

  
**Sanseverino Srl**  
engineering & service

Sede Legale Via Dei Cicloni n°63 - 09045 Quartu S'Elena (CA)  
Sede Operativa Via Bacco n°7/9 - 09030 Elmas (CA)  
Tel./Fax. 0704631592 www.sanseverinosrl.net  
info@sanseverinosrl.net sanseverinosrl@arubapec.it

P.IVA C.F. E ISCRIZIONE AL REGISTRO DELLE IMPRESE DI  
CAGLIARI N°03036000925 - CAPITALE SOCIALE 10.000,00€ I.V.

CAGLIARI 06/07/2020

OGGETTO:

## VERIFICHE STRUTTURALI

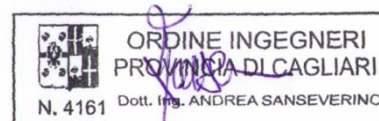
TORRE AUDIO LUCI  
MANIFESTAZIONI TEATRO DI CAGLIARI  
"PIAZZA NAZZARI" – CAGLIARI

COMMITTENTE:

**FONDAZIONE TEATRO LIRICO CAGLIARI**

Progettista:

Dott. Ing. Andrea Sanseverino  
Via Dei Cicloni, n°63 - 09045 Quartu Sant'Elena (CA)  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari N°4161



## Sommario

.....	0
Sommario .....	1
Premessa .....	2
Normativa di riferimento.....	3
Tipo di costruzione e classe d'uso.....	3
Geotecnica.....	3
Caratteristiche dei materiali.....	4
Metodi di calcolo e di verifica.....	6
Analisi dei carichi.....	6
Combinazioni di carico.....	12
Caratteristiche dei componenti impiegati.....	14
Combinazioni di carico utilizzate per le verifiche.....	18
Modello di calcolo utilizzato (torre audio).....	19
Azioni utilizzate per il calcolo (vento su strutture teli scenici) .....	20
Azioni utilizzate per il calcolo (zavorre) .....	20
Azioni utilizzate per il calcolo (audio).....	21
Azioni utilizzate per il calcolo (audio).....	21
Analisi delle sollecitazioni degli elementi allo SLU2.....	22
Analisi delle deformazioni degli elementi allo SLE1 .....	22
Analisi di stabilità allo SLE (VERIFICA A RIBALTAMENTO) .....	23
Verifica pressioni alla base.....	25
Note conclusive.....	26

## Premessa.

La presente relazione, ha lo scopo di descrivere le verifiche gli elementi strutturali dell'installazione realizzata con strutture metalliche prefabbricate, per i concerti che si svolgeranno presso la Piazza Nazzari a Cagliari nella stagione estiva 2020.

Su incarico della Fondazione Teatro Lirico di Cagliari, è stata predisposta la verifica degli elementi strutturali generali.

Le strutture oggetto della presente relazione sono così individuabili:

1. **TORRE AUDIO LUCI** avente dimensione massima in pianta di 3600mm in profondità e 3600mm di fronte massimo e un'altezza dal piano di posa di 10000mm, +200mm per l'eventuale regolazione del livello di posa.

Le strutture verranno realizzate mediante l'utilizzo di elementi prefabbricati da ponteggio, della ditta MARCEGAGLIA SpA, inoltre saranno utilizzati componenti speciali quali zavorre "serbatoi acqua 1000 litri" e travi di sostegno audio.

Ai fini del calcolo, sono state prese in esame le strutture che si discostano da una possibile installazione classica da manuale di montaggio.

## Normativa di riferimento.

Si riporta di seguito la principale normativa che è stata utilizzata nella redazione del presente documento.

- [1] **L. 05.11.1971, n. 1086**, *Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- [2] **CNR-UNI 10011, 21.12.1997**, *Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.*
- [3] **UNI EN 1991-1...**, *Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni sulle strutture.*
- [4] **UNI EN 1992-1...**, *Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di cemento armato.*
- [5] **UNI EN 1993-1...**, *Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio.*
- [6] **NTC 2018**, *Norme tecniche per le costruzioni.*
- [7] **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7**, *Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.*
- [8] **Circolare Ministeriale Prot.1689 SG 205/4 del 04/04/2011**, *Carichi sospesi.*
- [9] **Prefettura di Cagliari, Commissione Provinciale di Vigilanza sui Locali di Pubblico Spettacolo**, *Verifica della solidità e sicurezza dei carichi sospesi.*
- [10] **UNI 11580 - Sistemi per il Pubblico Spettacolo**, *Specifiche per la progettazione, la fabbricazione e le ispezioni degli elementi strutturali in alluminio e/o acciaio.*
- [11] **UNI 13200-.. - Installazioni per il Pubblico Spettacolo.**

## Tipo di costruzione e classe d'uso.

La struttura in oggetto è una struttura prevalentemente di tipo metallico con vita nominale estremamente ridotta alcuni giorni si stima non più di sette dalla data di inizio costruzione allo smontaggio definitivo la stessa è classificabile secondo la Tab.2.4.I delle NTC 2018 (Costruzioni temporanee e provvisorie con una vita nominale  $V_N \leq 10$  anni).

La classe d'uso attribuita è la CLASSE II (Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali....)

## Geotecnica

La struttura in oggetto verrà installata su piazzale pavimentato, pertanto si ritiene che la "pavimentazione esistente" sia idonea a sopportare i carichi trasmessi dalle strutture temporanee a patto che siano installate piastre di ripartizione in legno o simili.

## Caratteristiche dei materiali.

### Acciai per strutture metalliche e strutture composte

Nei calcoli statici sono stati impiegati i seguenti valori:

Modulo elastico:  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ ;

Coefficiente di Poisson:  $\nu = 0,3$

Modulo di elasticità trasversale:  $G = E/[2(1 + \nu)] = 80769 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di espansione termica lineare:  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (per temperature fino a  $100^\circ\text{C}$ )

Densità del materiale (acciaio):  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

In sede di progettazione, sono stati assunti i dati sintetizzati di seguito nelle tabelle (NTC 2018):

**Tab. 4.2.I – Laminati a caldo con profili a sezione aperta piani e luvghi**

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$	$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$		
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$
<b>UNI EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
<b>UNI EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>UNI EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	580
<b>UNI EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

**Tab. 4.2.II – Laminati a caldo con profili a sezione ovale**

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$	$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$		
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$
<b>UNI EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
<b>UNI EN 10219-1</b>				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		
S460 NH/NHL	460	550		

I bulloni utilizzati nelle giunzioni, devono appartenere alle classi sotto indicate della norma UNI EN ISO 898-1:2013, associate nel modo indicato nella tabella sottostante (NTC 2018):

# 11.3.4.6 BULLONI E CHIODI

## 11.3.4.6.1 Bulloni "non a serraggio controllato"

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'non precaricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 15048-1.

In alternativa anche gli assiemi ad alta resistenza conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1 sono idonei per l'uso in giunzioni non precaricate.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIII.a.

Tab. 11.3.XIII.a

Viti	Dadi	Rondelle	Riferimento
Classe di resistenza	Classe di resistenza	Durezza	
UNI EN ISO 898-1:2013	UNI EN ISO 898-2:2012		
4.6	4; 5; 6 oppure 8	100 HV min.	UNI EN 15048-1
4.8			
5.6			
5.8	5; 6 oppure 8		
6.8		6 oppure 8	
8.8			8 oppure 10
10.9	10 oppure 12		
		100 HV min. oppure 300 HV min.	

Le tensioni di snervamento  $f_{0.2}$  e di rottura  $f_u$  delle viti appartenenti alle classi indicate nella precedente Tab. 11.3.XIII.a sono riportate nella seguente Tab. 11.3.XIII.b:

Tab. 11.3.XIII.b

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	450	640	900
$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

## 11.3.4.6.2 Bulloni "a serraggio controllato"

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'Precaricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIV.

Tab. 11.3.XIV

Sistema	Viti	Dadi	Rondelle
	Classe di resistenza	Classe di resistenza	Durezza
	Riferimento	Riferimento	Riferimento
HR	8.8	8	300-370
	10.9	10	HV
HV	10.9	10	UNI EN 14399 parti 5 e 6

## **Metodi di calcolo e di verifica.**

Le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione della struttura, verranno valutate tenendo conto del comportamento tridimensionale di tutta la struttura, mediante un'analisi statica lineare.

Il solutore e modellatore FEM utilizzato è "Straus7 R2.4.6" della "G+D Computing Pty Ltd"

## **Analisi dei carichi.**

Si riassumono di seguito i valori caratteristici dei carichi prudenzialmente utilizzati in fase d'analisi strutturale.

## CARICHI GRAVANTI SULLE STRUTTURE

CARICHI ELEMENTI STRUTTURALI	-	Kg	Determinati dal software
CARICHI IMPIANTO AUDIO	400	kg	Dato impostato dal progettista
CARICO VENTO	/	kg/m <sup>2</sup>	
ZAVORRE	1000	kg	Dato fornito dal committente

## AZIONE DEL SISMA

Le azioni sismiche di progetto, tenuto conto della natura dell'opera sono state trascurate, in quanto irrisorie per il tipo di struttura.

## AZIONE DELLA NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle strutture è stato ipotizzato nullo in quanto risulta condizione di non idoneità per l'avvio della manifestazione.



## AZIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b C_e C_p C_d$$

dove:

$q_b$  è la pressione cinetica di riferimento di cui al § 3.3.6;

$C_e$  è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7;

$C_p$  è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;

$C_d$  è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Indicazioni per la sua valutazione sono riportate al § 3.3.9.

La struttura in esame appartiene alla zona 5 Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena) così come individuata nella tabella e figura 3.3.1 delle NTC 2018.

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

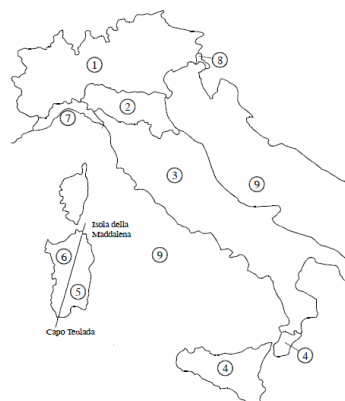


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

La Classe di rugosità del terreno per la zona dove sorgeranno le strutture è C, Aree con ostacoli diffusi..., così come individuata nella tabella 3.3.III delle NTC 2018:

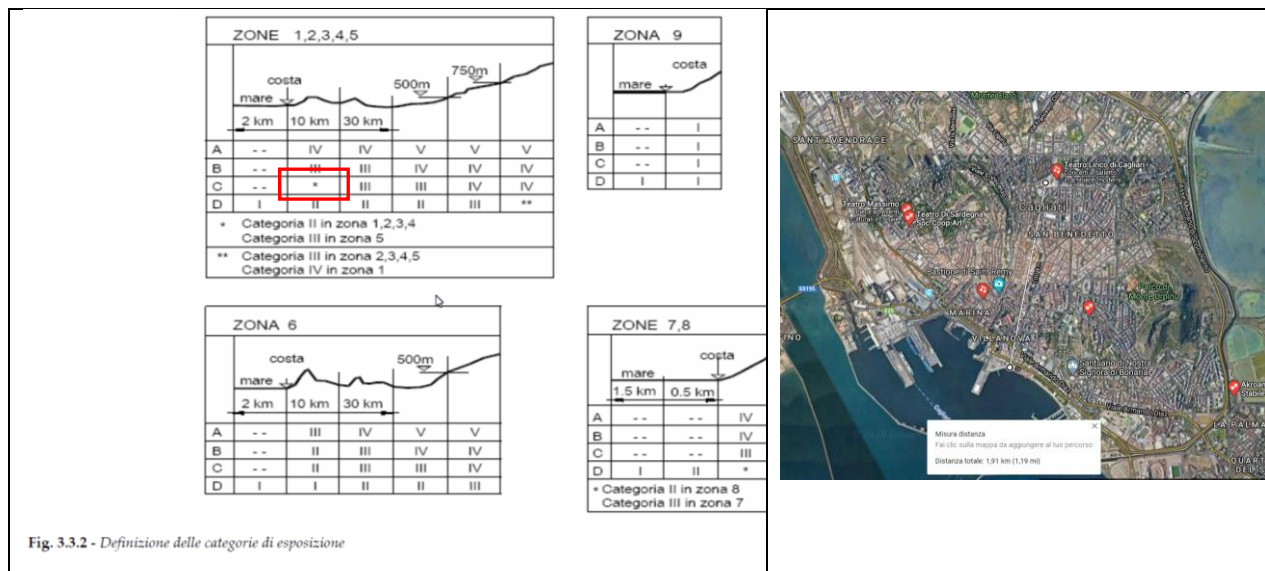
Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).



La categoria di esposizione del sito tenuto conto della distanza dalla costa (1.9km) della classe di rugosità del terreno (C) è III, così come individuata nelle figure 3.3.2 delle NTC 2018:



I parametri  $K_r$   $z_0$   $z_{min}$  sono individuati nella tabella 3.3.II delle NTC2018:

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Tenuto conto di questi parametri e delle caratteristiche sotto riportate si ottiene:

Periodo di ritorno considerato:	50 anni
Altezza del sito sul l.m.m.:	30 m
Distanza del sito dalla costa:	1.9 km
Altezza di calcolo utilizzata:	variabile con un massimo di 10m

La struttura in esame appartiene alla zona 5 Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena)

$V_{b,0}$	28 m/s
$a_0$	750 m
$q_{ref}$	490 N/m <sup>2</sup>

Classe di rugosità del terreno C: Aree con ostacoli diffusi

Categoria di esposizione del sito: III

$k_r$	0,20
$z_0$	0,10 m
$z_{min}$	5,00 m

Tipo di struttura: Travi reticolari + teli scenici

Il Coefficiente d'esposizione è dato dalla relazione:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[ 7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right]$$

Coefficiente di esposizione "punto più alto":	$C_{e10.0m} = 2.14$
Coefficiente dinamico:	$C_d = 1$
Coefficiente di pressione (box audio/video/teli scenici): (Travi ad anima piena o reticolari)	$c_p = 1.4$

La pressione del vento sarà compresa tra:

$$P_1 = (490 \times 2.14 \times 1.4) = 1470 \quad \text{N/m}^2 \quad (\text{teli scenici e di protezione})$$

Al fine di poter valutare un'azione eccezionale limite, a favore della sicurezza non è stato attribuito nessun coefficiente riduttivo applicabile per le strutture temporanee, solo in seconda analisi è stato calcolato il vento limite per le strutture.

Prudenzialmente, a favore della sicurezza, in caso di superamento del valore di 60-65 tutte le strutture ausiliarie “teli scenici e di protezione” dovranno essere rimossi. Risulta indispensabile monitorare il vento (previsioni meteo della zona + anemometro durante l'evento).

Durante i periodi di inattività delle strutture, le stesse dovranno essere tenute nella configurazione con “rischio minimo”.

Tenuto conto che le strutture quali teli scenici e di copertura possono arrecare sollecitazioni importanti con la possibilità di instabilizzazione delle strutture, si è assunto come condizione limite di esercizio in sicurezza la velocità del vento di 18 m/s.

La pressione cinetica di riferimento per la velocità del vento di 18 m/s sarà: 202.5 N/m<sup>2</sup>

Per una velocità del vento di 18m/s corrispondenti a circa 65km/h la pressione massima che si può generare sulle superfici esposte secondo quanto descritto precedentemente sarà pari a:

$$P_1 = (203 \times 2.14 \times 1.4) = 610 \quad \text{N/m}^2 \quad (\text{teli scenici e di protezione})$$

Per una velocità del vento superiore ai 18m/s le strutture sono idonee a sopportare le azioni del vento a patto che siano rimossi i teli.

**TENUTO CONTO DELLE ANALISI SVOLTE, STA AL GESTORE DELLA STRUTTURA STABILIRE LA CONFIGURAZIONE CHE VUOLE ADOTTARE PER I PERIODI DI INATTIVITÀ O DI VENTO OLRE I 18m/s.**

## Combinazioni di carico.

Le verifiche sono state condotte nei riguardi degli stati limite di esercizio e degli stati limite ultimi. Le azioni sulla struttura, sono state cumulate in modo da determinare le condizioni di carico più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi si adotteranno le combinazioni del tipo:

$$F_d = \gamma_g G_k + \gamma_p P_K + \gamma_q \left[ Q_{1k} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} Q_{ik}) \right]$$

dove sono rispettivamente:

- $G_k$  il valore caratteristico delle azioni permanenti;
- $P_K$  il valore caratteristico della forza di precompressione;
- $Q_{1k}$  il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;
- $Q_{ik}$  i valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti;
- $\gamma_g$  coefficiente amplificativo;
- $\gamma_p$  coefficiente amplificativo;
- $\gamma_q$  coefficiente amplificativo;
- $\psi_{0i}$  coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo da determinarsi sulla base di considerazioni statistiche.

Per gli stati limite di esercizio si adotteranno le combinazioni del tipo:

combinazioni rare:

$$F_d = G_k + P_K + Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} Q_{ik}$$

combinazioni frequenti:

$$F_d = G_k + P_K + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$

combinazioni quasi permanenti:

$$F_d = G_k + P_K + \sum_{i=1}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$

dove sono rispettivamente:

- $\psi_{1i}$  coefficiente atto a definire i valori delle azioni assimilabili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;
- $\psi_{2i}$  coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni variabili assimilabili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Ai fini delle verifiche degli stati limite, sono state definite le seguenti combinazioni delle azioni secondo quanto riportato dalle NTC 2018.

### 2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):  

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  

$$G_1 + G_2 + P + A_k + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo "+" vuol dire "combinato con".

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{G1}$  e  $\gamma_{Q1}$  sono dati nel § 2.6.1.

A favore della sicurezza, i valori dei coefficienti di combinazione adottati sono stati presi in conformità alla tabella 2.5.I.

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

I valori dei coefficienti di amplificazione per le verifiche agli SLU da adottarsi, secondo quanto riportato dalle NTC 2018 sono i seguenti:

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevoli	$\gamma_{Qk}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;
- $\gamma_{Qk}$  coefficiente parziale delle azioni variabili  $Q$ .

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a  $\gamma_P = 1,0$ .

Altri valori di coefficienti parziali sono riportati nei capitoli successivi con riferimento a particolari azioni specifiche.



## Caratteristiche dei componenti impiegati.

Le principali caratteristiche dei componenti impiegati sono di seguito riportati, i dati sono stati ricavati dal catalogo Tecnico Marcegaglia.



**Scaffolding equipment**





## Sistema multipiano SM8 - Componenti

### Basetta semplice



mm	material	cod	daN
48	TR	3030100006	0,92

### Basetta regolabile



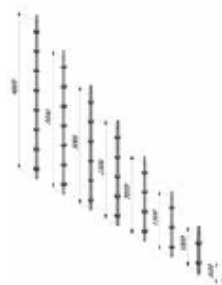
mm	material	cod	daN
330	ZE	3040501062	2,42
405	ZE	-	-
1000	ZE	-	-

### Elemento di partenza



mm	material	cod	daN
-	ZC	3150100171	2,38

### Montante con spinotto



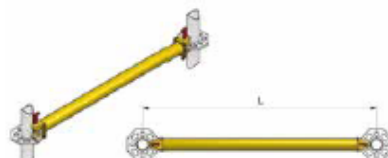
mm	material	cod	daN
500	ZC	3150100161	2,83
1000	ZC	3150100151	5,17
1500	ZC	3150100141	7,52
2000	ZC	3150100131	9,86
2500	ZC	3150100121	12,20
3000	ZC	3150100111	14,54
4000	ZC	3150100101	18,40

### Spina



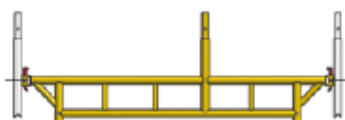
mm	material	cod	daN
10	TR	3040701006	0,12

### Corrente



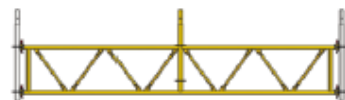
mm	material	cod	daN
424	ZC	3150200211	2,15
480	ZC	3150300371	2,34
510	ZC	3150700291	3,60
900	ZC	3150300241	3,94
1140	ZC	3150300201	4,80
1800	ZC	3150200251	7,35
2500	ZC	3150200271	10,00
3000	ZC	3150200541	11,88

#### Travetta per telaio pedonale



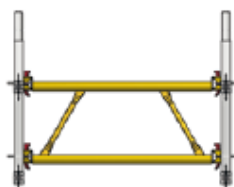
mm	material	cod	daN
1950	ZC	3150800261	19,2

#### Trave per varchi



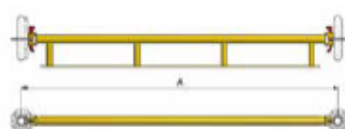
mm	material	cod	daN
3600x500	ZC	3150800221	40,13
5000x500	ZC	3150800201	52,96
3600x600	ZC	3150800231	45,41
5000x600	ZC	3150800241	58,48
6000x600	ZC	3150800271	67,30

#### Collegamento per trave carraia



mm	material	cod	daN
810	ZC	3150800131	8,21
1140	ZC	3150800211	11,387

#### Travetta ribassata



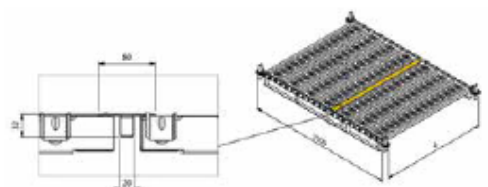
mm	material	cod	daN
1800	ZC	3150300301	13,27
2500	ZC	3150300401	17,46
3000	ZC	3150300501	21,28

#### Travetta rinforzata



mm	material	cod	daN
1800	ZC	3150300601	11,97
2500	ZC	3150300701	15,48

#### Compenso per travetta da 2500 mm



mm	material	cod	daN
1800	ZC	3150200361	4,29
2500	ZC	3150200331	6,03

## Combinazioni di carico utilizzate per le verifiche.



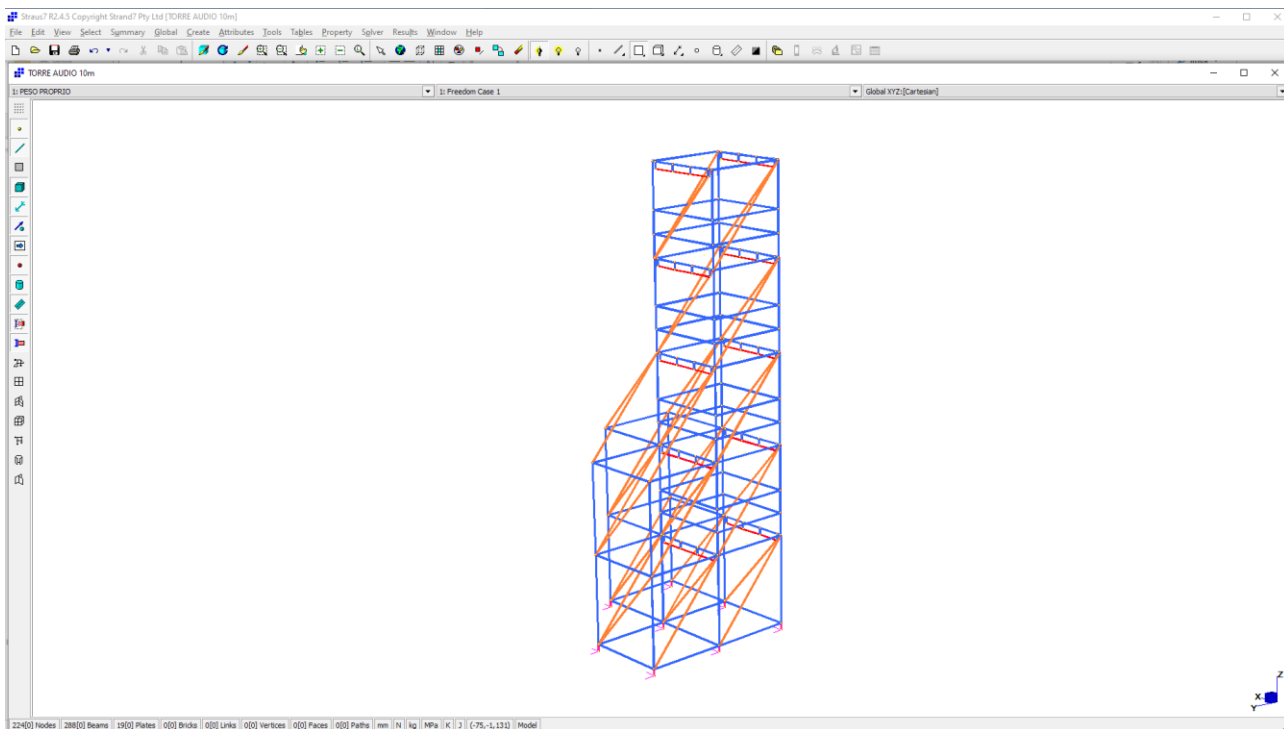
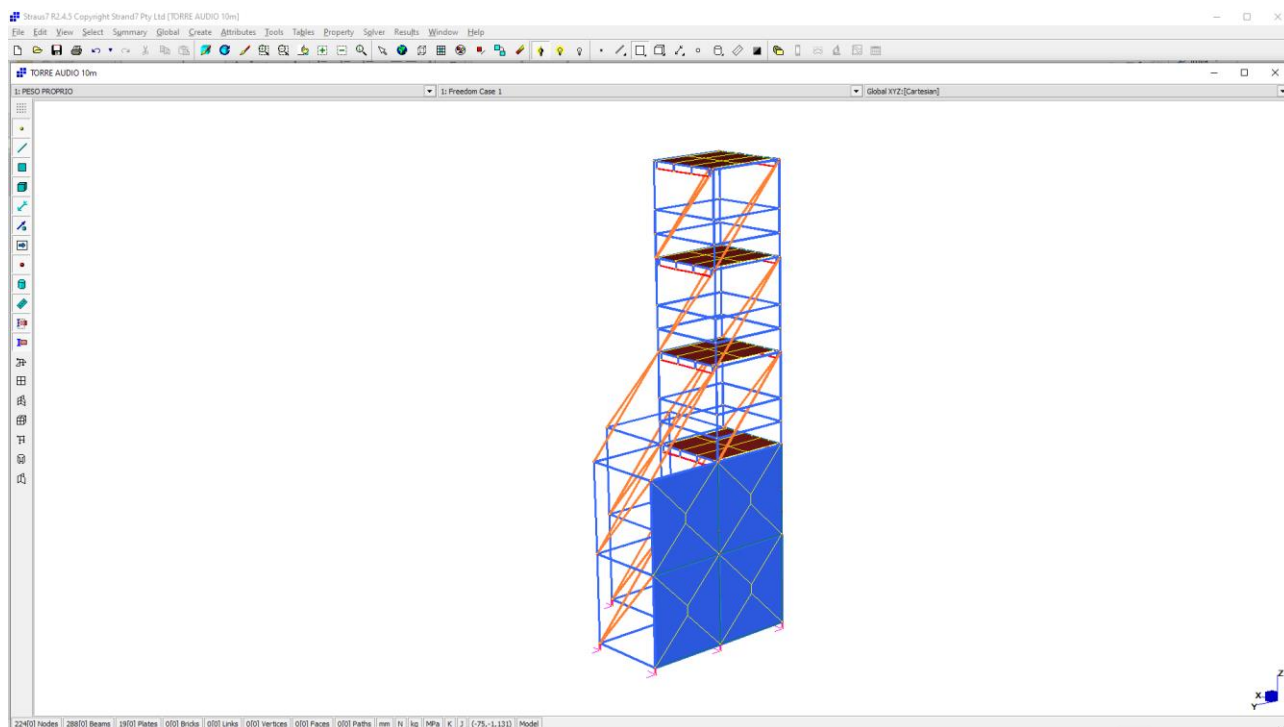
File: <b>TEATRO LIRICO DI CAGLIARI</b>	
Project: <b>MANIFESTAZIONI 2020</b>	
Author: <b>Ing. Andrea Sanseverino</b>	Reference:

### Linear Static Load Case Combinations

CASES	1
	SLU N°1 (STATO LIMITE ULTIMO)
1: PESO PROPRIO [Freedom Case 1]	1,3
2: VENTO DIREZIONE 1 [Freedom Case 1]	1,5
3: CARICHI PIANI DI SERVIZIO [Freedom Case 1]	1,3
4: CARICHI AUDIO [Freedom Case 1]	0,0
5: CARICO LUCI [Freedom Case 1]	0,0
6: ZAVORRA [Freedom Case 1]	1,0
CASES	2
	SLU N°2 (STATO LIMITE ULTIMO)
1: PESO PROPRIO [Freedom Case 1]	1,3
2: VENTO DIREZIONE 1 [Freedom Case 1]	1,5
3: CARICHI PIANI DI SERVIZIO [Freedom Case 1]	1,3
4: CARICHI AUDIO [Freedom Case 1]	1,5
5: CARICO LUCI [Freedom Case 1]	1,5
6: ZAVORRA [Freedom Case 1]	1,0
CASES	3
	SLE (STATO LIMITE DI ESERCIZIO)
1: PESO PROPRIO [Freedom Case 1]	1,0
2: VENTO DIREZIONE 1 [Freedom Case 1]	1,0
3: CARICHI PIANI DI SERVIZIO [Freedom Case 1]	1,0
4: CARICHI AUDIO [Freedom Case 1]	1,0
5: CARICO LUCI [Freedom Case 1]	1,0
6: ZAVORRA [Freedom Case 1]	1,0
CASES	4
	SLE RIBALTAMENTO
1: PESO PROPRIO [Freedom Case 1]	1,0
2: VENTO DIREZIONE 1 [Freedom Case 1]	1,0
3: CARICHI PIANI DI SERVIZIO [Freedom Case 1]	1,0
4: CARICHI AUDIO [Freedom Case 1]	1,0
5: CARICO LUCI [Freedom Case 1]	1,0
6: ZAVORRA [Freedom Case 1]	1,0

## Modello di calcolo utilizzato (torre audio)

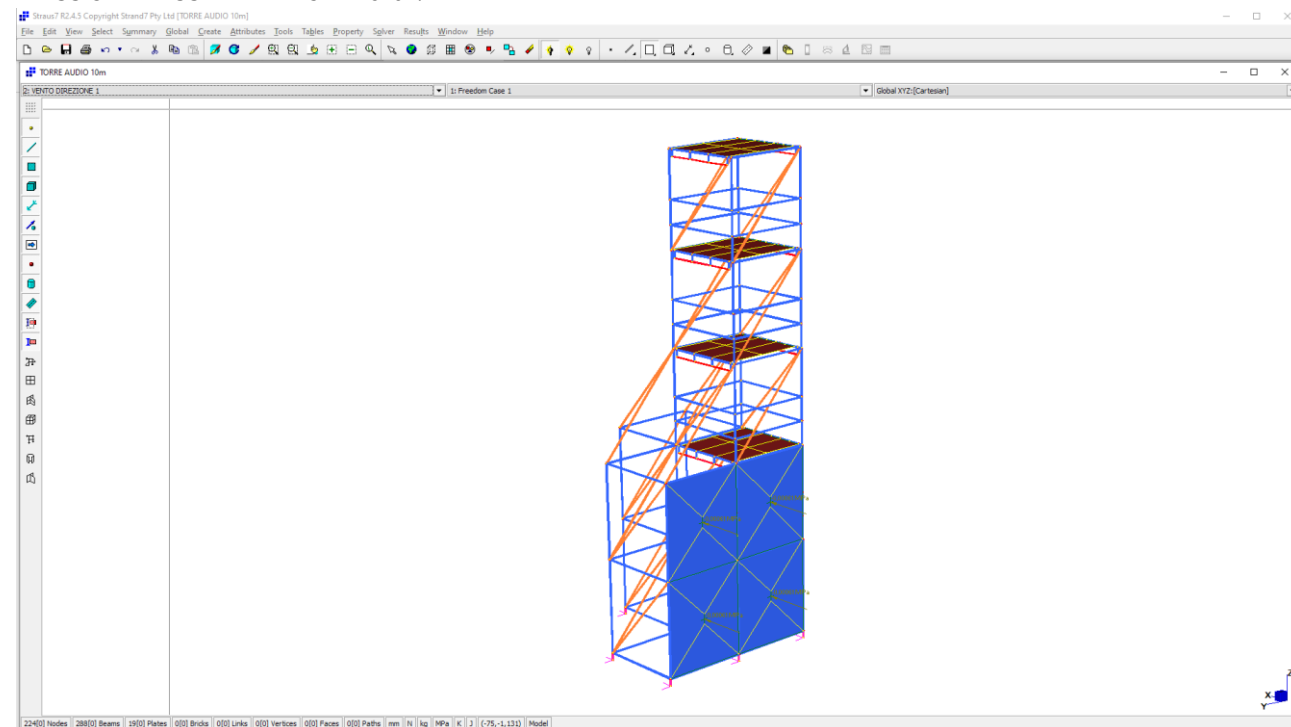
### MODELLO COMPLESSIVO



## Azioni utilizzate per il calcolo (vento su strutture teli scenici)

### VENTO SU STRUTTURE TELI SCENICI (direzione 1)

PRESSIONE MASSIMA APPLICATA 610N/m<sup>2</sup> ALTEZZA TELI MAX. 4m

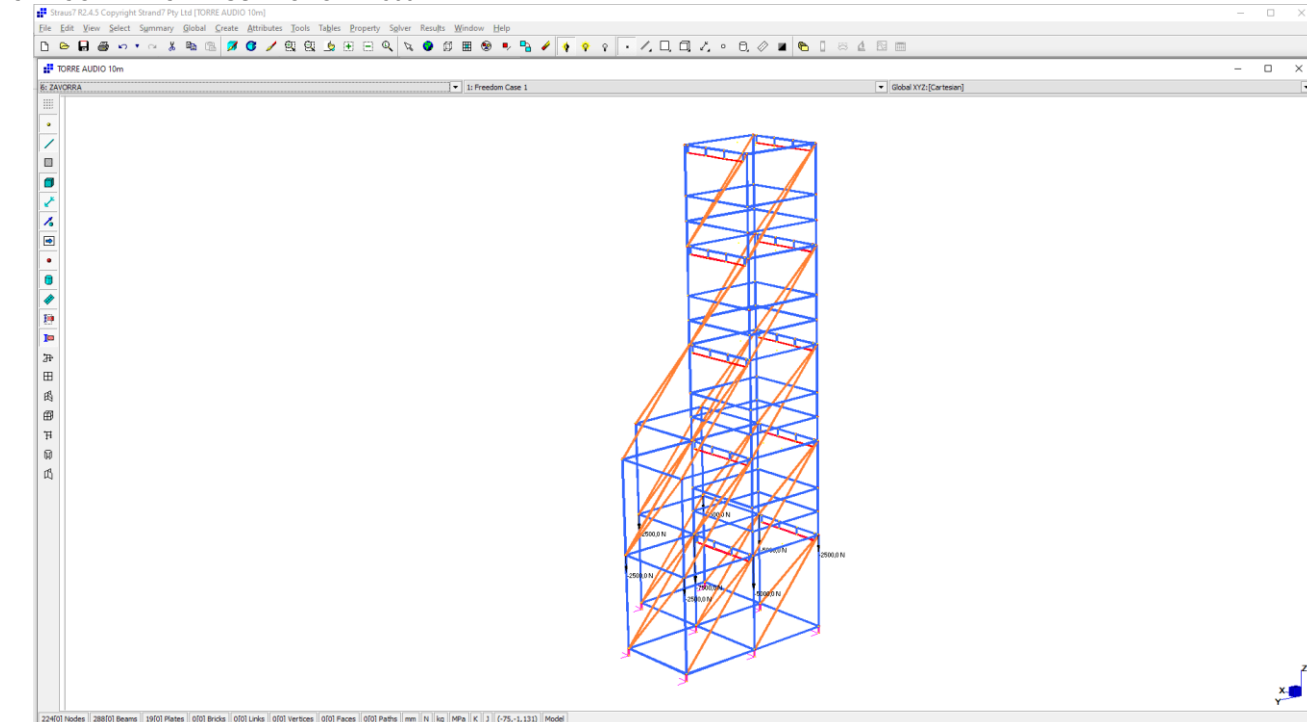


## Azioni utilizzate per il calcolo (zavorre)

CARICO VERTICALE SUL NODO DI 2500N

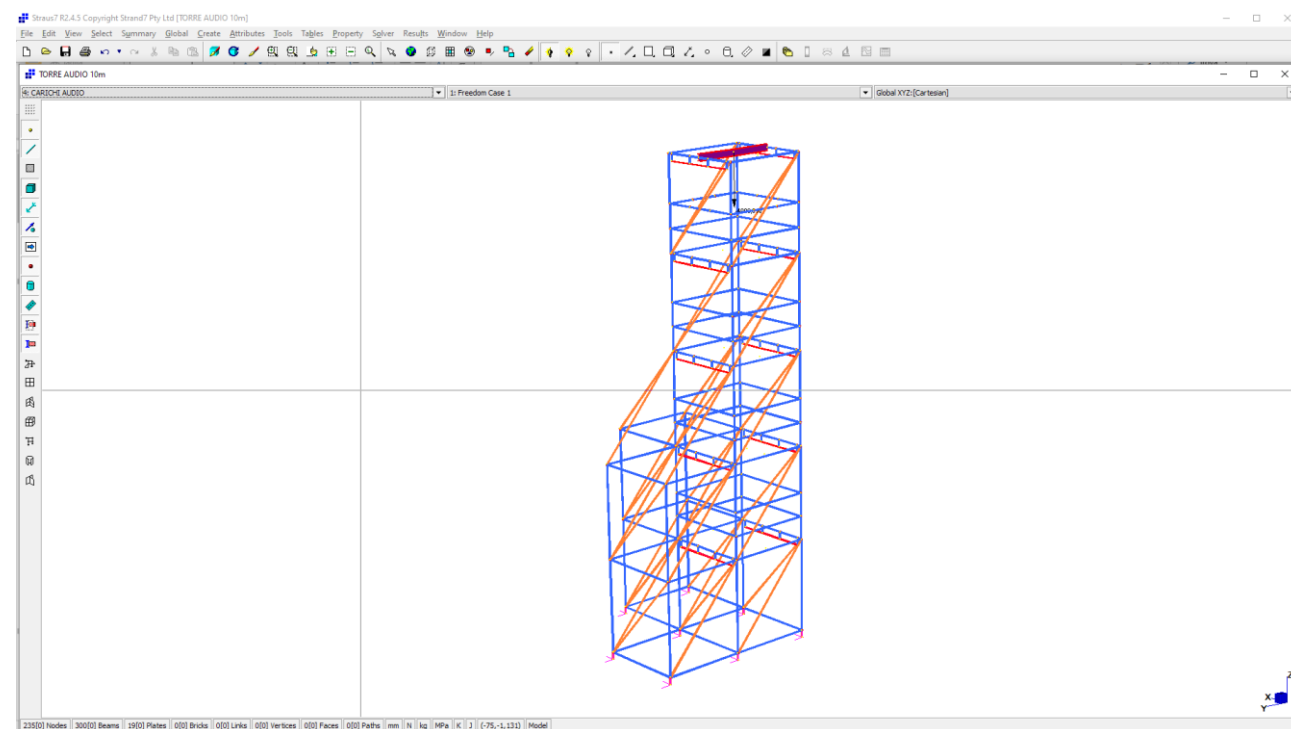
CARICO VERTICALE SUL NODO DI 5000N

CARICO VERTICALE SUL NODO DI 7500N



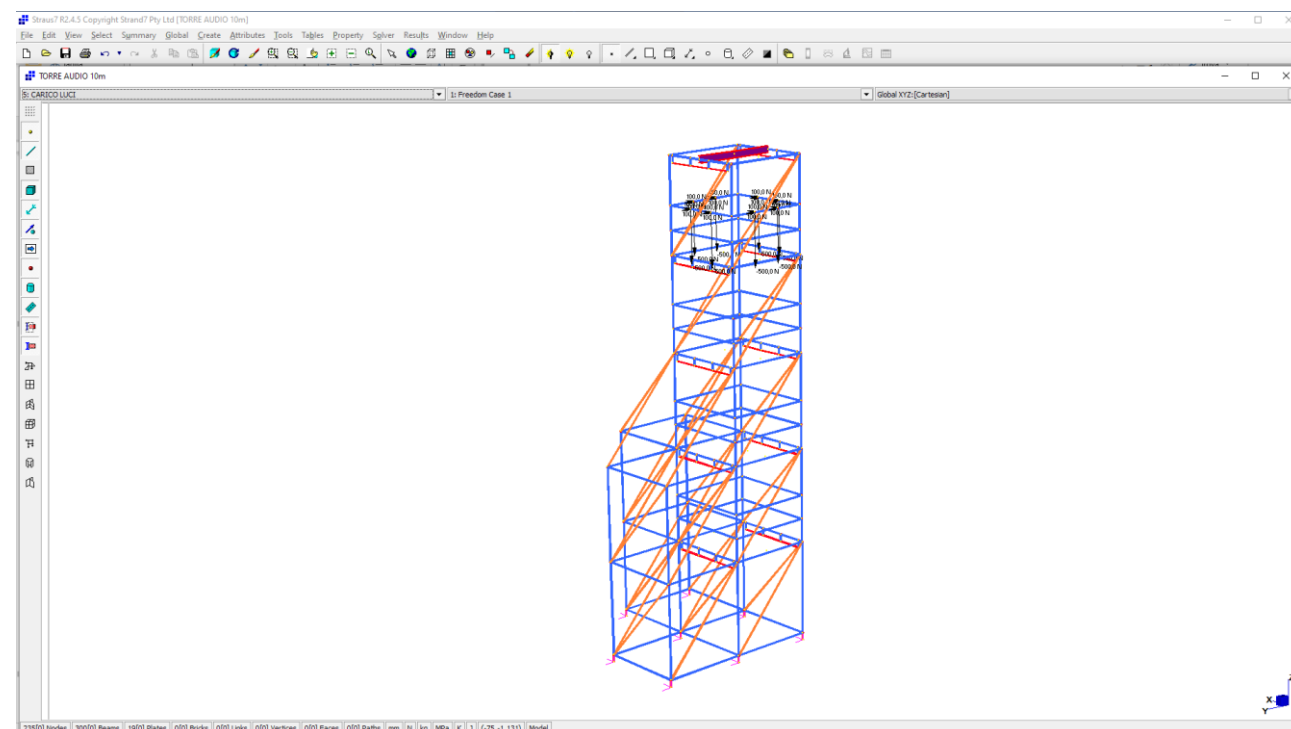
## Azioni utilizzate per il calcolo (audio)

### CARICO AUDIO (400kg)



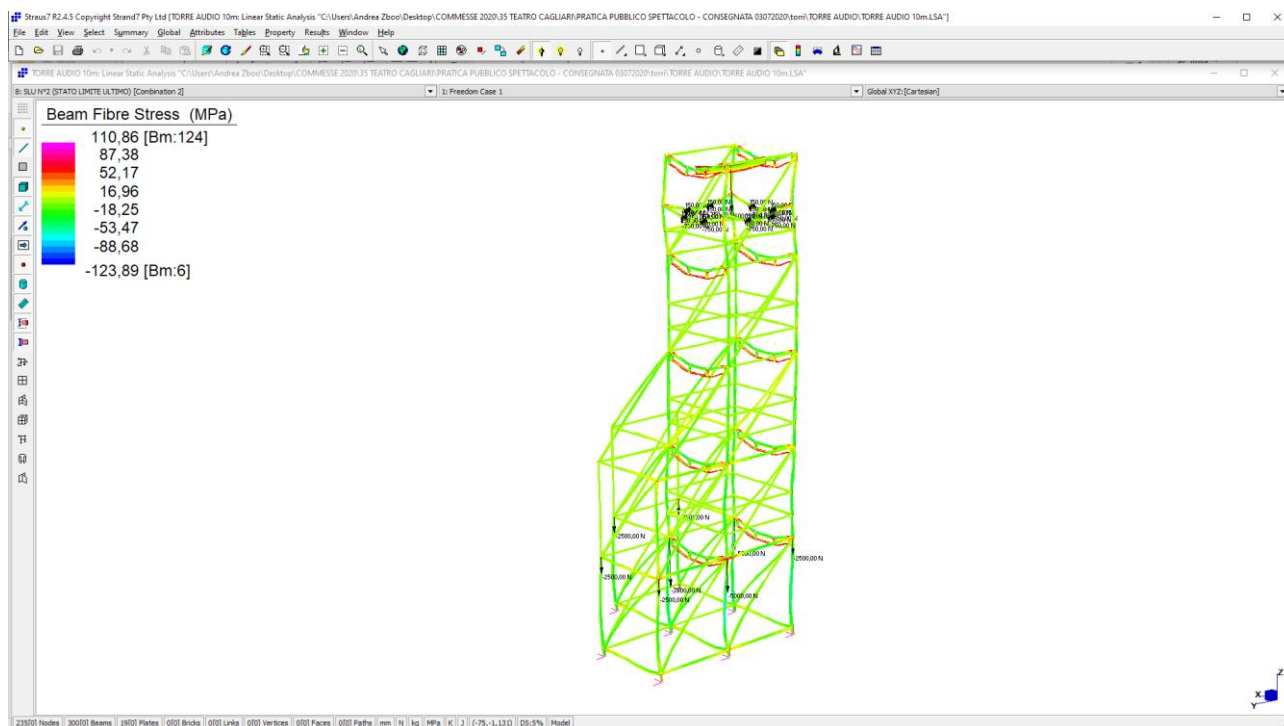
## Azioni utilizzate per il calcolo (audio)

### CARICO LUCI (8 proiettori 50kg sui montanti due per lato)



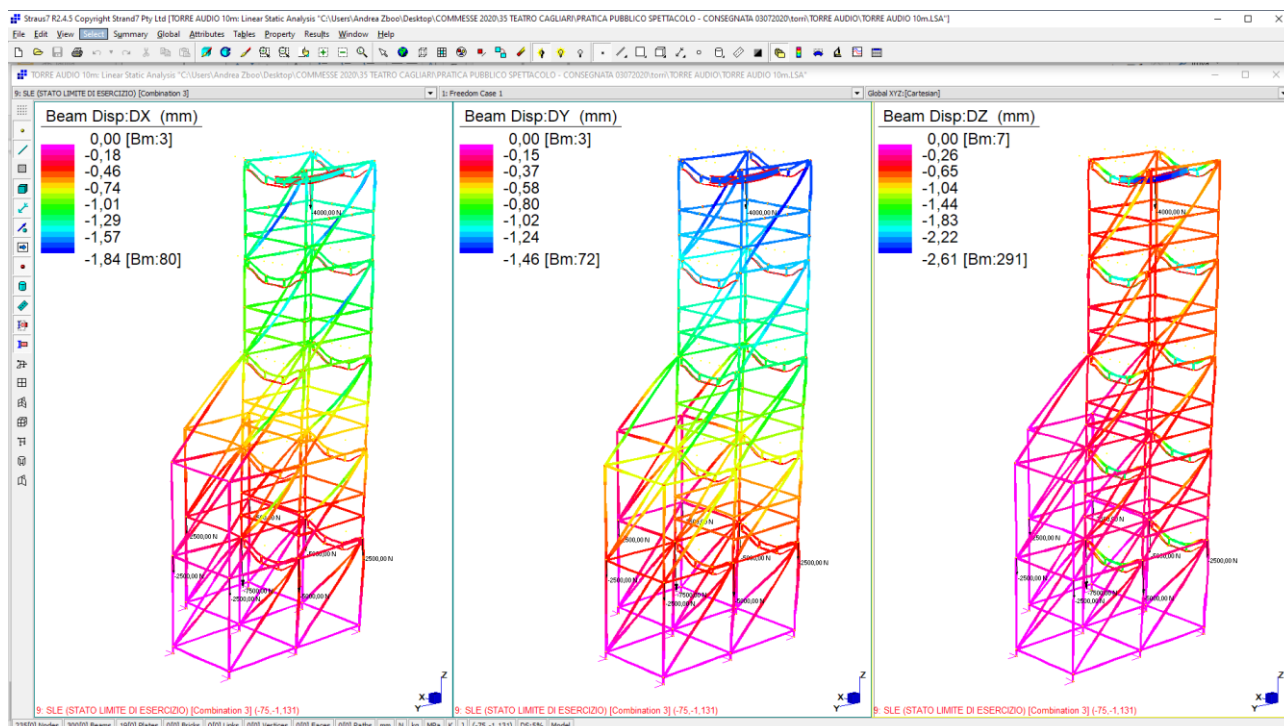
## Analisi delle sollecitazioni degli elementi allo SLU2

### Combinazione di carico n°1 (Stato Limite Ultimo N°2)



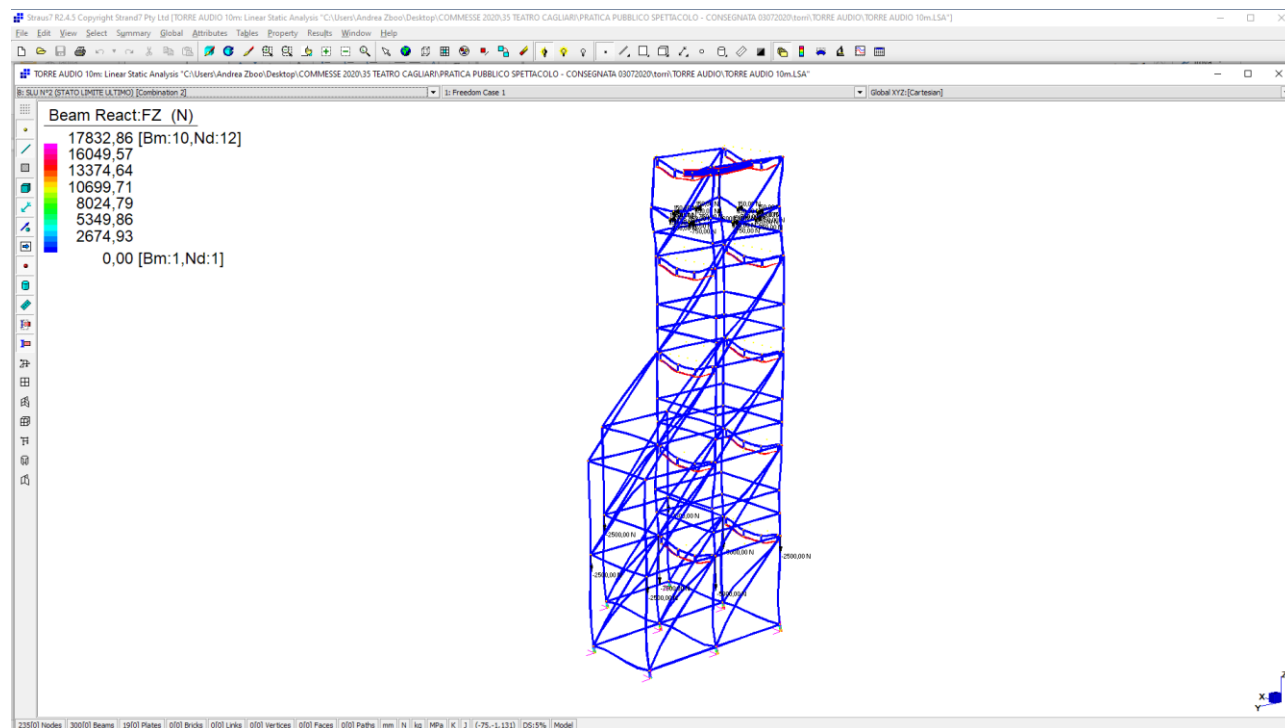
## Analisi delle deformazioni degli elementi allo SLE1

### Combinazione di carico n°1 (Stato Limite Ultimo N°2)



## Analisi di stabilità allo SLE (VERIFICA A RIBALTAMENTO)

### Combinazione di carico n°3 Stato Limite Esercizio N°3





## Verifica complessiva della struttura

Il valore massimo della sollecitazione per le strutture portanti allo Stato Limite di Ultimo, realizzate in acciaio tipo S235JR è pari a:

$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau^2} =$	<b>123.9 N/mm<sup>2</sup></b>
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 235 / 1.05 = 223 \text{ Mpa (profili)}$	

**Tutte le verifiche sono soddisfatte**

Il valore massimo della deformazione nelle tre direzioni principali allo Stato Limite di Esercizio è pari a:

$\Delta X$	<b>1.84 mm</b>
$\Delta Y$	<b>1.46 mm</b>
$\Delta Z$	<b>2.61 mm</b>

Tale valore, è compatibile con le deformazioni ammissibili per la struttura.

**Tutte le verifiche sono soddisfatte**

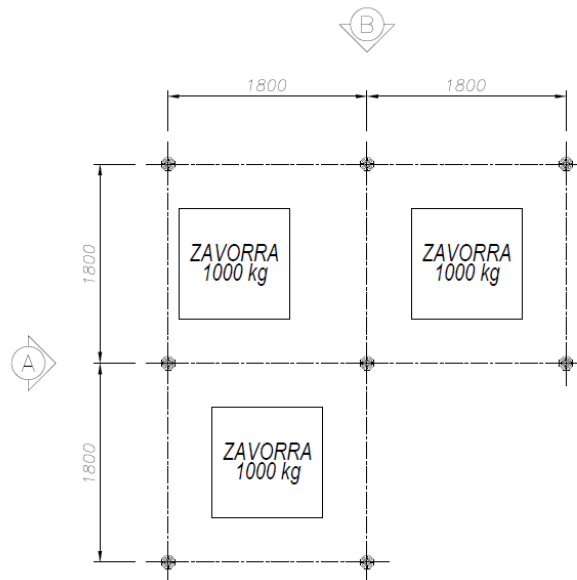
Le reazioni della struttura alla base per lo Stato Limite di ULTIMO n°2 sono tutte positive pertanto, non si ha il sollevamento della struttura con possibile ribaltamento della stessa.

**Tutte le verifiche sono soddisfatte**

## Schema posizionamento zavorre calcestruzzo

Per facilitare l'installazione possono essere utilizzate una zavorra per baia da 1000kg tirantata ai vertici della prima baia a 2m dal pavimento o posizionata su piano metallico se presente a livello +0.2m

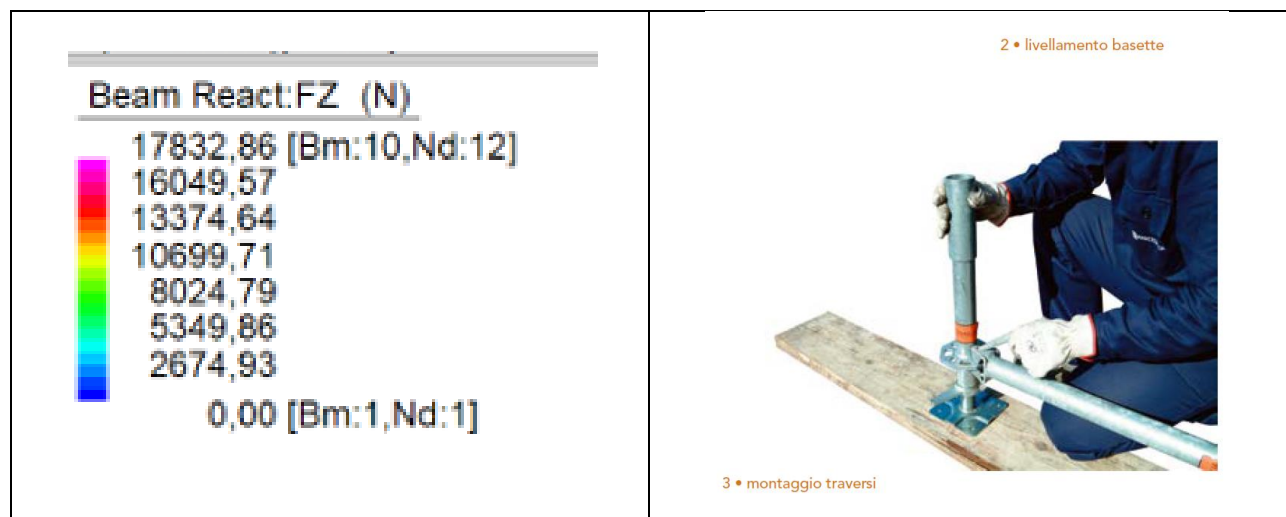
PIANTA LIVELLO ±0.00



## Verifica pressioni alla base.

La pressione massima alla base allo Stato Limite Ultimo è pari a: 17850N, tenuto conto di ripartire la pressione su una superficie di 20X20cm otteniamo una pressione di 28.6N/cm<sup>2</sup> equivalente a circa 2.9 Kg/cm<sup>2</sup>, compatibile con la pavimentazione di un piazzale, portata del solaio 500 Kg/m<sup>2</sup>, ampiamente compatibile per il sito di installazione.

Qualora il Direttore dei lavori voglia diminuire le pressioni al suolo le piastre di base possono essere ampliate.



## Note conclusive.

L'analisi strutturale condotta ha messo in evidenza che i modelli strutturali che si sono adottati, sono pienamente compatibili e non arrecano fenomeni di concentrazione degli sforzi.

A favore della sicurezza qualora le previsioni meteo indichino venti superiori ai 60-65Km/h si consiglia di rimuovere i teli.

Si riporta a titolo di esempio una scheda sulla percezione degli effetti del vento

grado	velocità (km/h)	tipo di vento	(nodi)	condizioni ambientali	velocità (m/s)
0	0-1	calma	0-1	il fumo ascende verticalmente; il mare è uno specchio.	< 0.3
1	1-5	bava di vento	1-3	il vento devia il fumo; increspature dell'acqua.	0.3-1.5
2	6-11	brezza leggera	4-6	le foglie si muovono; onde piccole ma evidenti.	1.6-3.3
3	12-19	brezza	7-10	foglie e rametti costantemente agitati; piccole onde, creste che cominciano ad infrangersi.	3.4-5.4
4	20-28	brezza vivace	11-16	il vento solleva polvere, foglie secche, i rami sono agitati; piccole onde che diventano più lunghe.	5.5-7.9
5	29-38	brezza tesa	17-21	oscillano gli arbusti con foglie; si formano piccole onde nelle acque interne; onde moderate allungate.	8-10.7
6	39-49	vento fresco	22-27	grandi rami agitati, sibili tra i fili telegrafici; si formano marosi con creste di schiuma bianca, e spruzzi.	10.8-13.8
7	50-61	vento forte	28-33	interi alberi agitati, difficoltà a camminare contro vento; il mare è grosso, la schiuma comincia ad essere sfilacciata in scie.	13.9-17.1
8	62-74	burrasca moderata	34-40	rami spezzati, camminare contro vento è impossibile; marosi di altezza media e più allungati, dalle creste si distaccano turbini di spruzzi.	17.2-20.7
9	75-88	burrasca forte	41-47	camini e tegole asportati; grosse ondate, spesse scie di schiuma e spruzzi, sollevate dal vento, riducono la visibilità.	20.8-24.4
10	89-102	tempesta	48-55	rara in terraferma, alberi sradicati, gravi danni alle abitazioni; enormi ondate con lunghe creste a pennacchio.	24.5-28.4
11	103-117	fortunale	56-63	raro, gravissime devastazioni; onde enormi ed alte, che possono nascondere navi di media stazza; ridotta visibilità.	28.5-32.6
12	oltre 118	uragano	64 +	distruzione di edifici, manufatti, ecc.; in mare la schiuma e gli spruzzi riducono assai la visibilità.	32.7 +

Cagliari 06/07/2020

Il Progettista:

*Dott. Ing. Andrea Sanseverino*

