

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



# INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

## TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

### Adeguamento via Chiaravagna

### Tratta 3 – Passerella pedonale - Relazione di calcolo impalcato

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. E. Pagani	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	C L	R I 0 3 0 X	0 0 2	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	ALPINA	13/05/2016	COCIV	13/05/2016	A.Mancarella	13/05/2016	

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002-A00
-----------	---------------------------------------

# INDICE

INDICE.....	2
1. PREMESSA.....	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	6
4. MATERIALI IMPALCATO METALLICO .....	8
4.1. ACCIAIO DA CARPENTERIA: Fe 510 .....	8
4.2. UNIONI BULLONATE E SALDATE .....	8
5. MODELLAZIONE FEM E METODI DI VERIFICA .....	9
5.1. SCHEMA APPOGGI.....	12
6. ANALISI DEI CARICHI.....	13
6.1. PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE $g_1$ .....	13
6.2. CARICHI PERMANENTI PORTATI $g_2$ .....	13
6.3. VARIAZIONI TERMICHE $\epsilon_3$ .....	14
6.4. CARICO FOLLA $q_1$ .....	14
6.5. EFFETTO DINAMICO DEI CARICHI MOBILI $q_2$ .....	14
6.6. AZIONE DEL VENTO Q5 .....	15
6.7. AZIONE SISMICA Q6.....	15
6.7.1. Coefficiente d'intensità sismica .....	16
6.7.2. Coefficiente di risposta .....	16
6.7.3. Coefficiente di protezione sismica .....	17
6.7.4. Coefficiente di struttura $\beta$ .....	17
6.7.5. Coefficiente di fondazione .....	17
6.8. AZIONI SUI PARAPETTI $q_8$ .....	17
7. COMBINAZIONI.....	18
8. VERIFICHE SICUREZZA.....	20
8.1. ARCO.....	23
8.2. CATENA .....	26
8.1. DIAGONALI E MONTANTI.....	29
8.2. TRAVERSI.....	31
8.3. CONTROVENTI.....	36
8.4. GRIGLIATO .....	38
9. APPOGGI E GIUNTI .....	39
9.1. REAZIONI VINCOLARI .....	39



9.2.	GIUNTO DI DILATAZIONE.....	43
10.	VERIFICHE DEFORMABILITA' .....	44
11.	GIUNTI.....	45
11.1.	GIUNTO CONTINUITA' ARCO.....	45
11.2.	GIUNTO CONTINUITA' DIAGONALE.....	47
11.3.	GIUNTO CONTINUITA' CATENA .....	49
11.4.	GIUNTO TRA TRAVERSO IPE 200 E CATENA HEB 200 .....	52
11.5.	GIUNTO FLANGIATO HEB 200 .....	54
11.6.	GIUNTO TRA TRAVERSO HEB 200 E CATENA .....	56
11.7.	PIASTRA CONTROVENTO .....	58
12.	VERIFICHE A FATICA.....	59
12.1.	ARCO.....	60

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato riguarda il dimensionamento della passerella di attraversamento del torrente Chiaravagna a Genova.



Figura 1-1 Vista satellitare area intervento

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato <span style="float: right;">Foglio 5 di 61</span>

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- (1) Legge n° 1086 del 5 novembre 1971. “Norme per la disciplina delle opere in calcestruzzo cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- (2) Legge n° 64 del 2 febbraio 1974. “Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- (3) Decreto Ministero dei LL.PP. 4 maggio 1990. “Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali”.
- (4) Circolare Ministero LL.PP. N. 34233 Pers. Cons. Sup. Serv. Tecnico Centrale, 25 febbraio 1991) – “Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali”.
- (5) D.M. LL.PP. 9 gennaio 1996. “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- (6) Circolare LL.PP. 15 ottobre 1996 n° 252 AA.GG./S.T.C. “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al D.M. 9.01.1996”;
- (7) D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996. “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- (8) D.M. 16 gennaio 1996. “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”;
- (9) Circolare LL.PP. 10 Aprile, n° 65/AA.GG. “ Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica» di cui al D.M. 16.01.1996 ”.
- (10) Circolare LL.PP. 4 luglio 1996 n° 156 AA.GG./S.T.C. “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al D.M. 16.01.1996”;
- (11) CNR 10011/97 Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

### 3. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La passerella ha una lunghezza di circa 26 m e presenta uno schema statico di tipo isostatico a tre campate. Le campate hanno luci differenti: 1,3 m la campata terminale a sbalzo, 21,75 m la campata principale e di circa 3,5 m quella la terminale vincolata in spalla. Quest'ultima non è in continuità con la campata centrale poiché è previsto un vincolo a cerniera interna.

La struttura principale è costituita da due archi in acciaio Fe510, realizzati da profili tubolari (con diametro esterno di 219.1 mm e spessore di 12.5 mm), inclinati verso l'esterno di circa 13°, con una freccia di circa 1.7 m ad interasse di circa 1.8 m. Questi elementi sono collegati all'impalcato per mezzo di montanti e diagonali realizzati con profili cavi a sezione circolare. La stabilità trasversale dell'arco è affidata a due puntoni diagonali che riducono la lunghezza libera d'inflessione dell'arco stesso a circa 1/3.

L'impalcato è realizzato da due travi longitudinali HEB 200 che fungono da catena per gli archi e da traversi IPE 200, posti ad interasse variabile al massimo pari a 2m, sui quali insiste il grigliato metallico.

Per quanto riguarda i giunti, la continuità dell'arco e dei diagonali è garantita da giunti di tipo flangiato e da giunti a coprigiunto d'anima e d'ala per l'elemento catena. Questa è collegata ai traversi attraverso tronchetti saldati con flangia di testa.

I vincoli esterni sono realizzati attraverso 4 apparecchi d'appoggio a disco elastomerico confinato.

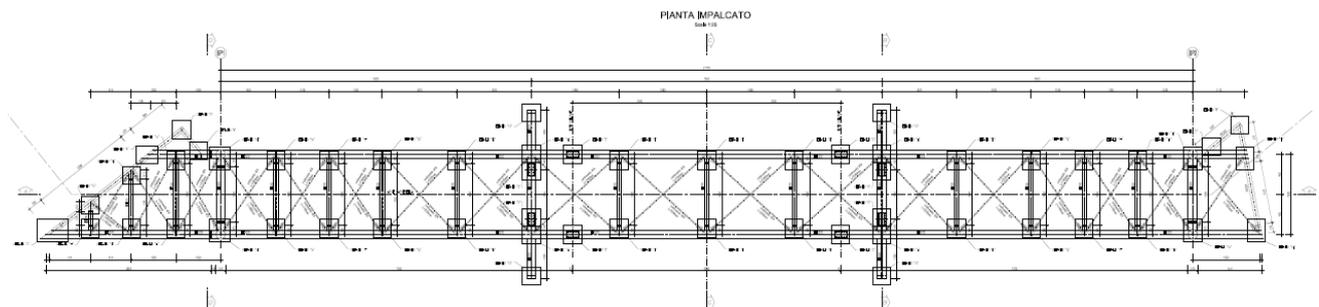


Figura 3-1 Pianta impalcato



Figura 3-2 Prospetto



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato

Foglio  
8 di 61

#### 4. MATERIALI IMPALCATO METALLICO

Per la realizzazione della struttura dell'impalcato metallico in oggetto si prevede l'impiego dei seguenti materiali.

##### 4.1. ACCIAIO DA CARPENTERIA: Fe 510

Si prevede l'impiego di acciaio tipo Fe510C con le caratteristiche meccaniche:

- tensione di snervamento  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- modulo elastico  $E = 206000 \text{ N/mm}^2$
- modulo di elasticità tangenziale  $G=80000 \text{ N/mm}^2$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0,3$
- KV (-20°C)
- Allungamento percentuale e rottura  $\epsilon_t \geq 20\%$
- Coefficiente di dilatazione termica  $\alpha = 1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$

##### 4.2. UNIONI BULLONATE E SALDATE

Si adottano bulloni A.R. di classe 8.8 conformi alla norma UNI 5712-75, accoppiati con dadi conformi alla norma UNI 5713-75 e rosette di acciaio conformi alla norma UNI 5713-75.

Le caratteristiche di resistenza previste per i bulloni sono:

- tensione di rottura a trazione  $f_t \geq 800 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento  $f_t \geq 640 \text{ MPa}$
- resistenza di progetto a trazione  $f_{d,N}=560 \text{ MPa}$
- resistenza di progetto a taglio  $f_{d,V}=396 \text{ MPa}$
- forza di serraggio  $N_s=0.8f_{k,n} A_{res}$

Le unioni saldate sono realizzate conformemente a quanto prescritto nel D.M. 9/196. Le saldature a completa penetrazione dovranno essere di I classe.

## 5. MODELLAZIONE FEM E METODI DI VERIFICA

La struttura è progettata secondo i metodi della scienza delle costruzioni e in accordo con il metodo agli stati limite con riferimento allo stato limite elastico della sezione.

L'analisi strutturale è stata condotta con l'ausilio del codice di calcolo agli elementi finiti SAP 2000. Il modello FEM è stato realizzato rispettando le caratteristiche geometrico/resistenziali dei singoli elementi strutturali, riproponendo le corrette geometrie (variabilità delle sezioni, dimensioni in pianta ed altezza, angolazioni planimetriche) al fine di poter valutare correttamente le condizioni d'esercizio ed eccezionali a cui potrebbe essere sottoposta la struttura.

Il parapetto è stato modellato con la funzione di distribuire l'azione sul parapetto dovuto alla presenza di folla compatta; in tal senso agli elementi orizzontali del corrimano è stato assegnato un materiale avente modulo di rigidezza trascurabile affidando quindi a tali elementi solo la funzione di distribuzione di carico svincolandoli da qualsiasi funzione tipicamente strutturale.

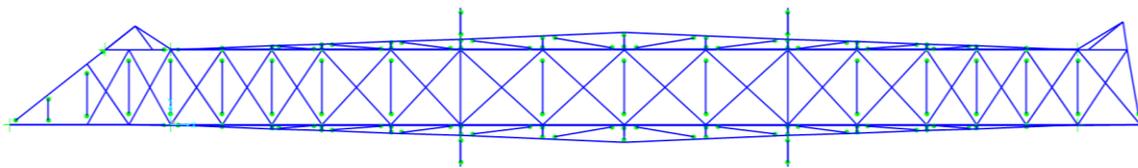


Figura 5-1 Vista piano X-Y modello FEM

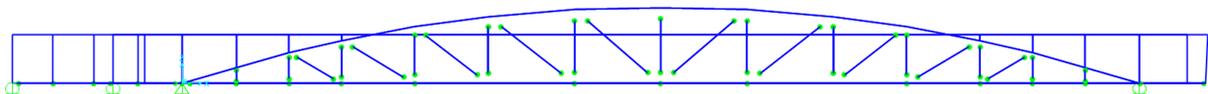


Figura 5-2 Vista prospettico modello FEM – piano X-Z

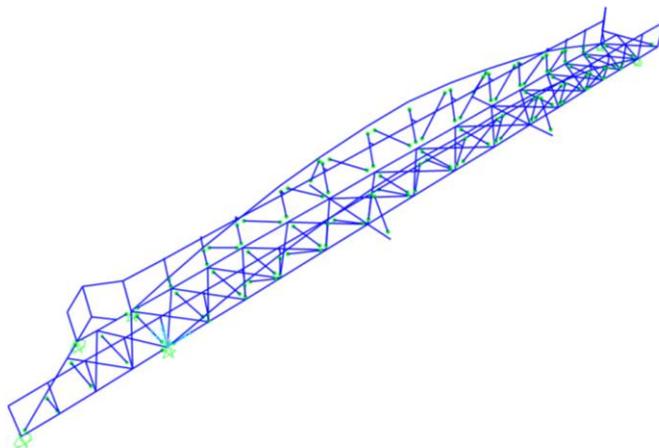


Figura 5-3 Vista unifilare modello FEM 3D

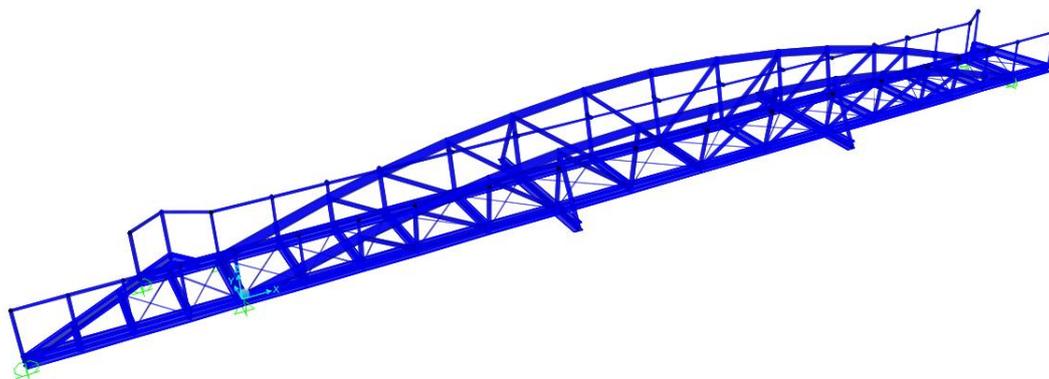


Figura 5-4 Vista estrusa modello FEM 3D

Il modello è costituito da elementi di tipo Frame ed elementi di tipo frame resistenti solo a trazione (controventi). I traversi sono stati consideranti come elementi svincolati a momento alle estremità.

- Archi

Pipe Section

Section Name: CHS 219.1x12.5

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + Fe 510

Dimensions:

- Outside diameter (t3): 219.1
- Wall thickness (tw): 12.5

Display Color: ■

OK Cancel

Property Data

Section Name: CHS 219.1x12.5

Properties:

Cross-section (axial) area	8113.163	Section modulus about 3 axis	396584.2
Moment of Inertia about 3 axis	43445795	Section modulus about 2 axis	396584.2
Moment of Inertia about 2 axis	43445795	Plastic modulus about 3 axis	534195.5
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	534195.5
Shear area in 2 direction	4066.4693	Radius of Gyration about 3 axis	73.1777
Shear area in 3 direction	4066.4693	Radius of Gyration about 2 axis	73.1777
Torsional constant	86891591	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

OK

- Montanti e diagonali

Pipe Section

Section Name: CHS 101.6x8

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + Fe 510

Dimensions:

- Outside diameter (t3): 101.6
- Wall thickness (tw): 8.

Display Color: ■

OK Cancel

Property Data

Section Name: CHS 101.6x8

Properties:

Cross-section (axial) area	2352.4246	Section modulus about 3 axis	51082.81
Moment of Inertia about 3 axis	2595006.6	Section modulus about 2 axis	51082.81
Moment of Inertia about 2 axis	2595006.6	Plastic modulus about 3 axis	70258.35
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	70258.35
Shear area in 2 direction	1181.9266	Radius of Gyration about 3 axis	33.2133
Shear area in 3 direction	1181.9266	Radius of Gyration about 2 axis	33.2133
Torsional constant	5190013.	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

OK

- Trave longitudinale (Catena)

I/Wide Flange Section

**Section Name** HE200B

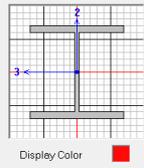
Section Notes

Extract Data from Section Property File  
 C:\program files (x86)\computers and

Properties  Property Modifiers  Material + Fe 510

Dimensions

Outside height (t3) 200  
 Top flange width (t2) 200  
 Top flange thickness (t) 15  
 Web thickness (tw) 8  
 Bottom flange width (t2b) 200  
 Bottom flange thickness (tb) 15



Display Color

Property Data

**Section Name** HE200B

Properties

Cross-section (axial) area	7810	Section modulus about 3 axis	5696000
Moment of Inertia about 3 axis	569600000	Section modulus about 2 axis	2003000
Moment of Inertia about 2 axis	200300000	Plastic modulus about 3 axis	6430000
Product of Inertia about 2-3	0	Plastic modulus about 2 axis	3060000
Shear area in 2 direction	18000	Radius of Gyration about 3 axis	85.4003
Shear area in 3 direction	50000	Radius of Gyration about 2 axis	50.6425
Torsional constant	5970000	Shear Center Eccentricity (x3)	0

- Traversi

I/Wide Flange Section

**Section Name** IPE200

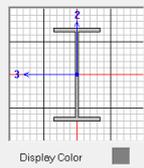
Section Notes

Extract Data from Section Property File  
 C:\program files (x86)\computers and

Properties  Property Modifiers  Material + Fe 510

Dimensions

Outside height (t3) 200  
 Top flange width (t2) 100  
 Top flange thickness (t) 8.5  
 Web thickness (tw) 5.6  
 Bottom flange width (t2b) 100  
 Bottom flange thickness (tb) 8.5



Display Color

Property Data

**Section Name** IPE200

Properties

Cross-section (axial) area	2850	Section modulus about 3 axis	1943000
Moment of Inertia about 3 axis	194300000	Section modulus about 2 axis	284000
Moment of Inertia about 2 axis	14200000	Plastic modulus about 3 axis	2210000
Product of Inertia about 2-3	0	Plastic modulus about 2 axis	446000
Shear area in 2 direction	11200	Radius of Gyration about 3 axis	82.5684
Shear area in 3 direction	1416.6666	Radius of Gyration about 2 axis	22.3214
Torsional constant	692000	Shear Center Eccentricity (x3)	0

- Diagonale controvento

Circle Section

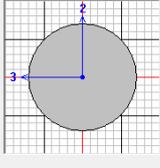
**Section Name** D24 mm

Section Notes

Properties  Property Modifiers  Material + Fe 510

Dimensions

Diameter (t3) 24



Display Color

Property Data

**Section Name** D24 mm

Properties

Cross-section (axial) area	452.3893	Section modulus about 3 axis	1357.168
Moment of Inertia about 3 axis	16286.016	Section modulus about 2 axis	1357.168
Moment of Inertia about 2 axis	16286.016	Plastic modulus about 3 axis	2304
Product of Inertia about 2-3	0	Plastic modulus about 2 axis	2304
Shear area in 2 direction	407.1504	Radius of Gyration about 3 axis	6
Shear area in 3 direction	407.1504	Radius of Gyration about 2 axis	6
Torsional constant	32572.03	Shear Center Eccentricity (x3)	0

## 5.1. SCHEMA APPOGGI

Sono previsti:

- sule spalle due appoggi multidirezionali,
- sulla pila SP1 un appoggio fisso e un appoggio unidirezionale di tipo trasversale
- sulla pila SP2 un appoggio multidirezionale e un appoggio unidirezionale di tipo longitudinale.

La campata terminale in corrispondenza della pila SP2 è a sbalzo.

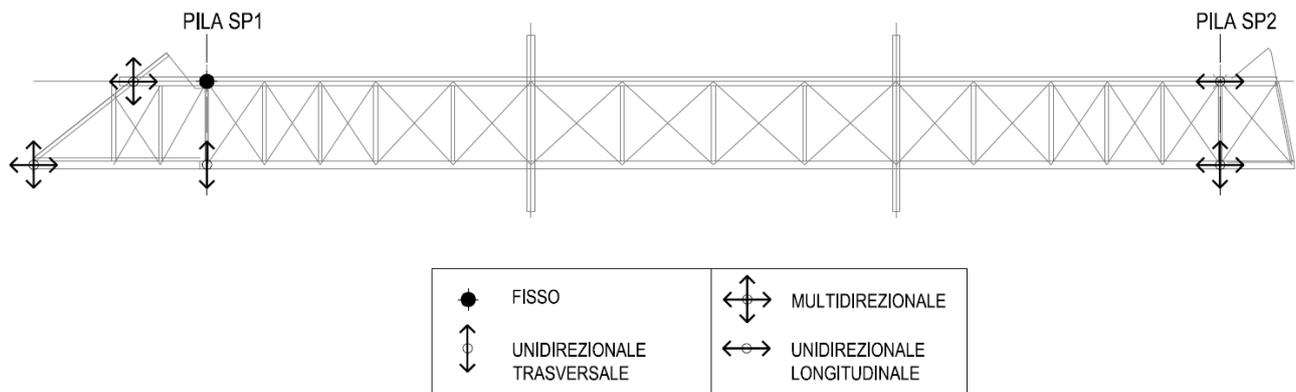


Figura 5-5 schema appoggi

## 6. ANALISI DEI CARICHI

Le azioni considerate nella progettazione della struttura sono:

$g_1$  = peso proprio delle strutture;

$g_2$  = carichi permanenti portati;

$\epsilon_3$  = variazioni termiche;

$q_1$  = carichi mobili;

$q_2$  = effetto dinamico dei carichi mobili;

$q_5$  = azione del vento;

$q_6$  = azioni sismiche;

$q_8$  = azioni sui parapetti.

### 6.1. PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE $g_1$

Il peso delle strutture è automaticamente computato dal programma FEM; inoltre per considerare il peso di bulloni, delle piastre ecc. si aumenta il peso del 10%.

Il grigliato metallico si considera come peso strutturale pari a  $1,0 \text{ kN/m}^2$ .

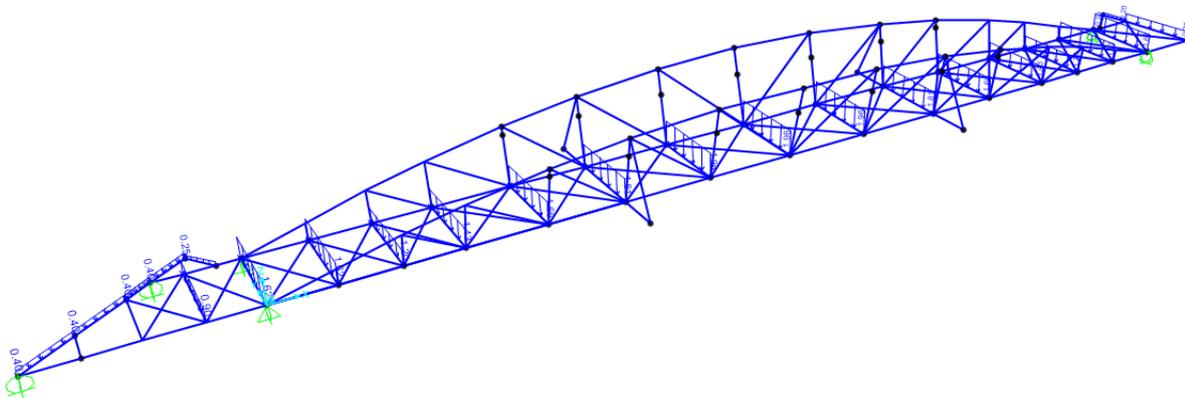


Figura 6-1 applicazione peso grigliati metallici

### 6.2. CARICHI PERMANENTI PORTATI $g_2$

Si assume a favore di sicurezza il peso dei parapetti e delle reti metalliche pari a  $0.5 \text{ kN/m}^2$ .

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato

Foglio  
14 di 61

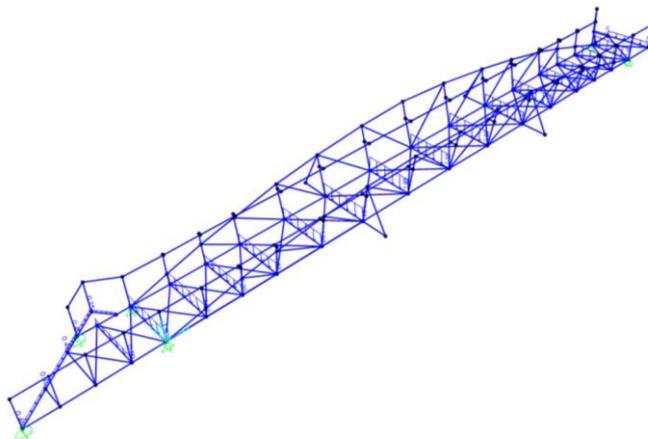


Figura 6-2 applicazione carichi  $g_2$

### 6.3. VARIAZIONI TERMICHE $\epsilon_3$

Si considera la variazione di temperatura per strutture in acciaio esposte pari a  $\pm 25^\circ\text{C}$  rispetto alla temperatura iniziale di riferimento, assunta quale convenzionale zero termico. Il carico viene applicato direttamente agli elementi frame.

### 6.4. CARICO FOLLA $q_1$

Per i ponti di 3<sup>a</sup> categoria si considerano i seguenti carichi:

- Carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0.7m ai fini del calcolo delle strutture secondarie;
- Carico della folla uniformemente ripartito in superficie pari a 4.0 kN/m<sup>2</sup>

### 6.5. EFFETTO DINAMICO DEI CARICHI MOBILI $q_2$

L'entità dei carichi mobili deve essere maggiorata per tener conto degli effetti dinamici. In mancanza di analisi specifiche che prendano in conto le caratteristiche dinamiche della struttura, nonché la velocità di progetto della strada, le caratteristiche delle sospensioni dei carichi e la rugosità del manto stradale, l'incremento  $q_2$  è fornito da  $q_2 = (\Phi - 1) q_1$ , ove il coefficiente dinamico, ha la seguente espressione:

$$\Phi = 1,4 = (L - 10)/150$$

con le limitazioni  $\Phi = 1,4$  per  $L \leq 10$  m,  $\Phi = 1$  per  $L \leq 70$  m

Per  $L = 20$  m si deve assumere:

$$\Phi = 1,4 - (L - 10)/150 = 1,33$$

A favore di sicurezza è stato assunto un valore pari a 1,4.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato

Foglio  
15 di 61

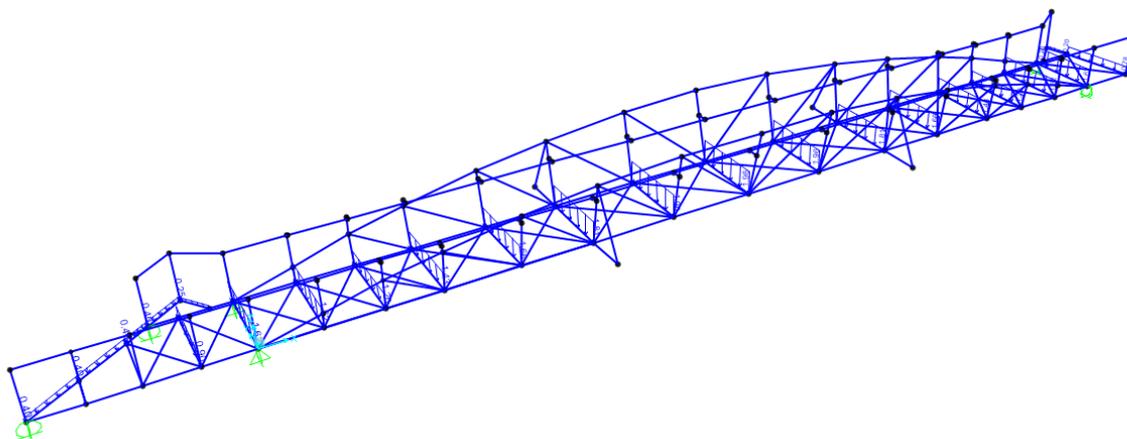


Figura 6-3 applicazione carichi  $q_1+q_2$

## 6.6. AZIONE DEL VENTO Q5

L'azione del vento può essere convenzionalmente assimilata ad una carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse del ponte agente sulla protezione – nel piano verticale- delle superfici direttamente investite dal vento.

In accordo con (3) si assume una pressione pari a  $2,50 \text{ kN/m}^2$  agente sul paramento della passerella esposto e ipotizzato a favore di sicurezza come un elemento rettangolare di altezza pari a 1,80 m.

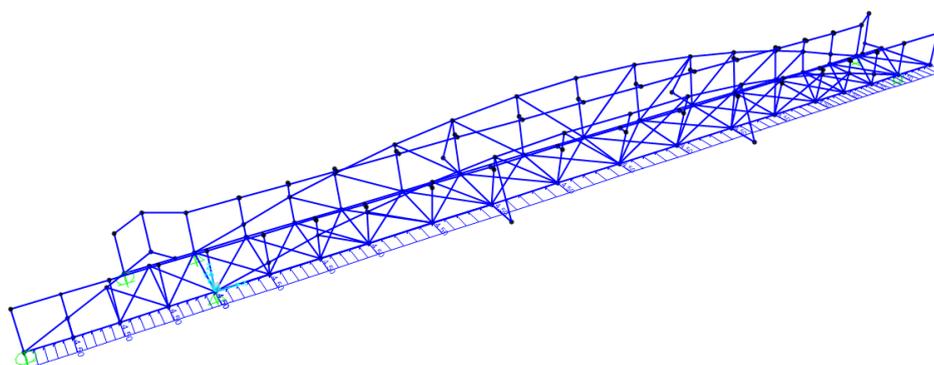


Figura 6-4 applicazione carico  $q_5$

## 6.7. AZIONE SISMICA Q6

Si fa riferimento alla seguente normativa (cui si rimanda per approfondimento e dettagli):

- D.M. 16/02/96 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”
- Circolare 10/04/97 n°65/AA.GG. – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui ad D.M. 16.01.1996

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato

- Ordinanza della protezione civile n.2788 del 12/06/1998 “Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale” GU 146 del 25/06/1998

L’analisi statica degli effetti sismici può essere effettuata per costruzioni con struttura regolare e con elementi di luce corrente. Gli effetti sismici sono valutati mediante analisi statica delle strutture soggette ad un sistema di forze:

- Orizzontali parallele alle direzioni ipotizzate per il sisma.
- Verticali, distribuite sulla struttura proporzionalmente alle masse presenti.

La risultante delle forze orizzontali è valutata con l’espressione:

$$F_h = k_{hi} \cdot W_i$$

$k_{hi} = C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot I$  è il coefficiente sismico orizzontale

$C = (S-2)/100$  il coefficiente d’intensità sismica;

$S$  = il grado di sismicità;

$R$  = il coefficiente di risposta relativo alla direzione considerata;

$I$  = il coefficiente di protezione sismica;

$W$  = il peso complessivo delle masse ( $g_1 + g_2$ )

La risultante di forze verticali viene valutata con l’espressione:

$$F_v = k_v \cdot W_i$$

$k_v = \pm 0.2$  è il coefficiente sismico verticale

In ogni caso il coefficiente  $k_v$  deve essere moltiplicato per  $I$ .

#### 6.7.1. Coefficiente d’intensità sismica

La normativa di riferimento (DM 16/01/96) prevede che il coefficiente di intensità sismica ( $C$ ) venga calcolato sulla base della correlazione di cui al seguito (con “ $S$ ” si indica il grado di sismicità del comune):

$$C = \text{coefficiente di intensità sismica} = (S - 2) / 100$$

In analogia a quanto assunto nel progetto definitivo si considera:

$$S = 6$$

$$C = 0.04$$

#### 6.7.2. Coefficiente di risposta

Si assume come coefficiente di risposta  $R$  della struttura pari a  $R=1,0$  non avendo determinato il periodo fondamentale della struttura.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato

### 6.7.3. Coefficiente di protezione sismica

Per le opere la cui resistenza al sisma è di importanza primaria per le necessità della protezione civile, per il coefficiente di protezione sismica si assume  $I=1.4$

### 6.7.4. Coefficiente di struttura $\beta$

In accordo con DM 90 per strutture isostatiche ed in genere per strutture con limitata duttilità, quali pile singole di ponti a travata e pile a telaio per quanto riguarda le azioni fuori del piano del telaio si assume  $\beta=1.2$

Per gli apparecchi di appoggio e i dispositivi di ritegno si assume  $\beta=2.5$

### 6.7.5. Coefficiente di fondazione

Il parametro  $\varepsilon$  che definisce gli effetti di amplificazione locale viene definito in funzione delle caratteristiche stratigrafiche del terreno.

Per strati superficiali alluvionali di spessore compreso tra 5 e 20 m su substrato rigido si assume  $\varepsilon=1.3$

## 6.8. AZIONI SUI PARAPETTI $q_8$

L'azione sui parapetti è assimilata ad un carico uniformemente distribuito orizzontale pari a 1.3 kN/m applicato al corrimano.

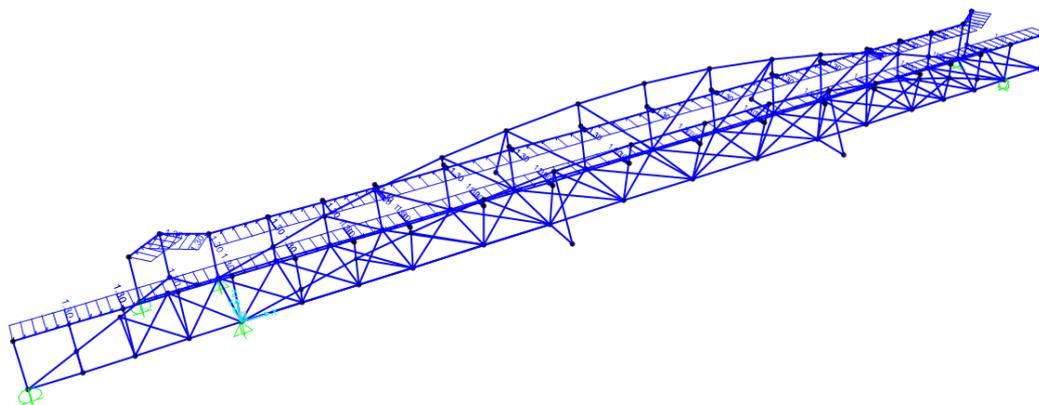


Figura 6-5 Azione sui parapetti

## 7. COMBINAZIONI

Le combinazioni di carico da considerare nelle verifiche devono essere stabilite in modo da garantire la sicurezza secondo quanto prescritto dalle "Norme sulla sicurezza e sui carichi".

Di regola, salvo casi particolari adeguatamente motivati, saranno prese in conto le combinazioni di cui alla tabella allegata (effetto delle temperatura va letto sia con segno positivo che negativo), con le seguenti precisazioni:

### Stati limite ultimi

Azione gruppo	$g_1$	$g_2$	$\epsilon_3$	$q_1$	$q_2$	$q_5$	$q_6$	$q_8$
U I	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,2(0)			1,5		1,5
U II	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,2(0)	1,5	1,5	0,9		1,5
U III	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,2(0)	1,5	1,5	0,3		1,5
U IV	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,2(0)	1,5	1,5	0,3		1,5

### Stati limite di esercizio fessurazione

Azione gruppo	$g_1$	$g_2$	$\epsilon_3$	$q_1$	$q_2$	$q_5$	$q_6$	$q_8$
F I	1	1	1			0,4		
F II	1	1	1	$\psi_1=0.85$	$\psi_1=0.85$			
F III	1	1	1	$\psi_2=0.59$	$\psi_2=0.59$			

### Sismica

Azione gruppo	$g_1$	$g_2$	$\epsilon_3$	$q_1$	$q_2$	$q_5$	$q_6$	$q_8$
A V	1	1	1				1	

$\beta_1 = 0,7$  per spinta delle terre

$\beta_2 = 0,5$  per spinta delle terre

$\beta_1 = 0$  per azioni spingenti di origine idraulica

$\beta_2 =$  per azioni spingenti di origine idraulica

(\*) 0,4 per le verifiche agli stati limite di esercizio

(\*\*) da valutare caso per caso

(\*\*\*) Operando con il metodo delle tensioni ammissibili, si rammenta l'obbligo di effettuare la verifica a rottura della sezione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato</p>	<p>Foglio 19 di 61</p>

I coefficienti  $\psi_1$  e  $\psi_2$  valgono:

$$\psi_1 = 0,40 + 0,74 \left( \frac{100 - L}{100} \right)^2 = 0.85$$

$$\psi_2 = 0,25 + 0,556 \left( \frac{100 - L}{100} \right)^2 = 0.59$$

per strutture principali con luce di calcolo L compresa fra 10 e 100 metri;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato

## 8. VERIFICHE SICUREZZA

Le verifiche saranno svolte secondo quanto previsto nella CNR 10011 con il metodo degli stati limite. La progettazione degli elementi strutturali avviene sulla base delle combinazioni dei casi di carico SLU.

Gli elementi tipo trave sono sottoposti alle verifiche previste ai punti:

### 6. Verifiche di resistenza delle membrature

#### 6.2 Trazione

$\sigma_N = \frac{N}{A_{eff}} \leq f_d \text{ stati limite}$	N l'azione assiale di trazione A <sub>eff</sub> l'area effettiva
--	---

#### 6.3 Compressione

$\sigma_N = \frac{N}{A} \leq f_d \text{ stati limite}$	N l'azione assiale di compressione A l'area nominale del profilo
--	---

#### 6.4 Taglio e torsione

$\tau \leq \frac{f_d}{\sqrt{3}} \text{ stati limite}$	
---	--

#### 6.5 Flessione

##### Flessione semplice

$\sigma_M = \frac{M}{\psi W} \leq f_d \text{ stati limite}$	M il valore del momento flettente; W il modulo resistente elastico della sezione netta; $\Psi \geq 1$ un coefficiente di parziale adattamento plastico.
---	---

##### Flessione deviata

$\sigma_M = \left( \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \frac{1}{\psi} \leq f_d$	M <sub>x</sub> , M <sub>y</sub> i valori del momento flettente nei due piani principali d'inerzia; W <sub>x</sub> , W <sub>y</sub> i corrispondenti valori dei moduli resistenti elastici; $\Psi \geq 1$ il coefficiente di parziale adattamento plastico corrispondente al piano di inflessione
---	--

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato

### 6.6 Pressoflessione

$\sigma_N + \sigma_M \leq f_d$ stati limite	$\sigma_N$ lo sforzo normale causato da azioni assiali di trazione e compressione e valutato secondo i punti 6.2 o 6.3 $\sigma_M$ lo sforzo normale causato dal momento flettente e valutato secondo il punto 6.5
---	--

### 6.7 Stati pluriassiali

$\sigma_{id} \leq f_d$ <b>stati limite</b>	$\sigma_{id} = \pm \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$
--	---

### 7. Verifiche di stabilità

Si introduce un nuovo coefficiente di sicurezza  $\nu=1.0$  per stati limite

### 7.2 Aste compresse

$\sigma_N = \omega \frac{N}{A} \leq f_d$ <b>stati limite</b>	<p>N l'azione assiale di trazione</p> <p>A area nominale</p> <p><math>\omega</math> coefficienti in funzione della snellezza dell'asta</p>
--	--

### 7.3 Travi inflesse a parete piena

Per le travi a doppio T laminate, inflesse nel piano della anima si deve verificare che:

$\sigma_N = \frac{\omega_1 M_{eq}}{\psi W} \leq f_d$ <b>stati limite</b>	<p><math>\omega</math> coefficiente adimensionale</p> <p>M il valore del momento flettente;</p> <p>W il modulo resistente elastico della sezione netta;</p> <p><math>\Psi \geq 1</math> un coefficiente di parziale adattamento plastico</p>
--	--

### 7.4 Aste pressoinflesse

Nel caso di aste prismatiche soggette ad un carico di compressione e a momenti flettenti  $M_x, M_y$

$\frac{\omega N}{A} + \frac{M_{x,eq}}{\psi_x W_x \left(1 - \frac{\nu N}{N_{cr,x}}\right)} + \frac{M_{y,eq}}{\psi_y W_y \left(1 - \frac{\nu N}{N_{cr,y}}\right)} \leq f_d$ <b>stati limite</b>
---

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato	Foglio 22 di 61

## 7.7 Archi

Con riferimento alle combinazioni di carico, la stabilità globale deve essere garantita con coefficiente di sicurezza non minore di 1.6; il coefficiente di sicurezza è il rapporto tra i carichi corrispondenti alla predetta instabilità e quelli corrispondenti alle citate combinazioni di carico.

### 8.1. ARCO

L'arco è composto da una sezione cava circolare con diametro esterno pari a 219.1 mm e spessore di 12.5 mm.

La stabilità trasversale dell'arco è affidata a due puntoni diagonali che riducono la lunghezza libera d'inflessione dell'arco stesso a circa 1/3 considerando quindi una lunghezza libera d'inflessione per le due direzioni principali pari a  $L_0 = 7200$  mm

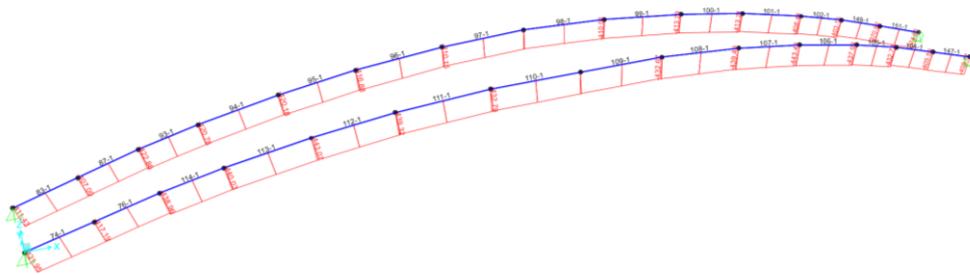


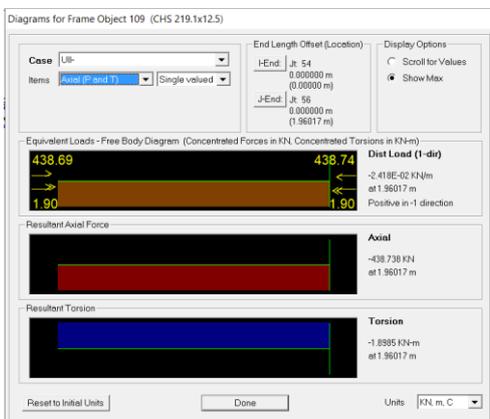
Figura 8-1 Sforzo normale

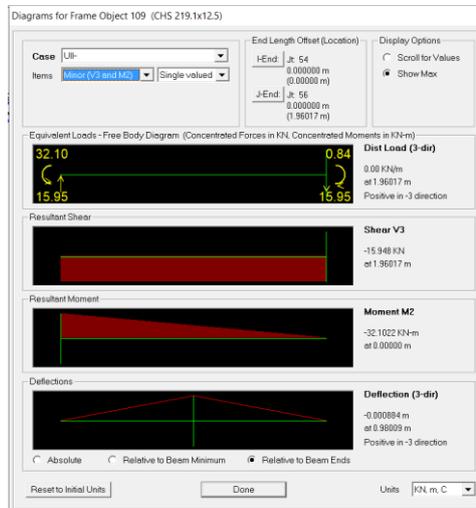
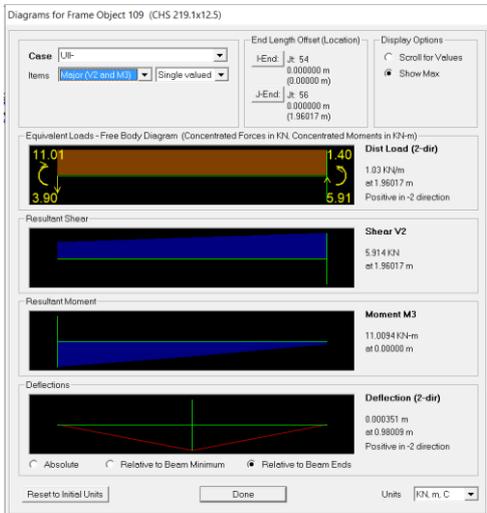
Si riportano le sollecitazioni massime e minime per ogni parametro di sollecitazione.

	COMB	P [kN]	M <sub>2</sub> [kNm]	M <sub>3</sub> [kNm]
P <sub>max</sub>	UI	-147	5	6
P <sub>min</sub>	UII	-447	7	2
M <sub>2,max</sub>	UII	-428	35	12
M <sub>2,min</sub>	UIII	-437	-33	11
M <sub>3,max</sub>	UII	-384	2	13
M <sub>3,min</sub>	UII	-387	2	-6

	COMB	V <sub>2</sub> [kN]	V <sub>3</sub> [kN]	T [kNm]
V <sub>2,max</sub>	UII	12	0	-1
V <sub>2,min</sub>	UII	-9	0	-7
V <sub>3,max</sub>	UIII	-6	16	1
V <sub>3,min</sub>	UII	4	-16	-2
T <sub>max</sub>	UIII	-1	1	7
T <sub>min</sub>	UI	-2	0	-8

Le verifiche sono state effettuate sull'elemento più sfruttato di cui si riportano le sollecitazioni:





Caratteristiche profilo

D	tw	A	I	W	i	It	Anet	$\psi_z$	$\psi_y$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
219.10	12.50	8113.16	4.34E+07	3.97E+05	73.18	8.69E+07	8113.2	1.0	1.0

Caratteristiche acciaio

acciaio	$f_y$	$f_t$	E	$\gamma_M$	$\nu$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

Coefficienti sicurezza

Sollecitazione di calcolo

N	M3	M2	V2	V3	T
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
-440.0	12.0	-33.0	6.0	16.0	2.0

Verifica resistenza

Tensione normale massima

pti		$\sigma_{1,max}$	
		[MPa]	
1	top center	-84.49	<b>Verifica</b>
2	middle-left	-137.44	<b>Verifica</b>
3	bott. cent	-23.97	<b>Verifica</b>
4	mid.-right	28.98	<b>Verifica</b>

$\tau$  taglio

$\tau$
[MPa]
3.93
1.48
3.93
1.48

$\tau$  torsione - Bredt

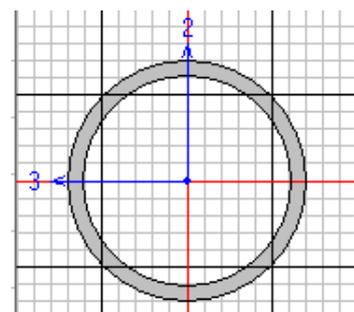
$\tau_{y,1}$
[MPa]
2.25

Stati pluriassiali

$\sigma_{id,1}$	
[MPa]	
85.17	<b>Verifica</b>
137.59	<b>Verifica</b>
26.26	<b>Verifica</b>
29.69	<b>Verifica</b>

Verifica stabilità - aste compresse

direzione	$l_0 = \beta L$	$N_{crit}$	$\lambda$	$\omega$	$\sigma$	
[-]	[mm]	[kN]	[-]	[-]	[MPa]	
3-3	7200	1704	98.4	2.10	113.9	<b>verificato</b>
2-2	7200	1704	98.4	2.10	113.9	<b>verificato</b>





## Verifica stabilità - aste pressoinfesse



direzione [-]	diagr M [-]	$M_{max}; M_A$ [kNm]	$M_m; M_B$ [kNm]	$M_{eq}$ [kNm]	$\sigma_M$ [MPa]	$\sigma$ [MPa]
3-3	caso 2	11.01	-1.40	7.17	24.4	206.10
2-2	caso 2	-33.00	0.40	19.96	67.9	

verificato con rapporto Resistente/Sollecitante = 1.72

$$|M_A| \geq |M_B|$$

## 8.2. CATENA

La catena è realizzata da una un profilo HEB 200.

Con riferimento alla verifica per stabilità laterale delle travi inflesse si considera come  $L=2$  m (pari al massimo interasse dei traversi), la lunghezza di un campo di trave fra due ritegni torsionali successivi, che impediscono cioè la rotazione della sezione intorno all'asse longitudinale.

Per la verifica delle sezioni forate si rimanda al capitolo delle verifiche dei giunti, in cui si verifica localmente la resistenza a trazione/flessione della sezione depurata dei fori per il passaggio dei bulloni M12.

Si riporta l'involuppo delle sollecitazioni:

	COMB	P [kN]	M <sub>2</sub> [kNm]	M <sub>3</sub> [kNm]
P <sub>max</sub>	UII	507	1	4
P <sub>min</sub>	UI-	25	0	0
M <sub>2,max</sub>	UI	223	5	3
M <sub>2,min</sub>	UI	52	-5	1
M <sub>3,max</sub>	UII	387	1	17
M <sub>3,min</sub>	UII	367	-5	-10

	COMB	V <sub>2</sub> [kN]	V <sub>3</sub> [kN]	T [kNm]
V <sub>2,max</sub>	UII	17	5	0
V <sub>2,min</sub>	UII	-12	-2	0
V <sub>3,max</sub>	UI	0	8	0
V <sub>3,min</sub>	UI	0	-9	0
T <sub>max</sub>	UII	-12	-1	0
T <sub>min</sub>	UIII	-12	0	0

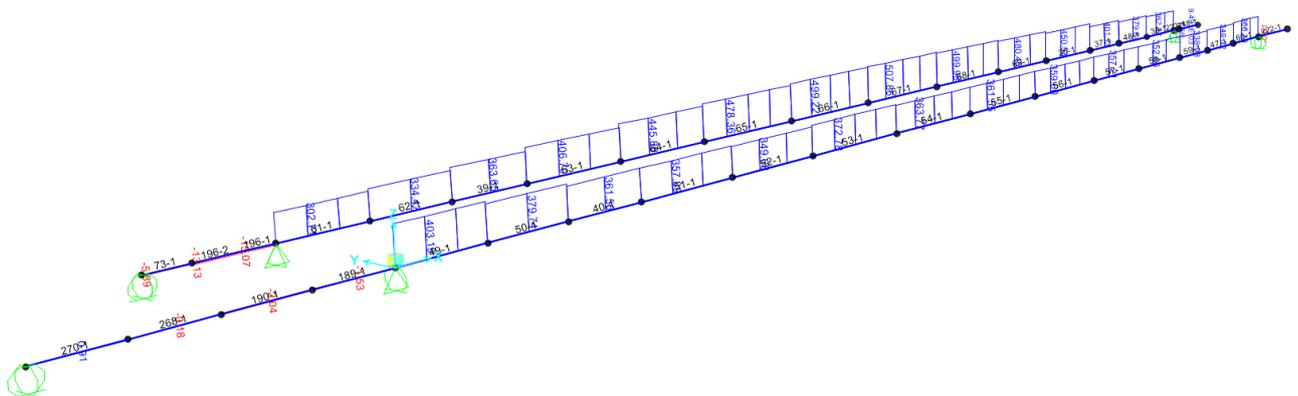


Figura 8-2 Sforzo normale di trazione

Si riportano le verifiche per l'involuppo delle sollecitazioni:

**Verifica catena HEB 200 -in accordo con CNR 10011**

Caratteristiche profili **HE 200 B**

h	b	tw	tf	r	hw	d	cf
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
200.00	200.00	9.00	15.00	18.00	170.00	134.00	77.50

A	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>	I <sub>t</sub>	A <sub>net</sub>	ψ <sub>z</sub>	ψ <sub>y</sub>
[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
7808.12	5.70E+07	5.70E+05	85.41	2.00E+07	2.00E+05	50.65	5.93E+05	7808.1	1.0	1.0

Caratteristiche acciaio

acciaio	Coefficienti sicurezza				
	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E	γ <sub>M</sub>	v
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

Sollecitazione di calcolo

N	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	T	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
508.0	-8.0	17.0	0.0	19.0	11.0

Verifica resistenza

Tensione normale massima pi 1,2,3

σ <sub>1A,max</sub>	σ <sub>1B,max</sub>	σ <sub>3C,max</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
54.97	75.15	90.43

Verifica

Tensioni tangenziali medie taglio

T <sub>2C,medio</sub>	T <sub>3A,B</sub>
[MPa]	[MPa]
12.42	1.83

Verifica

Stati pluriassiali

σ <sub>id,A</sub>	σ <sub>id,B</sub>	σ <sub>id,C</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
55.06	75.22	92.95

Verifica

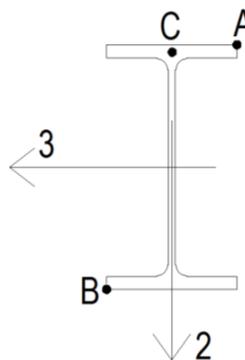
Verifica stabilità – aste compresse

direzione	l <sub>0</sub> =βL	N <sub>crit</sub>	λ	ω	σ
[-]	[mm]	[kN]	[-]	[-]	[MPa]
2-2	2000	10183	39.5		0.0
3-3	2000	28953	23.4		0.0

verificato

verificato

OSS: 3-3 asse maggiore inerzia



Svergolamento travi inflesse

direzione	M <sub>eq</sub>	L	hL/(btf)	ω1	applicaz. carichi	σ <sub>M</sub>
[-]	[kNm]	[mm]	[-]	[-]		[MPa]
3-3	12.75	2000.00	133.33	1.00	1.40	31.3

verificato

Verifica stabilità – aste pressoinflesse

direzione	diagr M	M <sub>max</sub> ; M <sub>A</sub>	M <sub>m</sub> ; M <sub>B</sub>	M <sub>eq</sub>	σ <sub>M</sub>	σ
[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
2-2	caso 1	-8.00		-6.00	-31.5	54.31
3-3	caso 1	17.00		12.75	22.8	

verificato con rapporto 6.53

$$|M_A| \geq |M_B|$$

Si riporta inoltre la verifica dell'elemento a sbalzo terminale in cui si considera una lunghezza L per la verifica a svergolamento pari a due volte la lunghezza della mensola L=3000 mm.

**Verifica sbalzo HEB 200 -in accordo con CNR 10011**
**Caratteristiche profili HE 200 B**

h	b	tw	tf	r	hw	d	cf
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
200.00	200.00	9.00	15.00	18.00	170.00	134.00	77.50

A	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>	I <sub>t</sub>	A <sub>net</sub>	ψ <sub>z</sub>	ψ <sub>y</sub>
[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
7808.12	5.70E+07	5.70E+05	85.41	2.00E+07	2.00E+05	50.65	5.93E+05	7808.1	1.0	1.0

**Caratteristiche acciaio**

acciaio	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E	γ <sub>M</sub>	v
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

**Coefficienti sicurezza**
**Sollecitazione di calcolo**

N	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	T	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
-5.0	-9.0	17.0	2.0	16.0	11.0

**Verifica resistenza**
**Tensione normale massima pti 1,2,3**

σ <sub>1A,max</sub>	σ <sub>1B,max</sub>	σ <sub>3C,max</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
-15.72	14.44	24.73

**Verifica**
**Tensioni tangenziali medie taglio**

T <sub>2C,medio</sub>	T <sub>3A,B</sub>
[MPa]	[MPa]
10.46	1.83

**Verifica**
**Stati pluriassiali**

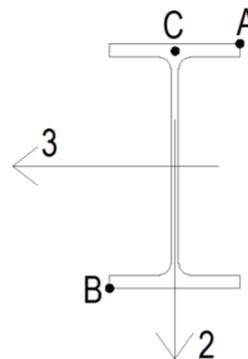
σ <sub>id ,A</sub>	σ <sub>id ,B</sub>	σ <sub>id ,C</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
16.04	14.78	30.65

**Verifica**
**Verifica stabilità - aste compresse**

direzione	l <sub>0</sub> =βL	N <sub>crit</sub>	λ	ω	σ
[-]	[mm]	[kN]	[-]	[-]	[MPa]
2-2	3000	4526	59.2	1.35	0.9
3-3	3000	12868	35.1	1.08	0.7

**verificato**
**verificato**

OSS: 3-3 asse maggiore inerzia


**Svergolamento travi inflesse**

direzione	M <sub>eq</sub>	L	hL/(btf)	ω <sub>1</sub>	applicaz. carichi	σ <sub>M</sub>
[-]	[kNm]	[mm]	[-]	[-]		[MPa]
3-3	12.75	3000.00	200.00	1.00	1.40	31.3

**verificato**
**Verifica stabilità - aste pressoinflesse**

direzione	diagr M	M <sub>max</sub> ; M <sub>A</sub>	M <sub>m</sub> ; M <sub>B</sub>	M <sub>eq</sub>	σ <sub>M</sub>	σ
[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
2-2	caso 1	-9.00	0.00	-6.75	-33.7	56.99
3-3	caso 1	17.00	0.00	12.75	22.4	

**verificato con rapporto 6.22**

$$|M_A| \geq |M_B|$$

### 8.1. DIAGONALI E MONTANTI

I diagonali e i montanti sono realizzati con profili a sezione cava circolare 101.6x8 mm.

Si riporta l'involuppo delle sollecitazioni:

	COMB	P [kN]	M <sub>2</sub> [kNm]	M <sub>3</sub> [kNm]
P <sub>max</sub>	UII	51	0	1
P <sub>min</sub>	UIII	-37	0	0
M <sub>2,max</sub>	UIII	30	4	0
M <sub>2,min</sub>	UII	25	-4	0
M <sub>3,max</sub>	UI	9	0	2
M <sub>3,min</sub>	UI	4	0	0

	COMB	V <sub>2</sub> [kN]	V <sub>3</sub> [kN]	T [kNm]
V <sub>2,max</sub>	UI	3	0	-1
V <sub>2,min</sub>	UI	-3	0	0
V <sub>3,max</sub>	UIII	0	4	1
V <sub>3,min</sub>	UII	0	-4	-1
T <sub>max</sub>	UIII	0	0	1
T <sub>min</sub>	UII	0	0	-1

Si riporta la verifica per l'elemento compresso considerando una lunghezza libera d'inflexione uguale per le due direzioni principali pari a L= 1900 mm.

Caratteristiche profilo

D [mm]	t <sub>w</sub> [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	I [mm <sup>4</sup> ]	W [mm <sup>3</sup> ]	i [mm]	I <sub>t</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>net</sub> [mm <sup>2</sup> ]	ψ <sub>z</sub> [-]	ψ <sub>y</sub> [-]
101.60	8.00	2352.42	2.60E+06	5.11E+04	33.21	5.19E+06	2352.4	1.0	1.0

Caratteristiche acciaio

acciaio	f <sub>y</sub> [MPa]	f <sub>t</sub> [MPa]	E [MPa]	γ <sub>M</sub> [-]	ν [-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

Coefficienti sicurezza

Sollecitazione di calcolo

N [kN]	M3 [kNm]	M2 [kNm]	V2 [kN]	V3 [kN]	T [kNm]
-37.0	2.0	4.0	3.0	4.0	1.0

Verifica resistenza

Tensione normale massima

pti		σ <sub>1,max</sub> [MPa]	Verifica	τ taglio τ [MPa]
1	top center	-54.88	Verifica	3.38
2	middle-left	62.58	Verifica	2.54
3	bott. cent.	23.42	Verifica	3.38
4	mid.-right	-94.03	Verifica	2.54

τ torsione - Bredt

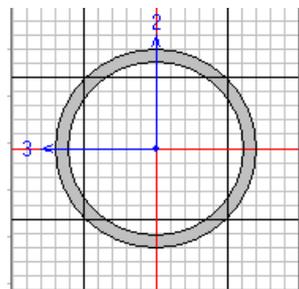
T <sub>y,1</sub> [MPa]
8.35

Stati pluriassiali

σ <sub>ed,1</sub> [MPa]	Verifica
58.53	Verifica
65.36	Verifica
31.02	Verifica
95.91	Verifica

Verifica stabilità - aste compresse

direzione [-]	l <sub>0</sub> =βL [mm]	N <sub>crit</sub> [kN]	λ [-]	ω [-]	σ [MPa]	verificato
3-3	1900	1461	57.2	1.23	19.3	verificato
2-2	1900	1461	57.2	1.23	19.3	verificato



Verifica stabilità - aste pressoinflesse

direzione [-]	diagr M [-]	M <sub>max</sub> ; M <sub>A</sub> [kNm]	M <sub>m</sub> ; M <sub>B</sub> [kNm]	M <sub>eq</sub> [kNm]	σ <sub>M</sub> [MPa]	σ [MPa]
3-3	caso 2	2.00	-2.00	2.00	40.2	139.85
2-2	caso 2	4.00	-4.00	4.00	80.3	

verificato con rapporto Resistente/Sollecitante = 2.53

$$|M_A| \geq |M_B|$$

Si riporta la verifica per l'elemento teso:

## Caratteristiche profilo

D	tw	A	I	W	i	It	Anet	$\psi_z$	$\psi_y$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
101.60	8.00	2352.42	2.60E+06	5.11E+04	33.21	5.19E+06	2352.4	1.0	1.0

## Caratteristiche acciaio

## Coefficienti sicurezza

acciaio	$f_y$	$f_d$	E	$\gamma_M$	$\nu$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

## Sollecitazione di calcolo

N	M3	M2	V2	V3	T
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
51.0	2.0	4.0	4.0	4.0	1.0

## Verifica resistenza

## Tensione normale massima

pti		$\sigma_{1,max}$	
		[MPa]	
1	top center	-17.47	<b>Verifica</b>
2	middle-left	99.98	<b>Verifica</b>
3	bott. cent.	60.83	<b>Verifica</b>
4	mid.-right	-56.62	<b>Verifica</b>

 $\tau$  taglio

$\tau$
[MPa]
3.38
3.38
3.38
3.38

 $\tau$  torsione - Bredt

$\tau_{y,1}$
[MPa]
8.35

## Stati pluriassiali

$\sigma_{id,1}$	
[MPa]	
26.81	<b>Verifica</b>
102.03	<b>Verifica</b>
64.14	<b>Verifica</b>
60.16	<b>Verifica</b>

## 8.2. TRAVERSI

I traversi sono costituiti da profili IPE 200 e HEB 200.

Con riferimento alla verifica per stabilità laterale delle travi inflesse si considera come:

- $L=1,8$  m pari alla lunghezza dell'elemento per IPE 200 e HEB 200;
- $L=2 \times 09=1,8$  m pari a due volte la lunghezza dell'elemento per HEB 200 a sbalzo che sostiene il puntone diagonale.

Per le verifiche delle sezioni forate si rimanda al capitolo relativo ai giunti.

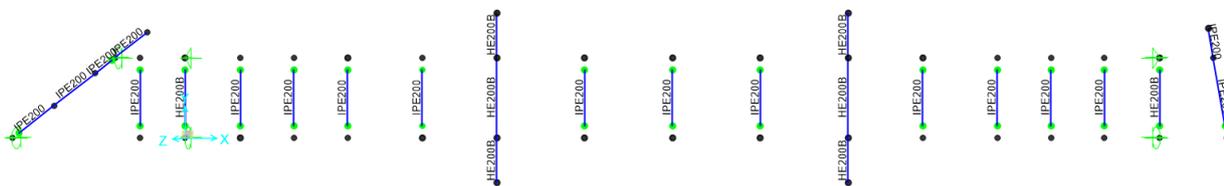


Figura 8-3 Individuazione traversi – vista in pianta modello FEM

Si riporta l'involuppo delle sollecitazioni per le tre tipologie di traverso:

### 1) IPE 200

	COMB	P [kN]	M <sub>2</sub> [kNm]	M <sub>3</sub> [kNm]
P <sub>max</sub>	UIII	1	0	0
P <sub>min</sub>	UI-	-83	0	0
M <sub>2,max</sub>	UI-	-6	0	1
M <sub>2,min</sub>	UI-	-12	-1	0
M <sub>3,max</sub>	UII	-29	0	8
M <sub>3,min</sub>	UII	-1	0	-4

	COMB	V <sub>2</sub> [kN]	V <sub>3</sub> [kN]	T [kNm]
V <sub>2,max</sub>	UII	19	0	0
V <sub>2,min</sub>	UII	-19	0	0
V <sub>3,max</sub>	UI-	0	1	0
V <sub>3,min</sub>	UI-	0	-1	0
T <sub>max</sub>	UIII	-6	0	0
T <sub>min</sub>	UIII	-7	0	-1

### 2) HEB 200 interne

	COMB	P [kN]	M <sub>2</sub> [kNm]	M <sub>3</sub> [kNm]
P <sub>max</sub>	UIII	3	0	-32
P <sub>min</sub>	UI	-115	0	0
M <sub>2,max</sub>	UI	-24	8	-33
M <sub>2,min</sub>	UI-	-24	-8	-32
M <sub>3,max</sub>	UII	-56	0	7
M <sub>3,min</sub>	UIII	0	1	-34

	COMB	V <sub>2</sub> [kN]	V <sub>3</sub> [kN]	T [kNm]
V <sub>2,max</sub>	UII	18	5	0
V <sub>2,min</sub>	UII	-20	-2	0
V <sub>3,max</sub>	UI	-5	8	0
V <sub>3,min</sub>	UI	-7	-4	0
T <sub>max</sub>	UI	-4	0	0
T <sub>min</sub>	UI	-4	0	0



## 3) HEB 200 a sbalzo

	COMB	P [kN]	M <sub>2</sub> [kNm]	M <sub>3</sub> [kNm]
P <sub>max</sub>	UIII	17	0	0
P <sub>min</sub>	UI	13	0	-27
M <sub>2,max</sub>	UII	14	1	-29
M <sub>2,min</sub>	UII	16	-1	-33
M <sub>3,max</sub>	UIII	15	0	0
M <sub>3,min</sub>	UIII	17	-1	-34

	COMB	V <sub>2</sub> [kN]	V <sub>3</sub> [kN]	T [kNm]
V <sub>2,max</sub>	UIII	34	0	0
V <sub>2,min</sub>	UII	-34	0	0
V <sub>3,max</sub>	UII	-30	1	0
V <sub>3,min</sub>	UIII	32	0	0
T <sub>max</sub>	UII	-30	1	0
T <sub>min</sub>	UII	-34	0	0

## Verifica IPE 200

### Verifica profilo IPE 200 in accordo con CNR 10011

#### Caratteristiche profili IPE 200

h	b	tw	tf	r	hw	d	cf
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
200.00	100.00	5.60	8.50	12.00	183.00	159.00	35.20

A	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>	I <sub>t</sub>	A <sub>net</sub>	ψ <sub>z</sub>	ψ <sub>y</sub>
[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
2848.41	1.94E+07	1.94E+05	82.59	1.42E+06	2.85E+04	22.36	6.98E+04	2848.4	1.0	1.0

#### Caratteristiche acciaio

acciaio	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E	γ <sub>M</sub>	v
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

#### Coefficienti sicurezza

#### Sollecitazione di calcolo

N	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	T	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
-83.0	-1.0	8.0	-1.0	-19.0	1.0

#### Verifica resistenza

##### Tensione normale massima pti 1,2,3

σ <sub>1A,max</sub>	σ <sub>1B,max</sub>	σ <sub>3C,max</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
-23.09	-35.19	8.53

**Verifica**

##### Tensioni tangenziali medie taglio

τ <sub>2C,medio</sub>	τ <sub>3A,B</sub>
[MPa]	[MPa]
-18.54	0.59

**Verifica**

##### Stati pluriassiali

σ <sub>id,A</sub>	σ <sub>id,B</sub>	σ <sub>id,C</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
23.11	35.20	33.23

**Verifica**

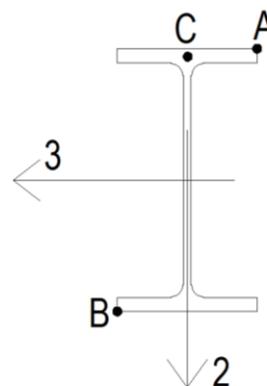
#### Verifica stabilità - aste compresse

direzione	l <sub>0</sub> =βL	N <sub>crit</sub>	λ	ω	σ
[-]	[mm]	[kN]	[-]	[-]	[MPa]
2-2	1800	893	80.5	1.79	52.2
3-3	1800	12194	21.8	1.03	30.0

**verificato**

**verificato**

OSS: 3-3 asse maggoire inerzia



#### Svergolamento travi inflesse

direzione	M <sub>eq</sub>	L	hL/(bt <sub>f</sub> )	ω <sub>1</sub>	applicaz. carichi	σ <sub>M</sub>
[-]	[kNm]	[mm]	[-]	[-]		[MPa]
3-3	6.88	1800.00	423.53	1.25	1.40	61.8

**verificato**

#### Verifica stabilità - aste pressoinflesse

direzione	diagr M	M <sub>max</sub> ; M <sub>A</sub>	M <sub>m</sub> ; M <sub>B</sub>	M <sub>eq</sub>	σ <sub>M</sub>	σ
[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
2-2	caso 2	-1.00	-1.00	-1.00	-38.7	126.53
3-3	caso 1	8.00	0.00	6.88	35.6	

**verificato con rapporto 2.8**

$$|M_A| \geq |M_B|$$

Verifica HEB 200 interne

**Verifica profilo HE 200 B in accordo con CNR 10011**

Caratteristiche profili HE 200 B

h	b	tw	tf	r	hw	d	cf
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
200.00	200.00	9.00	15.00	18.00	170.00	134.00	77.50

A	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>	I <sub>t</sub>	A <sub>net</sub>	ψ <sub>z</sub>	ψ <sub>y</sub>
[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
7808.12	5.70E+07	5.70E+05	85.41	2.00E+07	2.00E+05	50.65	5.93E+05	7808.1	1.0	1.0

Caratteristiche acciaio

acciaio	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E	γ <sub>M</sub>	v
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

Coefficienti sicurezza

Sollecitazione di calcolo

N	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	T	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
-115.0	8.0	-35.0	0.0	20.0	8.0

Verifica resistenza

Tensione normale massima pti 1,2,3

σ <sub>1A,max</sub>	σ <sub>1B,max</sub>	σ <sub>3C,max</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
-36.24	6.78	-66.96

Verifica

Tensioni tangenziali medie taglio

τ <sub>2C,medio</sub>	τ <sub>3A,B</sub>
[MPa]	[MPa]
13.07	1.33

Verifica

Stati pluriassiali

σ <sub>id,A</sub>	σ <sub>id,B</sub>	σ <sub>id,C</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
36.31	7.17	70.68

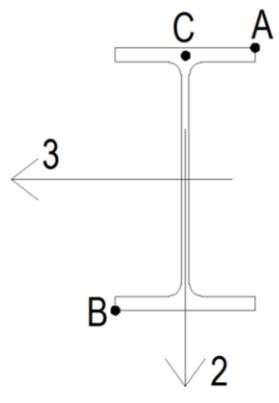
Verifica

Verifica stabilità - aste compresse

direzione	l <sub>0</sub> =βL	N <sub>crit</sub>	λ	ω	σ
[-]	[mm]	[kN]	[-]	[-]	[MPa]
2-2	1800	12571	35.5	1.12	16.5
3-3	1800	35744	21.1	1.03	15.2

verificato  
verificato

OSS: 3-3 asse maggoire inerzia



Svergolamento travi inflesse

direzione	M <sub>eq</sub>	L	hL/(btf)	ω1	applicaz. carichi	σ <sub>M</sub>
[-]	[kNm]	[mm]	[-]	[-]		[MPa]
3-3	-30.10	1800.00	120.00	1.00	1.40	74.0

verificato

Verifica stabilità - aste pressoinflesse

direzione	diagr M	M <sub>max</sub> ; M <sub>A</sub>	M <sub>m</sub> ; M <sub>B</sub>	M <sub>eq</sub>	σ <sub>M</sub>	σ
[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
2-2	caso 2	8.00	8.00	8.00	40.3	109.81
3-3	caso 2	-35.00	-35.00	-30.10	-53.0	

verificato con rapporto 3.23

$|M_A| \geq |M_B|$

## Verifica HEB 200 a sbalzo

### Verifica profilo HE 200 B in accordo con CNR 10011

#### Caratteristiche profili HE 200 B

h	b	tw	tf	r	hw	d	Cf
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
200.00	200.00	9.00	15.00	18.00	170.00	134.00	77.50

A	Iy	Wy	iy	Iz	Wz	iz	It	A <sub>net</sub>	ψz	ψy
[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
7808.12	5.70E+07	5.70E+05	85.41	2.00E+07	2.00E+05	50.65	5.93E+05	7808.1	1.0	1.0

#### Caratteristiche acciaio

acciaio	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E	γ <sub>M</sub>	v
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 510	355	355	206000	1.00	1.00

#### Coefficienti sicurezza

#### Sollecitazione di calcolo

N	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	T	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
17.0	1.0	-34.0	0.0	34.0	1.0

#### Verifica resistenza

##### Tensione normale massima pti 1,2,3

σ <sub>1A,max</sub>	σ <sub>1B,max</sub>	σ <sub>3C,max</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
-52.52	56.87	-48.56

**Verifica**

##### Tensioni tangenziali medie taglio

T <sub>2C,medio</sub>	T <sub>3A,B</sub>
[MPa]	[MPa]
22.22	0.17

**Verifica**

##### Stati pluriassiali

σ <sub>id,A</sub>	σ <sub>id,B</sub>	σ <sub>id,C</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
52.52	56.88	61.96

**Verifica**

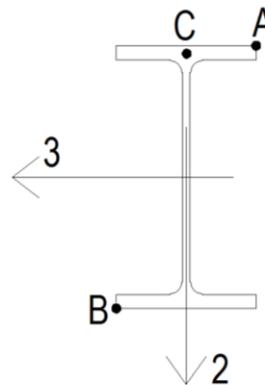
#### Verifica stabilità – aste compresse

direzione	l <sub>0</sub> =βL	N <sub>crit</sub>	λ	ω	σ
[-]	[mm]	[kN]	[-]	[-]	[MPa]
2-2	1800	12571	35.5		0.0
3-3	1800	35744	21.1		0.0

**verificato**

**verificato**

OSS: 3-3 asse maggiore inerzia



#### Svergolamento travi inflesse

direzione	M <sub>eq</sub>	L	hL/(btf)	ω1	applicaz. carichi	σ <sub>M</sub>
[-]	[kNm]	[mm]	[-]	[-]		[MPa]
3-3	-25.50	1800	120.00	1.00	1.40	62.7

**verificato**

#### Verifica stabilità – aste pressoinflesse

direzione	diagr M	M <sub>max</sub> ; M <sub>A</sub>	M <sub>m</sub> ; M <sub>B</sub>	M <sub>eq</sub>	σ <sub>M</sub>	σ
[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
2-2	caso 2			0.00	0.0	0.00
3-3	caso 2	0.00	0.00	0.00	0.0	

**verificato con rapporto 505294.65**

$$|M_A| \geq |M_B|$$

### 8.3. CONTROVENTI

Il sistema di controvento è realizzato da tondi  $\Phi$  24mm. La massima azione di trazione è pari a 100 kN. Ed è dovuta all'azione del vento.

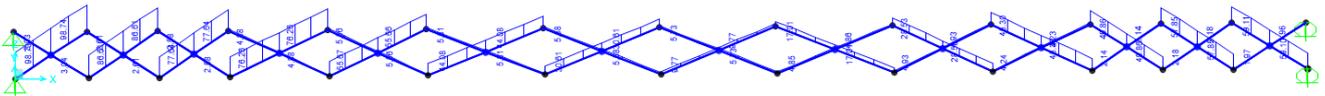
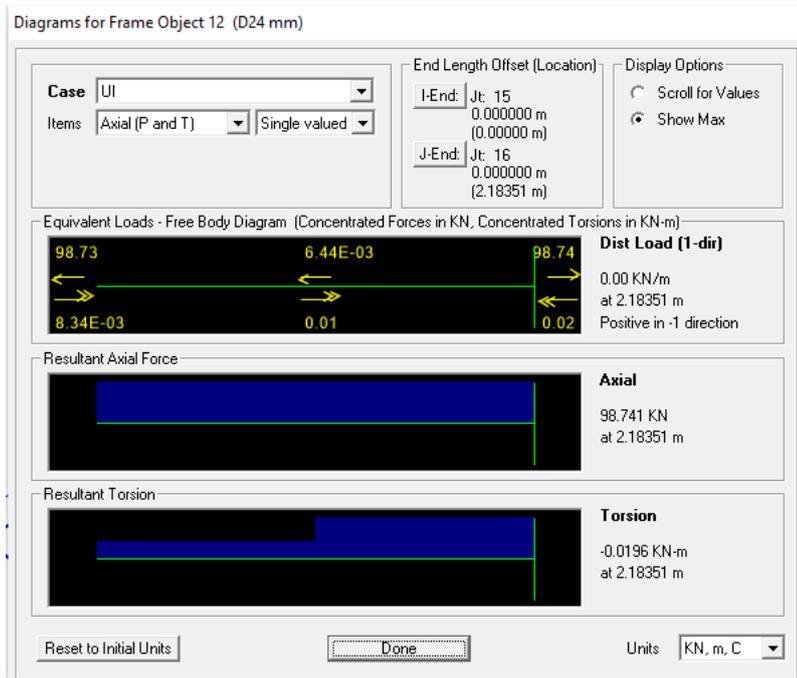


Figura 8-4 diagramma sforzo normale

Si riporta in dettaglio la sollecitazione di trazione massima:



La verifica viene effettuata considerando l'area netta del sistema del controvento con manicotto.

## Verifica manicotto cetroventi

Caratteristiche acciaio barra (vite)				
acciaio	$f_y$ [MPa]	$f_t$ [MPa]	E [MPa]	$\gamma_M$ [-]
Fe 510	355	355	206000	1.00

Caratteristiche acciaio manicotto (madrevite)				
acciaio	$f_y$ [MPa]	$f_t$ [MPa]	E [MPa]	$\gamma_M$ [-]
Fe 510	355	355	206000	1.00

## Sollecitazione, caratteristiche e resistenza filettatura barra

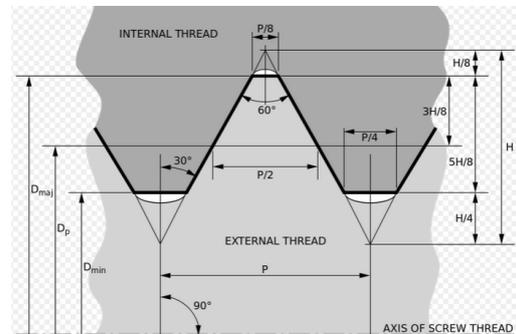
N	D	p	dn	dm	dres	Ares	$\sigma_{\text{filetto}}$	Verifica
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	
100	24	2.00	21.5	22.7	22.1	384.4	260.1	SI

## Verifica resistenza manicotto

$D_{\text{ext}}$	A	$\sigma_{\text{filetto}}$	Verifica
[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	
32.00	351.86	284.2	SI

## Lunghezza filetto

h	n° filetti
[mm]	[-]
21.000	10.50



### 8.4. GRIGLIATO

Il grigliato metallico è realizzato mediante piatti portanti con altezza pari a 50 mm e spessore 3 mm con interasse di 15mm. Il calcolo viene svolto considerando la massima luce L=2m.

#### Verifica grigliato

##### Caratteristiche piatto

h	t	i	A	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> /m]	[mm <sup>4</sup> /m]	[mm <sup>3</sup> /m]
50.00	3.00	15.00	10000.00	2.08E+06	8.33E+04

##### distanza app

L
[mm]
2000.00

##### Caratteristiche acciaio

acciaio	f <sub>y</sub>	f <sub>d</sub>	E	γ <sub>M</sub>	v
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
Fe 360	235	235	206000	1.00	1.00

##### Coefficienti sicurezza

##### Sollecitazione di calcolo

q	M	V
[kN/m]	[kNm]	[kN]
11.4	5.7	11.4

##### Verifica resistenza

##### Stati pluriassiali

σ	τ	σ <sub>id,1</sub>
[MPa]	[MPa]	[MPa]
68.40	76.00	148.35

Verifica

##### Verifica freccia

##### Stati pluriassiali

f	L/f
[mm]	[-]
5.53	361.40

Verifica

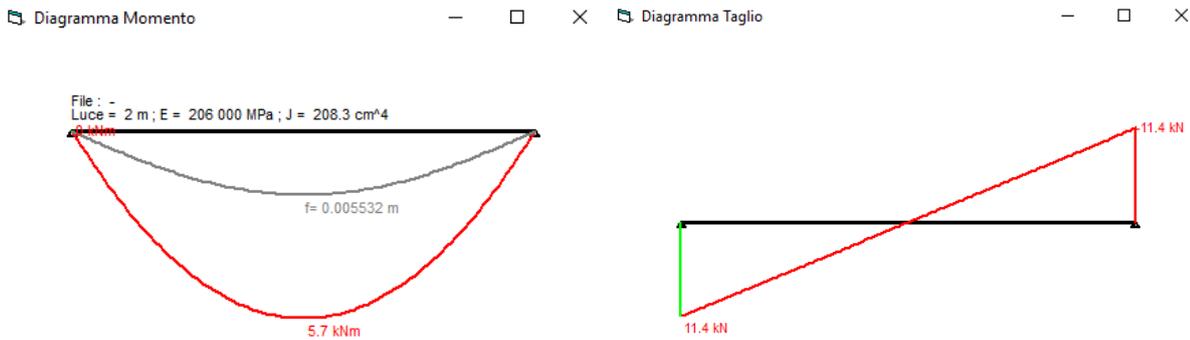


Figura 8-5 diagramma parametri di sollecitazioni su 1m di grigliato

## 9. APPOGGI E GIUNTI

### 9.1. REAZIONI VINCOLARI

Si riportano le reazioni vincolari per le combinazioni:

- 1) Statiche SLU;
- 2) Sismica con  $\beta=1,2$  con cui si dimensionano le pile;
- 3) Sismica con  $\beta=2.5$  con cui si dimensionano gli apparecchi di appoggio e i dispositivi di ritegno in genere

I nodi 1 e 15 sono in asse con la pila SP1 mentre i nodi 14 e 27 con la pila SP2.



Figura 9-1 individuazione dei nodi vincolati nel modello FEM

#### 1) Statiche SLU

Si riportano le reazioni vincolari per le diverse combinazioni di carico considerando che:

F1= reazione in direzione longitudinale (parallela asse del ponte)

F2= reazione in direzione trasversale (perpendicolare asse ponte)

F3 =reazione verticale (positivo di compressione)

Nodo 1: vincolo fisso VF

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	UI	Combination	112	-106	59	0	0	0
1	UII	Combination	70	-62	156	0	0	0
1	UIII	Combination	25	-18	156	0	0	0
1	UIV	Combination	25	-18	156	0	0	0
1	UI-	Combination	112	-106	59	0	0	0
1	UII-	Combination	70	-62	156	0	0	0
1	UIII-	Combination	25	-18	156	0	0	0
1	UIV-	Combination	25	-18	156	0	0	0

Nodo 15: vincolo unidirezionale trasversale VU\*

**TABLE: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
15	UI	Combination	-111	0	65	0	0	0
15	UII	Combination	-68	0	162	0	0	0
15	UIII	Combination	-24	0	162	0	0	0
15	UIV	Combination	-24	0	162	0	0	0
15	UI-	Combination	-111	0	65	0	0	0
15	UII-	Combination	-68	0	162	0	0	0
15	UIII-	Combination	-24	0	162	0	0	0
15	UIV-	Combination	-24	0	162	0	0	0

Nodo 14: vincolo unidirezionale longitudinale VU

**TABLE: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
14	UI	Combination	0	-72	64	0	0	0
14	UII	Combination	0	-43	167	0	0	0
14	UIII	Combination	0	-14	167	0	0	0
14	UIV	Combination	0	-14	167	0	0	0
14	UI-	Combination	0	-72	64	0	0	0
14	UII-	Combination	0	-43	167	0	0	0
14	UIII-	Combination	0	-14	167	0	0	0
14	UIV-	Combination	0	-14	167	0	0	0

Nodo 27: vincolo multidirezionale VM

**TABLE: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
27	UI	Combination	0	0	62	0	0	0
27	UII	Combination	0	0	161	0	0	0
27	UIII	Combination	0	0	161	0	0	0
27	UIV	Combination	0	0	161	0	0	0
27	UI-	Combination	0	0	62	0	0	0
27	UII-	Combination	0	0	161	0	0	0
27	UIII-	Combination	0	0	161	0	0	0
27	UIV-	Combination	0	0	161	0	0	0

Nodo 37: vincolo multidirezionale VM

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
37	UI	Combination	0	0	5	0	0	0
37	UII	Combination	0	0	17	0	0	0
37	UIII	Combination	0	0	17	0	0	0
37	UIV	Combination	0	0	17	0	0	0
37	UI-	Combination	0	0	5	0	0	0
37	UII-	Combination	0	0	17	0	0	0
37	UIII-	Combination	0	0	17	0	0	0
37	UIV-	Combination	0	0	17	0	0	0

Nodo 142: vincolo multidirezionale VM

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
142	UI	Combination	0	0	6	0	0	0
142	UII	Combination	0	0	12	0	0	0
142	UIII	Combination	0	0	12	0	0	0
142	UIV	Combination	0	0	12	0	0	0
142	UI-	Combination	0	0	6	0	0	0
142	UII-	Combination	0	0	12	0	0	0
142	UIII-	Combination	0	0	12	0	0	0
142	UIV-	Combination	0	0	12	0	0	0

2) Sismica con  $\beta=1,2$  per calcolo impalcato e sottostruttura

Azione sismica orizzontale  $\beta=1.2$

Risultante azione sismica orizzontale

$g_{1,tot}$	$g_{2,tot}$	W	S	C	$\epsilon$	$\beta$	I	direz	R	$F_h$
[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]
150.00	25.0	175.00	6.0	0.04	1.3	1.2	1.4	x-x	1.0	15.29
								y-y	1.0	15.29

Reazioni sismiche direz. x-x

nodo	$F_1$	$F_3$
[-]	[kN]	[kN]
1	7.64	43.75
15	7.64	43.75

Reazioni sismiche direz. y-y

nodo	$F_2$	$F_3$
[-]	[kN]	[kN]
1	7.64	43.75
14	7.64	43.75

### 3) Sismica con $\beta=2.5$ per calcolo appoggi

#### Azione sismica orizzontale $\beta=2.5$

Risultante azione sismica orizzontale

$g_{1,tot}$ [kN]	$g_{2,tot}$ [kN]	W [kN]	S [-]	C [-]	$\epsilon$ [-]	$\beta$ [-]	I [-]	direz [-]	R [-]	$F_h$ [kN]
150.00	25.0	175.00	6.0	0.04	1.3	2.5	1.4	x-x	1.0	31.85
								y-y	1.0	31.85

Reazioni sismiche direz. x-x

nodo [-]	$F_1$ [kN]	$F_3$ [kN]
1	15.93	43.75
15	15.93	43.75

Reazioni sismiche direz. y-y

nodo [-]	$F_2$ [kN]	$F_3$ [kN]
1	15.93	43.75
14	15.93	43.75

#### Azione sismica verticale

Risultante azione sismica verticale

$g_{1,tot}$ [kN]	$g_{2,tot}$ [kN]	W [kN]	$k_v$ [-]	I [-]	direz [-]	R [-]	$F_h$ [kN]
150.00	25.0	175.00	0.2	1.4	z+	1.0	49.00
					z-	-1.0	-49.00

Reazioni sismiche direz. y-y

nodo [-]	$F_{3,s}$ [kN]	$F_{3,tot,max}$ [kN]	$F_{3,tot,min}$ [kN]
1	12.25	56.00	31.50
15	12.25	56.00	31.50
14	12.25	56.00	31.50
27	12.25	56.00	31.50

Si utilizzano i seguenti appoggi:

- Vincolo fisso VF HIGH 50-15 tipo FIP o equivalente;
- Unidirezionale longitudinale VU HIGH 50/100-15 tipo FIP o equivalente;
- Unidirezionale trasversale VU\* HIGH 50-15/50 tipo FIP o equivalente;
- Multidirezionale VM 50/100/50 tipo FIP o equivalente.

## 9.2. GIUNTO DI DILATAZIONE

Gli spostamenti orizzontali complessivi dovuti alla dilatazione termica e alle rotazioni agli appoggi per carichi verticali sono stati calcolati direttamente sul modello di calcolo e sono nel caso più sfavorevole delle condizioni di esercizio pari a:

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians
135	UI	Combination	11	-1	3	0	0	0
135	UII	Combination	14	-1	6	0	0	0
135	UIII	Combination	14	0	6	0	0	0
135	UIV	Combination	14	0	6	0	0	0
135	UI-	Combination	-5	-1	3	0	0	0
135	UII-	Combination	-2	-1	6	0	0	0
135	UIII-	Combination	-2	0	6	0	0	0
135	UIV-	Combination	-2	0	6	0	0	0
136	UI	Combination	9	-2	2	0	0	0
136	UII	Combination	13	-2	7	0	0	0
136	UIII	Combination	14	-1	8	0	0	0
136	UIV	Combination	14	-1	8	0	0	0
136	UI-	Combination	-7	-1	2	0	0	0
136	UII-	Combination	-3	0	7	0	0	0
136	UIII-	Combination	-3	0	8	0	0	0
136	UIV-	Combination	-3	0	8	0	0	0
139	UI	Combination	12	-1	3	0	0	0
139	UII	Combination	14	-1	6	0	0	0
139	UIII	Combination	14	0	5	0	0	0
139	UIV	Combination	14	0	5	0	0	0
139	UI-	Combination	-4	-2	3	0	0	0
139	UII-	Combination	-2	-1	6	0	0	0
139	UIII-	Combination	-2	0	5	0	0	0
139	UIV-	Combination	-2	0	5	0	0	0
		min	-7	-2	2	0	0	0
		max	14	0	8	0	0	0

**Si assume un giunto di dilatazione minimo pari a 50 mm.**

U1= spostamento in direzione longitudinale (parallelo asse del ponte);

U2= spostamento in direzione trasversale (perpendicolare asse ponte);

U3 = spostamento verticale.

## 10. VERIFICHE DEFORMABILITA'

Per il controllo delle deformazioni si riportano gli abbassamenti riferiti all'effetto dei carichi folla  $q_1+q_2$ :

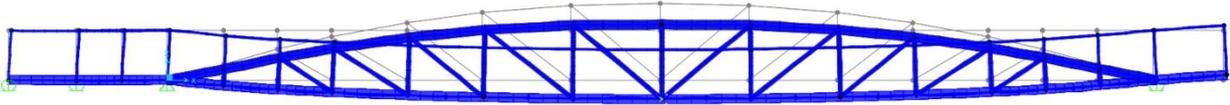


Figura 10-1 deformazione verticale

L'abbassamento nel punto di mezzeria è pari a circa  $11 \text{ mm} = L/1977$ , valore accettabile per l'opera in oggetto.

**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians
7	Q1+Q2	LinStatic	1.1	0.0	-10.9	0.0	0.0	0.0
21	Q1+Q2	LinStatic	1.1	0.0	-10.8	0.0	0.0	0.0

## 11. GIUNTI

### 11.1. GIUNTO CONTINUITA' ARCO

Il giunto di continuità dell'arco è rappresentato da un giunto bullonato flangiato realizzato con 10 bulloni M12 classe 8.8 e una piastra irrigidita.

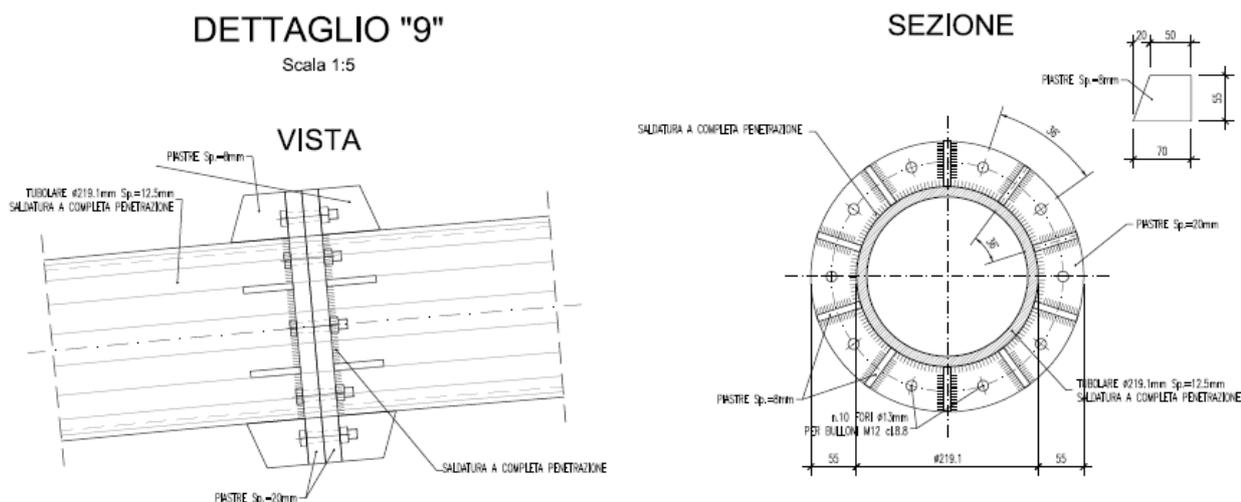


Figura 11-1 dettaglio giunto

La verifica della piastra è svolta ipotizzando uno schema a doppio incastro tra due irrigidimenti continui, soggetta ad una pressione di compressione pari a  $\sigma = 16.5$  MPa. La sezione di verifica è un elemento avente larghezza efficace pari a 55 mm (ipotizzando diffusione degli sforzi a 45°).

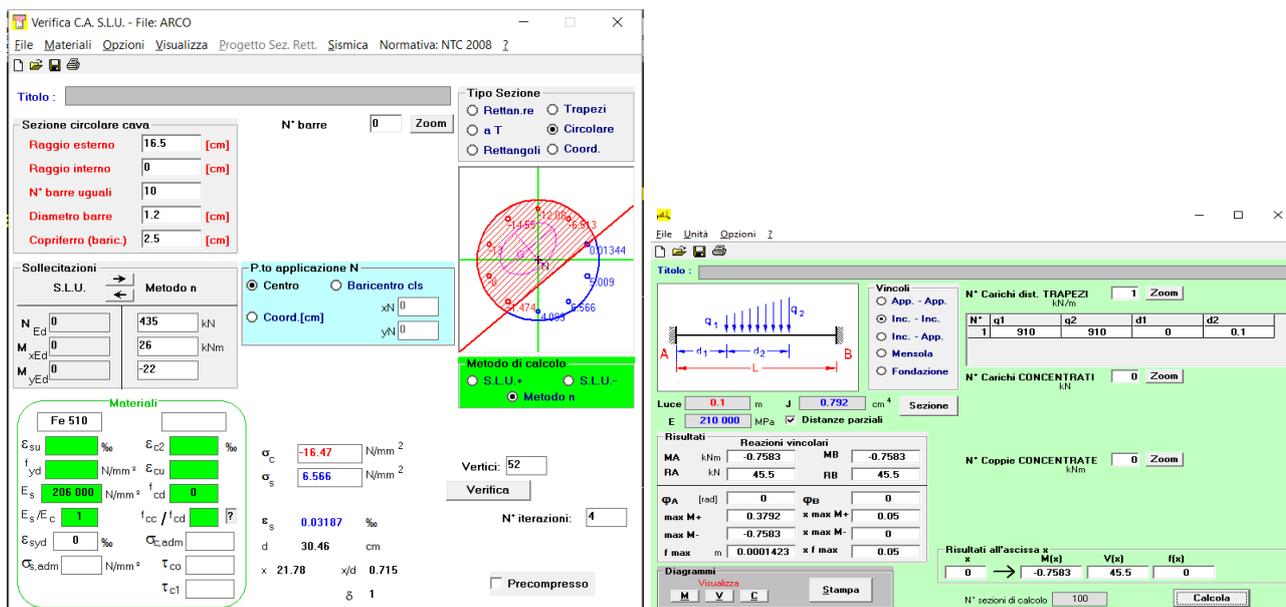


Figura 11-2 Calcolo tensione bullone e pds sulla piastra

Risolvendo lo schema a doppio incastro si ottengono le seguenti sollecitazioni:

$M = 0.8 \text{ kNm}$

$V = 45.5 \text{ kN}$

Verifica piastra

V	M	$t_p$	J	W	$b_{eff,3}$	$\sigma$	$\tau$	$\sigma_{id}$	$f_y$	$\sigma_{id} / f_{yd}$	Verifica
[kN]	[kNm]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	$\sigma_{id} \leq f_{yd}$
45.5	0.8	20.0	36667	3667	55.00	218.18	41.36	229.64	355.0	0.65	SI

I bulloni si trovano a 30 mm dal bordo libero  $> 2d$ .

## 11.2. GIUNTO CONTINUITA' DIAGONALE

Il giunto di continuità dell'elemento diagonale è rappresentato da un giunto bullonato flangiato realizzato con 6 bulloni M12 classe 8.8 e una piastra irrigidita.

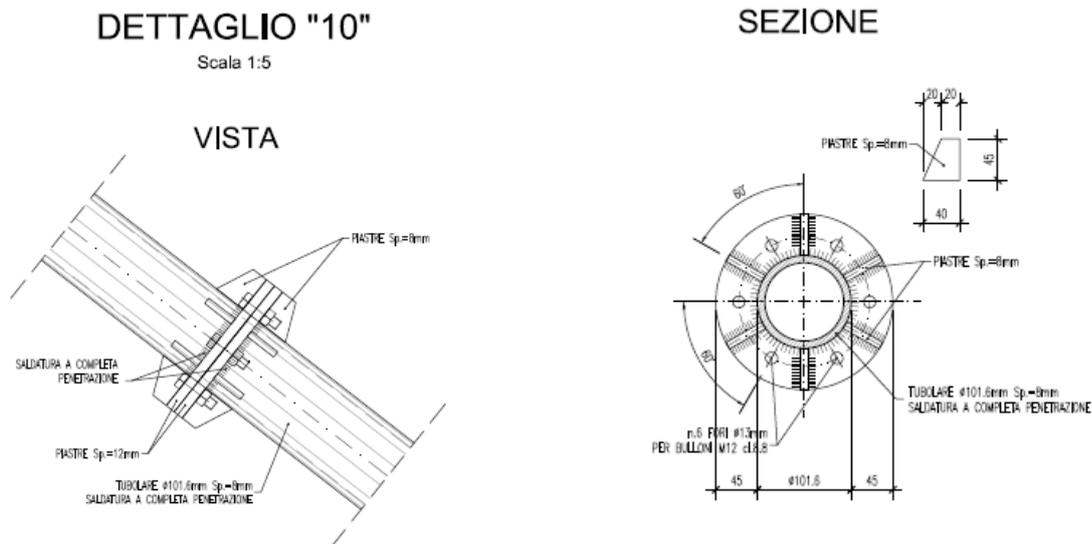


Figura 11-3 dettaglio giunto

La verifica della piastra è svolta ipotizzando uno schema a mensola soggetta ad una forza puntuale pari alla trazione sul bullone:  $T = \sigma A = 95 \text{ MPa} \times 84 \text{ mm}^2 = 8 \text{ kN}$

La sezione di verifica della piastra è un elemento avente larghezza efficace pari a 60 mm (ipotesi di diffusione a 45°).

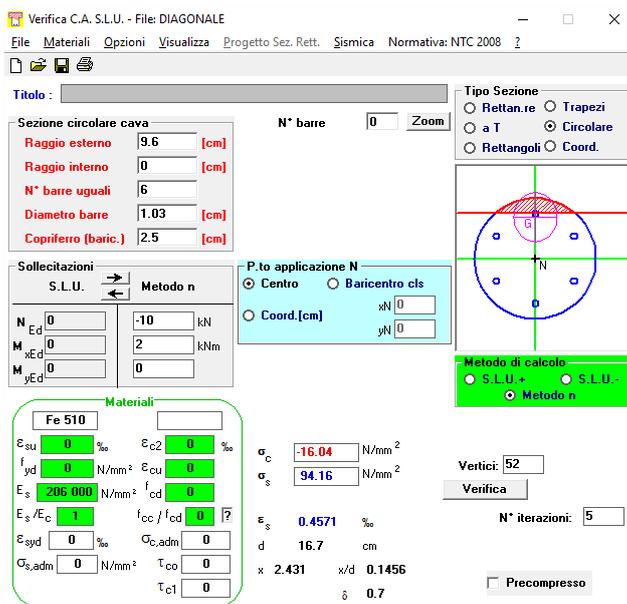


Figura 11-4 Calcolo tensione bullone



Si riporta la verifica della piastra con spessore 12mm.

*Verifica piastra mensola*

P	M	$t_p$	J	W	l	$b_{eff}$	$\sigma$	$\tau$	$\sigma_{id}$	$f_y$	$\sigma_{id} / f_y$	Verifica
[kN]	[kNm]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	$\sigma_{id} \leq f_{yd}$
8.0	0.2	12.0	8640	1440	30.00	60.00	166.67	11.11	167.77	355.0	0.47	SI

I bulloni si trovano a 25 mm dal bordo libero > 2d.

### 11.3. GIUNTO CONTINUITA' CATENA

La continuità dell'elemento catena si realizza con un giunto a coprigiunto d'ala e d'anima.

## DETTAGLIO "2"

Scala 1:5

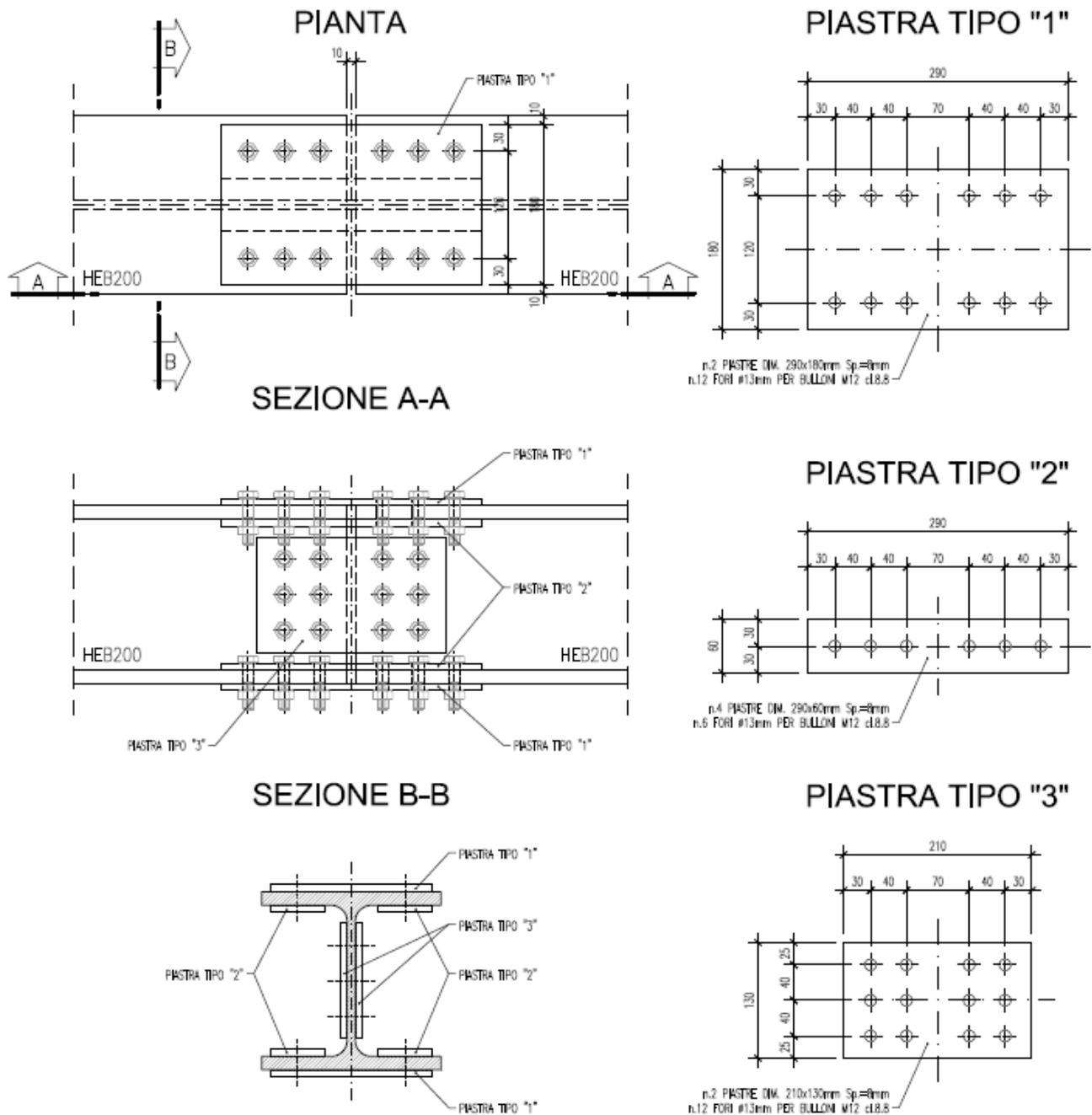


Figura 11-5 Dettaglio "2"

## VERIFICA GIUNTO CON COPRIGIUNTI

Sollecitazione di calcolo

$M_{Ed}$	flange + anima	
$N_{Ed}$	$V_{Ed}$	$M_{Ed}$
[kN]	[kN]	[kNm]
513	5	10

Caratteristiche profilo

profilo			acciaio	$f_d$	d		
HE 200 B			Fe 510	[MPa]	[mm]		
$B_{sup}$	$t_{sup}$	$B_{inf}$	$t_{inf}$	H	$t_w$	r	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
200	15.0	200	15.0	200	9.0	18.0	

Coefficienti sicurezza

$\gamma_M$	1.00
------------	------

## Verifica coprigiunto superiore e flangia superiore (forza F = 153.94 kN)

Caratteristiche singola piastra

acciaio	Fe 510	$n_{piastre}$	2
---------	--------	---------------	---

b	h	$t_p$	$f_d$	$n_{file}$	$n_{colonne}$	$n_{piani\ taglio}$
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[-]	[-]	[-]
60	290	8.0	355	1	3	2

Caratteristiche bulloni

M	12	classe	$\mu$
non precaricati		8.8	-
$d_0$	$d_m$	$A_{res}$	$f_{d,V}$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]
13.0	19.0	84	396.00

Verifica bulloni a taglio

$$\tau = 152.72 \leq f_{d,V} = 396.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

Verifica piastra coprigiunto a resistenza

$$\sigma = 102.35 \leq f_{d,N} = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

Verifica coprigiunto a rifollamento

$$\sigma_{rif} = 133.63 \leq \alpha f_d = 887.50 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$\alpha = 2.50$

Verifica flangia a resistenza

$$\sigma = 58.98 \leq f_d = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

Verifica flangia a rifollamento

$$\sigma_{rif} = 142.54 \leq \alpha f_d = 887.50 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$\alpha = 2.50$

Limitazioni posizioni fori

distanze / interassi [mm]	min [mm]	max [mm]	Verifica
a' copr	30.0	24.0	SI
a' flangia	30.0	24.0	SI
a'' coprig	30.0	18.0	SI
a'' flangia	30.0	18.0	SI
p'	40.0	36.0	SI
p''	-	-	SI

## Verifica coprigiunto inferiore e flangia inferiore (forza F = 254.82 kN)

Caratteristiche singola piastra

acciaio	Fe 510	$n_{piastre}$	2
---------	--------	---------------	---

b	h	$t_p$	$f_d$	$n_{file}$	$n_{colonne}$	$n_{piani\ taglio}$
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[-]	[-]	[-]
60	290	8.0	355	1	3	2

Caratteristiche bulloni

M	12	classe	$\mu$
non precaricati		8.8	-
$d_0$	$d_m$	$A_{res}$	$f_{d,V}$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]
13.0	19.0	84	396.00

Verifica bulloni a taglio

$$\tau = 252.80 \leq f_{d,V} = 396.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

Verifica piastra coprigiunto a resistenza

$$\sigma = 169.43 \leq f_{d,N} = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

Verifica coprigiunto a rifollamento

$$\sigma_{rif} = 221.20 \leq \alpha f_d = 887.50 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$\alpha = 2.50$

Limitazioni posizioni fori

distanze / interassi [mm]	min [mm]	max [mm]	Verifica
a' copr	30.0	24.0	SI
a' flangia	30.0	24.0	SI
a'' coprig	30.0	18.0	SI
a'' flangia	30.0	18.0	SI
p'	40.0	36.0	SI
p''	-	-	SI

**Verifica flangia a resistenza**

$$\sigma = 97.63 \leq f_{d,N} \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica flangia a rifollamento**

$$\sigma_{rif} = 235.95 \leq \alpha f_d \quad 887.50 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\alpha \quad 2.50$$

**Verifica coprigiunto anima ed anima profilo (forza orizz.  $F_x = 104.23$  kN; forza vert.  $F_z = 5$  kN; momento torcente  $M = 0.94$  kNm)**

## Caratteristiche singola piastra

acciaio	Fe 510	$n_{piastre}$	2
---------	--------	---------------	---

b	h	$t_p$	$f_d$	$n_{colonne}$	$n_{file}$	$n_{piani\ taglio}$
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[-]	[-]	[-]
210	130	8.0	355	2	3	2

## Caratteristiche bulloni

M	12	classe	$\mu$	
non precaricati		8.8	-	
$d_0$	$d_m$	$A_{res}$	$f_{d,V}$	$f_{d,N}$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]
13.0	19.0	84	396.00	560.00

**Verifica bulloni a taglio**

$$F_{x,N} = 8.69 \quad \text{kN} \quad F_{z,V} = 0.42 \quad \text{kN}$$

$$F_{x,M} = 2.14 \quad \text{kN} \quad F_{z,M} = 1.07 \quad \text{kN}$$

$$F_{v,Ed} = 10.93 \quad \text{kN}$$

**Verifica bulloni a taglio**

$$\tau = 130.14 \leq f_{d,V} \quad 396.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica piastra coprigiunto a resistenza**

$$\sigma = 98.68 \leq f_d \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\tau = 3.43 \leq f_d/\sqrt{3} \quad 204.96 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\sigma_{id} = 98.86 \leq f_d \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica coprigiunto a rifollamento**

$$\sigma_{rif} = 113.87 \leq \alpha f_d \quad 739.58 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\alpha \quad 2.08$$

**Verifica anima a resistenza**

$$\sigma = 116.91 \leq f_d \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\tau = 4.24 \leq f_d/\sqrt{3} \quad 204.96 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\sigma_{id} = 117.14 \leq f_d \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica flangia a rifollamento**

$$\sigma_{rif} = 202.44 \leq \alpha f_d \quad 739.58 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\alpha \quad 2.08$$

**Verifica profilo al netto dei fori****Verifica anima a resistenza**

$$\sigma = 94.90 \leq f_{d,N} \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\tau = 0.74 \leq f_d/\sqrt{3} \quad 204.96 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\sigma_{id} = 94.91 \leq f_d \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Limitazioni posizioni fori**

distanze / interassi	min	max	Verifica
[mm]	[mm]	[mm]	
$a''_{coprigiunto}$	25.0	24.0	SI
$a''_{anima}$	60.0	24.0	SI
$a'_{coprigiunto}$	30.0	18.0	SI
$a'_{anima}$	30.0	18.0	SI
$p''$	40.0	36.0	SI
$p'$	40.0	36.0	SI

### 11.4. GIUNTO TRA TRAVERSO IPE 200 E CATENA HEB 200

Il collegamento tra il traverso tipo IPE 200 e la catena si realizza attraverso un giunto flangiato. Si riporta la verifica a favore di sicurezza considerando eccentricità giunto pari a 300mm.

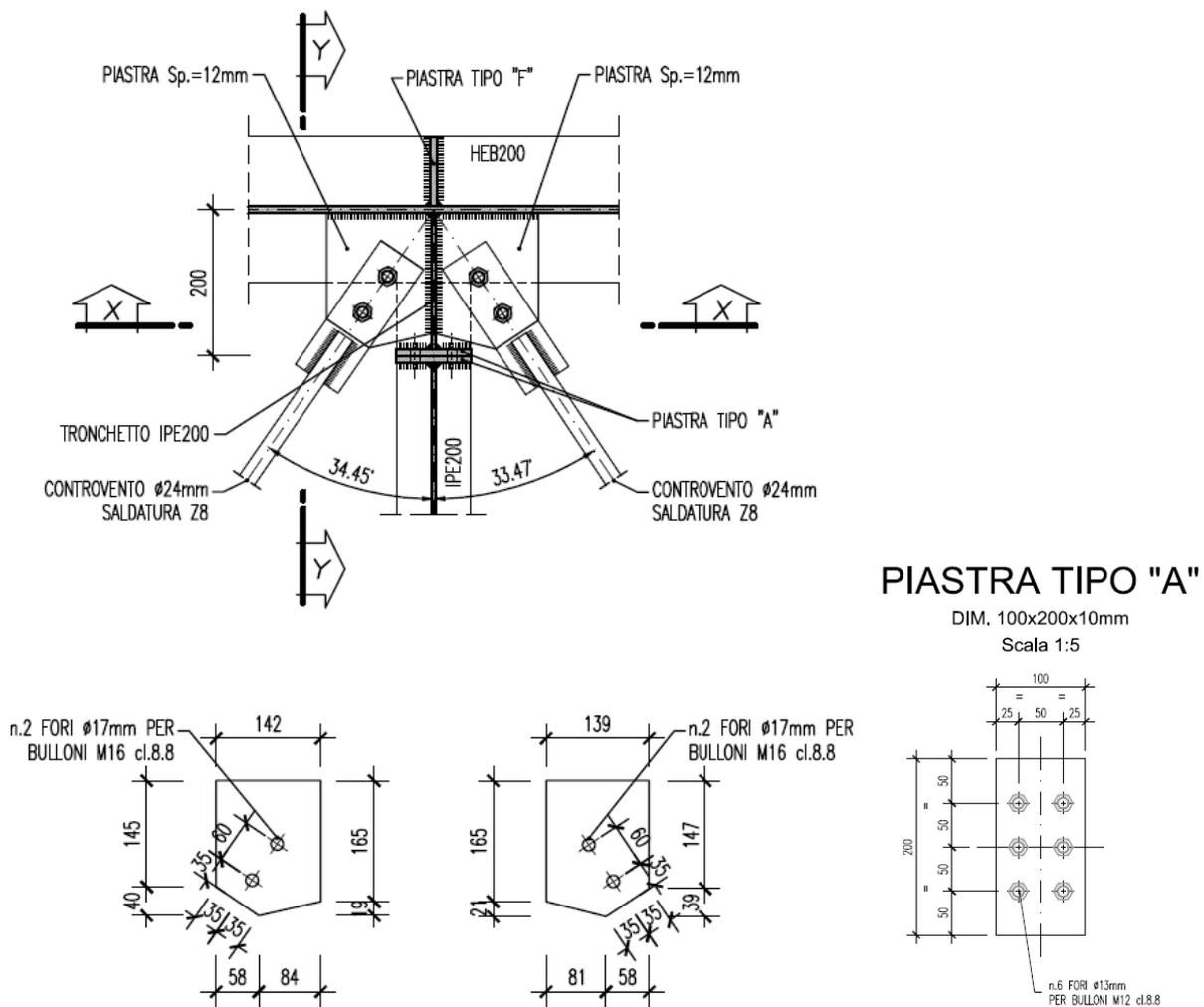


Figura 11-6 dettaglio giunto

**VERIFICA GIUNTO FLANGIATO**
**Caratteristiche piastra**

acciaio	B [mm]	H [mm]	t <sub>p</sub> [mm]	f <sub>y</sub> [MPa]
Fe 510	100.00	200.00	10.00	355

**Sollecitazione di calcolo**

V <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	e <sub>v</sub> [mm]	M <sub>Ed,tot</sub> [kNm]
20	0	300	6.00

**Coefficienti sicurezza**

γ <sub>M</sub>	1.00
----------------	------

**Caratteristiche bulloni**

n <sub>piani taglio</sub> [-]	d <sub>0</sub> [mm]	d <sub>m</sub> [mm]	M 12 classe 8.8		Profilo IPE 200		
			non precaricati		h	b	
			A <sub>res</sub> [mm <sup>2</sup> ]	f <sub>d,N</sub> [MPa]	f <sub>d,V</sub> [MPa]	t <sub>f</sub> [mm]	t <sub>w</sub> [mm]
1	13	19	84	560.00	396.00	8.50	5.60

**Valutazione dello stato tensionale indotto dal momento flettente (IPO: campo elastico)**

E <sub>s</sub> / E <sub>c</sub> [-]	n <sub>file</sub> [-]	n <sub>bul per fila</sub> [-]	e <sub>1</sub> [mm]	p <sub>1</sub> [mm]	e <sub>2</sub> [mm]	x [mm]	J [mm <sup>4</sup> ]	σ <sub>c</sub> [MPa]	N [kN]	V [kN]
1	3	2	50.00	50.00	25.00	27.11	4.18E+06	38.89	14.81	3.33

**Verifiche bulloni:**

a trazione	σ =	176.32	<	f <sub>d,N</sub>	560.00	MPa	SI
a taglio	τ =	39.68	<	f <sub>d,V</sub>	396.00	MPa	SI
a taglio-trazione	(τ / f <sub>d,V</sub> ) <sup>2</sup> + (σ / f <sub>d,N</sub> ) <sup>2</sup>	0.11	≤	1			SI

**Limitazioni posizioni fori**

distanze interassi	min [mm]	max [mm]	Verifica
a=e <sub>1</sub>	26.00	60.00	SI
a1=e <sub>2</sub>	19.50	60.00	SI
p <sub>1</sub>	39.00	150.00	SI

**Verifiche piastra** Verifica a rifollamento

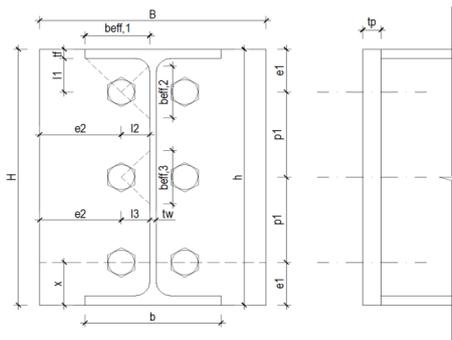
α	2.17	σ <sub>rif</sub>	27.78	<	α f <sub>y</sub>	769.17	MPa	SI
---	------	------------------	-------	---	------------------	--------	-----	----

**Verifica piastra interna al profilo**

l <sub>3</sub> [mm]	b <sub>eff,3</sub> [mm]	σ <sub>3</sub> [MPa]	f <sub>y</sub> [MPa]	σ <sub>3</sub> / f <sub>y</sub> [-]	Verifica σ <sub>3</sub> ≤ f <sub>yd</sub>
22.20	44.40	263.55	355.00	0.74	SI

**Verifica piastra in corrispondenza del bullone più sollecitato**

mensola 1			mensola 2		
l <sub>1</sub>	41.50	mm	l <sub>2</sub>	22.20	mm
b <sub>eff,1</sub>	83.00	mm	b <sub>eff,2</sub>	44.40	mm
σ <sub>1</sub>	98.86	MPa	σ <sub>2</sub>	345.47	MPa
σ <sub>1</sub> / f <sub>y</sub>	0.28	SI	σ <sub>2</sub> / f <sub>y</sub>	0.97	SI



## 11.5. GIUNTO FLANGIATO HEB 200

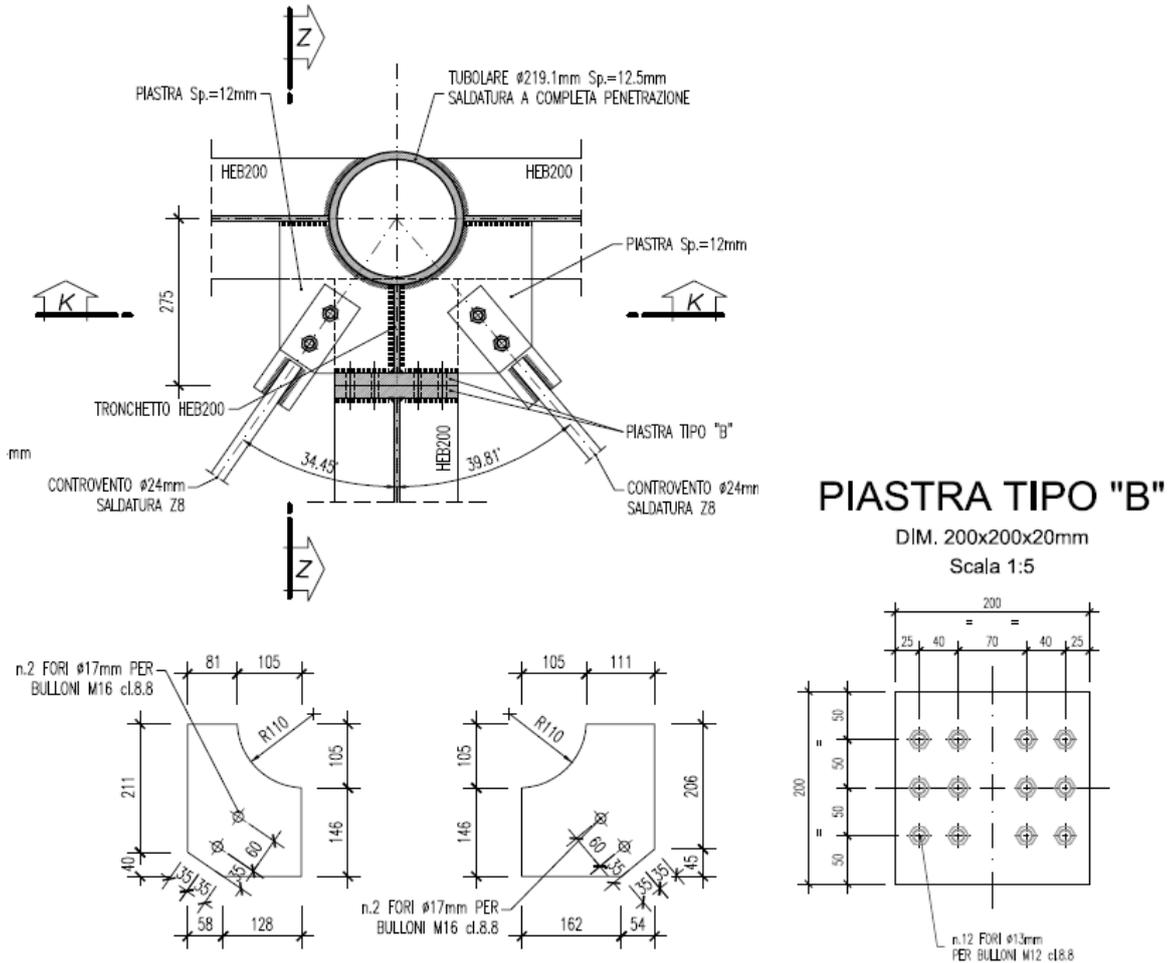


Figura 11-7 dettaglio giunto

Si riporta la verifica, per la tipologia di giunto, le massime sollecitazioni.

$M = 7 \text{ kNm}$

$V = 16.5 \text{ kN}$

$e = 0.3 \text{ m}$  massima eccentricità

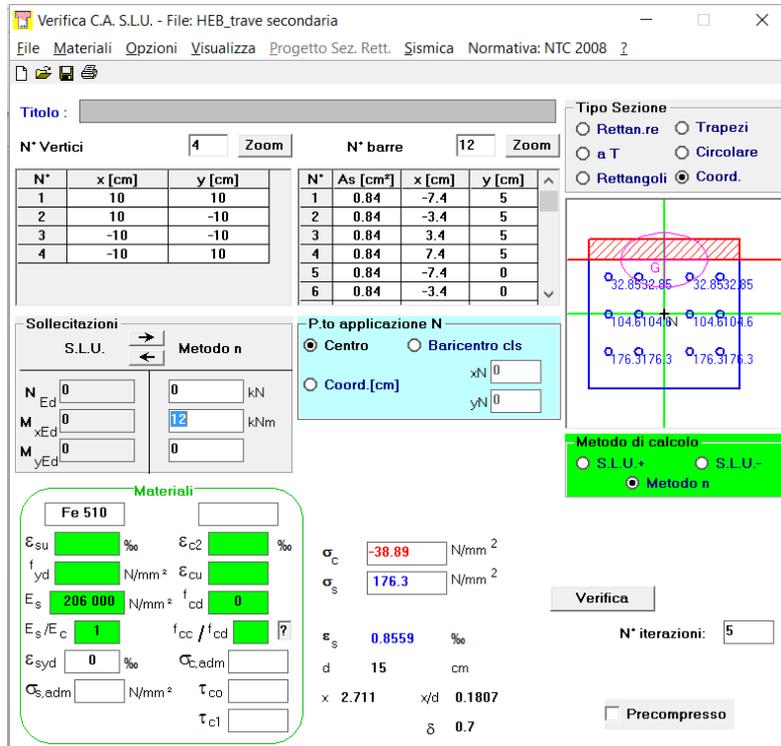


Figura 11-8 calcolo tensioni

**VERIFICA GIUNTO FLANGIATO**

**Verifiche bulloni:**

a trazione	$\sigma =$	176.30	<	$f_{d,N}$	560.00	MPa	SI
a taglio	$\tau =$	32.74	<	$f_{d,V}$	396.00	MPa	SI
a taglio-trazione	$(\tau / f_{d,v})^2 + (\sigma / f_{d,n})^2$			0.11	$\leq$	1	SI

**Verifiche piastra** Verifica a rifollamento

$\sigma_{rif}$	10.26	<	$\alpha f_y$	710.00	MPa	SI
$\alpha$	2.00					
$t_p$	20.00	mm				
$d_0$	13.00	mm				

P	M	J	W	I	$b_{eff}$	$\sigma$	$\tau$	$\sigma_{td}$	$f_y$	Verifica
[kN]	[kNm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	$\sigma_3 \leq f_{yd}$
14.81	0.52	43333.33	4333.33	35.00	65.00	119.61	11.39	121.23	355.0	SI

I bulloni rispettano le distanze previste da normativa.

## 11.6. GIUNTO TRA TRAVERSO HEB 200 E CATENA

Il giunto di collegamento tra traverso di tipo HEB 200 e la catena si realizza con un giunto a coprigiunto d'ala e anima. (vedi dettaglio "2")

### VERIFICA GIUNTO CON COPRIGIUNTI

Sollecitazione di calcolo			Caratteristiche profilo				Coefficienti sicurezza	
$M_{Ed}$	flange + anima		acciaio	$f_d$	$d$			
$N_{Ed}$	$V_{Ed}$	$M_{Ed}$	Fe 510	[MPa]	[mm]			
[kN]	[kN]	[kNm]	profilo	HE 200 B	355	10	$\gamma_M$	1.00
-24	20	35	$B_{sup}$	$t_{sup}$	$B_{inf}$	$t_{inf}$	$H$	$t_w$
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
			200	15.0	200	15.0	200	9.0
								$r$
								18.0

#### Verifica coprigiunto superiore e flangia superiore (forza F = -186.1 kN)

Caratteristiche singola piastra						
acciaio	Fe 510	$n_{piastre}$	2			
$b$	$h$	$t_p$	$f_d$	$n_{file}$	$n_{colonne}$	$n_{piani\ taglio}$
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[-]	[-]	[-]
60	290	8.0	355	1	3	2

#### Caratteristiche bulloni

M	12	classe	$\mu$
non precaricati		8.8	-
$d_0$	$d_m$	$A_{res}$	$f_{d,V}$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]
13.0	19.0	84	396.00
			$f_{d,N}$
			560.00

#### Verifica bulloni a taglio

$$\tau = 184.63 \leq f_{d,V} \quad 396.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

#### Verifica piastra coprigiunto a resistenza

$$\sigma = 96.93 \leq f_{d,N} \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

#### Verifica coprigiunto a rifollamento

$$\sigma_{rif} = 161.55 \leq \alpha f_d \quad 887.50 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$\alpha \quad 2.50$

#### Verifica flangia a resistenza

$$\sigma = 62.04 \leq f_d \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

#### Verifica flangia a rifollamento

$$\sigma_{rif} = 172.32 \leq \alpha f_d \quad 887.50 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$\alpha \quad 2.50$

#### Limitazioni posizioni fori

distanze / interassi [mm]	min [mm]	max [mm]	Verifica	
$a'_{copr}$	30.0	24.0	48.0	SI
$a'_{flangia}$	30.0	24.0	48.0	SI
$a''_{coprig}$	30.0	18.0	120.0	SI
$a''_{flangia}$	30.0	18.0	120.0	SI
$p'$	40.0	36.0	120.0	SI
$p''$	-	-	112.0	SI

#### Verifica coprigiunto inferiore e flangia inferiore (forza F = 166.98 kN)

Caratteristiche singola piastra						
acciaio	Fe 510	$n_{piastre}$	2			
$b$	$h$	$t_p$	$f_d$	$n_{file}$	$n_{colonne}$	$n_{piani\ taglio}$
[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[-]	[-]	[-]
60	290	8.0	355	1	3	2

#### Caratteristiche bulloni

M	12	classe	$\mu$
non precaricati		8.8	-
$d_0$	$d_m$	$A_{res}$	$f_{d,V}$
[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]
13.0	19.0	84	396.00
			$f_{d,N}$
			560.00

#### Verifica bulloni a taglio

$$\tau = 165.66 \leq f_{d,V} \quad 396.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

#### Verifica piastra coprigiunto a resistenza

$$\sigma = 111.03 \leq f_{d,N} \quad 355.00 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

#### Verifica coprigiunto a rifollamento

$$\sigma_{rif} = 144.95 \leq \alpha f_d \quad 887.50 \quad \text{MPa} \quad \text{Verifica}$$

$\alpha \quad 2.50$

#### Limitazioni posizioni fori

distanze / interassi [mm]	min [mm]	max [mm]	Verifica	
$a'_{copr}$	30.0	24.0	48.0	SI
$a'_{flangia}$	30.0	24.0	48.0	SI
$a''_{coprig}$	30.0	18.0	120.0	SI
$a''_{flangia}$	30.0	18.0	120.0	SI
$p'$	40.0	36.0	120.0	SI
$p''$	-	-	112.0	SI

**Verifica flangia a resistenza**

$$\sigma = 63.98 \leq f_{d,N} = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica flangia a rifollamento**

$$\sigma_{rif} = 154.61 \leq \alpha f_d = 887.50 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\alpha = 2.50$$

**Verifica coprigiunto anima ed anima profilo (forza orizz.  $F_x = -4.87$  kN; forza vert.  $F_z = 20$  kN; momento torcente  $M = 3.43$  kNm)**

## Caratteristiche singola piastra

acciaio	Fe 510	$n_{piastre}$	2
---------	--------	---------------	---

b [mm]	h [mm]	$t_p$ [mm]	$f_d$ [MPa]	$n_{colonne}$ [-]	$n_{file}$ [-]	$n_{piani\ taglio}$ [-]
210	130	8.0	355	2	3	2

## Caratteristiche bulloni

M	12	classe	$\mu$	
non precaricati		8.8	-	
$d_0$ [mm]	$d_m$ [mm]	$A_{res}$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_{d,V}$ [MPa]	$f_{d,N}$ [MPa]
13.0	19.0	84	396.00	560.00

**Verifica bulloni a taglio**

$$F_{x,N} = 0.41 \text{ kN} \quad F_{z,V} = 1.67 \text{ kN}$$

$$F_{x,M} = 7.82 \text{ kN} \quad F_{z,M} = 3.91 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 9.93 \text{ kN}$$

**Verifica bulloni a taglio**

$$\tau = 118.26 \leq f_{d,V} = 396.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica piastra coprigiunto a resistenza**

$$\sigma = 102.10 \leq f_d = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\tau = 13.74 \leq f_d/\sqrt{3} = 204.96 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\sigma_{id} = 104.83 \leq f_d = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica coprigiunto a rifollamento**

$$\sigma_{rif} = 103.48 \leq \alpha f_d = 739.58 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\alpha = 2.08$$

**Verifica anima a resistenza**

$$\sigma = 108.03 \leq f_d = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\tau = 16.96 \leq f_d/\sqrt{3} = 204.96 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\sigma_{id} = 111.95 \leq f_d = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

**Verifica flangia a rifollamento**

$$\sigma_{rif} = 183.97 \leq \alpha f_d = 739.58 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\alpha = 2.08$$

**Verifica profilo al netto dei fori****Verifica anima a resistenza**

$$\sigma = 71.22 \leq f_{d,N} = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\tau = 2.95 \leq f_d/\sqrt{3} = 204.96 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

$$\sigma_{id} = 71.40 \leq f_d = 355.00 \text{ MPa} \quad \text{Verifica}$$

## Limitazioni posizioni fori

distanze / interassi [mm]	min [mm]	max [mm]	Verifica	
$a''_{coprigiunto}$	25.0	24.0	48.0	SI
$a''_{anima}$	60.0	24.0	48.0	SI
$a'_{coprigiunto}$	30.0	18.0	48.0	SI
$a'_{anima}$	30.0	18.0	48.0	SI
$p''$	40.0	36.0	120.0	SI
$p'$	40.0	36.0	120.0	SI

## 11.7. PIASTRA CONTROVENTO

La massima trazione nei controventi è N=100 kN

### VERIFICA PIASTRA CONTOVENTO

Bulloni	Ares	d	d <sub>0</sub>	n° bulloni	n° piani	Sollecitazioni	N			
[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm]	[-]	[-]		[kN]			
M16	157.00	16.00	17.00	2.00	1.00		100.00			
<b>Verifiche bulloni:</b>										
	<i>a trazione</i>			$\sigma =$	0.00	<	f <sub>d,N</sub>	560.00	MPa	SI
	<i>a taglio</i>			$\tau =$	318.47	<	f <sub>d,V</sub>	396.00	MPa	SI
	<i>a taglio-trazione</i>			$(\tau / f_{d,v})^2 + (\sigma / f_{d,N})^2$		0.65	≤	1		SI
<b>Verifiche piastra</b>										
	b	t <sub>p</sub>	a	α	f <sub>y</sub>	A <sub>netta</sub>				
	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[MPa]	[mm <sup>2</sup> ]				
	70.00	12.00	35.00	2.19	355.0	636.00				
	<i>Verifica a rifollament</i>			$\sigma_{rif} =$	260.42	<	α f <sub>y</sub>	887.50	MPa	SI
	<i>Verifica a trazione</i>			$\sigma =$	157.23	<	f <sub>y</sub>	355.00	MPa	SI
<b>Verifiche saldatura</b>										
	L	z	n	a	L <sub>eff</sub>					
	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]					
	70.00	6.00	4	4.24	61.51					
				$\tau // =$	95.79	<	0.85f <sub>d</sub>	301.75	MPa	SI

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-CL-NV03-0X-002_A00 Tratta 3 – Passerella pedonale – Relazione di calcolo impalcato
	Foglio 59 di 61

## 12. VERIFICHE A FATICA

Si riportano le verifiche a fatica delle sezioni maggiormente sollecitate. Le verifiche sono svolte seguendo il metodo di valutazione della resistenza a fatica basata sul campo di variazione delle tensioni nominali riportato nella CNR 10011.

Le verifiche saranno svolte considerando la resistenza a fatica per:

- $2 \times 10^6$  di cicli di carico per strutture principali considerando solo il 50% dei carichi mobili con esclusione del coefficiente dinamico;
- $2 \times 10^6$  di cicli di carico per strutture secondarie considerando il carico locale senza l'effetto dinamico.

La verifica a fatica viene condotta secondo il seguente criterio:

$$\gamma_s \Delta \sigma_E \leq \frac{\Delta \sigma_R}{\gamma_m} \quad \gamma_s \Delta \tau_E \leq \frac{\Delta \tau_R}{\gamma_m}$$

Dove:

- $\Delta \sigma_E$  o  $\Delta \tau_E$  è il campo di variazione delle tensioni equivalenti e  $\Delta \sigma_R$  o  $\Delta \tau_R$  è la resistenza a fatica per la relativa categoria di dettagli costruttivi.
- $\gamma_s = 1$
- $\gamma_m$  varia tra 1.0;1.3 in funzione del numero di deviazioni standard adottata

## 12.1. ARCO

Si riporta il diagramma della massima tensione ideale dell'arco per i carichi considerati per le verifiche a fatica.

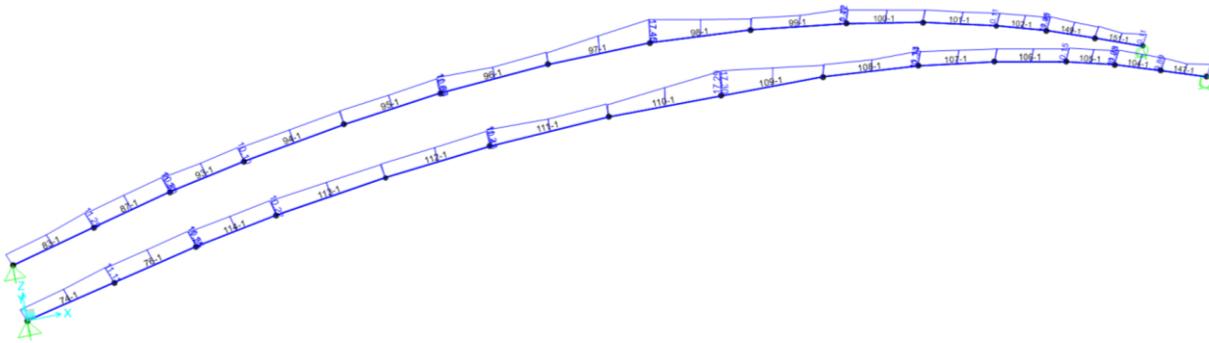
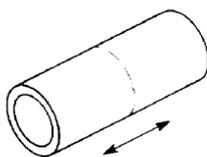


Figura 12-1 deformazione verticale

### 1) Dettaglio – Gruppo IV Particolari strutture tubolari.

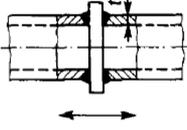
160		Tubo greggio di laminazione esente da difetti.
-----	---	--

$$\gamma_s \Delta \sigma_E \leq \frac{\Delta \sigma_R}{\gamma_m}$$

$$1 \cdot 18 \leq 160 / 1.3 = 123 \text{ MPa} \quad \text{Verificato}$$

### 2) Dettaglio – Gruppo IV Particolari strutture tubolari.

Ogni arco presenta delle saldature trasversali di testa su piastra intermedia a completa penetrazione di prima categoria per l'unione in opera dei conchi costruiti in officina e per il collegamento dell'arco alle travi catena.

50 (56)		Sezione tubo circolare	Saldatura a piena penetrazione di tubi saldati di testa su piastra intermedia. Penetrazione accertata con 100% NDT. Piastra intermedia esente da difetti lamellari. Per $t > 8$ mm valgono i valori in parentesi di $\Delta\sigma_A$ .
45 (50)		Sezione tubo rettangolare	

$$\gamma_s \Delta\sigma_E \leq \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_m}$$

$$1 \cdot 18 \leq 56/1.3 = 43 \text{ MPa} \quad \text{Verificato}$$