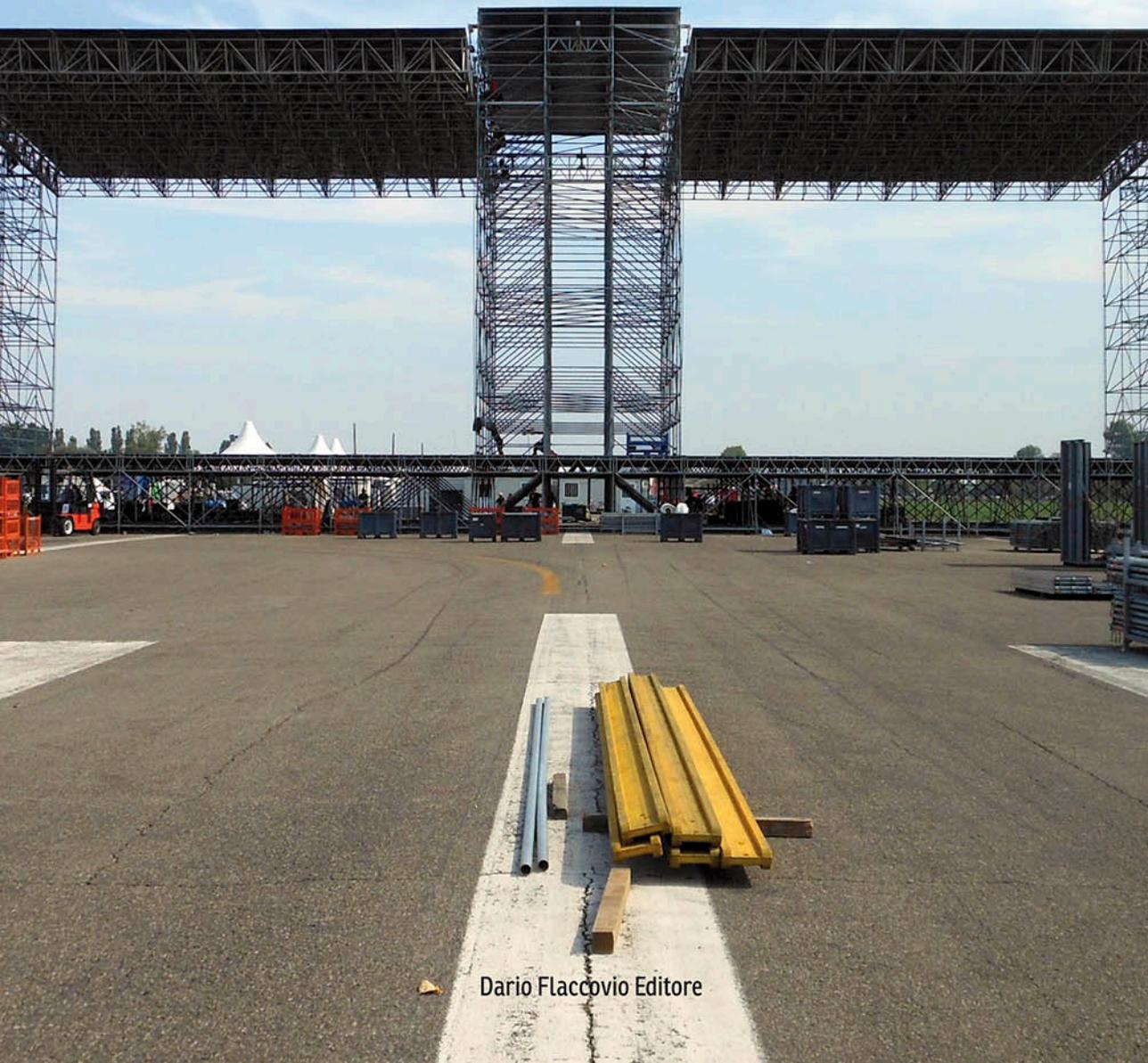


Icaro Daniele

STRUTTURE TEMPORANEE

PROGETTAZIONE - VERIFICA - COMPORTAMENTO



Dario Flaccovio Editore

Icaro Daniele

STRUTTURE TEMPORANEE

PROGETTAZIONE, VERIFICA E COMPORTAMENTO



Dario Flaccovio Editore

Icaro Daniele
STRUTTURE TEMPORANEE

ISBN 9788857904207

© 2015 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686
www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: febbraio 2015

Icaro, Daniele <1969->

Strutture temporanee : progettazione, verifica e comportamento / Daniele Icaro. -

Palermo : D. Flaccovio, 2015.

ISBN 978-88-579-0420-7

1. Strutture edilizie.

624.171 CDD-22

SBN PAL0276756

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, febbraio 2015

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Indice

Premessa

1. Riferimenti normativi

1.1. Normativa tecnica.....	»	9
1.2. Indicazioni normative e fondamentali.....	»	9
1.3. Verifiche strutturali.....	»	12
1.4. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....	»	13
1.5. Azioni sulle strutture.....	»	14

2. Strutture fondamentali

2.1. Generalità.....	»	19
2.2. Componenti principali.....	»	19
2.2.1. Strutture realizzate con tubi singoli.....	»	20
2.2.2. Strutture a traliccio.....	»	22
2.3. Componenti accessori.....	»	24
2.4. Componenti passivi.....	»	29
2.5. Strutture fondamentali.....	»	30
2.5.1. Truss.....	»	30
2.5.2. Ring.....	»	36
2.5.3. Torri.....	»	37

3. Azioni sulle strutture

3.1. Generalità.....	»	41
3.2. Peso proprio delle strutture.....	»	42
3.3. Carichi permanenti.....	»	42
3.4. Carichi accidentali.....	»	49
3.5. Carichi eccezionali.....	»	49

4. Carichi sospesi e strutture

4.1. Tipologie di strutture temporanee.....	»	53
4.2. Carichi sospesi.....	»	53
4.3. Palcoscenici.....	»	64
4.4. Altre strutture di allestimenti a terra (muri, torri).....	»	65
4.5. Altre strutture ad uso pubblico a terra (pedane, platee, tribune).....	»	69
4.6. Strutture di sospensione per i carichi sospesi.....	»	71

4.6.1.	Strutture fisse.....	»	74
4.6.2.	Strutture temporanee.....	»	77
4.6.2.1.	Ring su torri.....	»	78
4.6.2.2.	Tetto su torri layher.....	»	82
4.6.2.3.	Tetto su torri layher e backwall.....	»	84
4.6.2.4.	Tetto su muri layher.....	»	85
4.6.2.5.	Tetto su muri layher e backwall.....	»	87
4.6.2.6.	Ground support.....	»	89
4.6.2.7.	Ground support, estensioni.....	»	93
5. Verifiche strutturali			
5.1.	Introduzione.....	»	101
5.2.	Concezione della struttura.....	»	102
5.3.	Verifiche fondamentali.....	»	103
5.3.1.	Truss.....	»	103
5.3.2.	Torri.....	»	104
5.3.3.	Portale.....	»	104
5.3.4.	Ring.....	»	105
5.3.5.	Ground support.....	»	105
5.3.6.	Strutture tridimensionali spaziali (tipo layher).....	»	106
5.3.7.	Strutture permanenti che ospitano strutture temporanee.....	»	107
6. Documentazione			
6.1.	Introduzione.....	»	109
6.2.	Documentazione tecnica.....	»	110
6.2.1.	Relazione sui carichi sospesi.....	»	110
6.2.2.	Corretto montaggio dei carichi sospesi, a strutture ultimate....	»	110
6.2.3.	Collaudo dei carichi sospesi.....	»	111
6.2.4.	Collaudo annuale dei carichi sospesi.....	»	111
6.2.5.	Relazione di calcolo di una struttura temporanea.....	»	111
6.2.6.	Corretto montaggio di una struttura temporanea, a struttura ultimata.....	»	112
6.2.7.	Collaudo di una struttura temporanea.....	»	112
6.2.8.	Collaudo annuale di una struttura temporanea.....	»	113
6.2.9.	Relazione di calcolo di una struttura fissa.....	»	113
6.2.10.	Certificato di idoneità statica (temporaneo) di una struttura fissa, a strutture ultimate.....	»	114
6.2.11.	Certificati in variante e/o integrazione, autorizzazioni.....	»	114
6.2.12.	Verbali lavori.....	»	114
Appendici			
	Appendice 1. Procedure esecutive nei casi più comuni.....	»	115
	Appendice 2. Posizioni e indicazioni convenzionali sul palco.....	»	117
	Glossario	»	119

Premessa

Sono un ingegnere, non uno scrittore.

Con questa premessa vi chiedo di scusarmi fin d'ora per la semplicità con cui ho espresso i concetti, ma... io sono un uomo di cantiere, che vive parlando e spiegando, non scrivendo.

E al di là dei titoli, della laurea, delle responsabilità che quotidianamente mi vengono affidate, sono semplicemente un uomo che ama il suo lavoro.

I miei genitori non lo sanno, ne verranno a conoscenza solo ora che forse leggeranno questo testo, ma li ringrazio, silenziosamente, ogni giorno, per avermi dato la possibilità di laurearmi, per aver creduto in me e per avermi sostenuto nei momenti di difficoltà. Sembra una frase fatta, ma non è per nulla scontata: se oggi sono quello che sono e dove sono, è anche merito loro.

Certo, io ci ho messo del mio. E il resto lo devo a un pizzico di fortuna che mi ha permesso, un giorno, di calcolare una struttura per un concerto, e di conoscere un mondo di cui non mi ero mai occupato.

Non sono migliore di altri né so fare delle cose che altri non sarebbero in grado di fare. Sono consapevole di essere fallibile e perfettibile, e credo molto nel lavoro di squadra.

Il testo che vi accingete a leggere è quindi la rappresentazione di quello che faccio quotidianamente, ossia il mio lavoro, e il risultato di quello che imparo dai miei colleghi, e con loro, tutti i giorni. Perché al di là degli elementi e dei dati tecnici, al di là delle normative e delle documentazioni tecniche, al di là dei pesi, delle misurazioni, dei carichi e delle azioni, l'anima di una struttura è nelle nostre mani. Perciò, la nostra responsabilità, ogni volta, è quella di prenderla e farne un capolavoro.

Partendo da una rapida considerazione sulla attuale normativa tecnica, il testo illustra le strutture temporanee e le loro caratteristiche fondamentali, il loro comportamento, la determinazione dei carichi agenti, le verifiche necessarie e infine la documentazione prevista per le pratiche autorizzative.

Il testo si rivolge ai tecnici che devono calcolare e verificare questa tipologia di strutture, non tanto per quel che riguarda la scienza e la tecnica delle costruzioni, che si intendono note al lettore, ma soprattutto come spunto di riflessione, partendo dalla mia personale esperienza, con l'auspicio di poter ricevere osservazioni e critiche (che saranno accettate con estremo interesse) e poter instaurare nuove e importanti occasioni di confronto e dialogo con colleghi che oggi non conosco.

1. Riferimenti normativi

1.1. Normativa tecnica

Per le strutture temporanee si segue, così come per le strutture permanenti, la normativa tecnica classica.

In particolare si richiama:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 – *Norme tecniche per le costruzioni*. Pubblicato sul S.O. n. 30 alla Gazzetta Ufficiale 04 febbraio 2008 n. 29;
- Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 617 in data 02 febbraio 2009. Pubblicata sul S.O. n. 27 alla Gazzetta Ufficiale 26 febbraio 2009 n. 47;
- UNI ENV 1993-1-1:2005 Eurocodice 3, *Progettazione delle strutture in acciaio*;
- UNI ENV 1999-1-1:2007 Eurocodice 9, *Progettazione delle strutture in alluminio*.

Si richiama inoltre la sotto indicata Circolare Ministeriale che, pur non riguardando il calcolo o la verifica delle strutture, fornisce delle indicazioni progettuali per quanto riguarda la sospensione dei carichi:

- Circolare del Ministero dell'Interno in data 01 aprile 2011 n. 1689, *Locali di pubblico spettacolo di tipo temporaneo o permanente. Verifica della solidità e sicurezza dei carichi sospesi*.

1.2. Indicazioni normative e fondamentali

È innanzitutto fondamentale e di primaria importanza interpretare nella maniera più corretta possibile quanto previsto dalla normativa tecnica, per evitare di considerare in modo erraneo la struttura che si sta progettando.

Nel corso degli ultimi anni si è passati da una generale semplificazione del calcolo ad una generale sovrastima delle azioni e delle verifiche sulle strutture temporanee: dal calcolare un ground support che rimaneva in uso qualche mese come se fosse una trave su due appoggi gravata solo dai carichi permanenti (eccessiva semplificazione erroneamente giustificata dal fatto che la struttura non era permanente) si è passati al calcolare una truss di luci per un concerto di una sera prevedendo le stesse azioni accidentali di un fabbricato civile di importanza strategica (eccessiva cautela erroneamente giustificata dal fatto che in una struttura deve essere imputato ogni tipo di azione accidentale senza riduzione alcuna).

Le NTC impongono che:

“le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle [...] norme”.

Quindi, in ogni caso, una struttura deve essere sicura in base all'uso previsto, anche se temporaneo, senza alcun tipo di deroga in tal senso.

Si specifica poi che:

“la sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata”.

Qui è ben chiarito che la temporaneità della struttura, legata alla vita nominale, influisce sulla determinazione degli stati limite.

Per il calcolo delle nostre tipologie strutturali, vanno considerati come fondamentali i tre seguenti requisiti:

1. *sicurezza agli stati limite ultimi (SLU)*, ossia la capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
2. *sicurezza agli stati limite di esercizio (SLE)*, ossia la capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
3. *resistenza alle azioni eccezionali*, ossia la capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Quando uno stato limite ultimo viene superato determina il collasso della struttura ed è irreversibile: perciò se si supera lo SLU la struttura non è più utilizzabile.

Un esempio di collasso può essere il cedimento strutturale di una torre, ovvero di una truss principale, ecc., senza che sia necessariamente coinvolta l'intera struttura: se una truss principale di un ground support collassa, l'intera struttura è da considerarsi collassata in quanto lo schema statico non è più quello progettato, calcolato e verificato (dopo il cedimento strutturale di una parte principale di struttura, la struttura risultante avrà una redistribuzione delle azioni e delle reazioni totalmente differente rispetto a quanto progettato).

Uno stato limite di esercizio può essere anche reversibile e non indica necessariamente che la struttura non possa essere utilizzata; un esempio di SLE reversibile è l'eccessiva freccia di una truss che determina il malfunzionamento di una scenografia sospesa sulla truss stessa; un esempio di SLE irreversibile è il cedimento strutturale di una truss secondaria.

Le azioni eccezionali sono generalmente trascurate ma determinano e rappresentano quasi sempre, nelle strutture temporanee, l'insorgere di incidenti e collassi strutturali.

Sono da ritenersi azioni eccezionali ad esempio:

- spostamento improvviso di un carico;
- urto di veicoli o muletti;
- cedimento del piano di posa delle torri;
- cedimento delle strutture fisse di un palasport;
- azione della folla;
- correnti d'aria all'interno di un fabbricato;
- rottura di un sistema di sollevamento.

Tutte queste azioni determinano sollecitazioni non previste, sia verticali che orizzontali, e possono indurre alcuni cinematismi sulla struttura con conseguenze molto gravi, compreso il collasso, sicuramente sproporzionate in confronto all'azione che le ha scatenate (ad esempio un leggero urto di un muletto su un ground support interno ad un palasport può causare il crollo del ground support stesso).

Relativamente ai materiali la normativa impone che:

“per poter essere utilizzati nelle opere [...], devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione”.

Inoltre, ogni parte strutturale impiegata nella struttura:

“deve essere accompagnata da un manuale di installazione e di manutenzione da allegare alla documentazione dell’opera”.

Qualsiasi componente o sistema strutturale non compreso nella struttura principale ma che, comunque, svolga una funzione statica autonoma:

“deve essere progettato ed installato nel rispetto dei livelli di sicurezza e delle prestazioni previste nelle norme tecniche di riferimento”.

Questo impone che ogni materiale utilizzato sia progettato, calcolato, verificato e certificato, singolarmente e nel suo complesso; inoltre ogni struttura, anche non direttamente collegata alla principale, deve essere progettata e verificata con le medesime ipotesi di calcolo della struttura principale.

Per quanto riguarda le azioni sollecitanti, queste:

“devono essere assunte in accordo con quanto stabilito nei relativi capitoli delle norme. In mancanza di specifiche indicazioni, si dovrà fare ricorso ad opportune indagini, eventualmente anche sperimentali, o a normative di comprovata validità”.

Questo indica che le azioni agenti vanno ricavate:

- dalla normativa tecnica generale;
- dalla normativa tecnica specifica del settore;
- tenendo conto della temporaneità ossia della vita utile della struttura.

Nel caso non ci siano riscontri oggettivi, si potranno stabilire specifiche azioni sollecitanti per il singolo evento, sulla base di idonee considerazioni ovvero facendo ricorso ad altre normative, previa verifica della loro rispondenza all’effettivo caso che si va a descrivere.

1.3. Verifiche strutturali

Le strutture devono essere verificate:

- per gli SLU che possono verificarsi considerate le diverse e possibili combinazioni di carico;
- per gli SLE sulla base delle prestazioni attese.

Tali verifiche devono sempre essere riferite ai materiali utilizzati per la realizzazione di strutture temporanee, nonché alle strutture fisse e/o naturali alle quali siano vincolate strutture temporanee.

A tal proposito, visto che non sempre è recepito con chiarezza, si evidenzia e sottolinea che la struttura temporanea può essere sia una struttura indipendente a tutti gli effetti (ground support) sia una temporanea integrazione di una struttura fissa esistente (grid sospeso ad un palasport).

In entrambi i casi, e comunque, la struttura temporanea dovrà scaricare a terra sé stessa e quanto da essa portato: direttamente (ground support su terreno naturale) o attraverso una struttura permanente (grid sospeso ad un palasport, ground support posato su pavimentazione, ecc.).

Di estrema e fondamentale importanza è che le verifiche devono essere condotte per tutte le fasi intermedie: ogni fase costruttiva dovrà perciò essere verificata (in queste fasi sono generalmente significativi i soli SLU).

La verifica viene condotta sulla base di criteri probabilistici scientificamente comprovati.

Per le strutture temporanee si adotta il metodo semiprobabilistico agli stati limite con coefficienti parziali di sicurezza (metodo di primo livello): in questo metodo si confronta la resistenza dei materiali costituenti le strutture (R_{ki}) con l'effetto delle azioni (F_{kj}); R_{ki} è il frattile inferiore delle resistenze mentre F_{kj} è il frattile delle azioni (inferiore o superiore, quello che minimizza la sicurezza); la verifica di sicurezza agli SLU si conduce con il metodo dei coefficienti parziali descritto dalla equazione base:

$$R_d \geq E_d$$

dove R_d indica la sommatoria delle resistenze di progetto e deriva dalla resistenza dei materiali e dalle grandezze geometriche degli stessi, mentre E_d indica la sommatoria delle azioni di progetto. Saranno applicati, nelle sommatorie, coefficienti parziali di sicurezza γ_{Mi} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, per tenere conto delle variabilità delle rispettive grandezze e delle incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

1.4. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Le strutture provvisorie sono caratterizzate da una vita nominale V_N inferiore a 10 anni. Le strutture temporanee che stiamo analizzando (considerato il fatto che generalmente la vita nominale delle strutture per pubblico spettacolo va da 1 giorno a poche settimane, raggiungendo raramente il mese, ed eccezionalmente qualche mese) ricadono quindi in questa categoria (tipi di costruzione 1 secondo la tabella 2.4.I delle norme tecniche).

Pochissime strutture possono avere vita nominale di qualche anno: a questo proposito va fatto un distinguo tra vita nominale inferiore o superiore ai 2 anni. Quando la vita nominale è inferiore ai 2 anni le verifiche sismiche delle opere provvisorie possono essere omesse, poiché è poco probabile che un evento come un sisma, che ha periodo di ritorno abbastanza lungo, possa interessare una struttura di vita breve.

Non verranno qui considerate strutture con vita superiore ai 2 anni in quanto non rappresentano le caratteristiche strutture temporanee utilizzate nelle manifestazioni di pubblico spettacolo, ma piuttosto una categoria di strutture intermedie particolari che vengono progettate, calcolate e verificate in maniera pressoché identica ad una struttura permanente.

Questa semplificazione esclude dal calcolo anche le considerazioni relative alla classe d'uso e al periodo di riferimento che sono legate all'azione sismica. Si sottolinea che questa semplificazione è riferita esclusivamente all'azione sismica, non alle altre azioni accidentali di progetto.

1.5. Azioni sulle strutture

Per *azione* si intende qualsiasi causa o insieme di cause che induce degli stati limite su una struttura.

Queste possono manifestarsi in diverse maniere e si classificano in:

- dirette: forze concentrate, carichi distribuiti;
- indirette: spostamenti impressi, variazione di temperatura, cedimenti di vincolo;
- degrado endogeno: alterazione naturale dei materiali costituenti;
- degrado esogeno: alterazione dei materiali costituenti da agenti esterni.

A seconda della risposta strutturale indotta, le azioni sono definite:

- statiche: se non generano accelerazioni significative sulla struttura o su alcune sue parti;
- pseudostatiche: se generano azioni dinamiche rappresentabili con un'azione statica equivalente;
- dinamiche: se generano azioni dinamiche significative sulla struttura o su parti di essa.

A seconda della loro variazione nel tempo, le azioni vengono definite:

- permanenti (G): se agiscono durante tutta la vita nominale della struttura, e le eventuali variazioni nel tempo sono trascurabili in modo da poterle considerare costanti nel tempo come:

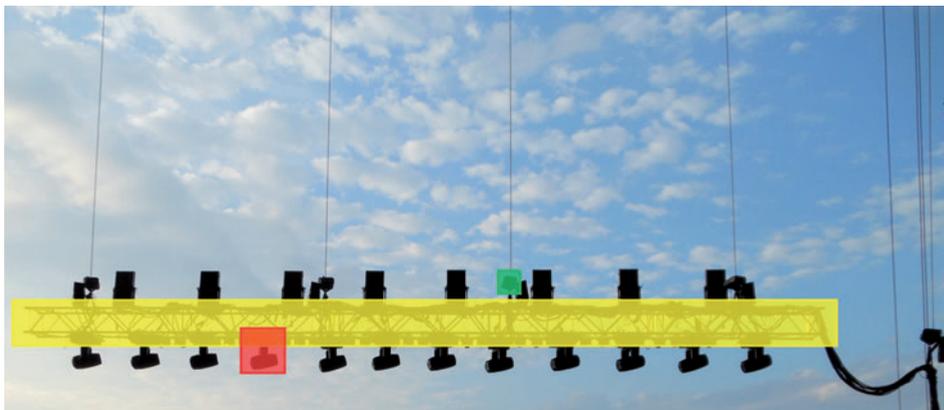


Figura 4.1. Sistema di carichi sospesi

A titolo esemplificativo: la truss in figura 4.1 evidenziata in giallo è un carico sospeso, attraverso i motori elettrici (come quello evidenziato in verde), ad una struttura principale; il faro evidenziato in rosso a sua volta è un carico sospeso alla truss.

Pertanto l'insieme di materiali e apparecchiature scenografiche e l'insieme delle strutture temporanee necessarie alla loro sospensione costituiscono un sistema di carichi sospesi che dovrà essere calcolato e verificato come un sistema indipendente, che sarà poi sospeso ad una struttura principale temporanea (ground support) o fissa (palasport).

Perché si rende necessario un sistema di carichi sospesi per appendere un allestimento temporaneo?

Come spiegato precedentemente, un allestimento è formato da luci, video, casse acustiche, scenografie, sipari: ognuno di questi elementi dovrà avere una particolare posizione e una determinata altezza, così come concepite dal designer dello show (il corrispondente dell'architetto nel caso di un fabbricato civile). Poiché stiamo parlando di centinaia di elementi posizionati su strutture temporanee (e che quindi devono essere installati e smontati velocemente), sarebbe impensabile appendere il singolo elemento scenografico direttamente alla struttura principale. Ecco quindi che risulta indispensabile creare un sistema strutturale al quale vengono appesi i materiali scenografici direttamente a terra, e che poi, grazie a dei motori elettrici, vengono portati a gruppi alla quota desiderata.

Un esempio di preparazione di una truss a terra è rappresentato in figura 4.2. Una volta pronta, questa sarà sollevata alla quota stabilita.

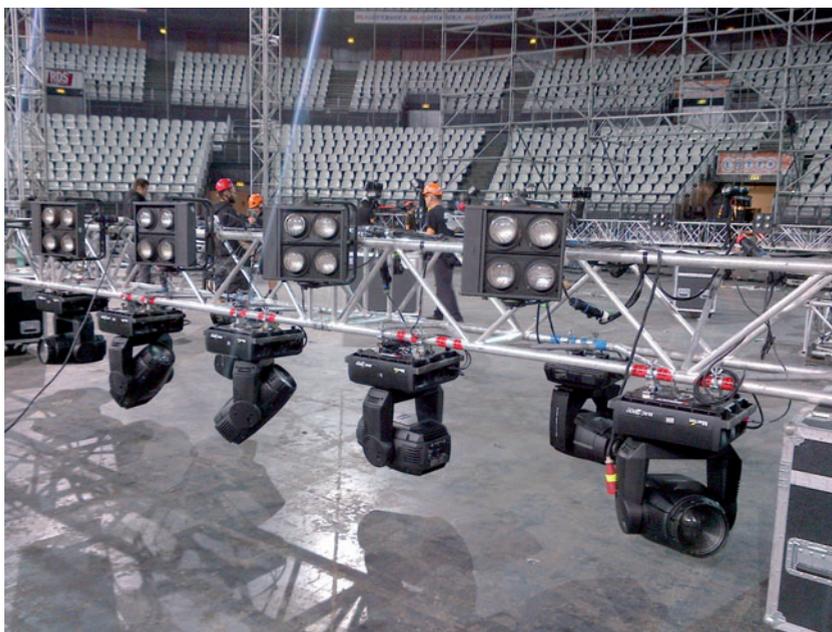


Figura 4.2. Preparazione a terra di una truss

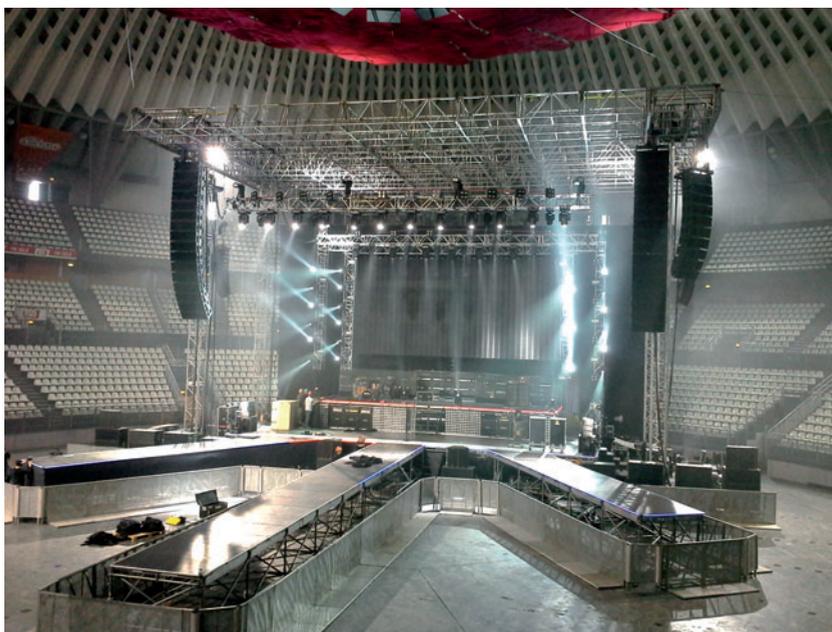


Figura 4.3. Sollevamento della truss

Riassumendo, per uno spettacolo:

- si utilizza una serie di apparecchiature scenografiche quali luci, video, audio, sipari, ecc., e ognuna di queste deve avere una particolare posizione in pianta, in quota e in orientamento;
- le varie apparecchiature vengono, per quanto possibile, raggruppate su strutture di sospensione per agevolarne montaggi e smontaggi;
- queste strutture di sospensione devono poi essere sospese su una struttura fissa o temporanea.

Questo sistema rimane costante e indipendente dalla struttura cui viene sospeso. Nel caso di uno spettacolo itinerante, cambieranno la città e la struttura ospitante, ma non il sistema dei carichi sospesi: lo spettatore vedrà esattamente le stesse scenografie nelle varie date.

Trattandosi quindi di un sistema indipendente e costante, che si può quasi considerare un “arredamento” che viaggia con lo show, lo stesso dovrà essere calcolato e verificato a priori, ed essere descritto da schemi grafici che permettano di inserirlo precisamente all'interno dei differenti contesti.

Sarà quindi necessario:

- calcolare e verificare ogni singola parte strutturale dei carichi sospesi (truss, grid, ecc.) per certificare che i carichi appesi alla struttura stessa siano compatibili con la portata della stessa;
- determinare per la singola parte strutturale dei carichi sospesi il numero e la posizione dei punti di sospensione alla struttura, ogni volta diversa, che nelle varie località ospiterà lo show. Ad esempio se si deve utilizzare una truss molto lunga, oltre ai 2 punti di sospensione posti alle 2 estremità della stessa, si utilizzeranno anche dei punti di sospensione intermedi, per evitare che la flessione della truss superi la capacità portante della stessa. Questo inoltre eviterà di avere punti di sospensione con carichi troppo elevati che potrebbero non essere verificati per la struttura locale ospitante, come vedremo in seguito;
- una volta definiti i vari punti di sospensione che verificano le varie parti strutturali dei carichi sospesi, essi dovranno essere rappresentati graficamente su una pianta quotata rispetto ad un punto di riferimento, ognuno con la propria posizione in X, Y e quota Z: il grafico risultante viene chiamato *rigging plot*;
- per ogni singolo punto di sospensione rappresentato nel *rigging plot* dovrà

essere specificata la massima reazione trasmessa alla struttura ospitante, tenendo conto della situazione più sfavorevole e considerando:

- i vari carichi scenografici;
- il peso delle strutture portanti dei carichi sospesi;
- il peso dei motori elettrici;
- il peso dei materiali accessori (grilli, campanelle, catene, cavi sintetici o metallici, ecc.);
- il peso dei cavi dell'impianto elettrico;
- il peso degli addetti ai lavori;
- gli incrementi dinamici durante le movimentazioni (in fase di montaggio o smontaggio o richieste durante lo show per cambi di scenografia).

Comunque nella documentazione dovranno essere ben specificate le ipotesi di carico in maniera da poter risalire con precisione ai carichi già implementati.

Un sistema di carichi sospesi sarà sinteticamente composto da:

- elenco delle varie apparecchiature scenografiche utilizzate con indicazione del peso unitario e delle modalità di attacco alle parti strutturali;
- elenco delle varie parti strutturali con descrizione tecnica e verifica strutturale di ogni parte componente la scenografia dello show;
- grafico con posizione in X, Y e Z di ogni punto di sospensione necessario per appendere le scenografie dello show;
- indicazione precisa della reazione massima trasmessa in ogni punto X, Y e Z di sospensione.

A titolo esemplificativo si allegano tre schemi grafici (figure 4.4-4.6).

Si ponga quindi l'attenzione sulla documentazione sui carichi sospesi, che dovrà fondamentalmente:

- assicurare che l'allestimento itinerante non abbia problematiche dal punto di vista strutturale;
- dare un'indicazione di quanti punti di sospensione sono necessari per poter allestire lo show;
- dare un'indicazione delle dimensioni necessarie per il posizionamento dell'allestimento;
- dare un'indicazione di quali carichi dovranno essere sopportati dalla struttura ospitante.

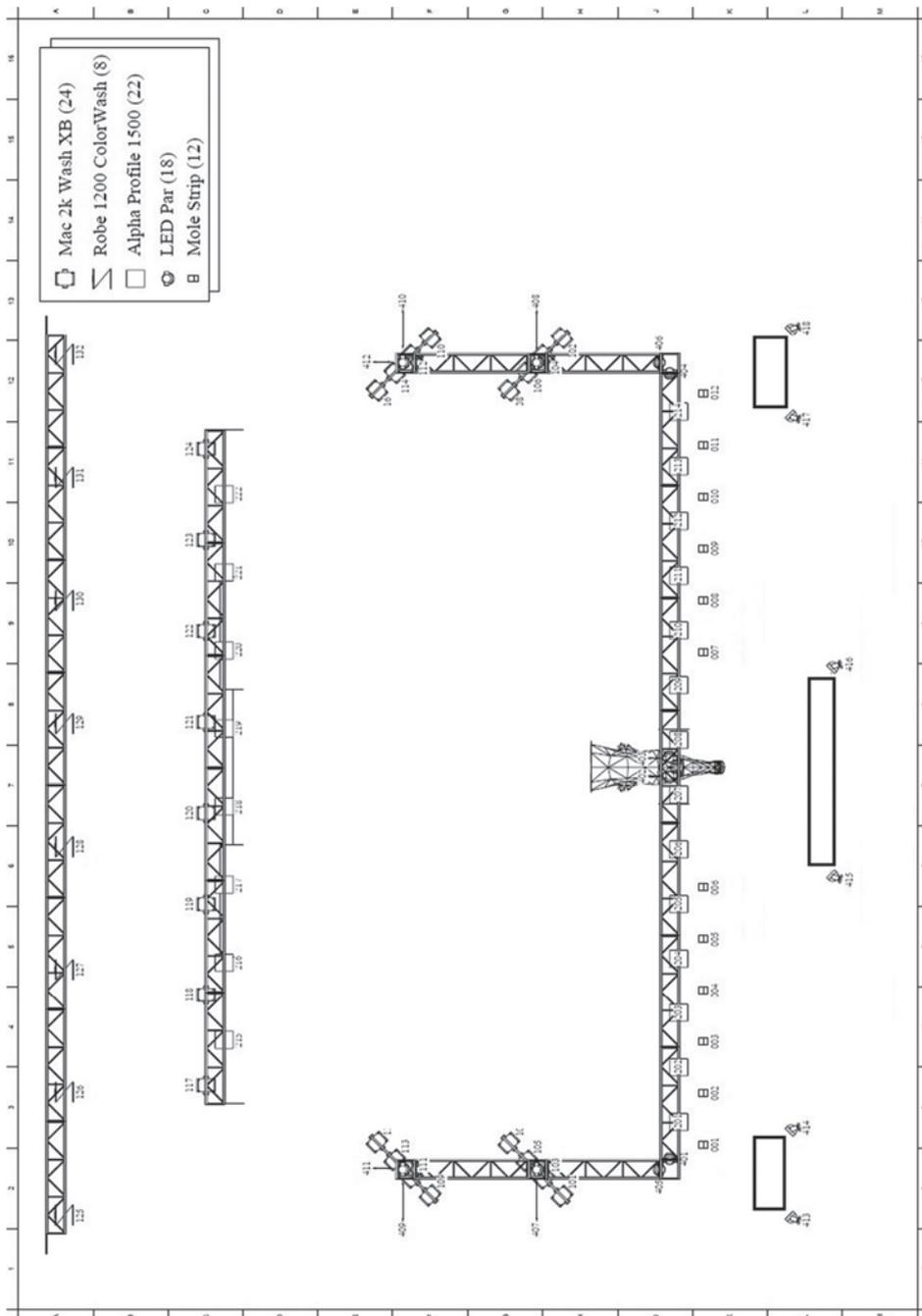


Figura 4.4. Elenco e disposizione apparecchiature luminose (light plot)

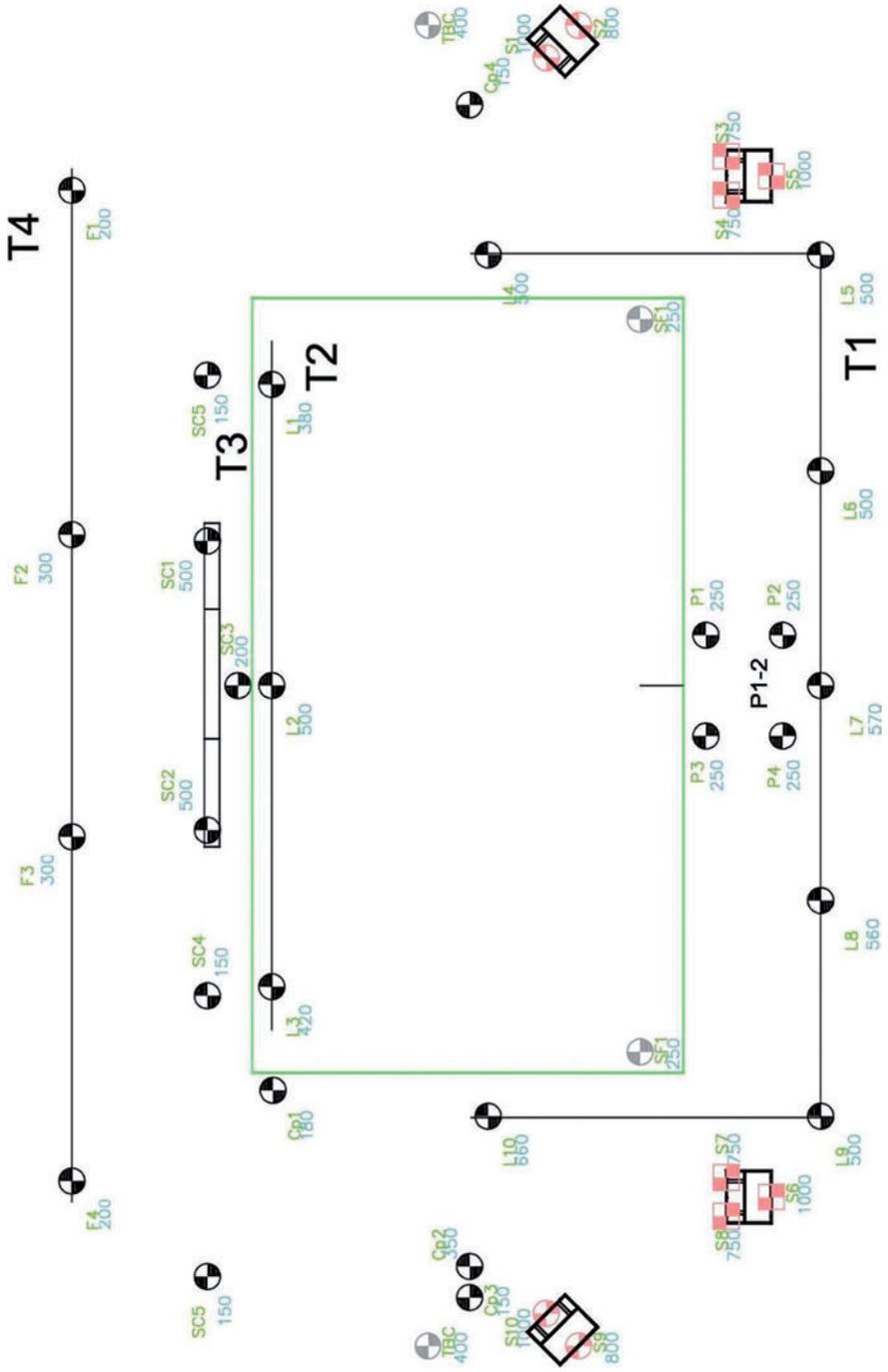


Figura 4.5. Carichi sui punti di sospensione (weight plot)

Su questo ultimo punto va osservato quanto segue:

- la planimetria dei carichi sui vari punti di sospensione deve indicare il valore massimo possibile nel corso della manifestazione, dal momento in cui si inizia il montaggio al momento in cui si finisce lo smontaggio;
- oltre ai carichi statici derivanti da materiali e apparecchiature, devono essere considerati effetti locali che vanno dalla dinamica, alla presenza di addetti ai lavori, a configurazioni particolari in fase di montaggio, a possibili inconvenienti durante i lavori, ecc.;
- il singolo carico servirà per poter verificare che il punto della struttura ospitante cui verrà sospeso sia in grado di sopportare quel determinato carico massimo nella situazione più sfavorevole;
- questa particolare situazione più sfavorevole si verifica in un punto, o insieme di punti, in un determinato istante, ma non contemporaneamente su tutti i punti dell'allestimento (a meno che non si stia parlando di allestimenti di ridotte dimensioni, composti magari da una sola truss);
- di conseguenza il carico totale statico dei carichi sospesi non si ottiene sommando le intensità dei carichi massimi presenti sul rigging plot: la somma va eseguita dopo avere scomputato le azioni particolari sui singoli punti (addetti ai lavori, dinamica, ecc.).



Figura 4.7
Punto di sospensione su una truss

Oltre a queste considerazioni va poi sottolineato che la struttura temporanea, potendo essere calcolata con carichi accidentali minori, sarà di conseguenza più sensibile a qualsiasi tipo di azione eccezionale. Quindi, sempre a titolo di esempio, lo spostamento di un carico, il movimento delle persone, l'impatto di un veicolo, ecc. avranno effetti non irrilevanti, a differenza di quanto avverrebbe per una struttura fissa, sulla quale queste azioni generalmente sono trascurabili.

Risulta quindi fondamentale, quando si inizia la progettazione strutturale di un'opera temporanea, stabilire quali siano le azioni tipiche e soprattutto le azioni atipiche (per i motivi sopra citati) ragionevolmente prevedibili nella pur breve vita della struttura stessa, con lo scopo di evitare che azioni di limitata entità possano avere conseguenze sproporzionate e inaccettabili.

5.2. Concezione della struttura

Per quanto riguarda la progettazione strutturale una struttura temporanea non si differenzia da una struttura fissa: pertanto il calcolo e le verifiche vanno condotte con le stesse modalità.

Una volta modellata la struttura e applicati i carichi considerati più cautelativi e rappresentativi, vanno quindi verificate le varie parti della struttura stessa nonché i punti di vincolo, verificando anche il comportamento globale dell'opera, se ritenuto necessario, come un unico corpo rigido, come deve essere per le verifiche globali della stabilità al vento.

Ogni progetto strutturale dovrà quindi tenere conto, relativamente alle verifiche:

- della struttura nel suo complesso;
- delle singole parti costituenti la struttura, in particolare le più sollecitate;
- dei punti dove la struttura è vincolata, che possono essere, a seconda dei casi, i punti di appoggio a terra o i punti di sospensione.

Per le strutture temporanee, considerata la particolarità delle opere e soprattutto dei carichi agenti, risultano più che mai determinanti e di fondamentale importanza le ipotesi di calcolo definite dal progettista strutturale, in quanto spesso tali azioni non trovano una precisa collocazione nelle azioni classiche stabilite nelle norme tecniche.

Il progettista deve pertanto sempre tenere presente quali azioni siano ragionevolmente possibili e valutare quali siano le più sollecitanti, nonché stabilire con particolare attenzione la concomitanza delle diverse azioni.

Opportune considerazioni vanno fatte anche per quanto riguarda i coefficienti moltiplicatori: se per i materiali è ragionevole assumere i coefficienti previsti dalla normativa, per le azioni va tenuto conto della attendibilità della loro entità. Per le azioni agenti, infatti, si adottano coefficienti moltiplicatori per tenere conto del fatto che i valori delle azioni permanenti e accidentali che si imputano nel calcolo derivano da considerazioni statistiche. Questo principio si applica ad una struttura permanente ordinaria, mentre diversa è la situazione per una struttura temporanea: in questo caso infatti il peso proprio e i carichi permanenti non sono definiti su base statistica, bensì derivano da un calcolo analitico eseguito “pezzo per pezzo” che permette quindi di ottenere un valore certo e non probabile. In certi casi poi i materiali che costituiscono i carichi permanenti vengono addirittura pesati una volta sospesi alle strutture con celle di carico, quindi con una determinazione inequivocabile della loro entità.

Capita, anche se non spesso, che le strutture temporanee siano sottoposte, in fase di progettazione, a prove di carico (soprattutto nel caso di opere destinate ad una serie di eventi ripetitivi). Tale controllo rende ancora più precisa e definita la verifica finale delle strutture impiegate, avendo la quantificazione certa dei carichi propri e permanenti e il riscontro, durante le prove eseguite con carichi opportunamente amplificati rispetto a quelli che poi saranno realmente applicati in esercizio, che i materiali rimangono, dopo ripetuti cicli di carico e scarico con la verifica delle deformazioni massime e residue, in campo elastico.

5.3. Verifiche fondamentali

Vediamo quindi, a titolo puramente indicativo, quali siano gli aspetti fondamentali da tenere in considerazione nella verifica dei vari tipi di struttura.

5.3.1. *Truss*

Modello:

- trave su due o più appoggi.

Vincoli:

- appoggi semplici scorrevoli in orizzontale, tranne uno.

Carichi applicati:

- carico uniformemente distribuito e/o carichi concentrati.

Verifiche necessarie:

- momento massimo, in valore assoluto, sulla sezione totale;
- taglio massimo sulla sezione totale;
- torsione massima sulla sezione totale, se presente;
- sforzo assiale sul singolo corrente derivante dalla scomposizione del momento flettente, ad instabilità;
- sforzo assiale sulla singola diagonale derivante dalla scomposizione del taglio, ad instabilità;
- punto di applicazione del carico sul singolo elemento;
- punto di applicazione del vincolo sul singolo elemento.

Reazioni vincolari:

- vanno applicate alla struttura alla quale la truss è poggiata o sospesa.

5.3.2. Torri

Modello:

- colonna.

Vincoli:

- alla base generalmente incastro parziale, sommità libera.

Carichi applicati:

- carico di punta, con coppia.

Verifiche necessarie:

- sforzo assiale sulla sezione totale, ad instabilità;
- sforzo assiale combinato a momento flettente, con verifica sul singolo corrente, ad instabilità;
- sforzo assiale sulla singola diagonale derivante dalla scomposizione del taglio, ad instabilità;
- basette di appoggio;
- pressione a terra;
- ribaltamento per azioni orizzontali;
- resistenza ad azioni eccezionali (urti, movimenti, ecc.).

5.3.3. Portale

Modello:

- portale.

6. Documentazione

6.1. Introduzione

Ritengo utile, anche se non direttamente collegato al calcolo strutturale, fornire alcune indicazioni in merito alla documentazione necessaria a corredo delle pratiche autorizzative per le manifestazioni di pubblico spettacolo, relativamente alla parte strutturale.

Trattasi di linee guida generali da utilizzare come promemoria.

Consiglio innanzitutto di verificare di volta in volta le specifiche richieste, in termini di documentazione, fornite dalla Provincia o dall'Ente in questione, con particolare attenzione al numero e ai tipi di documenti richiesti, agli allegati, ai tempi di consegna, ecc. Molto spesso infatti, a parità di Provincia o di Ente, a diverse tipologie di manifestazione corrisponde un protocollo documentale diverso (a seconda che trattasi di una manifestazione privata, pubblica, con un numero elevato di spettatori, ecc.).

Le strutture vanno sempre calcolate e verificate tutte con la stessa attenzione, indipendentemente dalla manifestazione dove vengono utilizzate: perciò anche la documentazione a corredo deve essere sempre completa e precisa.

Attenzione a non farsi confondere dalla terminologia: alcune tipologie di strutture, le cosiddette *ricorrenti* (ad esempio quelle realizzate a servizio di un tour che vengono utilizzate sempre identiche in più date), prevedono per ogni tappa la predisposizione e la presentazione della relativa documentazione, ognuna con il proprio calcolo, che tenga conto della valutazione delle condizioni logistiche e delle diverse condizioni climatiche (soprattutto per strutture esterne). È ammissibile adottare un'unica relazione di calcolo per una stessa struttura itinerante solo nel caso in cui la relazione contempli le condizioni più cautelative: la relazione dovrà tenere conto delle diverse condizioni. Altrimenti, insieme alla relazione generale, dovranno essere prodotte ed esibite, tappa per tappa, opportune integrazioni.

6.2. Documentazione tecnica

6.2.1. Relazione sui carichi sospesi

La relazione sui carichi sospesi deve essere prodotta per ogni allestimento e deve:

- contenere la distinta (elenco dettagliato) delle apparecchiature scenografiche che costituiscono l'allestimento, ossia numero e peso unitario di fari, casse acustiche, video, ecc.;
- contenere la descrizione completa del sistema di sospensione con indicazione del tipo di truss, grilli, campanelle, funi metalliche, motori, sistema di sicura, ecc.;
- verificare le strutture necessarie a realizzare un allestimento scenografico;
- indicare quanti punti di sospensione sono necessari per l'allestimento, la loro distribuzione nello spazio (rigging plot), l'intensità del singolo carico applicato al punto di sospensione (weight plan).

È importante e utile specificare che le reazioni vincolari costituiranno il sistema di carichi permanenti da considerare nella verifica della struttura che ospiterà l'allestimento, sia essa fissa o temporanea.

6.2.2. Corretto montaggio dei carichi sospesi, a strutture ultimate

La certificazione del corretto montaggio dei carichi sospesi deve essere sempre prodotta una volta conclusi i lavori di sospensione dell'allestimento.

Certifica:

- che la sospensione dell'allestimento è stata eseguita come da relazione dei carichi sospesi, quindi come da progetto;
- che sono stati utilizzati i materiali previsti;
- che sono state rispettate tutte le prescrizioni;
- che sono stati controllati i materiali, il loro stato di conservazione e che sono state eventualmente sostituite parti ammalorate;
- che le apparecchiature sono state fissate alle strutture in maniera regolare con tutti gli accorgimenti necessari per prevenire cadute (cordini di sicurezza, doppio fissaggio, ecc.).

Non tratta, e quindi non certifica, la struttura fissa o temporanea sulla quale l'allestimento viene sospeso.

Dal punto di vista temporale il corretto montaggio dei carichi sospesi deve essere successivo al corretto montaggio e al collaudo della struttura temporanea

dove questi sono sospesi, coincidendo generalmente con la fine dei lavori nel cantiere.

6.2.3. Collaudo dei carichi sospesi

Per ogni struttura realizzata viene incaricato un tecnico, che non abbia preso parte in nessuna forma alla costruzione, ad esaminare la struttura ultimata: egli la confronterà con la relativa documentazione tecnica depositata (relazione di calcolo e corretto montaggio a struttura ultimata) e, in assenza di difformità e/o di comportamenti non previsti, collauderà la struttura e la dichiarerà staticamente idonea all'uso.

Dal punto di vista temporale il collaudo dei carichi sospesi deve essere successivo al corretto montaggio e al collaudo della struttura temporanea dove questi sono sospesi e al loro corretto montaggio.

6.2.4. Collaudo annuale dei carichi sospesi

Il collaudo annuale dei carichi sospesi è un documento unico che certifica insieme il corretto montaggio e il collaudo nel caso di un sistema strutturale itinerante, che viene quindi ripetutamente realizzato in maniera identica.

In questo caso l'iter è simile alla certificazione di una struttura prefabbricata prodotta in serie. La realizzazione riguarda un sistema strutturale unico (talvolta i sistemi sono doppi per permettere un intervallo minore tra due tappe successive, quindi mentre si smonta il primo sistema strutturale, il secondo è già in montaggio presso la tappa successiva) che viene costruito integralmente in officina, o nel corso della cosiddetta *tappa zero*: viene controllato e verificato, con l'ausilio di celle di carico per verificare i carichi reali e talvolta anche con vere e proprie prove di carico, e quindi collaudato. Questo collaudo, solo nel caso in cui il sistema strutturale venga realizzato identico in più tappe, ha validità di un anno dalla data del certificato e non rende necessaria la presenza del collaudatore ad ogni tappa.

6.2.5. Relazione di calcolo di una struttura temporanea

La relazione di calcolo di una struttura temporanea costituisce la classica relazione di calcolo e deve essere prodotta per ogni struttura temporanea.

Contiene la descrizione della struttura con la specificazione della geometria e dei materiali di tutte le parti, le condizioni di vincolo, tutti i carichi agenti, le sollecitazioni risultanti, la verifica delle singole parti, la verifica globale della struttura, le prescrizioni sull'uso della struttura.

Una delle condizioni di carico è rappresentata dal sistema di carichi sospesi che formano l'allestimento per il quale la struttura stessa è realizzata; questi saranno imputati come carichi permanenti non strutturali. Altre condizioni di carico accidentale derivano dalla presenza di persone, dal vento e dalle altre possibili azioni, anche eccezionali, viste in precedenza.

La relazione certifica che la struttura è idonea a sostenere l'allestimento scenografico ed è valida solo in quel particolare e specificato luogo dove è stata installata. Le reazioni vincolari costituiscono il sistema di carichi da considerare nella verifica del piano di appoggio e degli eventuali punti di ancoraggio ad una struttura fissa. In generale la verifica del piano di posa è contenuta nella stessa relazione della struttura temporanea, così come la verifica dei punti di ancoraggio su strutture fisse (qualora questi siano in numero limitato e non rappresentino una condizione di carico particolarmente gravosa).

Questa relazione verifica la sola struttura temporanea, pertanto il sistema strutturale che forma l'allestimento sospeso non rientra in questo calcolo.

6.2.6. Corretto montaggio di una struttura temporanea, a struttura ultimata

La certificazione per il corretto montaggio deve essere sempre prodotta una volta finiti i lavori di costruzione della struttura temporanea.

Certifica che:

- la struttura temporanea è stata eseguita come da relazione di calcolo, quindi come da progetto;
- che sono stati utilizzati i materiali previsti;
- che sono state rispettate tutte le prescrizioni;
- che sono stati controllati i materiali, il loro stato di conservazione e che sono state eventualmente sostituite parti ammalorate.

Non tratta, e quindi non certifica, il sistema di carichi sospesi formante l'allestimento; può certificare il piano di posa della struttura ed eventuali punti di ancoraggio a strutture fisse.

Dal punto di vista temporale questo documento precede l'inizio dei lavori dei carichi sospesi.

6.2.7. Collaudo di una struttura temporanea

Per ogni struttura realizzata viene nominato un tecnico, che non abbia preso parte in nessuna forma alla costruzione, chiamato ad esaminare la struttura ultimata: egli la confronterà con la relativa documentazione tecnica depositata

(relazione di calcolo e corretto montaggio a struttura ultimata) e, in assenza di difformità e/o di comportamenti non previsti, collauderà la struttura e la dichiarerà staticamente idonea all'uso.

Dal punto di vista temporale questo collaudo precede l'inizio dei lavori dei carichi sospesi.

6.2.8. Collaudo annuale di una struttura temporanea

Il collaudo annuale segue la stessa procedura che viene adottata per i carichi sospesi, nel caso di una struttura itinerante, realizzata sempre allo stesso modo nelle varie tappe.

Si tenga comunque presente che le condizioni ambientali, specie nel caso in cui la struttura sia realizzata in esterni, possono essere molto diverse da una tappa all'altra (basti pensare alla differenza tra una struttura collocata in un centro cittadino e una posizionata su una spiaggia): in questi casi il calcolo deve ovviamente tenere conto della condizione sollecitante più cautelativa oppure prevedere due o più condizioni rappresentative di carico; talvolta serve anche una diversa condizione di vincolo, specie nei sistemi di zavorra e controvento.

6.2.9. Relazione di calcolo di una struttura fissa

Quando un sistema di carichi sospesi viene direttamente vincolato ad una struttura fissa, ovvero quando una struttura temporanea interagisce in maniera complessa con una struttura fissa, la struttura fissa deve essere calcolata e verificata. Nella maggioranza dei casi il calcolo riguarderà una parte della struttura fissa, solitamente il tetto, in quanto i carichi derivanti da un allestimento temporaneo sono normalmente di entità quasi trascurabile se confrontati con i carichi di progetto.

In ogni caso la struttura fissa deve essere verificata nella situazione più cautelativa, quindi tenendo conto della concomitanza delle varie condizioni di carico. Nel caso in cui il sistema temporaneo di carichi non sia verificato in concomitanza con altre condizioni di carico di progetto, dovranno stabilirsi particolari procedure di intervento durante la manifestazione.

Questo succede ad esempio con il carico da neve: l'allestimento sfrutta i carichi accidentali di progetto della copertura del fabbricato, e tra questi la parte predominante è data proprio dal carico da neve. Nel caso di allestimenti pesanti risulta indispensabile utilizzare una parte di questo carico: pertanto nel momento in cui dovesse verificarsi una precipitazione nevosa di una certa

entità in concomitanza all'evento temporaneo, si dovrà iniziare a scaricare la struttura fissa portando a terra parte dei carichi sospesi, talvolta fino a portarli a terra tutti se lo spessore della neve aumenta.

6.2.10. Certificato di idoneità statica (temporaneo) di una struttura fissa, a strutture ultimate

Una volta ultimati i lavori di realizzazione dell'allestimento all'interno della struttura fissa viene nominato un tecnico, che non abbia preso parte in nessuna forma alla costruzione. Egli si occuperà di esaminare i lavori ultimati, li confronterà con la relativa documentazione tecnica depositata (relazione di calcolo e corretto montaggio) e, in assenza di difformità e/o di comportamenti non previsti, dichiarerà staticamente idonea la struttura all'uso. Non si tratta di collaudo in quanto la struttura fissa è già dotata di collaudo strutturale e la condizione di carico dell'allestimento non è una variante permanente delle condizioni di carico: non si dovrà procedere quindi a nuovi calcolo, verifica e collaudo generale, ma risulterà sufficiente verificare temporaneamente che la struttura fissa sia idonea a sopportare quei particolari carichi temporanei. Una volta smontati i carichi sospesi la struttura fissa tornerà ad essere nelle condizioni originarie di progetto per le quali rimane valido il collaudo originale.

6.2.11. Certificati in variante e/o integrazione, autorizzazioni

Le attività legate allo spettacolo sono spesso oggetto di modifiche improvvisate, decise anche all'ultimo momento.

Ogni variante o integrazione, o comunque ogni modifica delle strutture e/o dei carichi, dovrà essere studiata, calcolata e verificata, e quindi autorizzata con apposito certificato o verbale.

6.2.12. Verbali lavori

Durante i lavori il tecnico incaricato della direzione dei lavori strutturali deve verificare lo stato dei luoghi, lo stato di conservazione e usura dei materiali impiegati, le varie fasi delle lavorazioni, la rispondenza del realizzato con il progetto, le condizioni di vincolo (controventi e zavorre), le varianti e le integrazioni, ecc.

Questi riscontri andranno riportati su dei verbali giornalieri dei lavori che saranno parte integrante del certificato di corretto montaggio a strutture ultimate e del certificato di collaudo.