

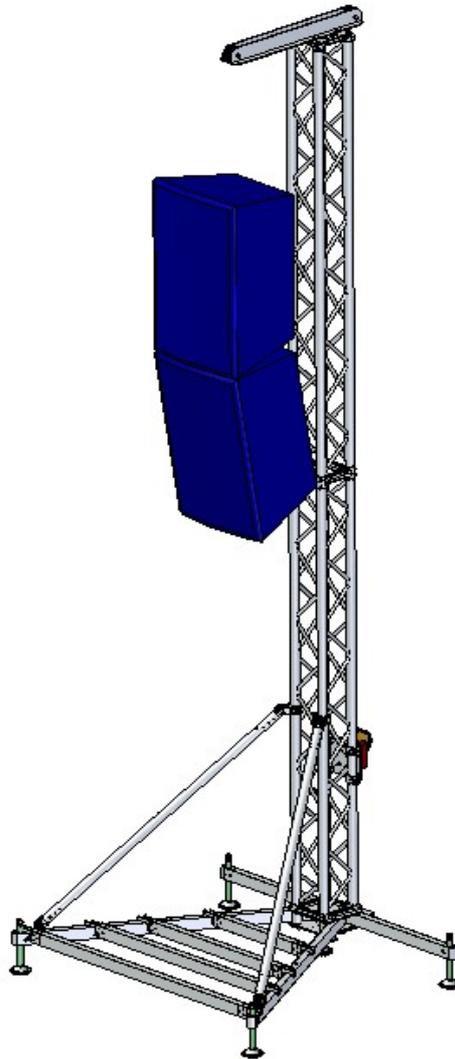
## LITEC FLYINTOWER COMPACT X30S

### TORRE DI SUPPORTO AUDIO/LUCI

Struttura modulare in traliccio d'alluminio QX30S

LIGHT & LINE ARRAY TOWER

QX30S Aluminium Truss Modular System



**TRE ERRE**  
**INGEGNERIA S.r.l.**

di R. Fuser - R. Scotta - R. Vitaliani  
L. Boaretto - U. Toccane

Via Terraglio, 10 - 31022 Preganziol (TV)  
Tel. 0422 383 282 - Fax 0422 492 702 - P.IVA 03633010263  
e\_mail: info@treerreing.com - sito web: www.treerreing.com

**Indice/index:**

1	Prescrizioni e limitazioni di utilizzo:.....	2
2	Descrizione generale della struttura:.....	3
3	Riferimenti normativi:.....	4
4	Introduzione alla relazione di calcolo:.....	5
4.1	Simbologia.....	6
5	Caratteristiche dei materiali utilizzati:.....	7
5.1	Riferimenti normativi:.....	8
5.2	Designazione dei materiali secondo norma:.....	8
5.3	Resistenza caratteristica: (EC 9 §5.3.5).....	9
5.4	Valori di progetto delle costanti dell'alluminio: (EC 9 §3.2.5).....	9
5.5	Tipologia delle saldature:.....	9
5.6	Coefficienti di sicurezza parziali relativi al materiale: (EC 9 §5.1.1).....	9
6	Calcolo della forza del vento:.....	9
7	Schema di calcolo.....	11
8	Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi.....	12
9	Calcolo degli elementi strutturali:.....	13
9.1	Top for flyintower compact:.....	14
9.1.1	Perno:.....	14
9.1.2	Profili accoppiati L 100x50x8.....	14
9.2	Tower.....	16
9.2.1	Resistenza della saldatura di testa tra piastra di estremità e corrente:.....	16
9.2.2	Instabilità globale del traliccio:.....	17
9.3	Base for flyintower compact.....	17
9.3.1	Tubi Ø50x4:.....	18
9.3.1.1	Caratteristiche della sezione:.....	18
9.3.1.2	Suscettibilità all'instabilità locale di un tubo compresso o inflesso: (EC 9 §5.4.3).....	18
9.3.1.3	Resistenza a trazione: (EC 9 § 5.7).....	19
9.3.1.4	Resistenza a compressione:.....	20
9.3.2	Tubi 80x50x4.....	20
9.3.2.1	Caratteristiche della sezione:.....	20
9.3.2.2	Suscettibilità all'instabilità locale di un tubo compresso o inflesso: (EC 9 §5.4.3).....	21
9.3.2.3	Resistenza a taglio (EC9 § 5.6.3).....	21
9.3.2.4	Resistenza a flessione uniassiale:.....	21
9.3.3	Profilo a C 120x60x10.....	21
9.3.4.1	Caratteristiche della sezione:.....	21
9.3.4.2	Suscettibilità all'instabilità locale di un tubo compresso o inflesso: (EC 9 §5.4.3).....	22
9.3.4.3	Resistenza a taglio (EC9 § 5.6.3).....	22
9.3.4.4	Resistenza a rifollamento del profilo (EC9 § 6.5.5 – prospetto 6.4).....	22
9.3.4.5	Resistenza a flessione uniassiale:.....	23
10	Condizioni di utilizzo della torre e zavorra da disporre:.....	24

## 1 Prescrizioni e limitazioni di utilizzo:

- Si assume che la torre venga montata ad asse verticale con un errore di inclinazione involontaria massimo di 1 cm su 1 m (1% di errore di inclinazione);
- i materiali utilizzati devono mantenere le caratteristiche iniziali di integrità. I risultati della presente trattazione vengono inficiati dalla presenza di botte, cricche o danneggiamenti in genere degli elementi componenti;
- il carico ammissibile Pamm. è definito come il carico statico utile che può essere sollevato dalla torre, al netto del peso proprio della torre stessa. Il carico ammissibile solitamente è rappresentato dal peso delle casse o di qualsiasi elemento che venga appeso alla torre;
- tutti i collegamenti con spine coniche devono essere corredati di copiglie di sicurezza;
- i collegamenti filettati devono essere posti in opera adottando ogni accorgimento utile per realizzare il perfetto accoppiamento ed imprimendo l'opportuna coppia di serraggio indicata in CNR 10011/97. Si raccomanda di eseguire periodicamente un controllo di tutte le filettature, sostituendo, ove necessario, gli elementi danneggiati;
- in presenza di ovalizzazione eccessiva dei fori di collegamento, è necessario far valutare da un tecnico qualificato l'integrità degli elementi componenti della struttura;
- l'utilizzo della struttura è consentito nel rispetto delle seguenti condizioni:
  - utilizzo **outdoor**:
    - con vento a velocità  $\leq 13,8$  m/s (forza 6) è consentito l'utilizzo della torre con carico massimo appeso di 3,00 kN e superficie esposta non superiore a  $2,5$  m<sup>2</sup>, disponendo alla base una zavorra di 4,33 kN. Per le altre condizioni di carico si calcola la zavorra sulla base del grafico in § 10;
    - con vento a velocità  $\geq 13,8$  m/s (forza 6) e  $\leq 20,7$  m/s (forza 8) si richiede di rimuovere il carico appeso, tuttavia è consentito mantenere l'installazione della torre purchè si disponga una zavorra minima di 2,50 kN come indicato in § 10;
  - utilizzo **indoor**:
    - è consentito l'utilizzo della torre con carico massimo appeso di 4,00 kN e zavorra non inferiore a 1,00 kN secondo quanto indicato in § 10;
- in ogni caso bisogna disporre alla base della torre una zavorra in grado di assicurare la struttura contro il ribaltamento: il baricentro della zavorra deve essere posizionato sulle barre predisposte, in posizione simmetrica rispetto ai piedi di appoggio della struttura;
- In esercizio il carico deve essere opportunamente vincolato con funi o catene in modo che ne siano impediti movimenti significativi a seguito della spinta del vento;
- la presente relazione è formata da 26 pagine.

## 2 Descrizione generale della struttura:

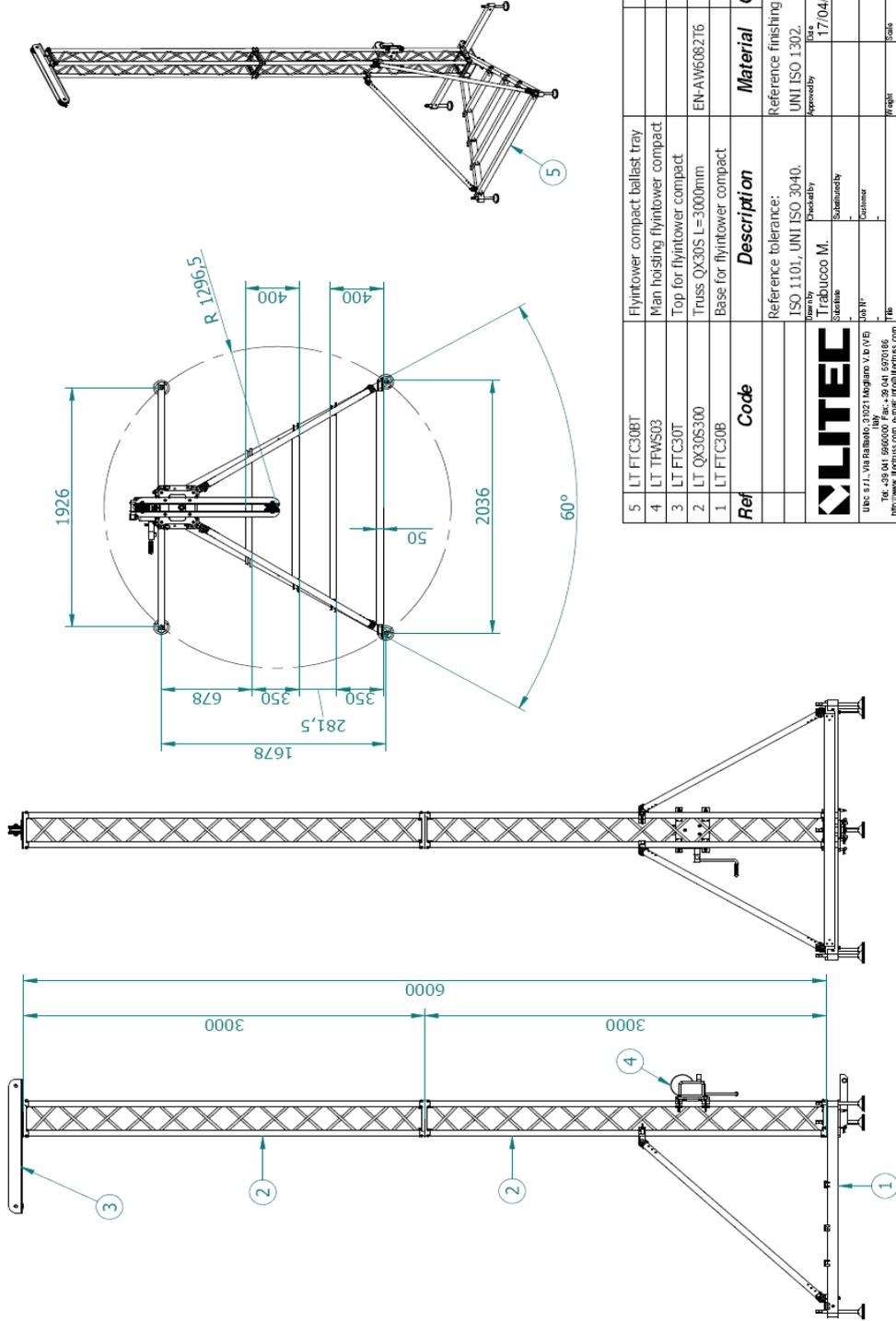
### *Structure description:*

La Flyintower Compact X30S è una struttura costituita essenzialmente da una torre a traliccio verticale sulla cui sommità può essere appeso un carico, sollevato tramite un verricello manuale a fune.

Il traliccio della torre appartiene alla serie QX30S prodotta da Litec s.r.l.: sulla sommità porta un elemento con pulegge per il rinvio della fune del verricello (top della torre), ed è vincolato ad una base che poggia a terra su un piedino regolabile. Dalla base si dipartono 3 profili in alluminio a sezione rettangolare (alle cui estremità sono presenti pure dei piedini regolabili) atti a conferire alla torre un'adeguata stabilità al ribaltamento. Infine, due puntoni in tubolare d'alluminio contribuiscono a sostenere il traliccio della torre, già fissato alla base. Il carico può essere sollevato anche tramite paranco a catena, e la base della Flyintower risulta provvista di un'apposita staffa per il suo aggancio.

Il carico applicato, solitamente è costituito da apparecchiature di diffusione sonora (line array).

Rev.	Date	Description	Sign
0001	17/04/2007	First edition	M.T.



Ref	Code	Description	Material	Q.ty
5	LT FTC30BT	Flyintower compact ballast tray		1
4	LT TPWS03	Man hoisting flyintower compact		1
3	LT FTC30T	Top for flyintower compact		1
2	LT QX306300	Truss QX305 L= 3000mm	EN-AW6082T6	2
1	LT FTC30B	Base for flyintower compact		1

Reference tolerance:	UNI ISO 3040.
Reference finishing:	UNI ISO 1302.
Drawn by:	T. Galuccio M.
Checked by:	
Approved by:	
Issue date:	17/04/07
Scale:	

**LITEC**  
Via S. I. Via Balbano, 21021 Mogliano Veneto (TV)  
Tel. +39 041 565000 Fax. +39 041 567018  
http://www.litec.it E-mail: info@litec.com  
Prestazioni: Per. N.A. LT 02/485703/6

code file name: Flyintower compact+LT FTC30BT  
code file name: Flyintower compact+LT FTC30BT

### 3 Riferimenti normativi:

*reference standards:*

- |                                 |         |      |
|---------------------------------|---------|------|
| ➤ Eurocodice 1 UNI ENV 1991-1   | ottobre | 1996 |
| ➤ Eurocodice 1 UNI ENV 1991-2-4 | marzo   | 1997 |
| ➤ Eurocodice 9 UNI ENV 1999-1-1 | marzo   | 2002 |
| ➤ CNR-UNI 10011/97              |         |      |

### 4 Introduzione alla relazione di calcolo:

*introduction:*

La relazione di calcolo utilizza il metodo semiprobabilistico agli stati limite ultimi. Secondo tale metodo vengono confrontate le resistenze di calcolo della struttura  $R_d$  con le sollecitazioni di calcolo agenti su di essa  $S_d$ , secondo la relazione:

$$S_d \leq R_d.$$

Dove:

- i carichi di progetto  $S_d$  derivano da quelli caratteristici, amplificati attraverso i coefficienti di sicurezza  $\gamma_F$  ( $\geq 1$ );
- le resistenze di calcolo  $R_d$ , corrispondenti ad un particolare meccanismo di rottura, derivano adottando per le resistenze dei materiali i valori caratteristici ricavati sperimentalmente, opportunamente modificati attraverso i coefficienti di sicurezza  $\gamma_m$  ( $\geq 1$ ).

Nella presente relazione di calcolo si è determinato il carico ultimo  $F_{ult}$ , che è quello massimo di progetto, già amplificato del coefficiente di sicurezza. Si è poi calcolato il carico massimo ammissibile  $F_{amm}$ , considerando i carichi applicati di tipo permanente (coefficiente di sicurezza 1,35), e per la pressione del vento un coefficiente di sicurezza pari a 1,5 come previsto in EC 1.

Ipotesi alla base del calcolo:

- le configurazioni di calcolo analizzate nella presente relazione, così come i vincoli imposti sono da considerarsi condizioni ideali; quindi l'utilizzatore deve analizzare la struttura alla luce delle reali condizioni di carico/vincolo della specifica applicazione;
- la presente relazione di calcolo considera le sollecitazioni di tipo statico. Eventuali azioni dinamiche sulle strutture esulano dalla trattazione e devono essere tenute in debito conto dal collaudatore dell'installazione;
- il traliccio è stato analizzato come una struttura reticolare ideale, caricata nei nodi e priva di eccentricità, per cui le aste della truss sono soggette solamente a sforzo normale;
- si assume che i carichi considerati siano quelli staticamente equivalenti a quelli dinamici a cui la struttura è soggetta in fase di esercizio;
- si considera che le saldature vengano realizzate in conformità alle UNI EN ISO 15607;
- si assume un coefficiente minimo di sicurezza rispetto al ribaltamento pari a 1,2;
- le verifiche a ribaltamento vengono effettuate nei due versi, nel piano verticale contenente il traliccio e il corpo appeso, avendosi in questa condizione la minore distanza tra gli appoggi;
- Si trascura l'effetto di interazione della forza del vento sul traliccio e sul

- corpo appeso;
- la forza del vento sul corpo appeso viene calcolata supponendo che questo presenti sezione approssimativamente quadrata;
  - nel caso di utilizzo indoor si considera convenzionalmente un carico orizzontale ribaltante pari al carico da vento a velocità di 4,36 m/sec.;
  - nelle verifiche statiche in fase di montaggio le sollecitazioni dovute al carico appeso vengono incrementate del 30% per tener conto dell'incremento dinamico che si ha nel caso di sollevamento del carico appeso attraverso paranco a catena elettromeccanico;

#### 4.1 Simbologia

*symbols:*

$f_{0,2}$	resistenza al limite elastico corrispondente alla deformazione residua del 0,2% <i>conventional yield stress, corresponding to 0.2% strain</i>
$f_u$	resistenza ultima <i>ultimate stress</i>
$A_{min}$	allungamento minimo <i>min. elongation</i>
$f_0$	resistenza caratteristica per flessione e per completo snervamento a trazione e a compressione <i>characteristic yield stress</i>
$f_a$	resistenza caratteristica a rottura di una sezione netta a trazione o compressione <i>characteristic failure stress</i>
$f_v$	resistenza caratteristica a taglio <i>characteristic shear stress</i>
E	modulo elastico dell'alluminio <i>Young's module</i>
G	modulo di elasticità trasversale <i>shear module</i>
$\nu$	coefficiente di Poisson <i>Poisson's ratio</i>
$\alpha$	coefficiente di dilatazione termica <i>thermal expansion coefficient</i>
$\rho$	densità <i>density</i>
$f_w$	resistenza caratteristica del cordone di saldatura <i>characteristic stress of the weld</i>
$\gamma_{M1}$	coefficiente di sicurezza parziale relativo ai materiali <i>material safety factor</i>
$\gamma_{M2}$	coefficiente di sicurezza parziale relativo ai materiali per sezioni nette in corrispondenza della forature dei bulloni <i>material safety factor in weatyned sections</i>
$\gamma_{Mb}$	coefficiente di sicurezza parziale relativo ai materiali per collegamenti bullonati

$Y_{Mw}$	<i>material safety factor for bolted joints</i> coefficiente di sicurezza parziale relativo ai materiali per collegamenti saldati
D	<i>material safety factor for welded joints</i> diametro <i>diameter</i>
t	spessore <i>thickness</i>
A	area lorda <i>section area</i>
$A_{nett}$	area netta, tiene conto dell'addolcimento dovuto alle saldature <i>reduced section area, due to welding softening</i>
I	momento d'inerzia flessionale <i>moment of inertia</i>
$I_t$	momento d'inerzia torsionale <i>torsional inertia moment</i>
i	raggio d'inerzia <i>radius of gyration</i>
L	lunghezza <i>length</i>
$W_{el}$	modulo resistente elastico della sezione lorda <i>elastic section modulus</i>
$W_{ele}$	momento resistente elastico efficace della sezione lorda <i>elastic effective section modulus</i>
$W_{pl}$	momento resistente plastico della sezione lorda <i>plastic section modulus</i>
$W_{ple}$	momento resistente plastico efficace della sezione lorda <i>plastic effective section modulus</i>
$f_s$	tensione di instabilità <i>instability stress</i>
$\sigma$	tensioni normali <i>normal stress</i>
$\tau$	tensioni tangenziali <i>shear stress</i>
$\sigma_c$	tensione equivalente (di Von Mises) <i>combined stress</i>
$A_v$	area di taglio <i>shear area</i>

**5 Caratteristiche dei materiali utilizzati:**
*materials:*
**5.1 Riferimenti normativi:**
*reference standards:*

- EN 755-2: tubi estrusi, barre estruse (spigot), caratteristiche meccaniche
- EN 1706: getti in alluminio, caratteristiche chimiche e meccaniche (piastre)
- EN 10277-5: acciai da bonifica (spina)

**5.2 Designazione dei materiali secondo norma:**
*materials identification:*

			Caratteristiche meccaniche min			
	Designazione		f <sub>0,2</sub>	f <sub>u</sub>	A <sub>min</sub>	spess.
componente	numerica	chimica	[MPa]	[MPa]	[%]	[mm]
<b>traliccio QX30S</b>						
tubi estrusi:Ø50x2 mm	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
tubi estrusi:Ø18x2 mm	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
barra estrusa: spina	acciaio C45 bonificato		580	750	8	5≤t≤10
			650	800	8	10≤t≤16
spigot:	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	260	310	8	
piastra d'estremità:	EN-AC 42200T6	Al Si7Mg0,6	240	320	8	
bulloni classe 8.8	acciaio		640	800	8	
<b>top for flyintower compact</b>						
profili L 100x50x8 mm	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
piastra	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
perno Ø20x97 mm	acciaio 11SMnPb37		375	460	8	16≤t≤40
barra estrusa: spina	acciaio C45 bonificato		580	750	8	5≤t≤10
			650	800	8	10≤t≤16
spigot:	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
<b>base for flyintower compact</b>						
profili 80x50x4 mm	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
piastra 300x350x10 mm	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
profilo C 120x60x10 mm	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
tubi estrusi:Ø50x4 mm	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
forche DSPGL003000	EN-AW 6082 T6	Al Si1MgMn	250	290	8	
perno in acciaio:	acciaio 11SMnPb37		375	460	8	16≤t≤4

dove:

- $f_{0,2}$  [MPa] resistenza al limite elastico corrispondente alla deformazione residua del 0,2%
- $f_u$  [MPa] resistenza ultima
- $A_{min}$  [%] allungamento minimo

### 5.3 Resistenza caratteristica: (EC 9 §5.3.5)

*characteristic stress:*

EN-AW 6082 T6

resistenza caratteristica per flessione e per completo snervamento a trazione e a compressione	$f_0=f_{0,2}$ [MPa]	250
resistenza caratteristica a rottura di una sezione netta a trazione o compressione	$f_a=f_u$ [MPa]	290
resistenza caratteristica a taglio	$f_v=f_0/\sqrt{3}$ [MPa]	144

### 5.4 Valori di progetto delle costanti dell'alluminio: (EC 9 §3.2.5)

*aluminium factors:*

E	70	[GPa]	modulo elastico
G	27	[GPa]	modulo di elasticità trasversale
$\nu$	0,3		coefficiente di Poisson
$\alpha$	2,3e-5	[1/°C]	coefficiente di dilatazione termica
$\rho$	2700	[kg/m <sup>3</sup> ]	densità

### 5.5 Tipologia delle saldature:

*weldings:*

La saldatura tra piastre di estremità e tubi dei tralicci è una saldatura testa a testa su tutta la circonferenza, mentre quella tra correnti e diagonali è una saldatura a cordone d'angolo con altezza di gola di 3 mm. Entrambe sono realizzate con procedimento TIG/141 (ISO 4063) e utilizzano come metallo d'apporto la lega S Al4043A (EN ISO 18273). La resistenza caratteristica del cordone di saldatura risultante è valutata come  $f_w=190 \text{ N/mm}^2$  (EC 9 § 6.6.3.1 – prospetto 6.8); la resistenza caratteristica della saldatura di testa è valutata come  $f_w=130 \text{ N/mm}^2$ , sulla base di prove sperimentali effettuate.

### 5.6 Coefficienti di sicurezza parziali relativi al materiale: (EC 9 §5.1.1)

*safety factors on material:*

resistenza delle sezioni trasversali di classe 1	$\gamma_{M1}$	1,10
resistenza delle sezioni trasversali di classe 2 o 3	$\gamma_{M1}$	1,10
resistenza delle sezioni trasversali di classe 4	$\gamma_{M1}$	1,10
resistenza delle membrature all'instabilità	$\gamma_{M1}$	1,10
resistenza delle sezioni nette in corrispondenza forature bulloni	$\gamma_{M2}$	1,25
resistenza dei collegamenti bullonati	$\gamma_{Mb}$	1,25

**6 Calcolo della forza del vento:**
*wind force:*

La struttura viene calcolata con riferimento alle condizioni di vento forza 6 e vento forza 8.

Vento forza 6 ( $v=13,8$  m/s)

Vento sul traliccio:

$F_w = q_{ref} c_e c_d c_f A_{ref}$	<b>0,22</b>	<b>[kN]</b>	<b>Forza del vento sul traliccio</b>
$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2$	119,03	[MPa]	pressione media di riferimento del vento
$v_{ref}$	13,8	[m/s]	velocità di riferimento del vento
$\rho$	1,25	[kg/m <sup>3</sup> ]	densità dell'aria secondo UNI ENV 1991-2-4 §7.1
$c_e$	1,8		coefficiente di esposizione del sito
$c_d$	1		coefficiente dinamico secondo UNI ENV 1991-2-4 §9.3 – figura 9.5 -
$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda \psi_{sc}$	1,26		coefficiente di forza secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.10
$c_{f,0}$	1,4		coefficiente di forza con snellezza infinita secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.10 – figura 10.10.4 -
$\psi_\lambda$	0,9		fattore di riduzione della snellezza secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.14 – figura 10.14.1 -
$\psi_{sc}$	1		fattore di riduzione per ponteggi
$A_{ref}$	0,82	[m <sup>2</sup> ]	area proiettata della struttura normalmente alla direzione del vento

Vento sul corpo appeso

$F_w = q_{ref} c_e c_d c_f A_{ref}$	<b>0,27</b>	<b>[kN/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Forza del vento sul corpo appeso</b>
$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2$	119,03	[MPa]	pressione media di riferimento del vento
$v_{ref}$	13,8	[m/s]	velocità di riferimento del vento
$\rho$	1,25	[kg/m <sup>3</sup> ]	densità dell'aria secondo UNI ENV 1991-2-4 §7.1
$c_e$	1,8		coefficiente di esposizione del sito
$c_d$	1		coefficiente dinamico secondo UNI

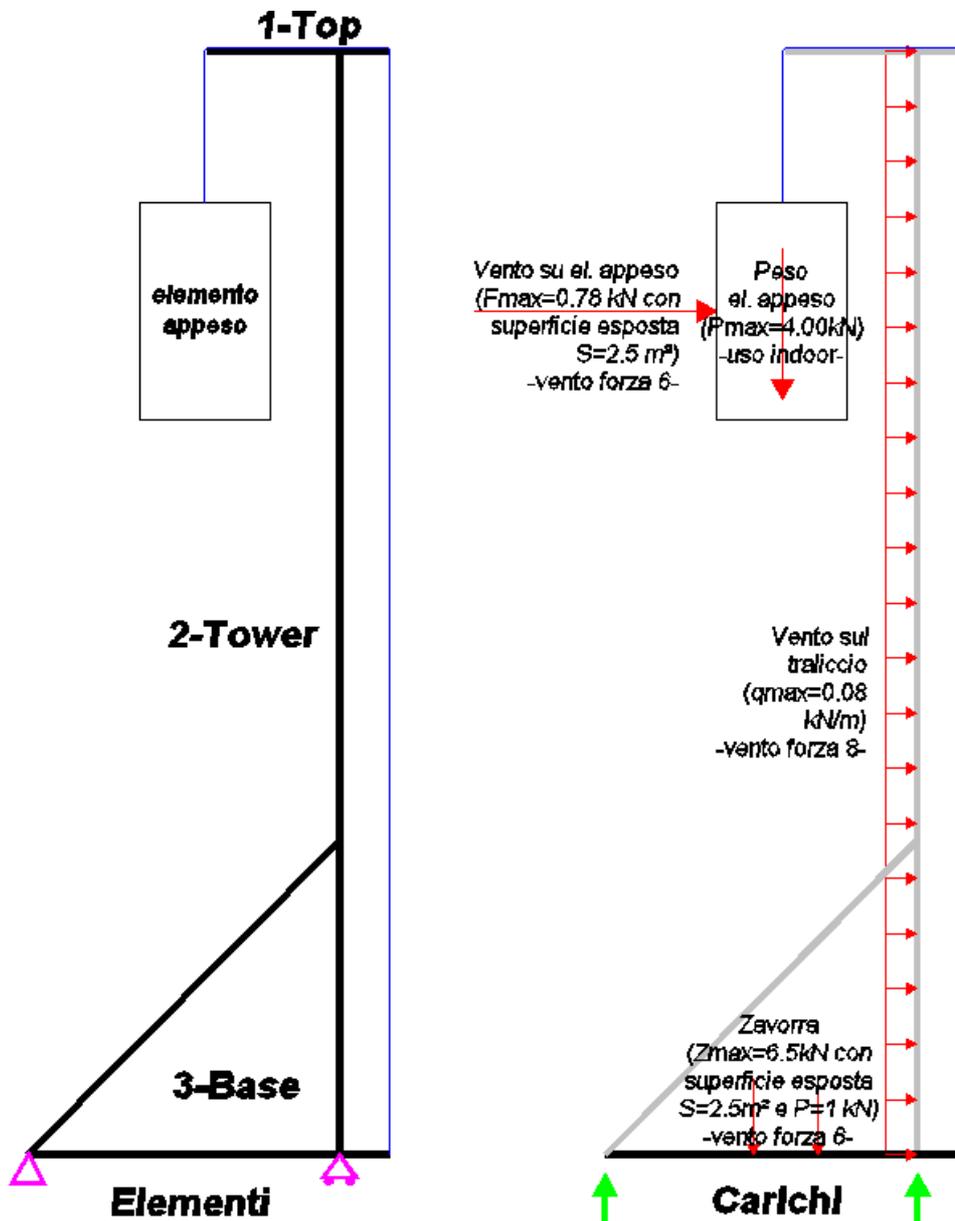
			ENV 1991-2-4 §9.3 – figura 9.5 -
$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda \psi_{sc}$	1,26		coefficiente di forza secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.10
$c_{f,0}$	2,1		coefficiente di forza con snellezza infinita secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.5 – figura 10.5.1 -
$\psi_\lambda$	0,6		fattore di riduzione della snellezza secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.14 – figura 10.14.1 -
$\psi_r$	1		fattore di riduzione per sezioni con spigoli arrotondati
$A_{ref}$	1	[m <sup>2</sup> ]	area proiettata del corpo appeso normalmente alla direzione del vento

Vento forza 8 ( $v=20,7$  m/s)

Vento sul traliccio:

$F_w = q_{ref} c_e c_d c_f A_{ref}$	<b>0,50</b>	<b>[kN]</b>	<b>Forza del vento sul traliccio</b>
$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2$	267,81	[MPa]	pressione media di riferimento del vento
$v_{ref}$	20,7	[m/s]	velocità di riferimento del vento
$\rho$	1,25	[kg/m <sup>3</sup> ]	densità dell'aria secondo UNI ENV 1991-2-4 §7.1
$c_e$	1,8		coefficiente di esposizione del sito
$c_d$	1		coefficiente dinamico secondo UNI ENV 1991-2-4 §9.3 – figura 9.5 -
$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda \psi_{sc}$	1,26		coefficiente di forza secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.10
$c_{f,0}$	1,4		coefficiente di forza con snellezza infinita secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.10 – figura 10.10.4 -
$\psi_\lambda$	0,9		fattore di riduzione della snellezza secondo UNI ENV 1991-2-4 §10.14 – figura 10.14.1 -
$\psi_{sc}$	1		fattore di riduzione per ponteggi
$A_{ref}$	0,82	[m <sup>2</sup> ]	area proiettata della struttura normalmente alla direzione del vento

7 Schema di calcolo



8 Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi

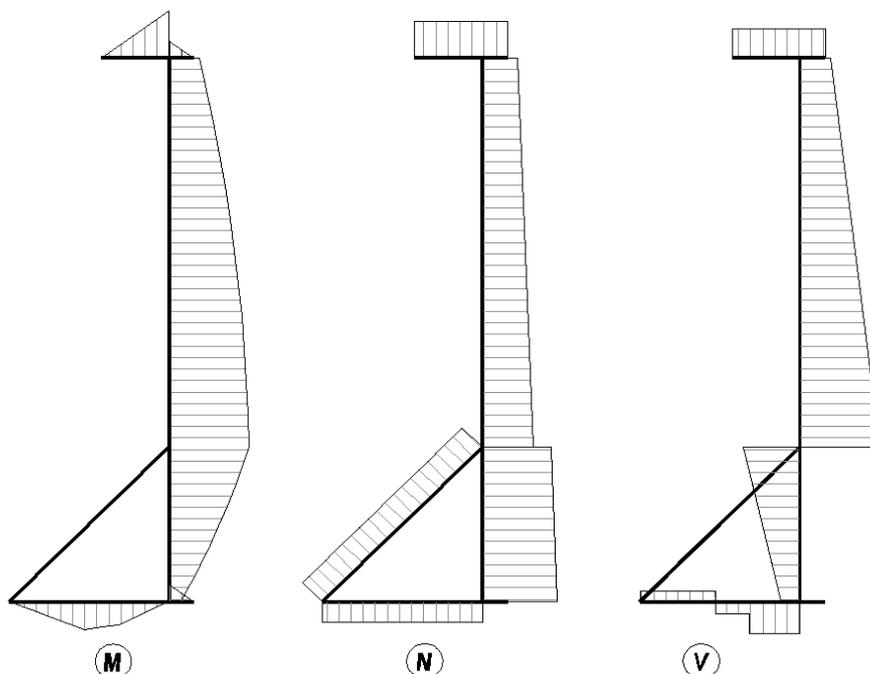


Figura 1: Diagrammi di sollecitazione tipici degli elementi strutturali

Le sollecitazioni massime sugli elementi strutturali sono:

	-uso outdoor- vento forza 6			-uso indoor-		
	$M_{Sd,max}$ [kNm]	$N_{Sd,max}$ [kN]	$V_{Sd,max}$ [kN]	$M_{Sd,max}$ [kNm]	$N_{Sd,max}$ [kN]	$V_{Sd,max}$ [kN]
<b>Top</b>						
perno Ø20			8,20			10,00
2 profili L 100x50x8	3,73	6,29	5,27	4,97	7,12	7,02
<b>Tower</b>						
sezione saldature	5,84	10,75	1,19	3,71	14,26	0,12
sezione Mmax	7,76	10,84	1,27	4,00	14,35	0,13
base		16,04	1,35		17,09	0,14
<b>Base</b>						
Tubi Ø50x4		3,78			1,95	
profilo C 120x50x10	1,47		5,27	1,97		7,02

9 Calcolo degli elementi strutturali:  
*structural elements strength:*

9.1 Top for flyintower compact:

9.1.1 Perno:

Resistenza a taglio del perno: (EC9 § 6.5.5 – prospetto 6.4)  
*shear strength:*

D	20	[mm]	diametro perno
A	3,14	[cm <sup>2</sup> ]	area 1 sezione di taglio
f <sub>ub</sub>	460	[MPa]	Resistenza caratteristica ultima del bullone
$F_{v,Rd} = \frac{0,6 A_v f_u}{\gamma_{Mb}}$	138,7	[kN]	Resistenza a taglio del perno (2 sezioni di taglio)

Resistenza a rifollamento del profilo L (EC9 § 6.5.5 – prospetto 6.4)

e <sub>1</sub>	55	[mm]	distanza dal bordo
d <sub>0</sub>	20,5	[mm]	diametro del foro
d	20	[mm]	diametro perno
t	8	[mm]	spessore profilo
f <sub>u</sub>	290	[MPa]	resistenza caratteristica ultima del profilo
α	0,63		parametro
$F_{rif} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{Mb}}$	58,46	[kN]	resistenza a rifollamento del collegamento bullonato

Sia la resistenza a taglio del perno, sia la resistenza a rifollamento dei profili è maggiore del massimo taglio sollecitante, per cui la verifica è soddisfatta.

$$V_{Rd,max} = \min(58,46; 138,7) = 58,46 \text{ kN} > V_{Sd,max} = 10,00 \text{ kN}$$

9.1.2 Profili accoppiati L 100x50x8

B	50	[mm]	larghezza base
H	100	[mm]	altezza profilo
t	8	[mm]	spessore profilo
A	1746	[mm <sup>2</sup> ]	area lorda dei due profili
Anett	1418	[mm <sup>2</sup> ]	area netta, depurata dei fori (EC9 §5.7.3)
Wel	37900	[mm <sup>3</sup> ]	modulo resistente elastico della sezione lorda
I	1904000	[mm <sup>4</sup> ]	momento d'inerzia

B	50	[mm]	larghezza base
i	33,023	[mm]	raggio d'inerzia
L	970	[mm]	lunghezza
Wpl	37900	[mm <sup>3</sup> ]	momento resistente plastico della sezione

**Resistenza a taglio (EC9 § 5.6.3)**

d	100	[mm]	altezza anima
t	8	[mm]	spessore anima
Av=0,8dt	640	[mm <sup>2</sup> ]	area di un'anima resistente a taglio
$F_{v,Rd} = \frac{A_v f_v}{\gamma_{M1}}$	83,78	[kN]	Resistenza a taglio del profilo

Il taglio resistente è maggiore del taglio sollecitante per cui la verifica è soddisfatta.  
 $V_{Rd} = 83,78 \text{ kN} > V_{Sd,max} = 7,02 \text{ kN}$

**Calcolo del fattore di riduzione per instabilità**

$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$	0,86		fattore di riduzione per instabilità flessionale
$\phi = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2]$	0,75		parametro
$\eta$	1		fattore che tiene conto della presenza di elementi di classe 4
$k_1$	1		fattore definito in EC 9 – prospetto 5.5 – dipendente dalla sezione e dal trattamento termico
$k_2$	1		fattore definito in EC 9 – prospetto 5.5 – dipendente dalla sezione e dal trattamento termico
$\alpha$	0,2		fattore di imperfezione definito in EC 9 prospetto 5.6, dipendente dal trattamento termico
$\bar{\lambda}_0$	0,1		fattore di imperfezione definito in EC 9 prospetto 5.6, dipendente dal trattamento termico
$\lambda = \frac{L}{i}$	33,02		parametro di snellezza
$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\eta f_0}}$	52,5		parametro

$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$	0,63	parametro
---	------	-----------

Resistenza a flessione (EC9 §5.6.2.1) e compressione (EC9 § 5.8.6)

$N_{Rd} = \frac{f_0 A}{\gamma_{M1}}$	396,8	[kN]	Resistenza del profilo a compressione per schiacciamento locale
$\alpha$	1		fattore di forma (EC9 5.6.2.1 – prospetto 5.3)
$M_{Rd} = \frac{\alpha f_0 W_{el}}{\gamma_{M1}}$	8,61	[kNm]	Momento resistente a flessione

Campo di resistenza a pressoflessione

Si assume come campo di resistenza a pressoflessione quello individuato dalla seguente relazione:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi N_{Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

Effettuando la verifica con  $M_{Sd,max}$  e  $N_{Sd,max}$  la verifica risulta soddisfatta.

$$\frac{7,12}{0,86 \cdot 396,8} + \frac{4,97}{8,61} = 0,60 < 1$$

## 9.2 Tower

La torre è costituita da due tralicci QX30S collegati e disposti verticalmente. Per tutte le verifiche di resistenza locale del traliccio si rimanda alla relazione di calcolo LT RC QX30S. In questa sede si effettua la verifica della sezione in corrispondenza della saldatura di testa dei correnti alle piastre in alluminio colato. Inoltre si effettua la verifica d'instabilità globale del traliccio secondo il metodo della colonna modello.

9.2.1 Resistenza della saldatura di testa tra piastra di estremità e corrente:

$$\sqrt{\left(\frac{M_{sal}}{W} + \frac{N_{sal}}{A}\right)^2 + 3\left(\frac{V_{sal}}{A}\right)^2} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

dove:

$$N_{sal} = \frac{N}{4} + \frac{M}{2d_1} + \left(\frac{Vd}{2a}\right) \frac{c}{d} \quad \text{Sforzo normale sulla saldatura di testa}$$

$$M_{sal} = \left(\frac{Vd}{2a}\right) f \quad \text{Momento flettente sulla saldatura di testa}$$

$$V_{sal} = \frac{V}{2} \quad \text{Taglio sulla saldatura di testa}$$

N, M, V Sollecitazioni assiale, flettente e tagliante sulla sezione del traliccio

A	302	[mm <sup>2</sup> ]	area di un corrente
W	3480	[mm <sup>3</sup> ]	modulo resistente di un corrente
f	3,8	[mm]	eccentricità del diagonale

Calcolando il momento resistente corrispondente allo sforzo normale e al taglio massimo sollecitante nella sezione di verifica si ottiene un valore maggiore del momento sollecitante massimo per cui la verifica è soddisfatta.

$$N_{Sd,max}=14,26 \text{ kN} ; V_{Sd,max}=1,19 \text{ kN} \rightarrow M_{Rd}= 12,85 \text{ kNm} > M_{Sd,max} = 5,84 \text{ kNm}$$

### 9.2.2 Instabilità globale del traliccio:

Si calcola il momento sollecitante amplificato per tener conto degli effetti del II ordine e lo si confronta con il momento resistente del traliccio a pressoflessione.

$$M_{Sd} = M_I + M_{II} = N(e_1 + e_{acc.}) + N \frac{l_0^2}{10} \left( \frac{1}{r_y} \right) \quad \text{momento sollecitante}$$

$$M_{Rd} = \left( \frac{f_0}{\gamma_{MI}} - \frac{N_{Sd}}{A} \right) W \quad \text{momento resistente}$$

dove:

N sforzo normale agente sul traliccio  
 $e_1$  eccentricità dello sforzo normale dovuto ai carichi  
 $e_{acc.}$  eccentricità dovuta alla non verticalità della torre

$$\left( \frac{1}{r_y} \right) = \frac{2 \left( \frac{f_0}{E} - \frac{N}{EA} \right)}{h} \quad \text{curvatura di prima plasticizzazione}$$

$l_0$	10,5	[m]	lunghezza libera di inflessione
E	70000	[MPa]	modulo elastico della sezione
$f_0$	250	[MPa]	resistenza caratteristica a snervamento
A	1206	[mm <sup>2</sup> ]	area della sezione del traliccio
J	17575415	[mm <sup>4</sup> ]	momento d'inerzia della sezione del traliccio

Si esegue la verifica con le sollecitazioni ( $N_{max}$ , M) e ( $N, M_{max}$ ) nella sezione di massima curvatura:

- $(N_{max}, M) = (14,35 \text{ kN} ; 4,00 \text{ kNm})$

Il momento sollecitante che tiene conto degli effetti del II ordine risulta inferiore rispetto al momento resistente per cui la verifica è soddisfatta.

$$M_{Sd} = M_I + M_{II} = 4,65 + 3,61 = 8,26 \text{ kNm} < M_{Rd} = 26,02 \text{ kNm}$$

- $(N, M_{max}) = (10,84 \text{ kN} ; 7,76 \text{ kNm})$

Il momento sollecitante che tiene conto degli effetti del II ordine risulta inferiore rispetto al momento resistente per cui la verifica è soddisfatta.

$$M_{Sd} = M_I + M_{II} = 8,25 + 2,76 = 11,01 \text{ kNm} < M_{Rd} = 26,37 \text{ kNm}$$

### 9.3 Base for flyintower compact

#### 9.3.1 Tubi Ø50x4:

*chord tube:*

##### 9.3.1.1 Caratteristiche della sezione:

*single tube cross section:*

D	50	[mm]	diametro
t	4	[mm]	spessore
A	578	[mm <sup>2</sup> ]	area lorda
Anett	490	[mm <sup>2</sup> ]	area netta, depurata dei fori
Wel	6151	[mm <sup>3</sup> ]	modulo resistente elastico della sezione lorda
I	154091	[mm <sup>4</sup> ]	momento d'inerzia
It	308102	[mm <sup>4</sup> ]	momento d'inerzia torsionale
i	16	[mm]	raggio d'inerzia
L	1925	[mm]	lunghezza
Wpl	7812	[mm <sup>3</sup> ]	momento resistente plastico della sezione lorda

##### 9.3.1.2 Suscettibilità all'instabilità locale di un tubo compresso o inflesso: (EC 9 §5.4.3)

*local instability of a single tube:*

$\beta = 3\sqrt{\frac{D}{t}}$	10,61	per un tubo circolare in parete sottile
$\epsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}}$	1	parametro
$\beta_1$	11	parametri di snellezza definiti in EC 9 prospetto 5.1 in funzione della presenza di saldature, del trattamento termico e del tipo di elemento
$\beta_2$	16	
$\beta_3$	22	
classe	3	classe della sezione trasversale definita in EC 9 §5.4.4

##### Resistenza a trazione per snervamento generalizzato: (EC 9 § 5.7.2)

*tensile strength for diffuse yielding:*

Ag=A	578	[mm <sup>2</sup> ]	area della sezione
$F_{t, Rd1} = \frac{A_g f_0}{\gamma_{MI}}$	131,36	[kN]	Resistenza a trazione per snervamento

Resistenza a trazione per rottura locale: (EC 9 § 5.7.3)

*tensile strength for local failure:*

$F_{t,Rd2} = \frac{A_{net} f_a}{\gamma_{M2}}$	113,68	[kN]	Resistenza a trazione per rottura locale
---	--------	------	--

9.3.1.3 Resistenza a trazione: (EC 9 § 5.7)

*tensile strength:*

$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd1}; F_{t,Rd2})$	113,68	[kN]	Resistenza a trazione del corrente
---	--------	------	------------------------------------

Resistenza a compressione per instabilità flessionale: (EC 9 § 5.8.4)

*compressive strength for bending instability:*

$F_{c,Rd1} = \frac{A f_s}{\gamma_{M1}}$	23,60	[kN]	Resistenza a compressione per instabilità flessionale
$f_s = \chi \eta k_1 k_2 f_0$	44,91	[MPa]	tensione di instabilità
$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$	0,18		fattore di riduzione per instabilità flessionale
$\phi = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2]$	3,24		parametro
$\eta$	1		fattore che tiene conto della presenza di elementi di classe 4
$k_1$	1		fattore definito in EC 9 – prospetto 5.5 – dipendente dalla sezione e dal trattamento termico
$A_1$	578	[mm <sup>2</sup> ]	fattore definito in EC 9 – prospetto 5.5
$k_2$	1		fattore definito in EC 9 – prospetto 5.5 – dipendente dalla sezione e dal trattamento termico
$\alpha$	0,2		fattore di imperfezione definito in EC 9 prospetto 5.6, dipendente dal trattamento termico
$\bar{\lambda}_0$	0,1		fattore di imperfezione definito in EC 9 prospetto 5.6, dipendente dal trattamento termico
$\lambda = \frac{L}{i}$	117,9		parametro di snellezza
$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{\eta f_0}}$	52,5		parametro
$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$	2,25		parametro

Resistenza a compressione per schiacciamento locale: (EC 9 § 5.8.6)

*compressive strength for local failure:*

$F_{c,Rd2} = \frac{A_n f_0}{\gamma_{M1}}$	111,36	[kN]	Resistenza a compressione per schiacciamento locale
---	--------	------	---

9.3.1.4 Resistenza a compressione:

*compressive strength:*

$F_{c,Rd} = \min(F_{c,Rd1}; F_{c,Rd2})$	23,6	[kN]	Resistenza a compressione
---	------	------	---------------------------

Il massimo sforzo assiale sollecitante è inferiore rispetto alla resistenza assiale, per cui la verifica è soddisfatta.

$$N_{Sd,max} = 3,78 \text{ kN} < N_{Rd} = 23,60 \text{ kN}$$

9.3.2 Tubi 80x50x4

Trascurando lo sforzo normale legato alla componente orizzontale dello sforzo nei tubi Ø50x4, il cui effetto non risulta rilevante, si assume lo schema statico in figura 2:

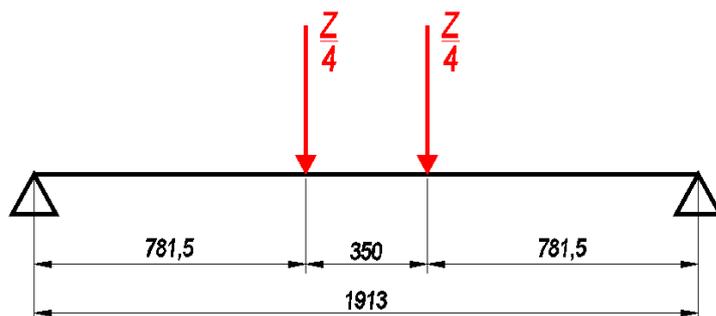


Figura 2: Schema statico tubi quadri alla base

dove Z è la zavorra massima che è possibile disporre, pari a 6,50 kN.

9.3.2.1 Caratteristiche della sezione:

*single tube cross section:*

h	80	[mm]	altezza
b	50	[mm]	larghezza
t	4	[mm]	spessore
A	934	[mm <sup>2</sup> ]	area
Wel	19188	[mm <sup>3</sup> ]	modulo resistente elastico della sezione
I	767543	[mm <sup>4</sup> ]	momento d'inerzia
i	28,65	[mm]	raggio d'inerzia
L	1913	[mm]	lunghezza
Wpl	23950	[mm <sup>3</sup> ]	momento resistente plastico della sezione

h	80	[mm]	altezza
$\alpha_{3,u}$	1,08		parametro definito in (EC9 §5.6.2.1 -prospetto 5.3)

### 9.3.2.2 Suscettibilità all'instabilità locale di un tubo compresso o inflesso: (EC 9 §5.4.3)

*local instability of a single tube:*

$\beta = \frac{b}{t}$	20		per il lato maggiore del tubo rettangolare
$\epsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}}$	1		parametro
$\beta_1$	11		parametri di snellezza definiti in EC 9 prospetto 5.1 in funzione della presenza di saldature, del trattamento termico e del tipo di elemento
$\beta_2$	16		
$\beta_3$	22		
classe	3		classe della sezione trasversale definita in EC 9 §5.4.4

### 9.3.2.3 Resistenza a taglio (EC9 § 5.6.3)

d	80	[mm]	altezza anima
t	4	[mm]	spessore anima
$A_v = 0,8dt$	256	[mm <sup>2</sup> ]	area di un'anima resistente a taglio
$F_{v,Rd} = \frac{A_v f_v}{\gamma_{M1}}$	33,51	[kN]	Resistenza a taglio del profilo

La resistenza a taglio del profilo è maggiore rispetto alla massima sollecitazione di taglio di calcolo per cui la verifica è soddisfatta.

$$V_{Sd} = 2,20 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 33,51 \text{ kN}$$

### 9.3.2.4 Resistenza a flessione uniassiale:

*bending strength:*

$M_{Rd} = \frac{f_0 \alpha W_{el}}{\gamma_{M1}}$	4,72	[kNm]	Resistenza a flessione del tubo
--	------	-------	---------------------------------

Il massimo momento flettente di calcolo risulta inferiore rispetto al momento resistente per cui la verifica risulta soddisfatta.

$$M_{Sd} = 1,72 \text{ kNm} < M_{Rd} = 4,72 \text{ kNm}$$

### 9.3.3 Profilo a C 120x60x10

#### 9.3.4

Si assume lo schema statico di trave a sbalzo di lunghezza 280 mm

#### 9.3.4.1 Caratteristiche della sezione:

*single tube cross section:*

h	60	[mm]	altezza
b	120	[mm]	larghezza
t	10	[mm]	spessore
A	2200	[mm <sup>2</sup> ]	area
Wel	17146	[mm <sup>3</sup> ]	modulo resistente elastico della sezione
I	709242	[mm <sup>4</sup> ]	momento d'inerzia
i	17,95	[mm]	raggio d'inerzia
L	280	[mm]	lunghezza
Wpl	30924	[mm <sup>3</sup> ]	momento resistente plastico della sezione
$\alpha_{3,u}$	1,8		parametro definito in (EC9 §5.6.2.1 -prospetto 5.3)

9.3.4.2 Suscettibilità all'instabilità locale di un tubo compresso o inflesso: (EC 9 §5.4.3)

*local instability of a single tube:*

$\beta = \frac{b}{t}$	12		per il lato maggiore del tubo rettangolare
$\epsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}}$	1		parametro
$\beta_1$	11		parametri di snellezza definiti in EC 9 prospetto 5.1 in funzione della presenza di saldature, del trattamento termico e del tipo di elemento
$\beta_2$	16		
$\beta_3$	22		
classe	1 o 2		classe della sezione trasversale definita in EC 9 §5.4.4

9.3.4.3 Resistenza a taglio (EC9 § 5.6.3)

*shear strength:*

d	60	[mm]	altezza anima
t	10	[mm]	spessore anima
$A_v = 0,8dt$	480	[mm <sup>2</sup> ]	area di un'anima resistente a taglio
$F_{v,Rd} = \frac{A_v f_v}{\gamma_{M1}}$	125,67	[kN]	Resistenza a taglio del profilo

9.3.4.4 Resistenza a rifollamento del profilo (EC9 § 6.5.5 – prospetto 6.4)

e <sub>1</sub>	25	[mm]	distanza dal bordo
d <sub>0</sub>	20,5	[mm]	diametro del foro
d	20	[mm]	diametro perno

t	10	[mm]	spessore profilo
f <sub>u</sub>	290	[MPa]	resistenza caratteristica ultima del profilo
α	0,40		parametro
$F_{rif} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{Mb}}$	92,8	[kN]	resistenza a rifollamento del collegamento bullonato

Il massimo taglio sollecitante è minore del taglio resistente del profilo, del perno (vedi 9.1.1) e della resistenza a rifollamento del profilo, per cui la verifica è soddisfatta.

$$V_{Sd}=7,02 \text{ kN} < V_{Rd,perno}=138,7 \text{ kN}$$

$$V_{Sd}=7,02 \text{ kN} < V_{Rifoll}=92,8 \text{ kN}$$

$$V_{Sd}=7,02 \text{ kN} < V_{Rd,profilo}=125,67 \text{ kN}$$

#### 9.3.4.5 Resistenza a flessione uniassiale:

*bending strength:*

$M_{Rd} = \frac{f_0 \alpha W_{el}}{\gamma_{M1}}$	7,01	[kNm]	Resistenza a flessione del tubo
--	------	-------	---------------------------------

Il massimo momento sollecitante sull'elemento è minore del momento resistente per cui la verifica è soddisfatta.

$$M_{Sd}=1,97 \text{ kNm} < M_{Rd}=7,01 \text{ kNm}$$

10 Condizioni di utilizzo della torre e zavorra da disporre:

Al fine di garantire la sicurezza nei confronti del ribaltamento si richiede di disporre sempre una zavorra ai piedi della torre sulle barre predisposte, in posizione tale che i baricentri della zavorra e del carico appeso siano allineati verticalmente.

La torre può essere utilizzata nelle seguenti condizioni:

\*\*\*\*\*USO OUTDOOR - VENTO A VELOCITA' < 13,8 m/s (FORZA 6)\*\*\*\*\*

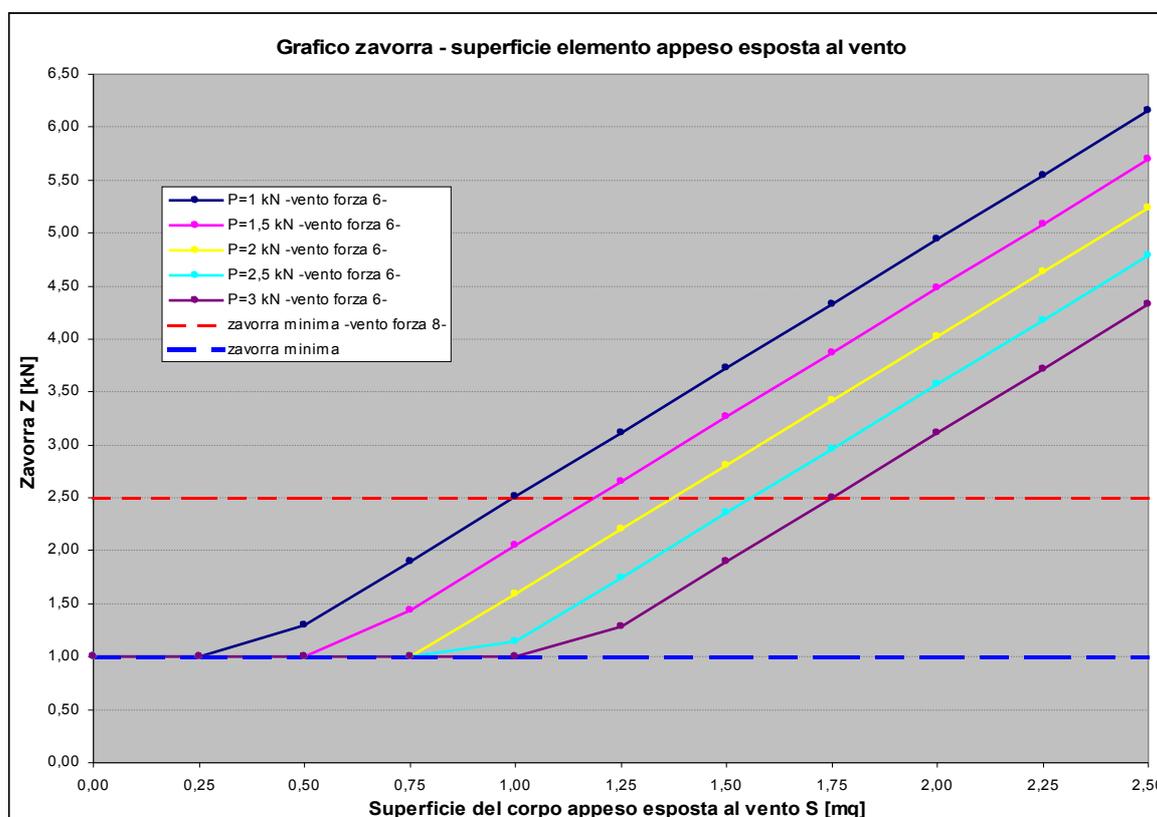
La torre può sollevare un carico appeso di 3,00 kN con superficie esposta al vento non superiore a 2,5 m<sup>2</sup> e zavorra di 4,40 kN. Il valore della zavorra da disporre alla base della torre dipende dal carico appeso e dalla superficie esposta al vento, secondo il grafico seguente, con valore minimo di 1,00 kN;

\*\*\*\*\*USO OUTDOOR - VENTO A VELOCITA' >13,8 m/s (FORZA 6) E < 20,7 m/s (FORZA 8)\*\*\*\*\*

Si richiede di abbassare il carico appeso, si può mantenere l'installazione a condizione di disporre alla base della torre una zavorra minima di 2,50 kN;

\*\*\*\*\*USO INDOOR\*\*\*\*\*

La torre può sollevare un carico massimo di 4,00 kN, si richiede di disporre sempre una zavorra minima di 1,00 kN.



Valori di zavorra da disporre in funzione della superficie del corpo appeso esposta al vento e del carico appeso -uso outdoor vento a velocità < 13,8 m/s (FORZA 6)-						
		Carico appeso [kN]				
		P=1,0 kN	P=1,5 kN	P=2,0 kN	P=2,5 kN	P=3,0 kN
Superficie del corpo appeso esposta al vento S [mq]	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,50	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,75	1,90	1,44	1,00	1,00	1,00
	1,00	2,51	2,05	1,60	1,14	1,00
	1,25	3,12	2,66	2,20	1,75	1,29
	1,50	3,72	3,27	2,81	2,35	1,90
	1,75	4,33	3,87	3,42	2,96	2,51
	2,00	4,94	4,48	4,03	3,57	3,11
	2,25	5,55	5,09	4,63	4,18	3,72
2,50	6,15	5,70	5,24	4,78	4,33	

Preganziol, luglio 2007

Dott. Ing. Raffaele Fuser  
Ordine degli Ingegneri di Treviso

