

Committente:



# AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.P.A.

Via Camboara 26/A - Frazione Ponte Taro - 43015 NOCETO (PR)

Impresa Esecutrice:



**AUTOSTRADA DELLA CISA A15  
RACCORDO AUTOSTRADALE A15/A22  
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENO-BRENNERO  
RACCORDO AUTOSTRADALE FRA L' AUTOSTRADA DELLA CISA-FONTEVIVO (PR)  
E L' AUTOSTRADA DEL BRENNERO-NOGAROLE ROCCA (VR). I LOTTO.**

C.U.P. G61B04000060008

C.I.G. 307068161E

## PROGETTO ESECUTIVO

AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.p.A.

Il Direttore TIRE:

Il Responsabile del Procedimento:

Il Presidente:

IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A.

Il Direttore Tecnico:

*Il Responsabile di Progetto*  
**Dott. Ing. Luca Bondanelli**

Il Geologo:

N/A

PROGETTAZIONE DI:



Il Progettista:

Ing. Fabio Nigrelli  
Ordine degli ingegneri della Provincia di Palermo n. 3581

A.T.I.:



Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione:

Ing. Giovanni Maria Cepparotti  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Viterbo n. 392

Consulenza specialistica a cura di:

N/A

Progettista Responsabile Integrazione Prestazioni Specialistiche:  
Impresa Pizzarotti & C. S.p.A.

Ing. Pietro Mazzoli

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma

**PIETRO MAZZOLI**  
**IMPRESA PIZZAROTTI**  
**SCRITTO ORDINE**  
**INGEGNERI PARMA n.821**

Titolo Elaborato:

**Generale  
Segnaletica  
Generale  
Cartello monopalo- Relazione di calcolo**

Data Emissione Progetto:

18/03/2014

Scala:

Identif. Elaborato:

N.RO IDENTIFICATIVO	CODICE COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	AMBITO	CAT OPERA	N OPERA	PARTE OP	TIPO DOC	N Progr. Doc.	REV.
	RAAA	1	E	I	GE	SE	00	G	RE	007	A
A	06/06/2014	RIEMMISSIONE PROGETTO ESECUTIVO				TURRISI	NIGRELLI	MAZZOLI			
Rev.	Data	DESCRIZIONE REVISIONE				Redatto	Controllato	Approvato			

## SOMMARIO

1.	PREMESSA .....	3
2.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI .....	4
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
4.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	6
5.	AZIONI .....	9
5.1	Peso Proprio .....	9
5.2	Azioni Accidentali .....	9
5.2.1	Pressione del vento .....	9
6.	CRITERI E METODOLOGIE DI CALCOLO .....	11
6.1	Modellazione adottata .....	11
6.2	Programma di calcolo: Straus7 .....	11
6.3	Combinazioni di carico .....	11
7.	SOLLECITAZIONE NEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....	13
8.	VERIFICHE STRUTTURALI .....	19
8.1	Classificazione Della Sezioni .....	19
8.2	Verifiche .....	20
8.2.1	Premessa .....	20
8.2.2	Verifica .....	20
8.3	Verifica Attacco Soletta .....	21
8.3.1	Premessa .....	21
8.3.2	Sollecitazioni .....	21
8.3.3	Verifiche .....	22
8.3.4	Verifica a flessione della piastra .....	24
8.4	Verifica delle Bullonature (Sezione Di Attacco) .....	24
8.4.1	Premessa .....	24
8.4.2	Sollecitazioni .....	24
8.4.3	Verifiche .....	25

## 1. PREMESSA

La seguente relazione di calcolo è inerente al progetto del cartello monopalo per il sostegno della segnaletica stradale previsto sul viadotto sul fiume Taro da installare nella carreggiata sud alla PK 1+000, 1+200, 1+500.

La struttura metallica del monopalo è realizzata mediante profili metallici zincati cavi a sezione quadrata o rettangolare, collegati tra di loro mediante bullonature o saldature



### 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- **NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI – DM 14 gennaio 2008** “ Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- **CIRCOLARE 2 febbraio 2009 , n. 617** “Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008, (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)”.

#### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali prescritti per l'esecuzione dell'opera sono:

- Acciai per carpenterie metalliche laminati del tipo S275 rispondenti alle norme UNI EN 10025-1+6;
- Acciai per carpenterie metalliche laminati in forma di profilati cavi del tipo S275 rispondenti alle norme EN 10210-1 (profilati cavi finiti a caldo) EN 10219.1 (profilati cavi saldati formati a freddo);
- Acciai per accessori metallici del tipo S275 rispondenti alle norme UNI EN 10025-1+6;
- Inghisaggi costituiti da barre filettate in acciaio di caratteristiche di resistenza non inferiore alla classe 8.8 con dadi di classe 8;
- Bulloni ad alta resistenza per le unioni acciaio-acciaio appartenenti alla classe 8.8 e 8;
- Ancoraggi con resina "HIT-RE 500";
- Saldature realizzate mediante saldature a completa penetrazione di classe I, soggette a controlli non distruttivi.
- Zincatura a caldo rispondente alle indicazioni della Norma UNI 1461.

## • ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA

PROFILATI, BARRE, LARGHI PIATTI, LAMIERE							
S imbolo	Simbolo UNI	Caratteristiche		S23 5 <sup>(1)</sup>	S27 5 <sup>(1)</sup>	S355 <sup>(1)</sup>	
f <sub>t</sub>	R <sub>m</sub>	Tensione di rottura a trazione [N/mm <sup>2</sup> ]		340 <sup>(2)</sup> ≥ 470 <sup>(2)</sup> ≤	410 <sup>(3)</sup> ≥ 560 <sup>(3)</sup> ≤	490 <sup>(4)</sup> ≥ 630 <sup>(4)</sup> ≤	
f <sub>y</sub>	R <sub>e</sub>	Tensione di snervamento [N/mm <sup>2</sup> ]		235 <sup>(5)</sup> ≥	275 <sup>(6)</sup> ≥	355 <sup>(7)</sup> ≥	
K V	KV	Resilienza (J) <sup>(8)</sup>	R	20°C	27 ≥	27 ≥	≥ 27
			O	0°C	27 ≥	27 ≥	≥ 27
			2G3	20°C	27 ≥	27 ≥	≥ 27
			2G3	20°C	-	-	≥ 40
ε <sub>t</sub>	A <sub>min</sub>	Allungamento percentuale a rottura (L <sub>0</sub> =5.65√A <sub>0</sub> )		24 <sup>(9)</sup> ≥ 26 <sup>(10)</sup> ≤	20 <sup>(9)</sup> ≥ 22 <sup>(10)</sup> ≤	20 <sup>(9)</sup> ≥ 22 <sup>(10)</sup> ≤	
		- per lamiere - per barre, profilati, larghi piatti					

(1) Rientrano in questi tipi di acciai, oltre agli acciai S235, S275 ed S355 nei gradi JR,JO,J2G3 e K2G3 della UNI EN 10025 (febbraio 1992), anche altri tipi di acciai purchè rispondenti alle caratteristiche indicate in questo prospetto.

(2) Per spessori maggiori di 3 mm fino a 100 mm.

(3) Per spessori maggiori di 3 mm fino a 100 mm.

(4) Per spessori maggiori di 3 mm fino a 100 mm.

(5) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 40 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm<sup>2</sup>.

(6) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 63 mm fino a 80 mm è ammessa la riduzione di 30 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 80 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 40 N/mm<sup>2</sup>.

(7) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 63 mm fino a 80 mm è ammessa la riduzione di 30 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 80 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 40 N/mm<sup>2</sup>.

(8) Per spessori maggiori di 10 mm fino a 100 mm.

(9) Da provette trasversali per lamiere, nastri e larghi piatti con larghezza ≥ 600 mm; per spessori maggiori di 3 mm fino a 40 mm; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 1 punto; per spessori maggiori di 63 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 2 punti.

(10) Da provette longitudinali per barre, laminati mercantili, profilati e larghi piatti con larghezza < 600 mm; per spessori maggiori di 3 mm fino a 40 mm; per spessori maggiori di 40 mm fino a 63 mm è ammessa la riduzione di 1 punto; per spessori maggiori di 63 mm fino a 100 mm è ammessa la riduzione di 2 punti.

PROFILI CAVI							
S imbolo	Simbolo UNI	Caratteristiche		S23 5 <sup>(1)</sup>	S27 5 <sup>(1)</sup>	S355 <sup>(1)</sup>	
f <sub>t</sub>	R <sub>m</sub>	Tensione di rottura a trazione [N/mm <sup>2</sup> ]		≥ 360	≥ 430	≥ 510	
f <sub>y</sub>	R <sub>e</sub>	Tensione di snervamento [N/mm <sup>2</sup> ]		≥ 235 <sup>(2)</sup>	≥ 275 <sup>(2)</sup>	≥ 355 <sup>(3)</sup>	
V K	KV	Resilienza (J) <sup>(8)</sup>	R	20°C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
			O	0°C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
			2G3	20°C	≥ 27	≥ 27	≥ 27
ε <sub>t</sub>	A <sub>min</sub>	Allungamento percentuale a rottura (L <sub>0</sub> =5.65√A <sub>0</sub> )		≥ 24	≥ 21	≥ 20	

(1) Rientrano in questi tipi di acciai, oltre agli acciai S235, S275 ed S355 nei gradi JR, JO e J2G3 della UNI 7806 (dicembre 1979), e UNI 7810 (dicembre 1979), anche altri tipi di acciai purchè rispondenti alle caratteristiche indicate in questo prospetto.

(2) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm<sup>2</sup>.

(3) Per spessori fino a 16 mm; per spessori maggiori di 16 mm fino a 35 mm è ammessa la riduzione di 10 N/mm<sup>2</sup>; per spessori maggiori di 35 mm fino a 40 mm è ammessa la riduzione di 20 N/mm<sup>2</sup>.

## • BULLONI E DADI

BULLONI E DADI					
	Normali			Ad alta resistenza	
V ITI	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
D ADI	4	5	6	8	10

I bulloni normali (conformi per le caratteristiche dimensionali alle UNI 5727, UNI 5592 e UNI 5591) e quelli ad alta resistenza (conformi per le caratteristiche dimensionali delle viti alle UNI 5712 e per quelle dei dadi alle UNI 5713) devono appartenere alle classi indicate in tabella della UNI 3740; le classi delle viti e dei dadi devono essere associate nel modo indicato nel prospetto.



## 5. AZIONI

Il calcolo delle strutture è stato effettuato considerando il peso proprio del portale, dei cartelli di segnaletica in alluminio e dei suoi tubolari di supporto e le pressioni o depressioni dovute al vento.

### 5.1 Peso Proprio

Peso proprio lamiera in alluminio 30/10 mm: 100.0 [N/m<sup>2</sup>]

Dimensioni cartello 1: 430x300 cm<sup>2</sup>

Dimensioni cartello 2: 430x300 cm<sup>2</sup>

Il programma di calcolo utilizzato tiene automaticamente in conto dei pesi strutturali del portale assumendo quale peso specifico dell'acciaio:  $\gamma = 78,50 \text{ kN/m}^3$ .

### 5.2 Azioni Accidentali

Ai fini della determinazione delle azioni accidentali sono stati considerati gli effetti derivanti dal vento. Si fa riferimento, per il calcolo dei carichi e dei sovraccarichi, al Testo Unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni", di cui al D.M. 14 Gennaio 2008.

#### 5.2.1 PRESSIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dalla seguente espressione:

$$p = q c_e c_p c_d$$
$$q = \frac{1}{2} \rho [v_{\text{Ref}}(T_R)]^2$$

dove:

- $v_{\text{ref}}$  è la velocità di riferimento del vento in m/s. In mancanza di apposite indagini statistiche, che tengano conto della scabrezza del sito, della topografia del terreno e della direzione del vento, la medesima norma stabilisce che, per la regione Emilia Romagna (zona II) ad altezze inferiori ad  $a_0 = 750 \text{ m}$  sul livello del mare, il valore di  $v_{\text{ref}}$ , per periodo di ritorno pari a 50 anni, sia considerato pari a:  $v_{\text{ref}} = 25 \text{ m/s}$ .

Per periodo di ritorno  $T_r = 100$  anni:

$$\alpha_r = 1.07$$

$$v_{\text{ref}}(T_r) = \alpha_r \times v_{\text{ref}} = 26.75 \text{ m/s}$$

- $\rho$  densità dell'aria pari a  $1,25 \text{ kg/m}^3$
- $c_e(z)$  è il coefficiente di esposizione delle pressioni e dipende dall'altezza della costruzione  $z$  dal suolo, dalla rugosità del terreno (classe D), dalla topografia del terreno e dall'esposizione del sito ove sorge il manufatto.

Il valore è ricavabile dalle seguenti espressioni:

$$c_e(z) = c_e(z_{\text{min}}) \quad z < z_{\text{min}}$$
$$c_e(z) = k_r^2 \times c_t \times \ln(z/z_0) \times [7 + c_t \times \ln(z/z_0)] \quad z \geq z_{\text{min}}$$

dove:

classe di rugosità del terreno D

categoria di esposizione del sito II

$$k_r = 0.19$$

$$z_0 = 0.05 \text{ m}$$

$$z_{\text{min}} = 4.00 \text{ m}$$

$$c_t = 1$$

$$c_e(z = 22,7 \text{ m}) = 2.90 \quad (\text{montante})$$

$$c_e(z = 24,6 \text{ m}) = 2.95 \quad (\text{cartello})$$

- il coefficiente dinamico  $c_d(z)$  viene assunto cautelativamente pari ad 1.
- Il coefficiente di forma  $c_p$  viene determinato in maniera specifica per il palo e per il cartello. A tal proposito si fa riferimento alla CNR\_DT207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni":

#### MONTANTE SCATOLARE

Si utilizza quanto riportato al punto G.10 della suddetta norma per "Strutture snelle e elementi strutturali allungati" per determinare il coefficiente di forza da considerare:

$$c_{fx} = 2,35$$

#### TARGA SEGNALETICA

Si utilizza quanto riportato al punto G.7 della suddetta norma per "Insegne e tabelloni" per determinare il coefficiente di forza da considerare:

$$c_f = 1,80$$

La pressione del vento risulta quindi pari a:

$$p_{\text{montante}} = 0.45 \times 2.90 \times 2.35 \times 1.00 \approx 3.07 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{\text{cartello}} = 0.45 \times 2.95 \times 1.8 \times 1.00 \approx 2.39 \text{ kN/m}^2$$

## 6. CRITERI E METODOLOGIE DI CALCOLO

### 6.1 MODELLAZIONE ADOTTATA

La struttura viene schematizzata attraverso un modello analitico agli elementi finiti. Si è assunto lo schema statico di un telaio, costituito da elementi di tipo "BEAM" a due nodi.

Il comportamento della sezione di attacco è stato simulato inserendo un "Rigid link" tra i profili di collegamento con l'impalcato.

L'immagine seguente mostra il modello utilizzato per le verifiche:

### 6.2 PROGRAMMA DI CALCOLO: STRAUS7

La verifica dell'opera è stata condotta a partire dalle sollecitazioni di output del software Straus 7 attraverso la realizzazione di un modello riportato nell'immagine sottostante:

### 6.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 del *D.M. 14/01/2008*.

Le verifiche sono state effettuate nei confronti dello:

- stato limite ultimo di tipo strutturale (STR) che comporta il raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$SLU \Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

#### Simbologia adottata

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{\tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_c'$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_\gamma$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaassiale delle rocce

#### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

*Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:*

Carichi Effetto	EQU	A1	A2		
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	0.90	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.10	1.30	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00	0.00

Variabili      Sfavorevole       $\gamma_{Qsfav}$       1.50      1.50      1.30

Coeff. di combinazione:      Vento       $\Psi_0 = 0.60$        $\Psi_1 = 0.20$        $\Psi_2 = 0.00$   
    Traffico       $\Psi_0 = 0.40$        $\Psi_1 = 0.40$        $\Psi_2 = 0.00$

Sono state utilizzate le seguenti combinazioni di carico:

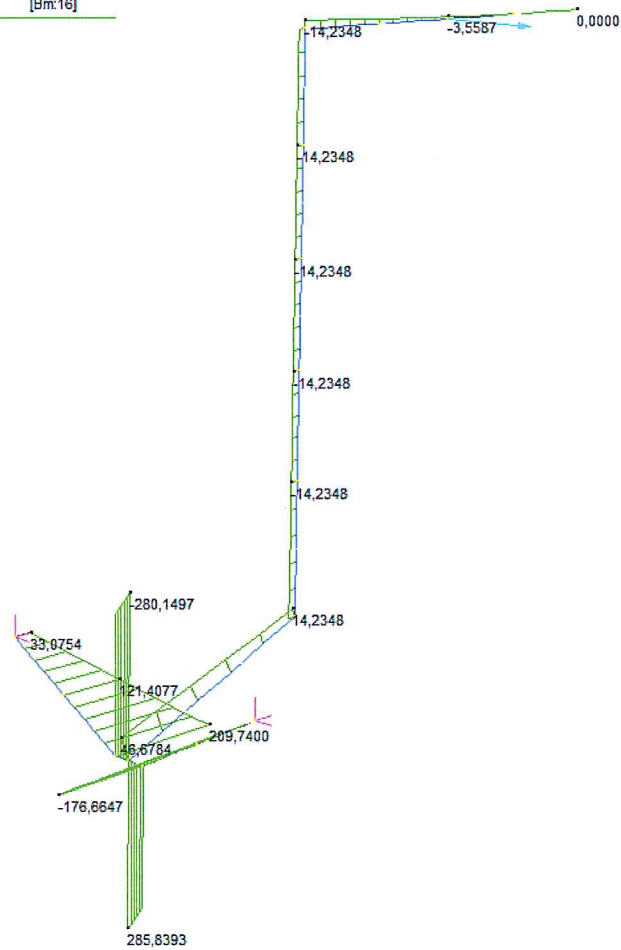
	Peso proprio	Pesi portati	Vento
SLU1	1.3	1.3	0
SLU <sub>vento</sub>	1.3	1.3	1.5
SLE <sub>rara</sub>	1.0	1.0	0
SLE <sub>rara(vento)</sub>	1.0	1.0	1.0
SLE <sub>freq(vento)</sub>	1.0	1.0	0.2
SLE <sub>qp(vento)</sub>	1.0	1.0	0

## 7. SOLLECITAZIONE NEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Si riportano i grafici del momento nelle due direzioni  $M_y$  e  $M_z$ , del taglio nella direzione  $T_y$  e  $T_z$  e del momento torcente  $M_t$  per la combinazione SLU vento:

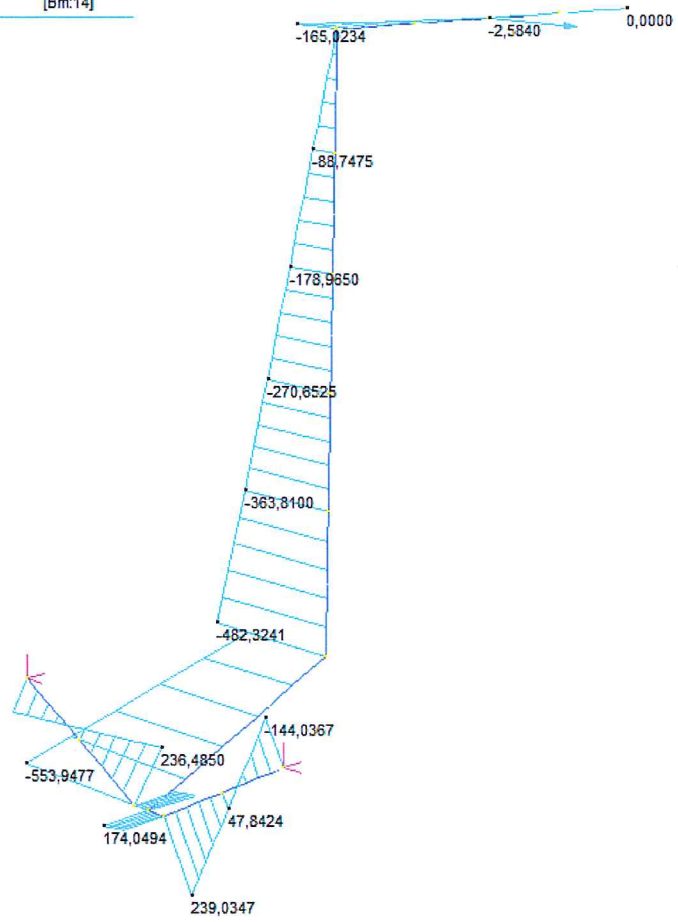
### Momento Flettente $M_y$ [kN m]:

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-280,1497	285,8393
	[Bm:15]	[Bm:16]



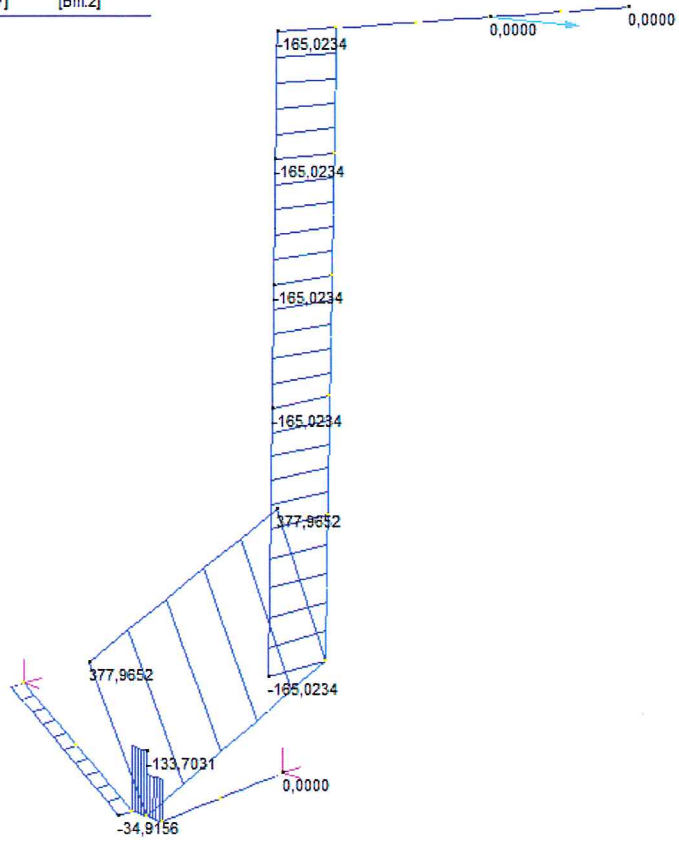
### Momento Flettente $M_x$ [kN m]:

	MIN	MAX
BM1(kN.m)	-553,9477	239,0347
	[Bm:2]	[Bm:14]



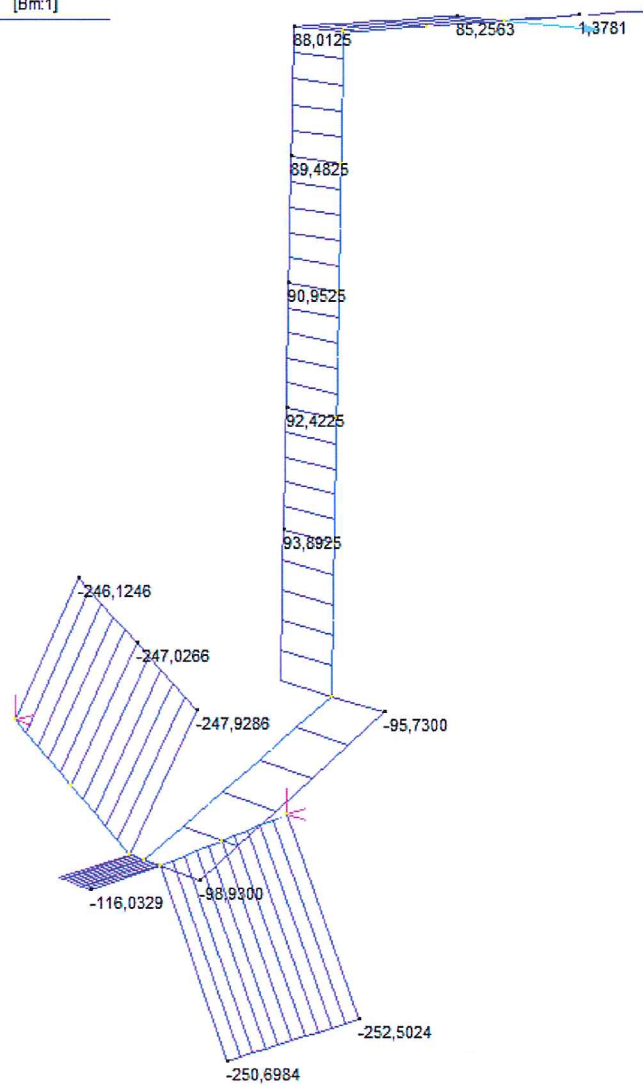
**Momento Torcente  $M_t$  [kN m]:**

	MIN	MAX
Torque(kN.m)	-165,0234	377,9652
	[Bm.7]	[Bm.2]



**Taglio  $T_z$  [kN]:**

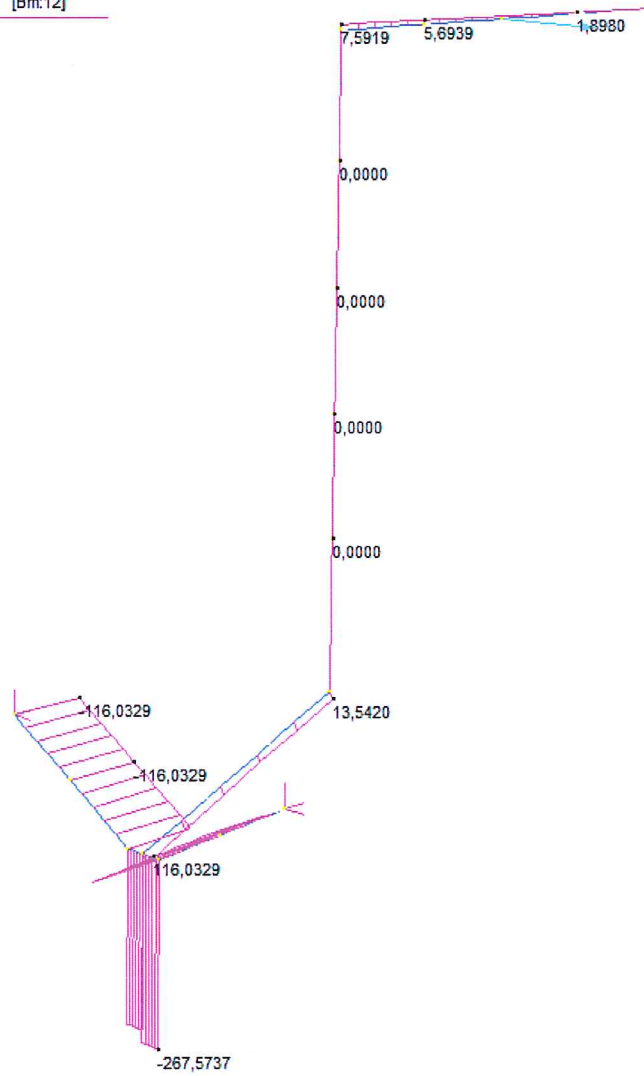
	MIN	MAX
SF1(kN)	-252,5024	95,7300
	[Bm:12]	[Bm:1]



**Taglio T<sub>y</sub> [kN]:**

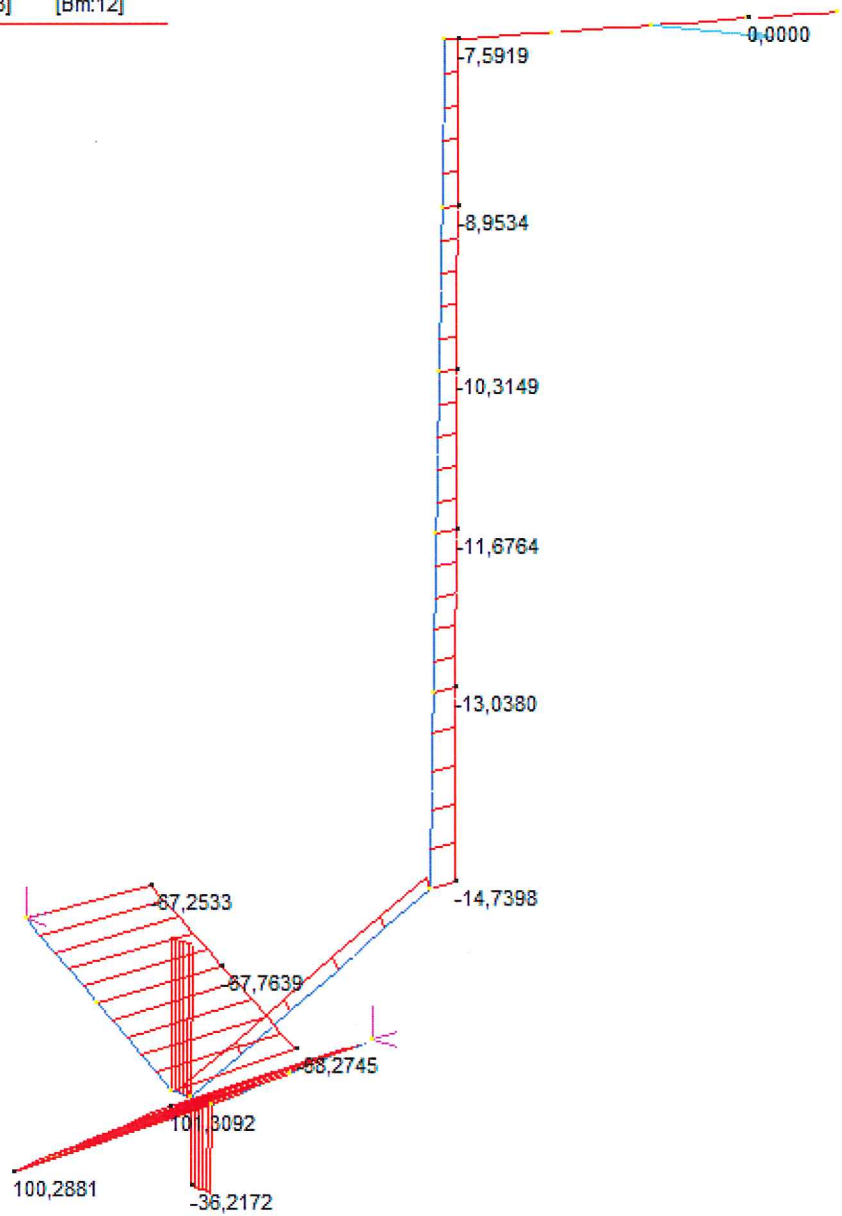


	MIN	MAX
SF2(kN)	-267,5737	116,0329
	[Bm:16]	[Bm:12]



Forza assiale N [kN]:

	MIN	MAX
AxForce(kN)	-68,2745	101,3092
	[Bm:13]	[Bm:12]


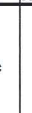
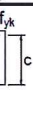





## 8. VERIFICHE STRUTTURALI

### 8.1 Classificazione Della Sezioni

Considerando lo stato di sollecitazione delle sezioni e le loro dimensioni, per ogni sezione di verifica è stata valutata la classe di appartenenza come prescritto al capitolo 4.2.3.1 delle NTC2008 ed in particolare nella tabella 4.2.1:

Tabella 4.2.1 - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

		Parti interne compresse				
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione			
						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

\*)  $\psi \leq -1$  si applica se la tensione di compressione  $\sigma \leq f_{yk}$  o la deformazione a trazione  $\epsilon_y > f_{yk}/E$

L'elemento di verifica è costituito da un profilo a doppio T saldata in.

La classe di appartenenza è definita in funzione del rapporto dimensionale larghezza/spessore delle parti componenti della sezione, dello stato di sollecitazione e della classe di resistenza del materiale.

Si riporta di seguito il calcolo eseguito per la sezione in esame:

#### Dati sezione:

Acciaio S355

$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$

$f_{uk} = 430 \text{ MPa}$

$\epsilon = 0,81$

$b = 400 \text{ mm}$

$h = 400 \text{ mm}$

$t_w = 10 \text{ mm}$

$t_f = 10 \text{ mm}$

$A = 15300 \text{ mm}^2$

In funzione delle sollecitazioni agenti e dei dati geometrici, il profilo risulta in classe 3.

## 8.2 Verifiche

### 8.2.1 Premessa

Per la verifica delle sezioni, la resistenza delle sezioni dipende dalla classificazione delle sezioni.

Per tutti i tipi di sezione è ammessa la verifica in campo elastico, con l'avvertenza di tener conto degli effetti di instabilità locale per le sezioni di classe 4.

Le verifiche in campo elastico, per gli stati di sforzo piani tipici delle travi, si eseguono con riferimento al seguente criterio:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed} \sigma_{x,Ed} + 3 \tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2 \quad (4.2.5)$$

dove:

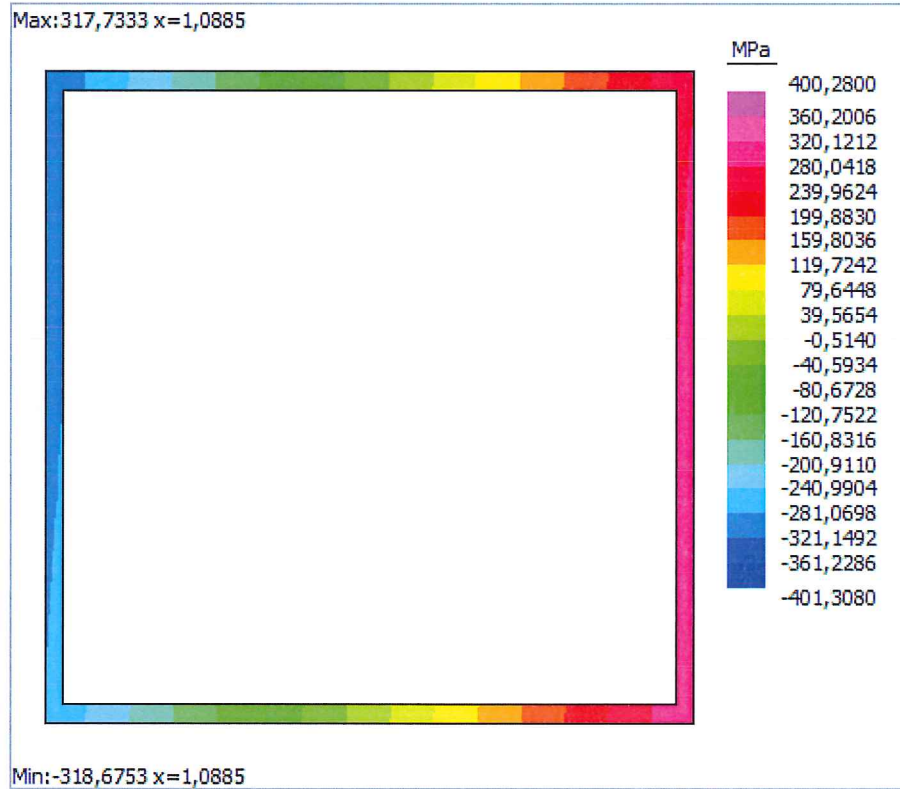
$\sigma_{x,Ed}$  è il valore di calcolo della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione parallela all'asse della membratura;

$\sigma_{z,Ed}$  è il valore di calcolo della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione ortogonale all'asse della membratura;

$\tau_{Ed}$  è il valore di calcolo della tensione tangenziale nel punto in esame, agente nel piano della sezione della membratura.

### 8.2.2 Verifica

Di è riportata il valore della tensione ideale, calcolata mediante l'applicazione del criterio sopra indicato, per la combinazione SLU<sub>vento</sub>:



$$\sigma_{ideale} = 318 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{amm} = 338.1 \text{ MPa}$$

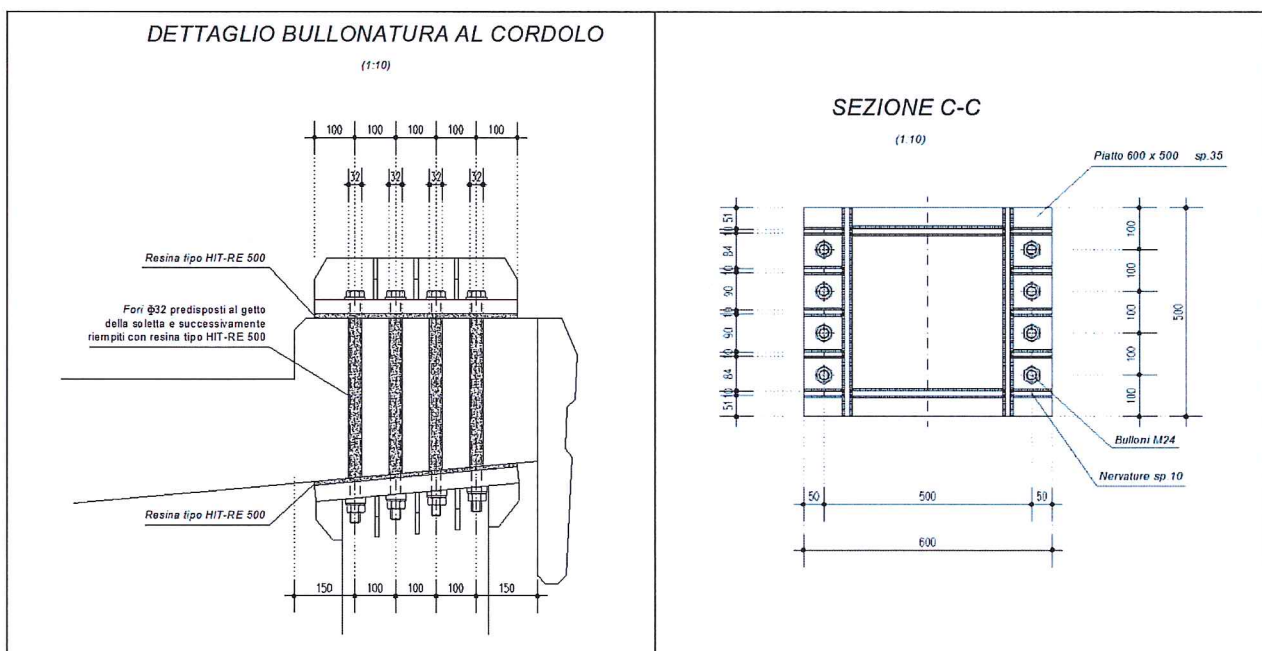
$$\sigma_{ideale} / \sigma_{amm} < 1 \text{ VERIFICATO!}$$

### 8.3 Verifica Attacco Soletta

#### 8.3.1 Premessa

Gli attacchi al viadotto vengono previsti in corrispondenza della soletta e predisposti prima del getto della stessa.

L'immagine seguente chiarisce la modalità di realizzazione:



#### 8.3.2 Sollecitazioni

Gli inghisaggi sono sollecitati a trazione e a taglio.

Per la combinazione  $SLU_{vento}$ , nella sezione di verifica, si hanno le seguenti sollecitazioni:

Sollecitazioni di verifica	
$N_{sd}$	248 kN
$T_z$	171 kN
$T_x$	63 kN
$M_x$	140 kN m
$M_z$	42 kN m
$M_t$	72 kN m

### 8.3.3 Verifiche

Le verifiche dell'attacco sono riportate di seguito.

#### 8.3.3.1 Trazione

La trazione nel bullone più sollecitato, dovuta ai momento flettente  $M_x$  e  $M_z$ , è calcolato come segue, avendo imposto  $n = E_s/E_c = 15$

**Titolo:** Sezione di attacco cordolo

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 8 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	30	25
2	-30	25
3	-30	-25
4	30	-25

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3,53	-25	20
2	3,53	25	20
3	3,53	-25	6,667
4	3,53	25	6,667
5	3,53	-25	-6,667
6	3,53	25	-6,667

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 -248 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 42 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 -140

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

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

**Materiali**  
 B450C C30/37  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11,5  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6933  
 τ<sub>c1</sub> 2,029

σ<sub>c</sub> -9,083 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 357,1 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 1,785 ‰  
 d 70,08 cm  
 x 19,36 x/d 0,2762  
 δ 0,7852

**Verifica**  
 N° iterazioni: 5  
 Precompresso

$$\sigma_s = 357.1 \text{ MPa};$$

$$N_{\max} = 357.1 \cdot 353 = 126020 \text{ N} \rightarrow 127 \text{ kN}$$

#### 8.3.3.2 Taglio

Il taglio agente sul singolo bullone è calcolato come segue:

$$T_{z,\text{bullone}} = T_z / 8 = 171 / 8 = 21.4 \text{ kN}$$

$$T_{x,\text{bullone}} = T_x / 8 = 63 / 8 = 8.0 \text{ kN}$$

$$T_{Mt,\text{bullone}} = M_t \cdot r_i / (\sum_i r_i^2) = 8.63 \text{ kN}$$

con:

$r_i$  = distanza singolo bullone dal baricentro della bullonatura.

Il taglio sollecitante di calcolo è ottenuto sommando vettorialmente i tre contributi. Si ottiene un valore di:

$$T_{\text{tot}} = 30.2 \text{ kN}$$

che genera nelle due direzioni principali i due contributi di taglio:

$$T_{z,\text{tot}} = 26.5 \text{ kN}$$

$$T_{y,\text{tot}} = 26.5 \text{ kN}$$

### 8.3.3.3 Verifiche a Trazione

#### Caratteristiche bullone

Classe bullone	8.8
Diametro nominale bullone "d"	24 mm
Diametro testa bullone	36 mm
$f_{yb}$	680 MPa
$f_{ub}$	800 MPa
$A_{res}$	353 mm <sup>2</sup>

#### Caratteristiche lamiera

Spessore lamiera "t"	40 mm
Base lamiera "b"	850 mm
Altezza lamiera "h"	500 mm
Diametro del foro $d_0$	26 mm
Acciaio	S 275
$f_y$	275 MPa
$f_u$	430 MPa

La resistenza a trazione del bullone è pari alla minore tra:

- 1)  $F_{t,RD} = (k_2 f_{ub} A_{res}) / \gamma_{M2} = 203.3$  kN
- 2)  $B_{p,RD} = (0.6 \pi d_m t f_u) / \gamma_{M2} = 544.7$  kN

con:

$$\gamma_{M2} = 1.25;$$

$d_m$  = minimo valore tra diametro del dado e del diametro medio della testa del bullone = 24 mm

$$N_{tot,bullone} / F_{t,RD} = 0.62 < 1 \text{ Verificato!}$$

Le caratteristiche resistenti del bullone sono di seguito riportate:

- 1) Resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0.6 f_{ub} A_{res} / \gamma_{M2} = 135.5 \text{ kN}$$

$$T_{tot} / F_{v,Rd} = 0.22 < 1 \text{ Verificato!}$$

- 2) Rifollamento della lamiera:

$$F_{b,RD} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2}$$

Direzione z (Trasversale alla carreggiata):

	Bullone esterno	Bullone interno
$\alpha_b$	0.64	1
$k_1$	2.5	2.5
$F_{b,RD}$	463.1 kN	722.4 kN
$T_{z,tot} / F_{b,RD}$	0.06 < 1 <b>Verificato!</b>	0.04 < 1 <b>Verificato!</b>

Direzione y (Longitudinale alla carreggiata):

	Bullone esterno	Bullone interno
$\alpha_b$	0.64	1
$k_1$	2.5	2.5
$F_{b,RD}$	463.1 kN	722.4 kN
$T_{y,tot} / F_{b,RD}$	0.06 < 1 <b>Verificato!</b>	0.04 < 1 <b>Verificato!</b>

- 3) Effetto combinato Taglio-Trazione:

$$(T_{tot} / F_{v,Rd}) + (N_{tot,bullone} / 1.4 F_{t,RD}) = 0.66 < 1 \text{ Verificato!}$$

### 8.3.4 VERIFICA A FLESSIONE DELLA PIASTRA

Si considera a favore di sicurezza lo schema di carico a appoggio-appoggio con luce 150 mm con una forza di 127 kN applicata in mezzzeria. Ed uno schema a mensola con carico a 60 mm dall'incastro.

Schema appoggio-appoggio

$$M_{\max} = N_{\text{tot, bullone}} L / 4 = 4.72 \text{ kN m}$$

$$S_{\text{piastra}} = 35 \text{ mm}$$

$$b_{\text{calcolo}} = 100 \text{ mm}$$

$$W_{\text{pl, piastra}} = 30625 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = M_{\max} / W_{\text{pl, piastra}} = 154.3 < 261.9 \text{ MPa Verificato!}$$

Schema mensola

$$M_{\max} = N_{\text{tot, bullone}} L = 7.6 \text{ kN m}$$

$$S_{\text{piastra}} = 35 \text{ mm}$$

$$b_{\text{calcolo}} = 100 \text{ mm}$$

$$W_{\text{pl, piastra}} = 30625 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = M_{\max} / W_{\text{pl, piastra}} = 247 < 261.9 \text{ MPa Verificato!}$$

## 8.4 Verifica delle Bullonature (Sezione Di Attacco)

### 8.4.1 Premessa

L'attacco è realizzato mediante 26 bulloni M27 che collegano una piastra di spessore 35 mm saldate ai tubolari.

### 8.4.2 Sollecitazioni

I bulloni sono sollecitati a trazione e a taglio.

Per la combinazione  $SLU_{\text{vento}}$  si hanno le seguenti sollecitazioni nella sezione di verifica:

Sollecitazioni di verifica	
$F_x$	-99 kN
$F_z$	7.0 kN
$F_y$	16.3 kN
$M_x$	554 kN m
$M_y$	47.0 kN m
$M_z$	377 kN m

### 8.4.2.1 Trazione

La trazione nel bullone più sollecitato, dovuta ai momento flettente  $M_z$  e  $M_y$ , è calcolato come segue, avendo imposto  $n = E_s / E_c = 1$



**Titolo :** Sezione di attacco Cartello Monopalo

N° Vertici  Zoom  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	30	30
2	-30	30
3	-30	-30
4	30	-30

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	4,59	-25	25
2	4,59	-12,5	25
3	4,59	0	25
4	4,59	12,5	25
5	4,59	25	25
6	4,59	-25	12,5

**Sollecitazioni**  
S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  99 kN  
M<sub>xEd</sub>  377 kNm  
M<sub>yEd</sub>  48

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

**Materiali**  
B450C C30/37  
ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 17  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 1 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11,5  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6933  
τ<sub>c1</sub> 2,029

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

**Verifica**  
N° iterazioni:

Precompresso

$$\sigma_s = 224.1 \text{ MPa};$$

$$N_{\max} = 224.1 \cdot 459 = 102816 \text{ N} \rightarrow 102.8 \text{ kN}$$

### 8.4.2.2 Taglio

Il taglio agente sul singolo bullone è calcolato come segue:

$$T_{z,\text{bullone}} = F_z / 16 = 7/26 = 0.5 \text{ kN}$$

$$T_{y,\text{bullone}} = F_y / 16 = 16.3/26 = 1.02 \text{ kN}$$

$$T_{Mt,\text{bullone}} = M_x \cdot r_i / (\sum_i r_i^2) = 16.1 \text{ kN}$$

con:

r<sub>i</sub> = distanza singolo bullone dal baricentro della bullonatura.

Il taglio sollecitante di calcolo è ottenuto sommando vettorialmente i tre contributi. Si ottiene un valore di :

$$T_{\text{tot}} = 17.2 \text{ kN}$$

che genera nelle due direzioni principali i due contributi di taglio:

$$T_{z,\text{tot}} = 11.8 \text{ kN}$$

$$T_{y,\text{tot}} = 12.4 \text{ kN}$$

### 8.4.3 Verifiche

Si riportano di seguito le verifiche dei bulloni

#### 8.4.3.1 Verifiche a Trazione

##### Caratteristiche bullone

Classe bullone	8.8
Diametro nominale bullone "d"	27 mm
Diametro testa bullone	41 mm
f <sub>yb</sub>	680 MPa
f <sub>ub</sub>	800 MPa
A <sub>res</sub>	459 mm <sup>2</sup>

##### Caratteristiche lamiera

Spessore lamiera "t"	35 mm
Base lamiera "b"	1200 mm
Altezza lamiera "h"	850 mm
Diametro del foro $d_o$	30 mm
Acciaio	S 275
$f_y$	275 MPa
$f_u$	430 MPa

La resistenza a trazione del bullone è pari alla minore tra:

- 3)  $F_{t, RD} = (k_2 f_{ub} A_{res}) / \gamma_{M2} = 264.4 \text{ kN}$
- 4)  $B_{p, RD} = (0.6 \pi d_m t f_u) / \gamma_{M2} = 612.8 \text{ kN}$

con:

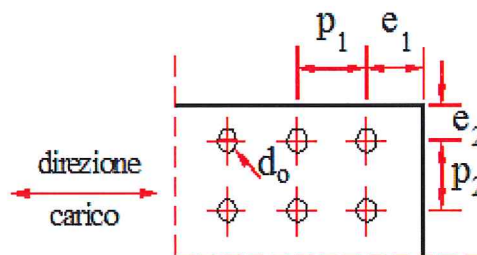
$\gamma_{M2} = 1.25;$

$d_m =$  minimo valore tra diametro del dado e del diametro medio della testa del bullone = 27 mm

$N_{tot, bullone} / F_{t, RD} = 0.39 < 1$  **Verificato!**

### 8.4.3.2 Verifiche a Taglio

Si utilizzano le seguenti distanza dai bordi  $e_1$ ,  $e_2$ , e i seguenti passi  $p_1$  e  $p_2$  definiti per il carichi di taglio nelle due direzioni z e y:



Direzione y:

	Disposto [mm]	Valore minimo[mm]	Valore massimo[mm]
$e_1$	120	36	120
$e_2$	120	36	120
$p_1$	120	66	200
$p_2$	120	72	200

Direzione z:

	Disposto [mm]	Valore minimo[mm]	Valore massimo[mm]
$e_1$	120	36	120
$e_2$	120	36	120
$p_1$	120	66	200
$p_2$	120	72	200

Tali valori soddisfano le distanze minime e massime richieste dalla normativa e dunque la verifica a taglio della lamiera risulta automaticamente soddisfatta rispettando tali requisiti dimensionali imposti dalla normativa riguardo alla posizione dei fori rispetto ai bordi della lamiera.

Le caratteristiche resistenti del bullone sono di seguito riportate:

- 4) Resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0.6 f_{ub} A_{res} / \gamma_{M2} = 176.3 \text{ kN}$$

$$T_{tot} / F_{v,Rd} = 0.10 < 1 \text{ Verificato!}$$

- 5) Rifollamento della lamiera:

$$F_{b,RD} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2}$$

Direzione y

	Bullone esterno	Bullone interno
$\alpha_b$	1	1
$k_1$	2.5	2.5
$F_{b,RD}$	812.7 kN	812.7 kN
$T_{z,tot} / F_{b,RD}$	0.01 < 1 <b>Verificato!</b>	0.01 < 1 <b>Verificato!</b>

Direzione z

	Bullone esterno	Bullone interno
$\alpha_b$	1	1
$k_1$	2.5	2.5
$F_{b,RD}$	812.7 kN	812.7 kN
$T_{v,tot} / F_{b,RD}$	0.01 < 1 <b>Verificato!</b>	0.01 < 1 <b>Verificato!</b>

- 6) Effetto combinato Taglio-Trazione:

$$(T_{tot} / F_{v,Rd}) + (N_{tot,bullone} / 1.4 F_{t,RD}) = 0.37 < 1 \text{ Verificato!}$$

#### 8.4.4 Verifica a Flessione della Piastra

Si considera a favore di sicurezza lo schema di carico a appoggio-appoggio con luce 150 mm con una forza di 102.8 kN applicata in mezzzeria. Ed uno schema a mensola con carico a 50 mm dall'incastro.

Schema appoggio-appoggio

$$M_{max} = N_{tot,bullone} L / 4 = 3.85 \text{ kN m}$$

$$S_{piastra} = 35 \text{ mm}$$

$$b_{calcolo} = 100 \text{ mm}$$

$$W_{pl,piastra} = 306256 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = M_{max} / W_{piastra} = 126 < 261.9 \text{ MPa Verificato!}$$

Schema mensola

$$M_{max} = N_{tot,bullone} L = 5.14 \text{ kN m}$$

$$S_{piastra} = 35 \text{ mm}$$

$$b_{calcolo} = 100 \text{ mm}$$

$$W_{piastra} = 306256 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = M_{max} / W_{piastra} = 168 < 261.9 \text{ MPa Verificato!}$$