158,266	86,865	4,812	205,767	-14,386	75,555
1840	158,519	86,702	4,810	206,058	-14,633	75,611

17.2 S.L.E. - STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE

Per il calcolo delle frecce in mezzeria della trave prefabbricata si ritiene opportuno ridurre l'effetto della viscosità del calcestruzzo moltiplicandolo per il coefficiente 0.5000

Per la precompressione P, per le azioni permanenti G e per le azioni variabili considerate Q, si assumono, nella combinazione di carico allo stato limite di deformabilità

combinazione caratteristica (rara) $G_1 + G_2 + P + Q$

dove

G_1 = permanenti strutturali

G_2 = permanenti non strutturali

P = precompressione

Q = azioni variabili

Al taglio dei trefoli

azioni considerate :

- Precompressione

- Peso proprio trave

Modulo di elasticità E_{cs} = 250000.00 Kg/cm²

J trave = 27067242.1444 cm⁴

f₁ (freccia in mezzeria trave) = -8.44 cm (1/436 L)

Dopo il getto eseguito in opera

azioni considerate :

- Viscosità 1a fase = 0.500 x 2.300 x f₁ x 0.500



- Peso soletta

Modulo di elasticita' cls =	300000.00 Kg/cm ²
J trave =	27067242.1444 cm ⁴
f2 (freccia dopo getto in opera) =	-8.51 cm (1/432 L)

A impalcato scarico

ulteriori azioni considerate :

- Viscosita' 2a fase = 0.500 x 2.300 x f2 x 0.500
- Peso pavimentazione
- Peso dei cordoli

Modulo di elasticita' cls =	350000.00 Kg/cm ²
J trave + soletta =	66461074.6645 cm ⁴
f3 (freccia a impalcato scarico) =	-9.15 cm (1/ 404 L)

Carichi mobili

Modulo di elasticita' cls =	350000.00 Kg/cm ²
J trave + soletta =	66461074.6645 cm ⁴
freccia dovuta ai carichi mobili =	2.02 cm (1/ 1643 L)

17.3 S.L.E. - STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

Nell'ipotesi di condizioni ambientali ordinarie e di armature sensibili, si prendono in considerazione le seguenti combinazioni:

I - COMBINAZIONE DI AZIONI QUASI PERMANENTE

combinazione quasi permanente $F_I = G_1 + G_2 + P + Q_{\psi 2}$



ed essendo $\psi_2 = 0$ risulta $F_I = G_1 + G_2 + P$

dove

G1 = permanenti strutturali

G2 = permanenti non strutturali

P = precompressione

Q = azioni variabili

Tensioni nella sezione di mezzeria nella combinazione FI:

$\sigma_{e,e}$ 176.49

σ_i 48.39

Non si verifica decompressione come previsto dalle Norme

II - COMBINAZIONE DI AZIONI FREQUENTI

combinazione frequente $F_{II} = G_1 + G_2 + P + Q\psi_1$

ed essendo $\psi_1 = 0.75$ risulta $F_{II} = G_1 + G_2 + P + 0.75Q$

Dove

G1 = permanenti strutturali

G2 = permanenti non strutturali

P = precompressione

Q = azioni variabili

$\psi_1 = 0.75$ (strutture principali con Lc compresa fra 10 e 100 m)

Tensioni nella sezione di mezzeria nella combinazione FII:

$\sigma_{e,e}$ 194.44

σ_i 10.13

Non si verifica decompressione



18. STATI LIMITE ULTIMI

18.1 S.L.U. (COMB. FONDAMENTALE) - STATO LIMITE ULTIMO DI RESISTENZA PER TENSIONI NORMALI

Il criterio adottato per la verifica a rottura è valido solo per travi con soletta collaborante: esso presuppone che la rottura avvenga per strappamento dell'acciaio inferiore da precompressione, considerando il lembo superiore del calcestruzzo della soletta deformato allo 0.35%.

In tali ipotesi vengono considerati solo i trefoli ai livelli più bassi, ovvero i trefoli che hanno una deformazione $\geq 1\%$ quando i trefoli del livello più basso hanno una deformata del 6% ed il calcestruzzo si considera al 3,5%; lo sforzo massimo sopportabile da queste armature è pari all'area di acciaio moltiplicata per la tensione di rottura f_{ptk} .

Il momento di rottura, pertanto, viene calcolato moltiplicando questo sforzo per un braccio pari a 0,9 per la distanza tra il baricentro del livello inferiore dei trefoli e il lembo superiore della soletta.

La formula è la seguente

$$M_{rdu,c} = 0,9 * (H_{tr+sol} - y_{tr}) * N_{tr} * A_{tr} * f_{ptk} / 1.15$$

dove

H_{tr+sol} = altezza complessiva trave più soletta

y_{tr} = baricentro dei trefoli inferiori considerati

N_{tr} = numero dei trefoli inferiori considerati

A_{tr} = area del trefolo

Il momento flettente sollecitante ultimo risulta dalla seguente

Combinazione fondamentale (SLU) $G_1\gamma_g1 + G_2\gamma_g2 + Q\gamma_q$

dove si assumono i seguenti valori per i coefficienti parziali di sicurezza

Permanenti G_1	1,35
Permanenti non strutturali G_2	1,50



Traffico Q

1,35

ed è pari a:

$$MEd = \gamma g1 Mg1k + \gamma g2 Mg2k + \gamma q Mqk$$

Sostituendo si hanno i seguenti valori:

$$Mrdu,c = 242526471 \text{ kgcm}$$

$$MEd = 171077732 \text{ kgcm}$$

Si ha quindi un coefficiente di sicurezza pari a

$$Mrdu,c / MEd = 1.42$$



18.2 S.L.U. (COMB. FONDAMENTALE) - STATO LIMITE ULTIMO PER SOLLECITAZIONI DI TAGLIO

18.2.1 VERIFICA DELLE BIELLE DI CALCESTRUZZO

Il taglio sollecitante ultimo risulta pari a:

$$V_{Ed} = \gamma_g V_{gk} + \gamma_q V_{qk}$$

Il momento torcente sollecitante ultimo risulta pari a:

$$T_{Ed} = \gamma_g T_{gk} + \gamma_q T_{qk}$$

dove si assumono i seguenti valori per i coefficienti parziali di sicurezza

Permanenti G1	1,35
Permanenti non strutturali G2	1,50
Traffico Q	1,35

Nel caso di sollecitazioni composte, occorre verificare che:

$$V_{Ed}/V_{Rcd} + T_{Ed}/T_{Rcd} \leq 1$$

dove la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0.90 \times b_w \times d \times \alpha_c f_{cd}' \times (\text{ctg} \alpha + \text{ctg}^2 \vartheta / (1 + \text{ctg}^2 \vartheta))$$

la resistenza per sollecitazioni torcenti del calcestruzzo si calcola con

$$T_{Rcd} = 2 \times A \times f_{cd}' \times (\text{ctg} \vartheta / (1 + \text{ctg}^2 \vartheta))$$

dove

b_w è la larghezza minima della sezione



d è l'altezza utile della sezione

α_c è un coefficiente maggiorativo (posto pari a 1)

f_{cd}' è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f_{cd}'=0,5f_{cd}$)

A è l'area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico

α inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

ϑ inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse della trave



X_{sezione}	V_{Ed}	T_{Ed}	V_{Rcd}	T_{Rcd}	VERIFICA<1
0	187200	-3411144	682824	80400691	0,317
37	183331	-3392852	682824	80400691	0,311
74	179595	-3374560	429367	75282546	0,463
111	176126	-3356268	412162	72233898	0,474
148	172686	-3337976	396380	69019054	0,484
185	169247	-3319684	375343	65356079	0,502
222	165807	-3301392	353995	61638759	0,522
259	162367	-3283100	332993	57981897	0,544
296	158928	-3264808	318429	55445888	0,558
333	155488	-3246516	318429	55445888	0,547
370	152048	-3228225	318429	55445888	0,536
407	148609	-3176282	318429	55445888	0,524
444	145169	-3124339	318429	55445888	0,512
481	141729	-3072396	318429	55445888	0,501
518	138290	-3020453	318429	55445888	0,489
555	134850	-2968510	318429	55445888	0,477
592	131410	-2916568	318429	55445888	0,465
629	127971	-2864625	318429	55445888	0,454
666	124531	-2812682	318429	55445888	0,442
703	121091	-2760739	318429	55445888	0,430
740	117652	-2708796	318429	55445888	0,418
777	114212	-2630845	318429	55445888	0,406
814	110772	-2552894	318429	55445888	0,394
851	107333	-2474942	318429	55445888	0,382
888	103893	-2396991	318429	55445888	0,369
925	100453	-2319039	318429	55445888	0,357
962	97014	-2241088	318429	55445888	0,345
999	93574	-2163137	318429	55445888	0,333
1036	90134	-2085185	318429	55445888	0,321
1073	86695	-2007234	318429	55445888	0,308
1110	83255	-1929283	318429	55445888	0,296
1147	79815	-1835259	318429	55445888	0,284
1184	76376	-1741236	318429	55445888	0,271
1221	72936	-1647212	318429	55445888	0,259
1258	69496	-1553189	318429	55445888	0,246
1295	66057	-1459165	318429	55445888	0,234
1332	62617	-1365142	318429	55445888	0,221
1369	59177	-1271118	318429	55445888	0,209
1406	55738	-1177095	318429	55445888	0,196
1443	52298	-1083071	318429	55445888	0,184
1480	48858	-989048	318429	55445888	0,171
1517	45419	-889340	318429	55445888	0,159
1554	41979	-789632	318429	55445888	0,146
1591	38539	-689924	318429	55445888	0,133
1628	35100	-590216	318429	55445888	0,121
1665	31660	-490508	318429	55445888	0,108
1702	28220	-390800	318429	55445888	0,096
1739	24781	-291092	318429	55445888	0,083
1776	21341	-191384	318429	55445888	0,070
1840,0	15391	-18916	318429	55445888	0,049



18.2.2 VERIFICA DELL'ARMATURA TRASVERSALE D'ANIMA

I calcoli per il progetto delle staffe possono effettuarsi separatamente per la torsione e per il taglio.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw} / s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \text{ctg} \vartheta) \times \sin \alpha$$

Con riferimento alle staffe trasversali, la resistenza di calcolo per sollecitazioni torcenti si calcola con

$$T_{Rsd} = 2 \times A \times (A_{sw} / s) \times f_{yd} \times \text{ctg} \vartheta$$

dove

d è l'altezza utile della sezione

f_y è la resistenza di calcolo dell'armatura

A_{sw} è l'area delle staffe

s è il passo delle staffe

A è l'area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico

α inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave

ϑ inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse della trave



X_{sezione}	armatura V_{Ed}	armatura T_{Ed}	Armatura A_{sw} /s	staffe
0	0,296	0,024	0,345	4φ10/10 + 4φ10/20
37	0,290	0,024	0,339	4φ10/10 + 4φ10/20
74	0,197	0,017	0,230	4φ10/10 + 4φ10/20
111	0,174	0,015	0,204	4φ10/10
148	0,155	0,014	0,182	4φ10/10
185	0,138	0,012	0,162	4φ10/10
222	0,122	0,011	0,145	4φ10/10
259	0,109	0,010	0,129	4φ10/10
296	0,101	0,009	0,119	4φ10/10
333	0,098	0,009	0,117	4φ10/10
370	0,096	0,009	0,115	4φ10/10
407	0,094	0,009	0,112	4φ10/10
444	0,092	0,009	0,110	4φ10/10
481	0,090	0,009	0,107	4φ10/10
518	0,087	0,009	0,105	4φ10/10
555	0,085	0,009	0,102	4φ10/10
592	0,083	0,008	0,100	4φ10/10
629	0,081	0,008	0,097	4φ10/10
666	0,079	0,008	0,095	4φ10/10
703	0,077	0,008	0,092	4φ10/10
740	0,074	0,008	0,090	4φ10/10
777	0,072	0,008	0,087	4φ10/20
814	0,070	0,007	0,085	4φ10/20
851	0,068	0,007	0,082	4φ10/20
888	0,066	0,007	0,079	4φ10/20



925	0,064	0,007	0,077	4φ10/20
962	0,061	0,006	0,074	4φ10/20
999	0,059	0,006	0,072	4φ10/20
1036	0,057	0,006	0,069	4φ10/20
1073	0,055	0,006	0,066	4φ10/20
1110	0,053	0,006	0,064	4φ10/20
1147	0,051	0,005	0,061	4φ10/20
1184	0,048	0,005	0,058	4φ10/20
1221	0,046	0,005	0,056	4φ10/20
1258	0,044	0,004	0,053	4φ10/20
1295	0,042	0,004	0,050	4φ10/20
1332	0,040	0,004	0,047	4φ10/20
1369	0,037	0,004	0,045	4φ10/30
1406	0,035	0,003	0,042	4φ10/30
1443	0,033	0,003	0,039	4φ10/30
1480	0,031	0,003	0,037	4φ10/30
1517	0,029	0,003	0,034	4φ10/30
1554	0,027	0,002	0,031	4φ10/30
1591	0,024	0,002	0,028	4φ10/30
1628	0,022	0,002	0,026	4φ10/30
1665	0,020	0,001	0,023	4φ10/30
1702	0,018	0,001	0,020	4φ10/30
1739	0,016	0,001	0,017	4φ10/30
1776	0,014	0,001	0,015	4φ10/30
1840,0	0,010	0,000	0,010	4φ10/30



18.2.3 VERIFICA ARMATURA LONGITUDINALE ALL'APPOGGIO

Si verifica lo stato tensionale dell'armatura longitudinale inferiore all'appoggio che garantisce il funzionamento del modello a traliccio in quella zona del manufatto, soggetta alla forza concentrata rappresentata dalla reazione dell'appoggio.

La verifica viene eseguita nelle ipotesi che lo sforzo longitudinale inferiore sia pari al taglio e che tale sforzo sia mitigato dalla presenza dello sforzo di compressione longitudinale esercitato dai trefoli attivi (non inguainati).

Per valutare la compressione data dai trefoli si ipotizza una legge lineare di trasferimento del carico dai trefoli al calcestruzzo, a partire dalla testata della trave. Si adotta prudenzialmente un coefficiente riduttivo per tale compressione pari a 0.7

Taglio totale = V_{Ed} = 187200 kg

Numero di trefoli attivi = 28

Tensione trefoli attivi = 5127.07

Compressione totale = 199545.45

La compressione totale indotta dai trefoli risulta maggiore del taglio totale, per cui l'armatura longitudinale inferiore non è necessaria, in quanto lavorerebbe in compressione.

Armatura presente : 12 ϕ 16 + 2 ϕ 24 A_s = 33.17 a quota 8.00