

- Sintesi di Tesi di Laurea -

**Effetti del vento su coperture di grande luce: prove sperimentali,
applicazioni progettuali ed analisi computazionali.**

(Ing. Stefano Volpi)

La Tesi in oggetto ha come obiettivo primario l'analisi da un punto di vista teorico, sperimentale ed applicativo, degli effetti del vento su una copertura di grande luce. In particolare è stata presa in esame la nuova copertura delle tribune dello stadio Miramare di Manfredonia (Fg), realizzata dalla ditta Holzbau Sud S.p.a..

La struttura principale dell'opera è formata da tre archi in legno lamellare posti in serie aventi schema statico di arco a 3 cerniere, luce libera di 76.42m e freccia di 9.32m; tali archi poggiano su cavalletti in cemento armato di altezza 7.65m. Le caratteristiche geometriche delle sezioni sono: 0.18m x 1.673m per gli archi frontale e posteriore e 0.22m x 1.673m per quello intermedio. Gli archi sono ad interasse di 6.50m e tra loro collegati da una struttura di controvento di falda disposta su due piani, costituita da puntoni in legno lamellare (a sezione variabile) e tiranti in acciaio. A completamento è posto un ordito di arcarecci di copertura ed un manto di tegole canadesi.



Fig.1: *La nuova copertura delle tribune dello stadio Miramare di Manfredonia*

Per strutture che, come quella considerata, possiedono rilevanti caratteristiche di leggerezza e flessibilità, la vulnerabilità nei confronti dell'azione del vento è effettivamente di gran lunga maggiore che non per costruzioni tozze e pesanti, come ad esempio possono essere quelle realizzate in muratura. Per quest'ultime infatti il vento può provocare, salvo casi eccezionali, danni che vanno ad interessare soltanto elementi secondari (sollevamento di tegole, rottura di vetri, ecc.); per strutture flessibili e leggere, al contrario, l'azione eolica va ad agire (e ad interagire, nel caso si verifichino fenomeni aeroelastici) direttamente sulla struttura portante, con possibilità di danni gravi ed eventuali pericoli per l'incolumità delle persone.

Va inoltre sottolineato che lo stadio in oggetto si affaccia direttamente sul Mare Adriatico, con la città che si sviluppa sui rimanenti tre lati. Fatte queste considerazioni, appare evidente come l'azione del vento sia decisiva ai fini del progetto.

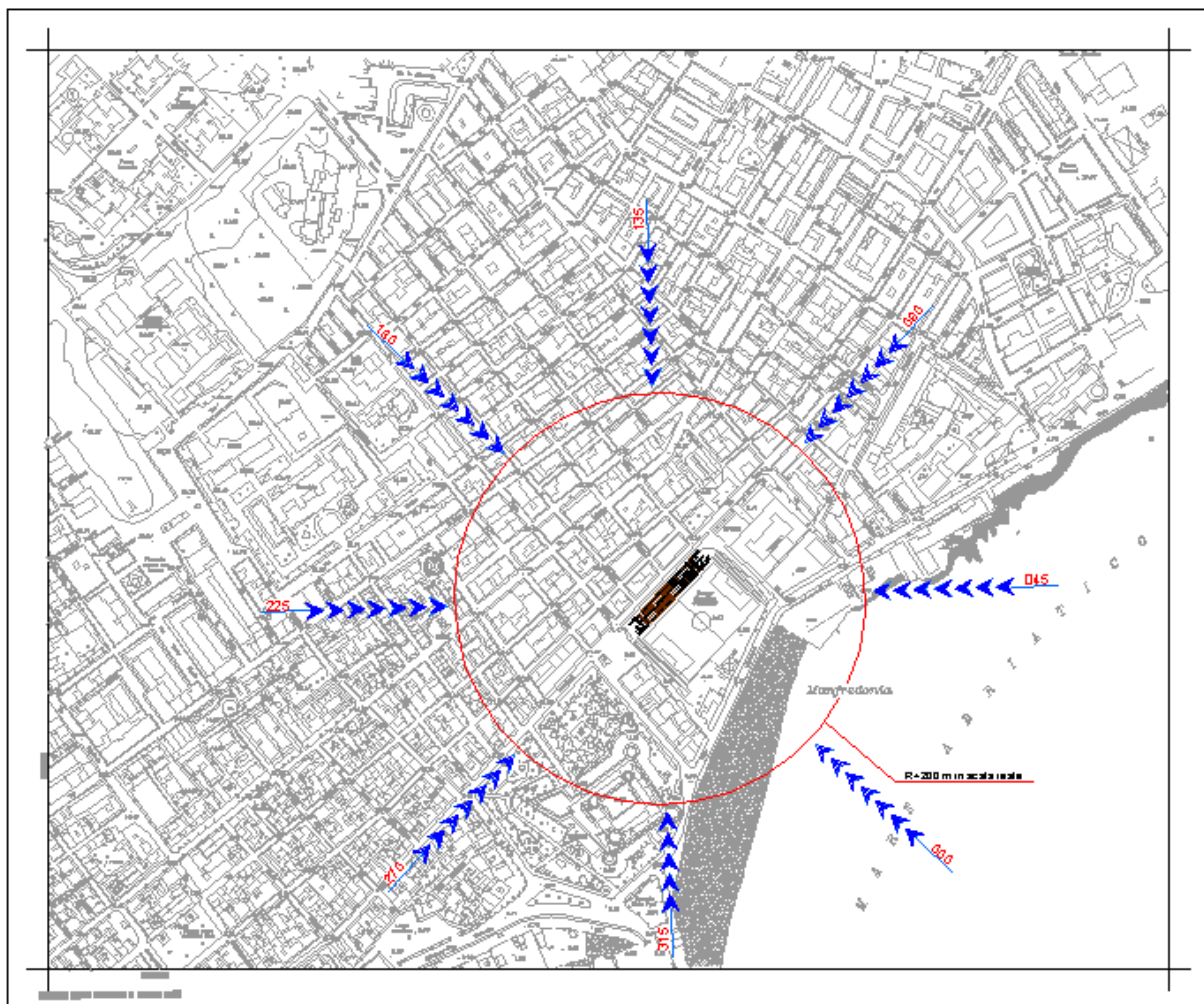


Fig.2: Collocazione geografica dello stadio ed individuazione degli edifici riportati nel modello (in rosso). Sono inoltre riportate le direzioni di incidenza del vento per cui sono stati effettuati i test sperimentali (in blu).

Il lavoro svolto può essere suddiviso in tre fasi principali.

I FASE: Prove sperimentali in galleria del vento.

Utilizzando la galleria del vento a strato limite sviluppato del CRIACIV¹, sono state dapprima effettuate rilevazioni anemometriche in corrispondenza di due diverse classi di rugosità superficiale, che hanno permesso tra l'altro di fornire un'approssimazione del profilo medio della velocità del vento al variare della quota di tipo sia esponenziale che logaritmico.



Fig. 3: La galleria del vento del CRIACIV

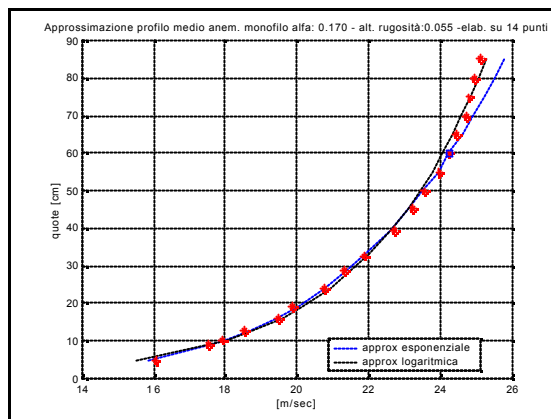


Fig. 4: Profilo della componente media della velocità del vento al variare della quota

A seguire sono state svolte prove di pressione su un modello in scala 1:200, realizzato in legno e materiale plastico e rappresentante la copertura in esame, le strutture dello stadio (ovvero gli edifici posti sotto la copertura, le tribune centrale e laterale, recinzioni ed ostacoli vari) ed altri edifici di edilizia pubblica e privata presenti entro un raggio di 200 m in scala reale dallo stadio (si veda Fig. 2).



Fig. 5: Vista d'insieme del modello posto sulla piattaforma della galleria del vento

¹ CRIACIV: Centro di Ricerca Interuniversitario di Aerodinamica delle Costruzioni ed Ingegneria del Vento

Preliminarmente alla strumentazione del modello, si è provveduto a determinare la posizione ottimale (ovvero tale da minimizzare l'alterazione sul contenuto in frequenza del segnale) degli smorzatori all'interno del collegamento pneumatico che collega la presa e con lo strumento di misura delle pressioni (processo di calibrazione degli smorzatori).

La copertura è stata quindi strumentata con 56 prese di pressione all'intradosso e 56 all'estradosso, al fine di determinare, per 8 diverse direzioni di incidenza del vento (si veda Fig. 2) in corrispondenza di ciascuna delle due classi di rugosità superficiale, le storie temporali dei coefficienti di pressione netti sulla copertura.

Nelle prove di pressione il campionamento del segnale è stato effettuato ad una frequenza di 250 Hz per un tempo di 30 sec, ottenendo così, per ogni presa di pressione, un totale di 7504 valori per ciascuna direzione di incidenza considerata.

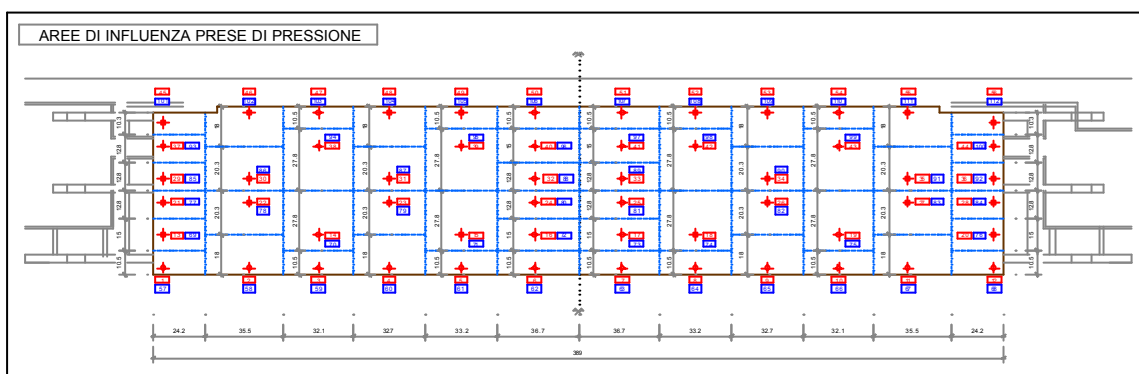


Fig. 6: Collocazione delle prese di pressione sul modello (vista all'estradosso) e loro aree di influenza

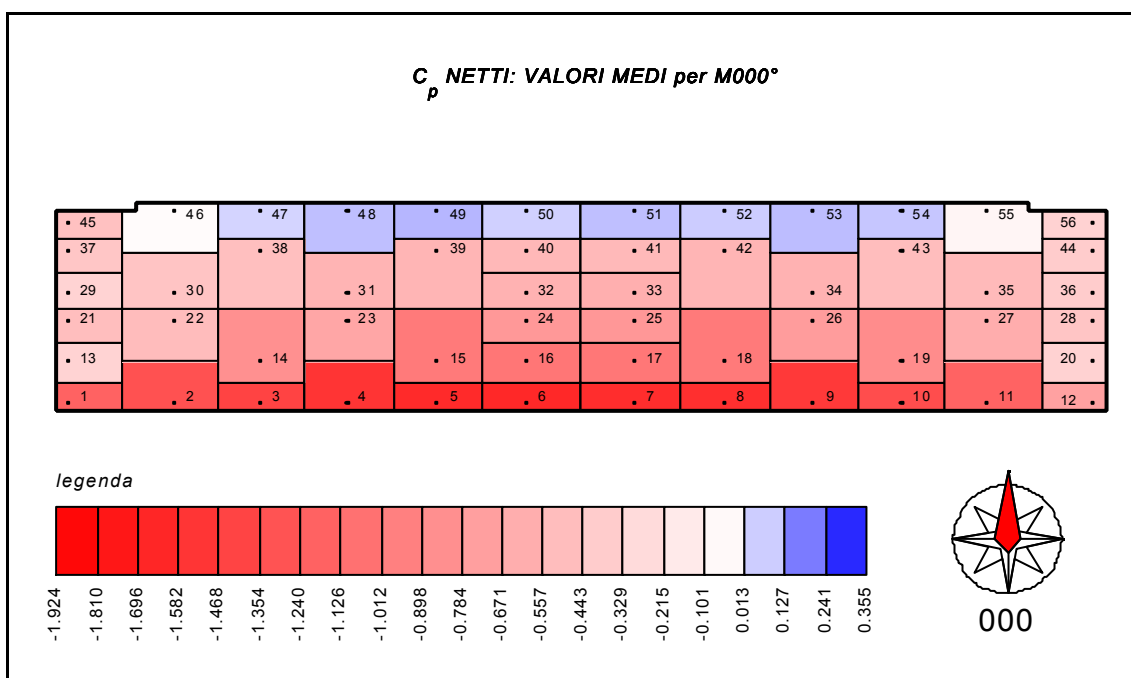


Fig. 7: Mappa dei valori medi dei coefficienti di pressione netti per vento frontale nella classe di rugosità minore (in rosso azione di sollevamento, in blu azione di schiacciamento sulla copertura)

I dati ottenuti sono stati quindi filtrati per eliminare disturbi esterni che possono verificarsi in galleria (ad esempio il disturbo indotto dal passaggio di pala), utilizzando un filtro passa-basso di Butterworth.

Poiché le fluttuazioni del valore istantaneo del coefficiente di pressione attorno al suo valor medio hanno andamento piuttosto casuale, non sarebbe ragionevole prendere come rappresentativi dei valori estremi il valore massimo e minimo assoluti registrati nella storia temporale; più corretto appare invece dare una stima probabilistica dei suddetti valori estremi, nel presente caso effettuata secondo il metodo di Gumbel.

In appendice al capitolo 5 sono fornite alcune nozioni teoriche alla base di questo metodo.

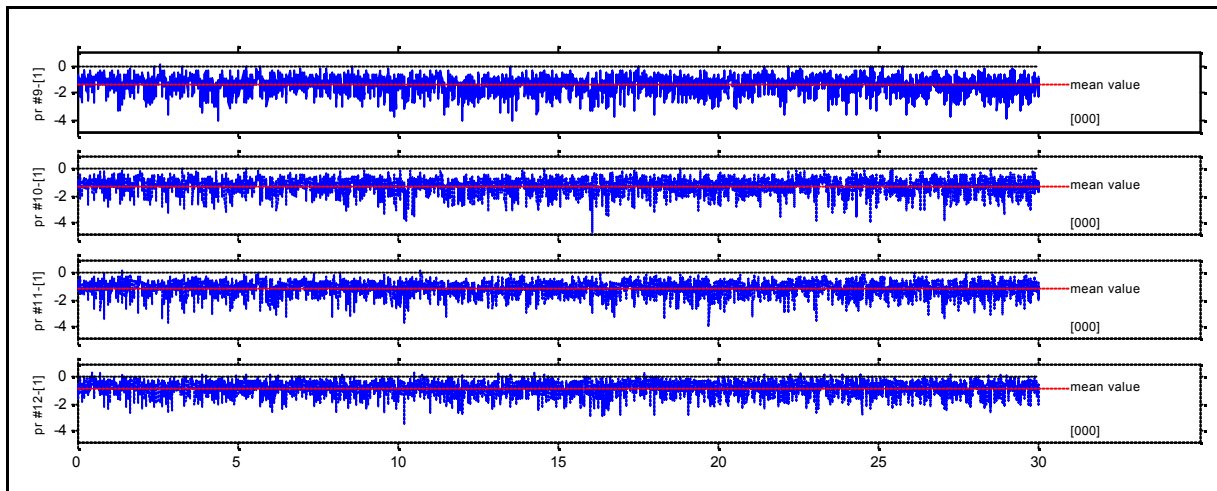


Fig. 8: Fluttuazioni del valore istantaneo del C_p attorno al suo valor medio durante la storia temporale

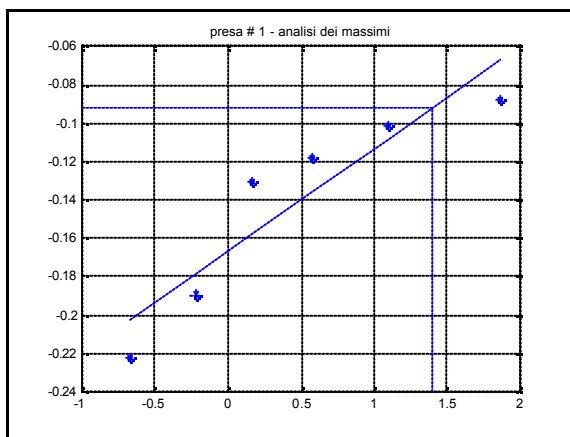


Fig. 9: Diagramma cartografico dell'analisi dei massimi – metodo di Gumbel

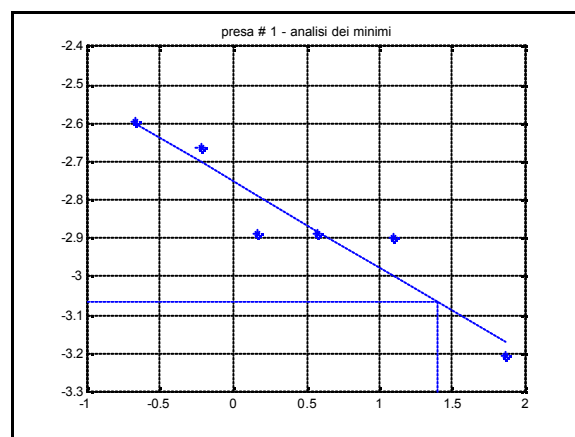


Fig. 10: Diagramma cartografico dell'analisi dei minimi – metodo di Gumbel

II FASE: Verifica della struttura.

La struttura è stata originariamente progettata con riferimento alla Normativa Italiana (Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1996 e successiva Circolare del 04 luglio 1996 n. 156) per la determinazione dei carichi e dei sovraccarichi, e con riferimento alla Normativa Tedesca DIN 1052 (metodo alle tensioni ammissibili) per la verifica delle costruzioni in legno. Si è quindi proceduto a verificare la copertura alla luce dei risultati sperimentali ottenuti in galleria del vento e secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite, attenendosi alle disposizioni della Bozza di Normativa Italiana sulle Costruzioni in Legno (N.I.CO.LE.).

Preliminarmente a tali operazioni è stato affrontato, il problema del passaggio dai valori sperimentali dei coefficienti di pressione, ai corrispondenti di progetto, nonché ai valori da utilizzare all'interno delle formule di Normativa; in particolare è fatto riferimento al caso della Normativa Italiana (D.M. 16 gennaio 1996) ed Europea (EC1).

Per il primo problema è stata fornita soluzione analizzando quattro possibili metodologie:

1. Valore massimo della pressione in ogni zona di carico (metodo approssimato che suppone che i valori estremi si verificano tutti allo stesso istante).
2. Metodo dei massimi contemporanei.
3. Metodo L.R.C. (Load-response Correlation Method)
4. Metodo delle storie temporali delle risposte (poi utilizzato nelle successive verifiche)

Dei quattro metodi è stato inoltre proposto un confronto dei risultati ottenuti per i valori estremi delle caratteristiche di sollecitazione e delle reazioni vincolari, relativamente ad un arcareccio di copertura della struttura in esame.

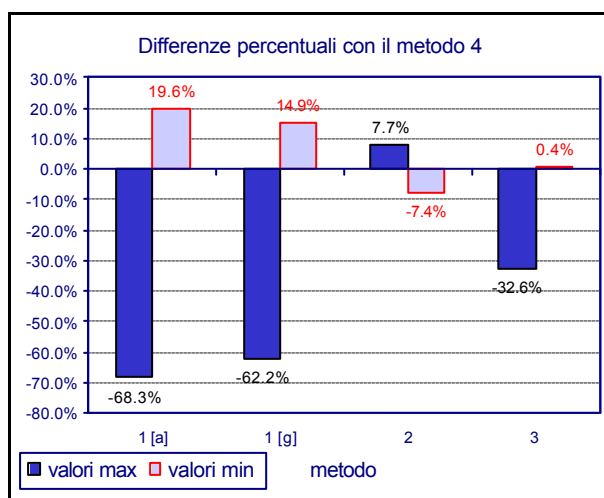


Fig. 11: Valori estremi della reazione vincolare all'appoggio frontale: differenze percentuali rispetto al metodo 4

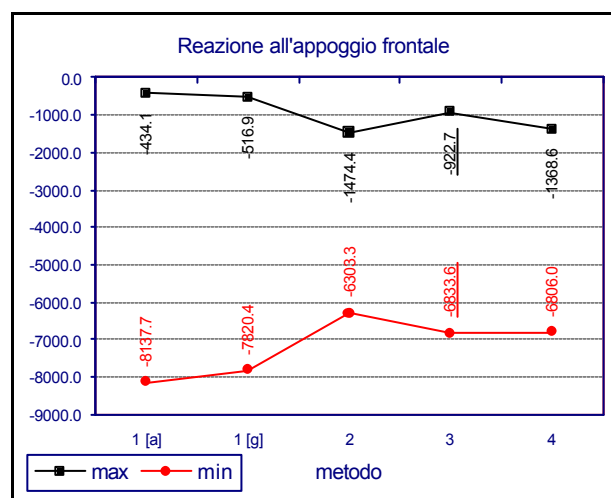


Fig. 12: Valori estremi della reazione vincolare all'appoggio frontale: valori ottenuti con i vari metodi

- Verifiche di resistenza e di stabilità (locale, secondo le formule proposte dalla Normativa) per l'arco intermedio e per quello frontale;
- Verifica della struttura di controvento.

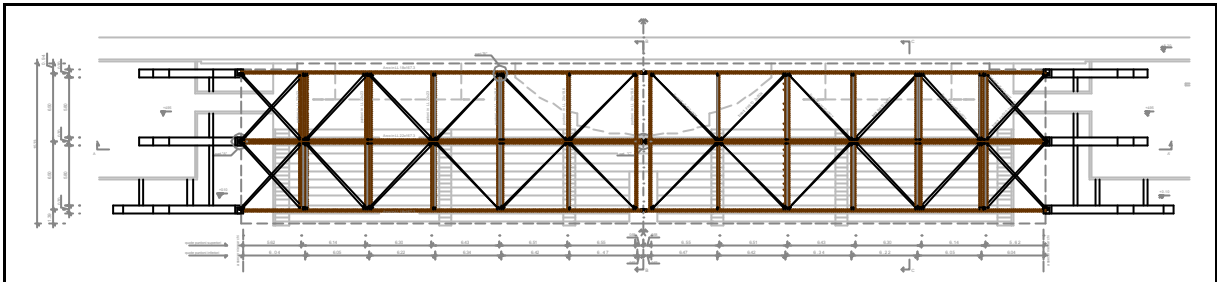


Fig. 17: Pianta degli irrigidimenti di falda

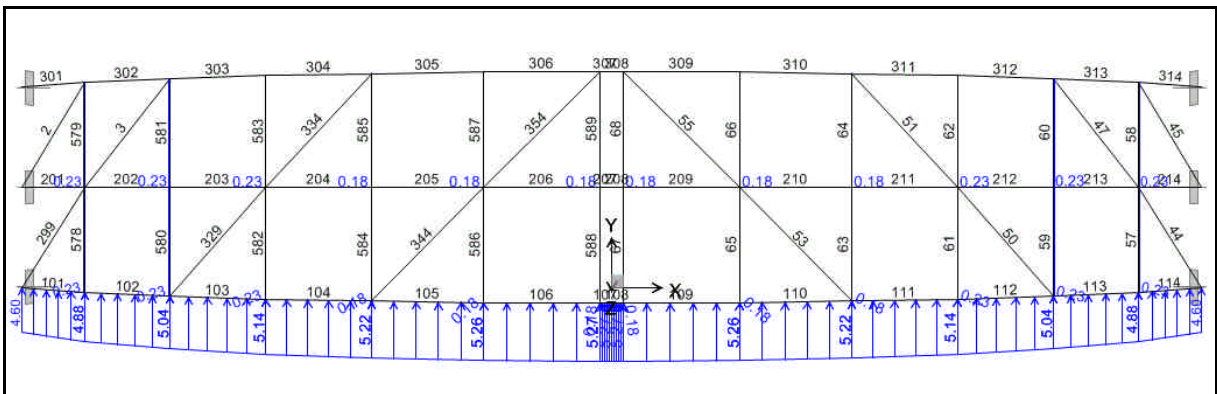


Fig. 18: Vista prospettica del modello agli elementi finiti realizzato in SAP2000 per lo studio dell'azione del vento frontale sulla struttura.

III FASE: Analisi computazionali sulla struttura.

Date le caratteristiche geometriche delle sezioni (rettangolari molto allungate), gli archi sono particolarmente sensibili al fenomeno dell'instabilità flessotorsionale. Tale problematica è stata esaminata realizzando un modello agli elementi finiti con il codice di calcolo Ansys 5.5, in cui gli archi sono stati modellati mediante un grigliato di elementi bidimensionali.

Prima della realizzazione del modello completo, si è quindi provveduto ad indagare l'influenza che il livello di discretizzazione utilizzato ha sull'affidabilità dei risultati. Per far ciò è stata considerata una trave di prova, sottoposta a 4 diverse condizioni di carico; per ognuna di esse è stato determinato il moltiplicatore critico del carico (λ_{CR}) per 5 diversi gradi di raffinamento della *mesh*. In aggiunta è stata indagata l'influenza, sul valore di λ_{CR} , della schematizzazione utilizzata per il comportamento del materiale legno lamellare: elastico lineare omogeneo ortotropo a simmetria cilindrica oppure omogeneo isotropo.

Dai risultati di questa prima fase, si è passati allo studio della stabilità globale della struttura considerando 5 diverse combinazioni di carico, ed applicando ad ognuna di esse un processo iterativo che permettesse di determinare il λ_{CR} applicato ai soli sovraccarichi variabili. I risultati hanno mostrato che la struttura è sicura, con sufficiente margine, anche nei confronti della stabilità.

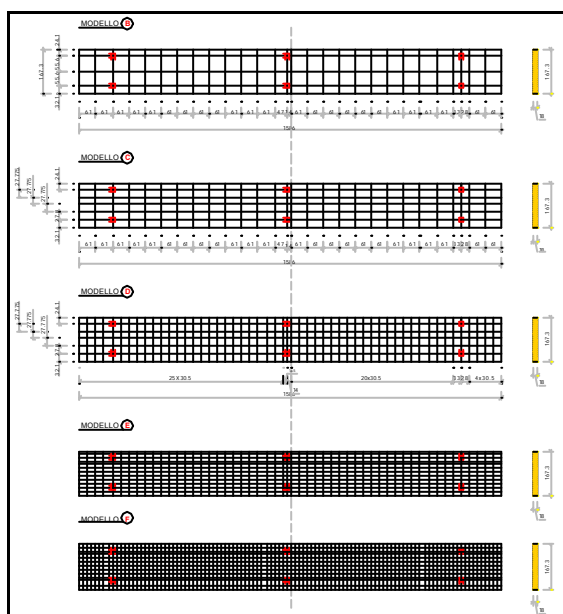


Fig. 19: Rappresentazione dei 5 diversi livelli di raffinamento della mesh considerati.

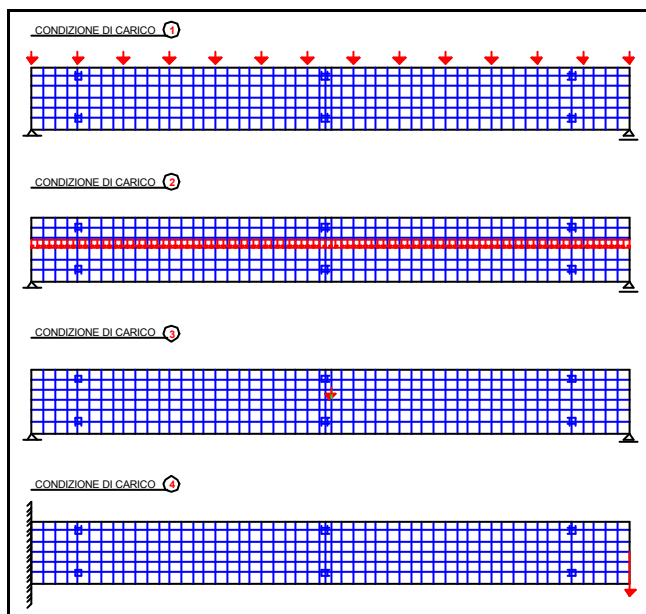


Fig. 20: Condizioni di carico esaminate

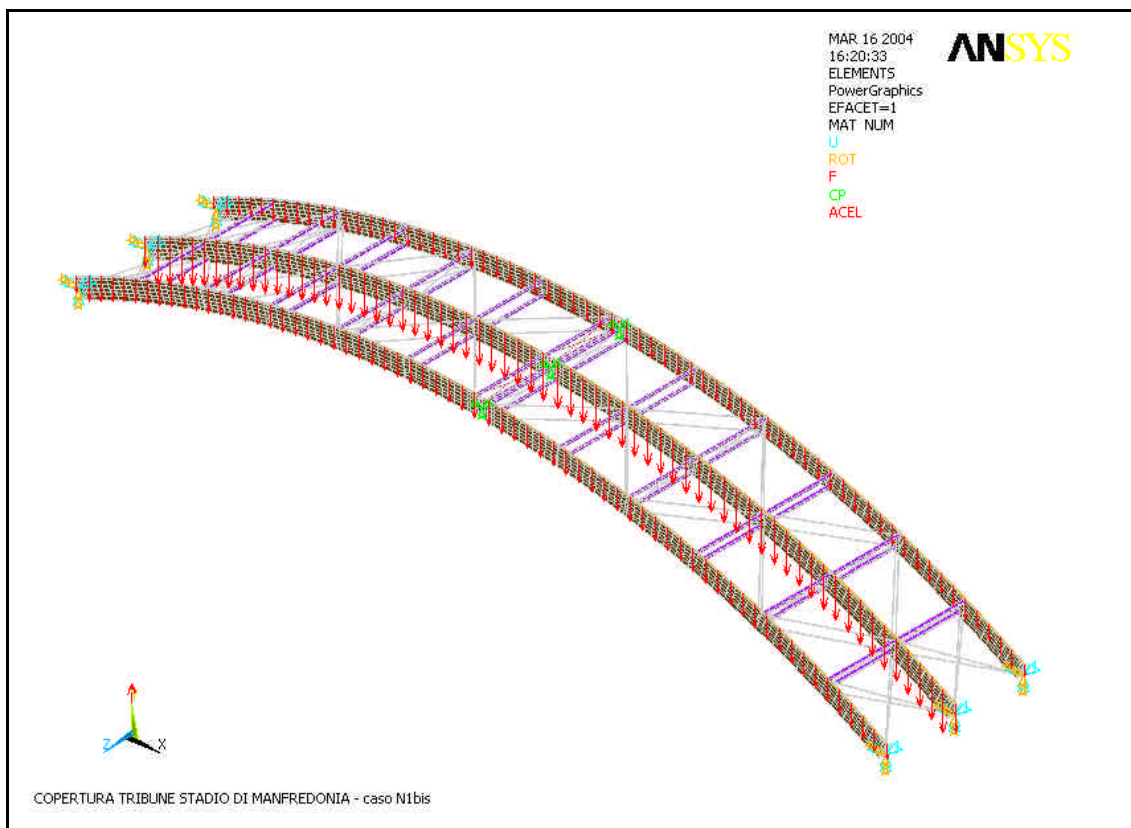


Fig. 21: Modello agli elementi finiti della struttura in Ansys 5.5.
In rosso i carichi agenti sulla struttura schematizzati come una serie di azioni concentrate in corrispondenza degli appoggi degli arcarecci sugli archi.

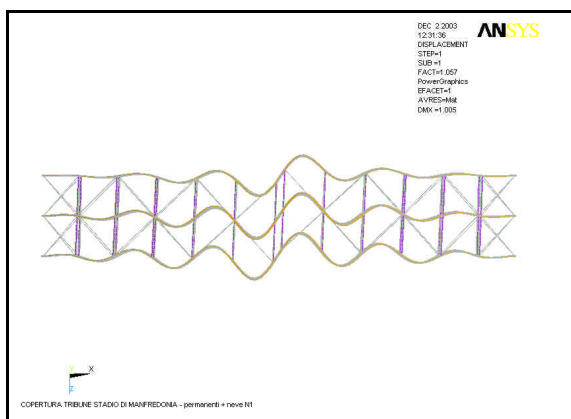


Fig. 22: Prima forma critica della struttura sotto l'azione dei pesi propri e permanenti e di sovraccarico neve agente su tutta la copertura

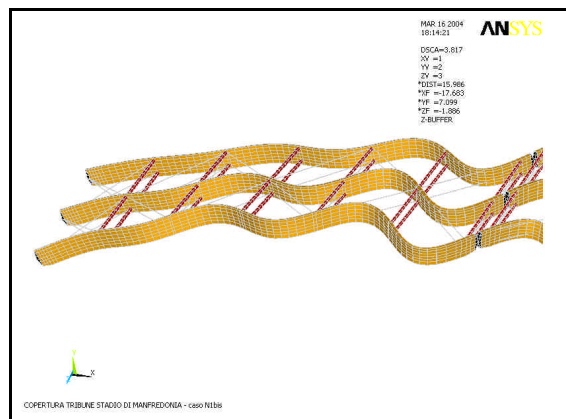


Fig. 23: Particolare della prima forma critica della struttura, riportata in Fig. 21.

A conclusione è stata proposta, a partire dai risultati ottenuti in galleria del vento, la generazione di storie di pressione mediante l'uso di filtri lineari autoregressivi a media mobile (filtri ARMA). Tale studio si configura come operazione preliminare per ulteriori sviluppi tra i quali, in particolare, l'analisi dinamica nel dominio del tempo.

Indice sintetico

Introduzione

PARTE PRIMA: Aspetti teorici e sperimentali del vento turbolento

CAPITOLO 1 - Inquadramento del problema.

CAPITOLO 2 - Il vento turbolento e le azioni del vento sulle strutture.

CAPITOLO 3 - La sperimentazione in galleria del vento.

CAPITOLO 4 - Campagna sperimentale sulla nuova copertura delle tribune dello stadio di Manfredonia

PARTE SECONDA: Verifica della nuova copertura delle tribune dello stadio di Manfredonia secondo la bozza di Normativa Italiana "N.I.CO.LE."

CAPITOLO 5 - Applicazione dei valori sperimentali dei C_p ai calcoli di progetto

CAPITOLO 6 - Verifica degli arcarecci di copertura

CAPITOLO 7 - Verifica delle unioni acciaio – legno nelle sezioni alla base degli archi

CAPITOLO 8 - Verifica delle unioni acciaio – legno nelle sezioni di colmo degli archi

CAPITOLO 9 - Verifiche di resistenza e di stabilità dell'arco intermedio

CAPITOLO 10 - Verifiche di resistenza e di stabilità dell'arco frontale

CAPITOLO 11 - Verifica della struttura di controvento

PARTE TERZA: Analisi numeriche sulla nuova copertura delle tribune dello stadio di Manfredonia

CAPITOLO 12 - Analisi di stabilità della struttura

CAPITOLO 13 - Generazione delle storie di pressione finalizzata all'analisi dinamica nel dominio del tempo

BIBLIOGRAFIA