

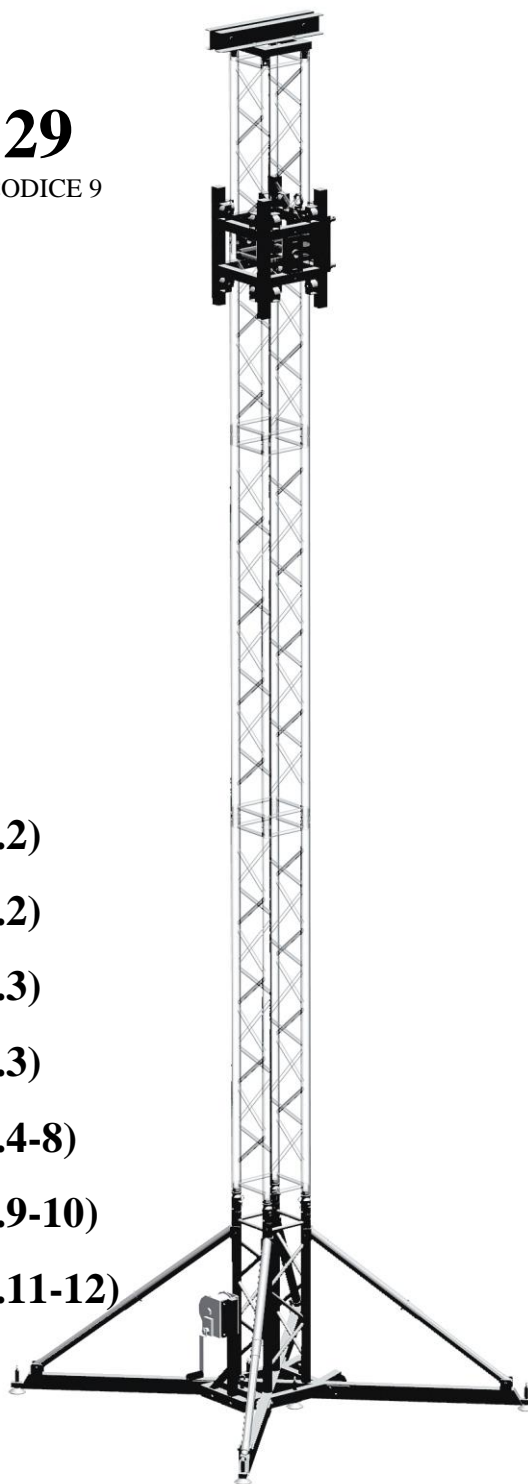
# Relazione di calcolo

## Kit Torre Euro 29

CALCOLO AGLI S.L.U. SECONDO EUROCODICE 9



- |   |                    |
|---|--------------------|
| <b>1- Descrizione della struttura.</b>        | <b>(pag.2)</b>     |
| <b>2- Materiali utilizzati</b>                | <b>(pag.2)</b>     |
| <b>3- Carichi considerati</b>                 | <b>(pag.3)</b>     |
| <b>4- Modello di calcolo</b>                  | <b>(pag.3)</b>     |
| <b>5- Calcoli</b>                             | <b>(pag.4-8)</b>   |
| <b>6- Calcoli con elaboratore elettronico</b> | <b>(pag.9-10)</b>  |
| <b>7- Prescrizioni</b>                        | <b>(pag.11-12)</b> |



## 1 - DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura in oggetto è una trave reticolare modulare realizzata con tubolari in lega di alluminio estruso. I moduli hanno le dimensioni mostrate nella tavola allegata. I correnti in ogni modulo sono realizzati con tubolari 50 x 2 mentre i diagonalali sono tubolari 20X2.0 saldati ai correnti come in figura. La continuità fra i moduli è garantita da opportune boccole. Le distanze fra gli interassi dei correnti sono pari a 23,9 cm . Il traliccio è utilizzato in verticale come pilastro con carichi assiali di compressione. A tale scopo sono utilizzati un elemento base ed un elemento testa come da elaborati esecutivi allegati alla presente.

## 2 - MATERIALI UTILIZZATI

Il materiale utilizzato per i tubolari correnti è una lega di alluminio AlMgSi1 con denominazione EN AW 6082 T6 HB 90 secondo “eurocode 9, prospetto 3.2.b” avente una resistenza allo snervamento pari a  $f_y = 2500 \text{ Kg/cm}^2$  e resistenza a rottura  $f_r = 2900 \text{ Kg/cm}^2$  (stato termico T6) , ed un modulo di elasticità  $E = 700000 \text{ kg/cm}^2$ . Si considera un coefficiente di sicurezza pari a  $\gamma_m = 1.10$  e si ottiene come a  $F_u = 2272 \text{ kg/cm}^2$  . In prossimità delle saldature il materiale termicamente alterato (softening HAZ) subisce un decadimento delle caratteristiche meccaniche per cui la resistenza residua di tali tratti è pari a  $f_{yh} = 1250 \text{ kg/cm}^2$  ed applicando un coefficiente di sicurezza 1.10 si ottiene  $f_{uh} = 1136 \text{ kg/cm}^2$ . Le saldature sono realizzate con materiale di apporto S-Al Mg5 avente una resistenza pari a  $f_y = 1200 \text{ kg/cm}^2$ . Considerando un coefficiente di sicurezza  $\gamma_m = 1.25$  si ottiene una resistenza della saldatura di  $f = 960 \text{ kg/cm}^2$ .

Il materiale utilizzato per i diagonalali è una lega di alluminio P-Al-Mg-S con denominazione 6060 HB 60 secondo “eurocode 9, prospetto 3.2.b” avente una resistenza allo snervamento pari a  $f_y = 1400 \text{ Kg/cm}^2$  e resistenza a rottura  $f_r = 1700 \text{ Kg/cm}^2$  (stato termico T6) , ed un modulo di elasticità  $E = 700000 \text{ kg/cm}^2$ . Si considera un coefficiente di sicurezza pari a  $\gamma_m = 1.10$  e si ottiene come a  $F_u = 1272 \text{ kg/cm}^2$  . In prossimità delle saldature il materiale termicamente alterato (softening HAZ) subisce un decadimento delle caratteristiche meccaniche per cui la resistenza residua di tali tratti è pari a  $f_{yh} = 700 \text{ kg/cm}^2$  ed applicando un coefficiente di sicurezza 1.10 si ottiene  $f_{uh} = 636$

kg/cm<sup>2</sup>. Le saldature sono realizzate con materiale di apporto S-Al Mg5 avente una resistenza pari a  $f_y=1200$  kg/cm<sup>2</sup>.

Per la spina di collegamento si utilizza un acciaio C45 avente le seguenti caratteristiche tecniche:

Tensione di snervamento pari a 7000 kg/cm<sup>2</sup> e tensione ammissibile pari a 4900 kg/cm<sup>2</sup>.

Per quanto riguarda il maschio della boccola d'accoppiamento il materiale utilizzato è AlMgSi1 con denominazione EN AW 6082 T6 HB 90 con le medesime caratteristiche meccaniche relative al tubolare.

La flangia è realizzata con lega d'alluminio AlSi7Mg0.6 EN AC 42200 T5 avente le seguenti caratteristiche di resistenza: resistenza  $F_y$  990 kg/cm<sup>2</sup> e resistenza a rifollamento pari a  $2 \times 990 = 1980$  kg/cm<sup>2</sup>.

### 3- CARICHI

Il calcolo è stato eseguito considerando un carico concentrato assiale di compressione. Il carico è statico e perfettamente centrato e parallelo all'asse della trave stessa.

### 4- MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo della struttura in esame è stato utilizzato il metodo degli SLU (STATI LIMITE ULTIMO come previsto dall'eurocodice 9 UNI ENV 1999-1-1-2002)

Lo schema di calcolo delle azioni M T N dovute ai carichi è di una trave incastrata ad un estremo. Infine viene considerato il carico di punta limite con la formula di Eulero per l'utilizzo dell'elemento come puntone semplicemente soggetto a compressione assiale.

Le verifiche di resistenza sono state eseguite solo sulle sezioni maggiormente sollecitate: alla base della torre. Essendo la trave costituita tubolari molto snelli, gli elementi sono stati verificati anche alla instabilità utilizzando la nota relazione di Eulero  $N_{cr} = \pi^2 EJ / L_0^2$ , dove  $L_0 = \alpha L$  ( $\alpha = 0.8$ ).

Nel caso del diagonale  $L = 35.35$  cm. Nei confronti della instabilità si è utilizzato un coefficiente di sicurezza pari a  $\gamma = 3.0$ .

## 5- CALCOLI

Caratteristiche geometriche della sezione:

### **Dati relativi al corrente:**

Dimensioni 50 x 2 mm

Area = 3.01 cm<sup>2</sup> (N1)

J=8.7 cm<sup>4</sup>

W=3.48 cm<sup>3</sup>

### **Dati relativi al diagonale:**

Dimensioni 20 x 2.0

Area = 1.13 cm<sup>2</sup> (N2)

J = 0.46 cm<sup>4</sup>

W= 0.46 cm<sup>3</sup>

Lunghezza = 35.35 cm

Caratteristiche della sezione nel suo complesso:

Area = 12.04 cm<sup>2</sup>

J = 1767 cm<sup>4</sup>

W = 122 cm<sup>3</sup>

## **ACCOPPIAMENTO CON FLAGIA E GIUNTO CON SPINA CONICA.**

### **Caratteristiche geometriche della spina conica:**

La spina di collegamento in acciaio resiste grazie alla resistenza a taglio offerta dalle due superfici trasversali resistenti aventi diametro diverso:

$\phi 1=12$  mm,  $\phi 2=8$  mm,  $\phi m=10$  mm

Considerando il diametro medio di 10 mm la superficie resistente è pari a:

A=2x0,78 =1,56 cmq (N3)

### **Caratteristiche geometriche del maschio della boccola:**

Diametro esterno in corrispondenza del foro = 2,9 cm

Area lorda =  $\pi \phi^2/4=6,6$  cmq

Area del foro =  $2,9 \times 1,05 = 3.045$  cmq

Area netta = 3,555 cmq (N4)

Area di contatto spina foro = 3,045 cmq

#### **Caratteristiche geometriche della flangia:**

Diametro esterno = 5,0 cm

Diametro interno = 2,9 cm

Area lorda = 13,09 cmq

Area del foro =  $(5,0 - 2,9) \times 1,05 = 2,2$  cm

Area netta = 10,88 cmq (N5)

Area di contatto spina foro = 2,2 cmq (N6)

In base a queste caratteristiche ed alle relative tensioni ammissibili è possibile ricavare gli sforzi normali massimi relativi ai singoli elementi costituenti il traliccio completo.

$N1 = 3,01 \times 1136 = 3419$  kg (trazione tubo corrente)

$N2 = 1,13 \times 636 = 718$  kg (trazione tubo diagonale)

$N3 = 1,56 \times 4348 / 1,73 = 3920$  kg (resistenza spina acciaio)

$N4 = 3,55 \times 2272 = 8065$  kg (resistenza maschio del giunto)

$N5 = 10,88 \times 990 = 10770$  kg (resistenza flangia)

$N6 = 2,2 \times 1980 = 4356$  kg (resistenza flangia a rifollamento)

Considerando tutti i carichi, peso proprio e permanenti come permanenti ( a favore di sicurezza) per ottenere i carichi di progetto devo utilizzare :

$F_d = 1,5 \times F$  ( nota A)

(utilizzo un  $\gamma_k = 1.5$  come previsto dalla normativa per tali carichi)

uguagliando  $F_d = F_u$  si ottiene  $F = F_u / 1,5$  (il carico massimo sul singolo elemento è pari all'azione ultima diviso 1,5)

In base a queste caratteristiche ed alle relative tensioni ultime è possibile ricavare gli sforzi normali

massimi di progetto relativi ai singoli elementi costituenti il traliccio completo. Per ottenere i carichi reali di utilizzo devo dividere per 1,5 vedi nota A.

In base a queste caratteristiche ed alle relative tensioni ammissibili è possibile ricavare gli sforzi normali massimi relativi ai singoli elementi costituenti il traliccio completo.

$$\mathbf{Mu=3419x23,9x2=163428\ kgcm}$$

Lo sforzo massimo di trazione sopportabile dal traliccio è pari :

$$\mathbf{Nu=4X3419 =13676/1.5=9117\ kg\ \ (coefficiente\ aggiuntivo\ di\ sicurezza\ pari\ a\ 1,5)}$$

Lo sforzo massimo di taglio è pari a :

$$\mathbf{Tu=2xN2*sin45=1016\ kg}$$

#### CARICO DI PUNTA

Per la valutazione del carico di punta che determina lo svergolamento (instabilità) del traliccio viene utilizzata la nota formula di Eulero con coefficiente di sicurezza pari a  $\nu=3$ .

Sono state considerate due configurazioni A,B. Nella configurazione A l'elemento viene considerato incernierato alle due estremità, nella configurazione B l'elemento viene considerato incastrato ad una estremità e libero all'altra. Disponendo in una tabella i dati riassuntivi utilizzando la nota formula di Eulero:  $N_{cr}=\pi^2 EJ/l_0^2$

Dove:

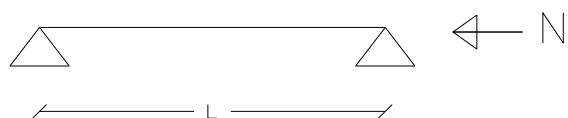
$N_{cr}$  = è il carico critico

$E=700000\ kg/cm^2$  (Modulo di elasticità dell'alluminio)

$J$ = momento d'inerzia del traliccio

$L_0$ =Lunghezza libera d'inflessione pari a  $L$  nel caso A ed a  $2L$  nel caso B.

CONFIGURAZIONE A



CONFIGURAZIONE B



Caso A		Caso B	
Luce m	Ncr kg	Luce m	Ncr kg
1	406.900	1	101.725
2	101.725	2	25.431
3	45.211	3	11.303
4	25.431	4	6.358
5	16.276	5	4.069
6	11.303	6	2.826
7	8.304	7	2.076
8	6.358	8	1.589
9	5.023	9	1.256
10	4.069	10	1.017

In rosso sono evidenziati i carichi che superano la resistenza a trazione del traliccio stesso. E' stato adottato un coefficiente di sicurezza pari a 3,0.

## VERIFICA ALL'INSTABILITA' CON IL METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI PER L'ALTEZZA MASSIMA.

Lo sforzo normale è da considerarsi doppio in quanto la fune di carico parte dal motore , posto in basso, gira sulla testa della torre ed è collegata al carico, (nel caso peggiore).

Per il calcolo si utilizza la formula :

$$\sigma = N / A + \frac{M_x}{\psi W} + \frac{M_y}{\psi W}$$

N = Sforzo normale

$\omega$  = funzione dell'instabilità e del tipo di materiale

$\psi$  = coefficiente  $(1 - \nu N / N_e)$

W = modulo di resistenza

***$M_x$  = Momento flettente in direzione x***

**$M_y$  = Momento flettente equivalente in direzione y**

$N_e$  = Sforzo normale di instabilità secondo la formula di Eulero =  $\pi^2 EJ / l_0^2$

Considerando l'altezza massima di 7.00 m si ottiene:

$$\rho = \sqrt{1767/12} = 12.13 \text{ cm}$$

$$\lambda = 700 * 2 / 12.13 = 115 \text{ (caso incastro)}$$

$$N_e = 6228 \text{ kg}$$

$$N = 1111 * 2 = 2222 \text{ kg}$$

$$\psi = 0,73$$

$$\omega = 2650 / 519 = 5,1$$

$$M_x = 700 * 1 / 100 * 2222 * 0,75 = 11665 \text{ kgcm}$$

$$M_y = 11665 \text{ kgm}$$

$$\sigma = N / \omega A + \frac{M_x}{\psi W} + \frac{M_y}{\psi W} = 2222 * 5,1 / 12 + 11665 * 2 / (120 * 0,73) = 1211 \text{ kg/cm}^2 < 1550 \text{ kg/cm}^2$$



## 6- CALCOLI CON ELABORATORE ELETTRONICO

### STATO LIMITE ULTIMO

#### BUCKLING ANALYSIS

H=10,00 M

F=100 KG

#### CONTROL INFORMATION

MAXIMUM ITERATION CYCLES = 50

CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00000D-05

ITERATION	EIGENVALUE	REL. ERROR
-----------	------------	------------

1	3.51039D+04	
2	6.14825D+01	9.98249D-01
3	4.88788D+01	2.04997D-01
4	4.88718D+01	1.42649D-04

5	4.88717D+01	2.17030D-06
---	-------------	-------------

CONVERGENCE ACHIEVED

#### BUCKLING ANALYSIS

BUCKLING LOAD MULTIPLIER = 48.8717

1\*\*\*\* TEMPORARY FILE STORAGE (MEGABYTES)

-----  
UNIT NO. 7 : .41

UNIT NO. 8 : .037  
 UNIT NO. 9 : .406  
 UNIT NO. 10 : .022  
 UNIT NO. 11 : 1.412  
 UNIT NO. 12 : .502  
 UNIT NO. 13 : .035  
 UNIT NO. 14 : .009  
 UNIT NO. 15 : .000  
 UNIT NO. 17 : .000

TOTAL : 2.837

$Nu = 48,48 \times 100 = 4848 \text{ kg} / 3 = 1616 \text{ kg}$

Per  $H = 10 \text{ m}$

$Nd = 670 \times 1,5 = 1005 \text{ kg}$  (1,5 coefficiente moltiplicativo per carichi accidentali)

**$Nu > Nd$**

**Verifica positiv**

TABELLA DELLE PORTATE UTILI DEL TRALICCIO
---

ALTEZZA (m)	PORTATA (KG)
2	3500
3	3500
4	2540
5	1900
6	1470
7	1111
8	xxxx
9	xxxx
10	xxxx

## 7- PRESCRIZIONI

I calcoli sono stati eseguiti considerando carichi teorici aventi le seguenti caratteristiche:

il carico è considerato statico;

Il carico è applicato uniformemente ai quattro correnti dell'elemento e la risultante è una forza coassiale con l'elemento stesso (eccentricità nulla).

Nei calcoli è stata considerata una trave perfettamente integra con tolleranza dimensionali nella sezione di 1 mm e nello spessore dei profilati del 5%.

La torre è considerata perfettamente verticale, con la base perfettamente appoggiata a terra in tutti i punti di appoggio su di una superficie di opportuna resistenza.

Nel caso i cui l'elemento fosse utilizzato come componente strutturale :

- Assicurarsi di ottemperare alle norme di sicurezza previste in normativa per il montaggio e lo smontaggio delle strutture. ( A titolo indicativo si ricorda che le norme più significative sono Legge 80/2008)
- Assicurarsi di utilizzare i normali mezzi di protezione: casco di protezione, scarpe antinfortunistica, cinture di sicurezza anticaduta.
- Trattandosi di struttura metallica assicurarsi di ottemperare alle normative vigenti nazionali e locali. (A titolo indicativo si ricorda la Legge 1086/71)
- Prima di montare la struttura assicurarsi essere in possesso di tutte le autorizzazioni degli enti preposti al controllo o previsti dalla normativa.
- Prima di procedere al montaggio della struttura effettuare un controllo minuzioso di ogni particolare e non procedere al montaggio se un qualunque pezzo della struttura presenta deformazioni, fessurazioni o segni che mostrino un decadimento delle caratteristiche di resistenza. In tale circostanza sostituire i particolari danneggiati prima di utilizzare nuovamente la torre.
- La struttura è soggetta alla redazione di un certificato di corretto montaggio e collaudo statico da effettuarsi a cura di un tecnico abilitato prima dell'utilizzo della stessa. Tale tecnico deve valutare di volta in volta le azioni reali agenti sulla struttura in base al sito di utilizzo ed applicare gli ancoraggi e le zavorre che si rendessero necessarie. Le tabelle allegate e gli schemi

di utilizzo sono comunque da verificare e confermare da parte di un tecnico abilitato prima di ogni utilizzo della struttura.

Il tecnico incaricato.

