COSTRUZIONI METALLICHE ANNO LXV NUMERO 1 GEN/FEB 2013

ISSN n° 0010-9673 Poste Italiane SpA - Spedizione in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27.02.04 n° 46) Art. 1, comma LO/MI Prezzo a copia: € 11,50 - In caso di mancato recapito inviare al CMP di Milano-Rosario per la restituzione al mittente previo pagamento reso - Contiene IP

GEN/FEB 2013

RIVISTA BIMESTRALE
PER LA DIFFUSIONE
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

COSTRUZIONI METALLICHE

Il Nuovo Campus Universitario Luigi Einaudi di Torino: una interessante copertura tenso-strutturale in acciaio e membrana

The New Luigi Einaudi University Campus in Turin: an interesting roof created using a steel membrane tensile system

Mauro Zanchin, Augusto Mastropasqua

La città di Torino ha inaugurato per l'anno accademico 2012/2013 il Nuovo Campus Universitario Luigi Einaudi che accoglie le Facoltà di Giurisprudenza e Scienze Politiche. Il progetto ha permesso la riqualificazione dell'area nord-orientale della città, tra il fiume Lungo Dora Siena e Corso Regina Margherita, nota come zona industriale ex Italgas. Il complesso è dotato di grande personalità formale ed espressiva in grado di offrire nuovi scorci urbani, di enfatizzare il contatto con l'adiacente corso d'acqua e di stabilire importanti collegamenti con il centro storico ed i viali principali. Esso sarà considerato un landmark soprattutto grazie alla grande copertura tensostrutturale, architettura Foster & Partners, visibile dai punti panoramici intorno alla città.

The city of Turin has opened the new Luigi Einaudi University Campus for the 2012/ 2013 academic year. The campus contains the Faculty of Law and Political Science. The project has led to the redevelopment of the north-east area of the city, between the Lungo Dora Siena riverbank and Corso Regina Margherita. The area was previously home to the Italgas industrial plant. The new complex, with its formal, expressive features, has had a significant impact on the cityscape of Turin. It has transformed the nearby river into a focal point of the surroundings, and established important links with the city centre and the main roads. It is a new landmark for Turin, particularly as a result of its large tensile structure roof described below which was designed by Foster & Partners of London, and which can be seen from focal points all over the city.

Fig. 1 - Campus Universitario Luigi Einaudi in Torino, vista aerea (concessione MZA).

Fig. 2 - Vista interna dal cortile centrale (concessione MZA).

Fig. 3 - Vista dall'alto, si osservi la continuità strutturale della membrana (concessione Michele D'Ottavio photographer).

1. INTRODUZIONE

Il nuovo complesso, sviluppato su di un lotto triangolare di circa 45.000 m^2, si compone di 7 grandi edifici di quattro piani fuori terra ciascuno (figura 2, vista dal cortile centrale), dedicati rispettivamente alla didattica (aule e dipartimenti) ed alla biblioteca e servizi annessi. È considerato una specie di fabbrica del sapere caratterizzata da una voluta freddezza delle facciate (Benedetto Camerana) in vetro e metallo, con andamento rettilineo verso l'esterno e curvilineo verso l'interno. Ogni blocco, pur rappresentando un unico edificio, è una sorta di corpo poroso spezzato ed alleggerito attraverso ampie cesure al piano terreno e collegamenti sospesi, generando complessivamente 7 volumi in c.a. strutturalmente indipendenti dal punto di vista delle risposte termiche e sismiche. Essi riprendono, nelle forme tondeggianti, il profilo dei gasometri presenti sul sito ex industriale e si affacciano attorno ad una spaziosa e contemporanea piazza verde di circa 80 metri di diametro. L'andamento sinuoso della bianca copertura tensostrutturale comune ai 7 fabbricati, progettata e plasmata attorno alla corte centrale, costituisce l'elemento architettonico di coesione, una sorta di estensione degli spazi interni (figura 3). Essa vanta una superficie di circa 16.700 m^2 ed è realizzata in membrana strutturale opportunamente tesata su 54 telai tubolari metallici (figura 4) di forma arcuata che generano un ripetitivo effetto onda solo apparentemente regolare. Infatti la superficie membranale è caratterizzata da una geometria a doppia curvatura costantemente variabile in ogni parte dell'intero sviluppo, variabile che ha condizionato le strutture metalliche di

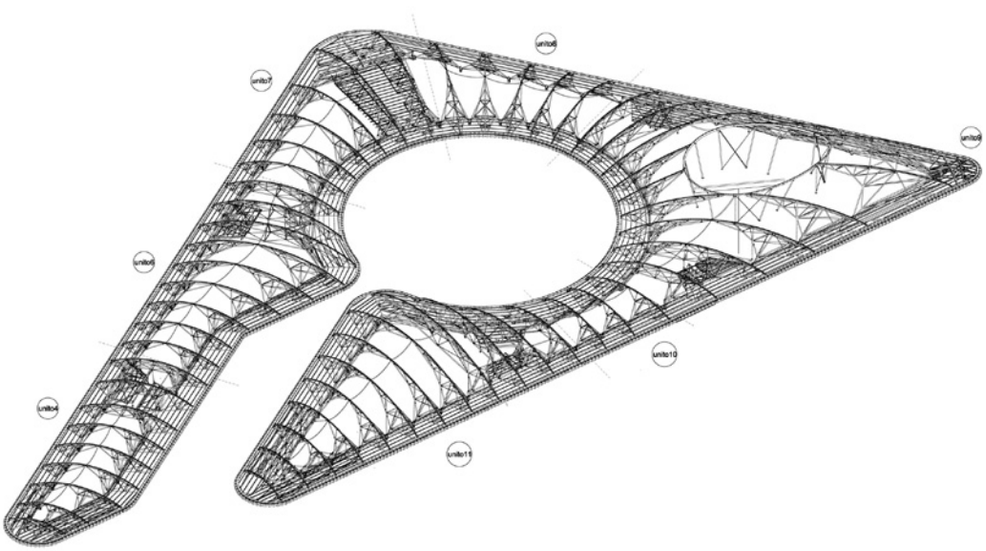


Fig. 4 - Sistemi tubolari metallici di sostegno membranale (concessione Stahlbau Pichler).

Fig. 5 - Pre-montaggio telai metallici tubolari di sostegno membranale (concessione Studio Ossola).

Fig. 6 - Nodo a 3 aste convergenti (sinistra) e 6 aste convergenti al *chord* (destra), concessione MZA.

sostegno, anch'esse prive di regolarità geometrica. In figura 5 è possibile osservare la prima delle strutture durante le operazioni di posa.

2. LA STRUTTURA METALLICA

Il sistema metallico a supporto della membrana strutturale, è risultato realizzato per mezzo di 54 telai reticolari a forma arcuata, di luce variabile dai 20 m ai 52 m, consecutivamente disposti (figura 4), per un peso complessivo delle carpenterie portanti di circa 1.200 tonnellate. Come già anticipato, la caratteristica di non-regolarità geometrica, associata alla doppia curvatura della copertura, ha inevitabilmente portato ad una concezione caratterizzata da completa eterogeneità di aste (in lunghezza) e nodi (in numero di aste convergenti ed angoli di incidenza al nodo). In figura 6 è possibile osservare 2 tra i nodi di convergenza delle aste. Tutte le membrature (tubolari serie CHS e in profilo angolare) sono in lega S355J0, fanno eccezione unicamente le strutture accessorie di controssofittatura, realizzate in profili aperti IPE classe S275JR. Può risultare interessante l'osservazione del nodo di congiunzione mutua a terra tra i telai reticolari, denominato *Nodo 0,* costituito da tubo strutturale CHS 408 disposto a riprendere le diverse membrature provenienti dalle 2 reticolari attigue (figura 7), e nello specifico nella sua configurazione scorrevole posta in corrispondenza dei giunti di dilatazione costruttiva a cavallo dei 7 lotti di costruzione (figura 8), dove sono state inseriti opportuni dispositivi di appoggio scorrevole del tipo bidirezionale.

L'assemblaggio ed il sollevamento delle reticolari è avvenuto grazie al pre-montaggio, a piè d'opera, delle 108 semi-strutture, che poi sollevate e posizionate sono andate a costituire il singolo modulo arcuato (figure 9, 10 e 11). Infine, si è svolta la posa della trave di bordo denominata *bull-nose* (figura 12), di congiunzione di tutte le code delle reticolari, a definire un perimetro, per l'appunto a forma di "naso di toro", della lunghezza di 1000 m approssimativi.

Per quanto concerne la progettazione e costruzione delle strutture, si segnala,

Fig. 8 - Dispositivo di appoggio scorrevole bidirezionale per i giunti di dilatazione tra i 7 Lotti (concessione Codelfa/Stahlbau Pichler).

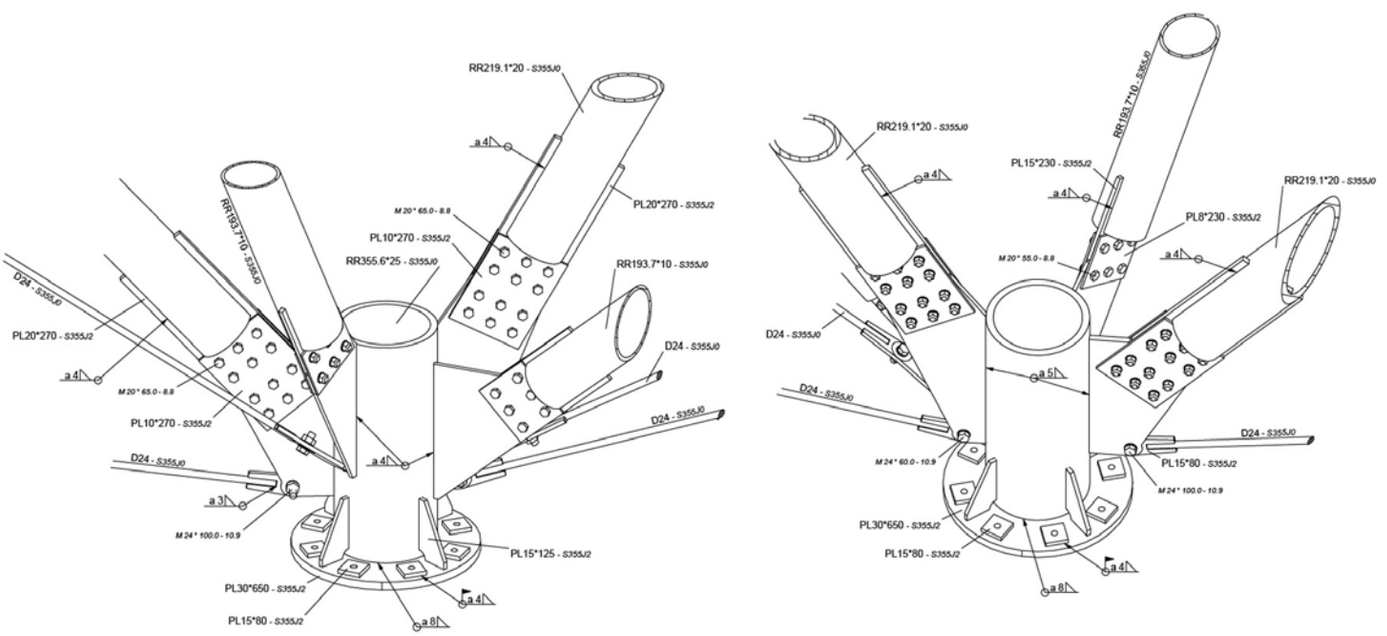


Fig. 7 - Nodo di base tipico (concessione Stahlbau Pichler).

Fig. 9 - Pre-montaggio a piè d'opera (concessione Stahlbau Pichler). Fig. 10 - Sollevamento in quota (concessione Stahlbau Pichler). Fig. 11 - Collegamento nodo centrale (concessione Stahlbau Pichler). Fig. 12 - Posa trave di bordo *bull-nose* (concessione Codelfa).

lasciando poi a trattazioni più approfondite eventuali dettagli [1], [2], [3], come l'interazione esecutiva-costruttiva abbia visto l'attuazione di una approfondita campagna di indagini numeriche atte ad investigare e parametrizzare le resistenze di design in fatto di *chord failure* (resistenza meccanica delle pareti di nodi tubolari), per effetto dell'alto numero di connessioni convergenti su correnti serie CHS a spessore variabile da 5 a 40 mm a geometria non-standard [4], [5]. L'interazione tecnica, con successivo update esecutivo delle sezioni nominali dei correnti, ha di fatto ricercato, per mezzo di analisi numeriche non-lineari nel post-critico, le resistenze ultime di collasso delle pareti *(ultimate resistance)* alle azioni di spinta degli elementi afferenti, potendo pertanto condurre alla formulazione di abachi di resistenza e rigidezza utilizzati in sede di progettazione costruttiva per l'adeguamento degli spessori dei profili ove necessario (figura 13).

Si è dimostrata in tal senso di interesse, per alcune famiglie di nodi, l'osservazione delle mappature plastiche durante le sequenze incrementali di caricamento (figura 14), potendosi spesso associare alle perdite di rigidezza nodale (figura 13) il tipico fenomeno di propagazione delle zone plastiche differentemente localizzate sulle pareti della briglia, fino a congiunzione delle stesse (ponti plastici) ed innesco del meccanismo degenerativo degradante della portanza delle pareti [4].

3. LA MEMBRANA DI COPERTURA

La membrana utilizzata per la copertura, denominata Sheerfill (tipo I-HT e tipo II-HT), è costituita da anima tessile in fibra di vetro (fiberglass) a rivestimento esterno in PTFE (politetrafluoroetilene, gergo: teflon), e fornisce resistenze alla trazione fino a valori di 8,54 e 7,89 kN/5 cm, rispettivamente lungo le direzioni di ordito e trama, con rimanenti caratteristiche tecniche visibili in Tabella 1.

Il design esecutivo ha previsto la tesatura del prodotto secondo le due direzioni *warp* e *weft (warp:* giacitura arco-arco, *weft:* giacitura *bullnose-bullnose),* con valori di 2,00 kN/m e 3,00 kN/m rispettivamente. La fornitura di suddetto stato di pre-stress è stata attentamente analizzata in sede di design costruttivo dalle aziende impegnate nella progettazione, costruzione e posa della membrana, in maniera da assecondare principalmente le problematiche legate alla posizione in quota (e spesso a sbalzo) dei bordi tensostrutturali, pervenendo così al sistema descritto alle figure 15 e 16. In particolare, in figura 15, si nota il sistema di contrasto della membrana lungo il perimetro esterno (trave *bull-nose)*, realizzato da un elemento corrente a sezione circolare CHS 38*8 (nelle figure

Typical Properties[1]

Property	Value	Method
Coated Fabric Weight g/m² (Ges.)	ca. 1540	DIN 53352
Greycloth Weight g/m² (Rohw.)	ca. 625	DIN 53854
Yarn K/S	397	DIN 53830
Ends/Picks K/S pro cm	ca. 7.1/7.5	DIN 53853
Tensile Strength K/S (N/5 cm)	ca. 8540/7885	DIN 53354
Tear Resistance warp/weft (Trapez) (N) K/S	ca. 420/530	DIN 53363
Translucency at 550 nm (%)	ca. 9	
Burning Characteristics Flame Spread Smoke Generation	5 max 5 max	ASTM E84 Tunnel Test
Incombustibility of Substrates	Pass	ASTM E136
Fire Resistance of Roof Coverings Burning Brand	Class A	ASTM E108
Flame Resistance	Pass	NFPA 701, Small Scale
Support Cloth	EC3	DIN 60001
Color	White (after exposure to sunlight)	

1- Values listed are for virgin roll goods only. Appropriate industry safety factors need to be used to account for the in-service effects of handling, weathering, etc.

Tab. 1- Proprietà fisico-meccaniche membrana in fibra di vetro+PTFE (denominazione Sheerfill I-HT, concessione Saint-Gobain).

definito *railing),* saldato alla sezione corrente maestra (CHS 406.4) per mezzo di fazzoletti a passo massimo 500 mm (due connessioni al metro), mentre per i 54 archi (figura 16) si è utilizzata una soluzione con doppio tubo di contrasto CHS 38*8, connesso alla sezione maestra CHS 219.1 con fazzoletti t=8,00 mm a passo 666 mm. Le soluzioni di attacco sopra esposte risultano peraltro visibili nelle foto delle figure 17 e 18, dove è possibile anche osservare alcune soluzioni non-standard utilizzate per le zone di evacuazione fumi.

Il sistema così concepito, risultato versatile per quanto attiene alla grande variabilità geometrica di progetto, ha dunque consentito il montaggio delle membrane per moduli indipendenti (figura 19), consentendo l'ultimazione dell'installazione in un tempo netto indicativo di poco superiore ai 6 mesi, grazie all'utilizzo di squadre di montatori parallelamente impegnate, con una presenza media complessiva di 12÷15 unità di cantiere.

4. LA RISPOSTA TENSOSTRUTTURALE INTEGRATA ACCIAIO-MEMBRANA

Relativamente alla calcolazione statica delle strutture, occorre precisare come in sede esecutiva sia stato seguito il criterio della decomposizione strutturale; tale approccio, come noto, consente di semplificare notevolmente le fasi di dimensionamento e verifica del sistema metallico di bordo, permettendo l'utilizzo di analisi lineari e procedimenti di implementazione numerica più standardizzati. Nello specifico, per la struttura qui trattata, volendo descrivere il procedimento di calcolo per uno dei 7 blocchi strutturali di copertura

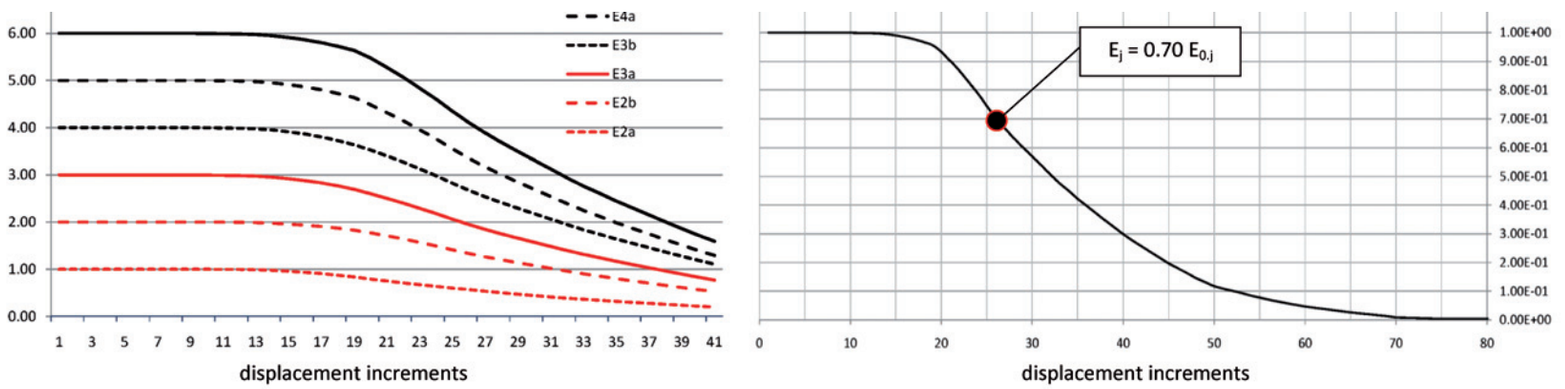


Fig. 13 - Controllo delle rigidezze d'asta e rigidezze medie nodali (concessione MZA).

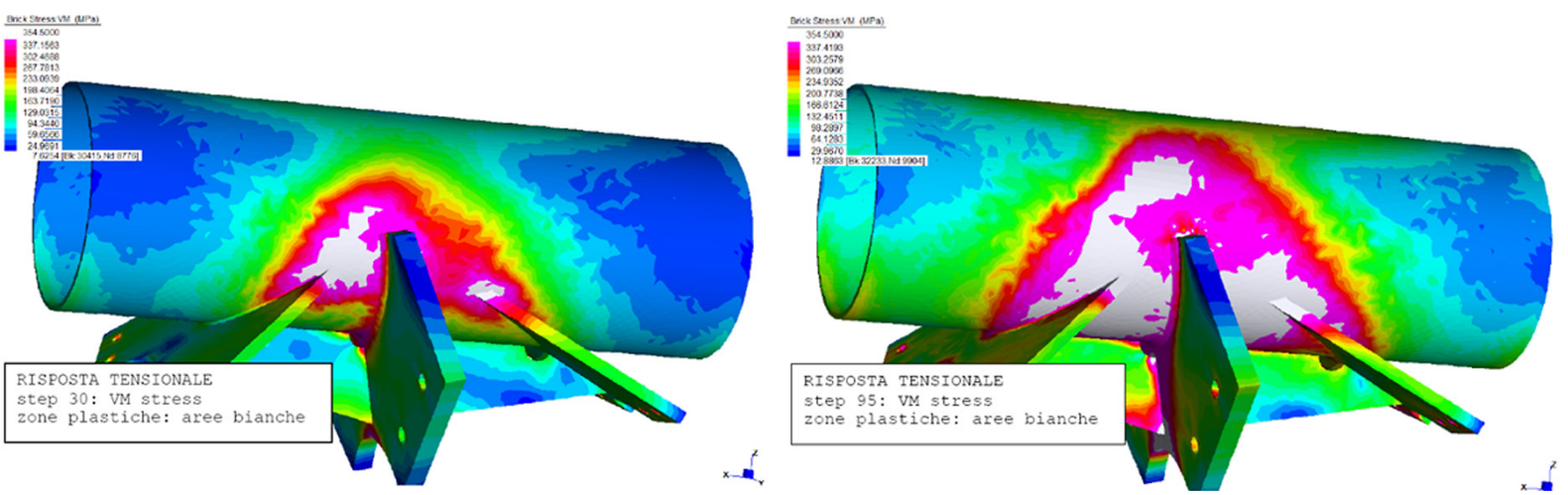


Fig. 14 - Mappature plastiche, fasi progressive di degrado meccanico (concessione MZA).

(Lotto D4, definito anche *Unit 11*, figura 20), si può osservare alla figura 21 il modello di calcolo unifilare implementato su piattaforma *Dolmen*, modello utilizzato per il calcolo delle sole strutture metalliche a supporto della membrana. Analogamente, nelle figure 22 e 23, viene riportato il modello numerico globale della membrana (sviluppato su piattaforma *TLload)* e la sua sottoparte strutturale afferente alla porzione *Unit 11*.

La metodologia di calcolo ha previsto allora, quale primo step, la soluzione iterativa per mezzo del metodo numerico di rilassamento dinamico [6], [7] su software *TLload* (concessione Form TL), idoneo alla messa in conto di fenomeni di *slackening* (perdita di tensionamento), *buckling* ed in generale bando della membrana o sue sottoregioni, attraverso la decomposizione delle condizioni di equilibrio e delle condizioni di compatibilità, fino a convergenza della soluzione (figura 23). Il calcolo è stato sviluppato, per le diverse combinazioni di carico SLU ed SLS tratte da documentazione esecutiva, su condizioni di vincolo idealmente rigido (vincoli cinematici) per poi procedere, secondo step, al caricamento nel modello unifilare delle carpenterie (figura 21) delle reazioni vincolari estratte dal calcolo membranale, applicate in forma di vettori forza a verso opposto. Il procedimento, come è noto, risulta di fatto trascurare la deformabilità del bordo tensostrutturale, ma si presta talvolta positivamente al dimensionamento delle membrature in acciaio, per effetto della conservatività dell'uscita tratta da modelli a vincoli infinitamente rigidi, venendo di fatto a mancare quella sorta di smorzamento elastico, più correttamente definibile interazione elastica bordo-tensostruttura [7]. Il procedimento esposto, di concerto con gli organi di controllo ed i progettisti esecutivi, è stato poi integrato in sede costruttiva secondo quanto indicato alle NTC2008, §10.2 riguardo alla Validazione dei Codici, dove si legge (… nel caso di opere di particolare

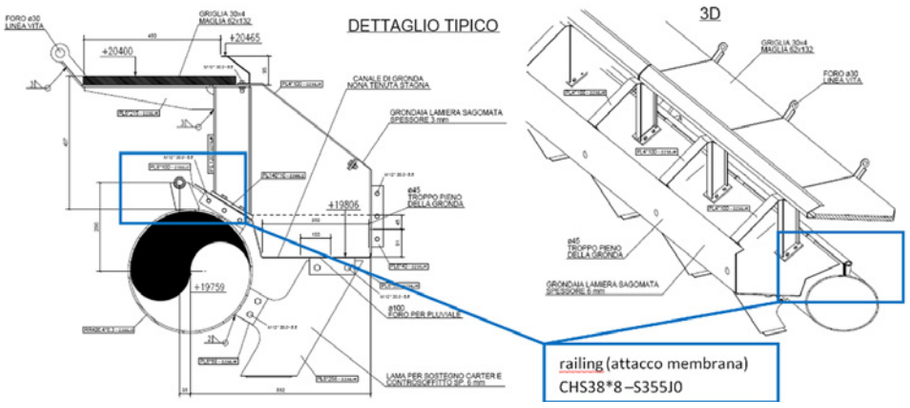


Fig. 15 - Sistema di collegamento membrana-bordo su trave esterna bull-nose (concessione Canobbio).

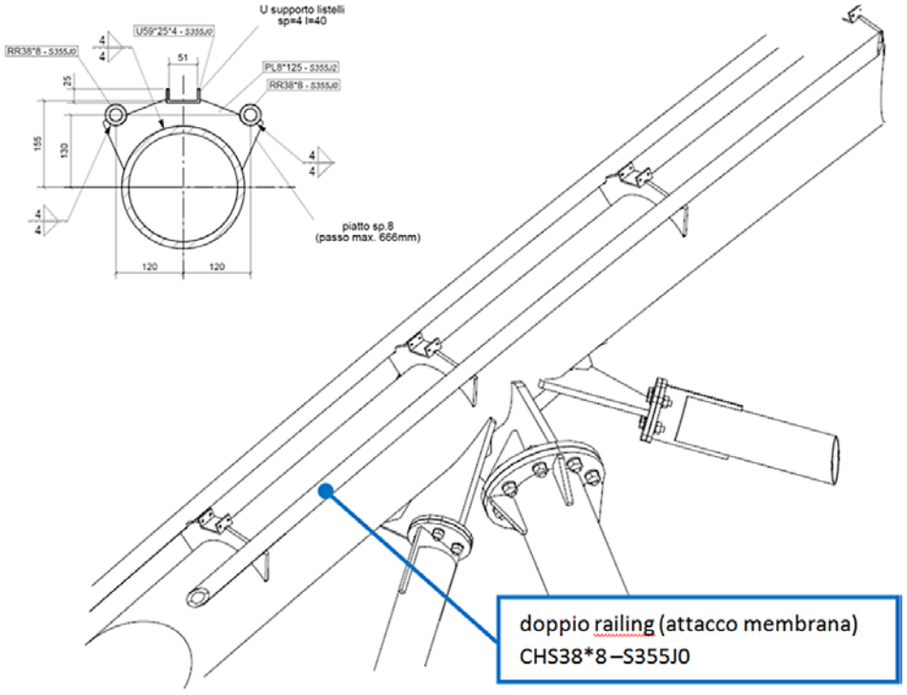


Fig. 16 - Sistema di collegamento membrana-bordo su archi interni (concessione Canobbio).

Fig. 17 - Fasi montaggio membrana tipo Sheerfill (fibra di vetro + PTFE): collegamento archi interni (concessione Canobbio).

Fig. 18 - Fasi montaggio membrana tipo Sheerfill (fibra di vetro + PTFE): zone di evacuazione fumi (concessione Canobbio).

Fig. 19 - Fasi montaggio membrana tipo Sheerfill (fibra di vetro + PTFE, concessione Canobbio).

rilevanza, i calcoli più importanti - esempio: statica generale, *n.d.s.* - devono essere eseguiti nuovamente da soggetto diverso da quello originario mediante programmi di calcolo diversi da quelli usati originariamente, e ciò al fine di eseguire un effettivo controllo incrociato sui risultati delle elaborazioni). Si è dunque pervenuti ad un modello matematico integrato acciaio-membrana, ottenuto da importazione delle geometrie membranali già stabilizzate relativamente a forma e pre-tensione di Stato 0 (figura 24, immagine di destra) come da uscita ottenuta per mezzo del calcolo con metodo di rilassamento dinamico su esposto, e sovrapposizione di questo al modello unifilare in acciaio opportunamente pre-stabilizzato secondo le corrette fasi del montaggio (figura 24, immagine di sinistra).

Nella fattispecie, la sequenza di modellazione ha previsto i seguenti step di analisi, cui hanno fatto fronte altrettanti *update* della matrice di rigidezza (ottenuti per inserimento di elementi e/o condizioni di carico) conseguenti al progressivo cambio di geometria e composizione del sistema:

- *step 01:* analisi sistema reticolare metallico (sezioni CHS e massa strutturale)
- *step 02:* inserimento elementi rod-bars e loro pre-tensionamento di Stato 0
- *step 03:* inserimento elementi membrana pre-tensionati (a massa nulla)
- *step 04:* inserimento masse strutturali membrana e masse accessorie (controsoffitti/impianti)
- *step 05:* caricamento delle azioni di progetto pervenendo al modello finale integrato (figura 25) che ha, in primis, confermato le ipotesi esecutive di cautelatività del procedimento di decomposizione secondo due strutture indipendentemente risolte prescindendo dalla loro interazione, ma ha inoltre consentito di disporre del controllo effettivo della risposta statica non-lineare della struttura, risultato utile per le fasi di montaggio ed infine di esecuzione della prova di carico.

Per quanto concerne il controllo degli stati tensionali della membrana, le due piattaforme di calcolo numerico adottate (TLload e Straus7 Non-Linear) impiegano legami costitutivi per gli elementi membrana al seguito esposti:

$$\varepsilon_1 = \sigma_1/E_1 - \nu_{12}{}^* \sigma_2/E_2 \text{ ed } \varepsilon_2 = \sigma_2/E_2 - \nu_{21}{}^* \sigma_1/E_1$$

applicato allo spessore nominale t della membrana, con la limitazione del valore di modulo di Poisson $\nu \leq 0.50$ per il software *Straus 7 Non-Linear,*

$$t^*\sigma_x = E_{Ax}{}^*\varepsilon_x + E_{Apy}{}^*\varepsilon_y \text{ e } t^*\sigma_y = E_{Ay}{}^*\varepsilon y + E_{Apx}{}^*\varepsilon_x$$

(E_{Ax},E_{Ay}, rispettivamente moduli di elasticità nelle direzioni di ordito e trama ed E_{Apx} ed E_{Apy} a rappresentare i termini di rigidezza misti dovuti al *crimping* del tessuto sotto caricamento, parametro a comportamento altamente non-lineare e variabile da condizione a condizione di carico ed in funzione del regime di stress locale) in uso al software specialistico *TLload.*

Il codice *TLload* è risultato di fatto in grado di gestire comportamenti del materiale membrana (tipo Sheerfill, opportunamente testato per mezzo di indagine sperimentale) riconducibili, se proiettati nel dominio elastico [E_1, E_2,ν_{12},ν_{21}] usualmente adottato in ambito FEM, all'utilizzo di moduli di Poisson numericamente e virtualmente modificati pari, nel contesto, a ν = 0,80, dunque elasticamente non-compatibili. La limitazione nella lettura Straus 7 degli stati tensionali di membrana è stata allora elisa grazie all'esplicitazione della matrice di compatibilità elastica dei due sistemi di deformazione membranale, per mezzo di utilizzo delle formule di conversione

$$E_{Ax} = E_x{}^*[1-\nu_{12}{}^2]^{-1},\ E_{Ay} = E_y{}^*[1-\nu_{21}{}^2]^{-1},\ E_{Apx} = \\ = \nu_{12}{}^*E_{Ax} \text{ ed } E_{Apy} = \nu_{21}{}^*E_{Ay}$$

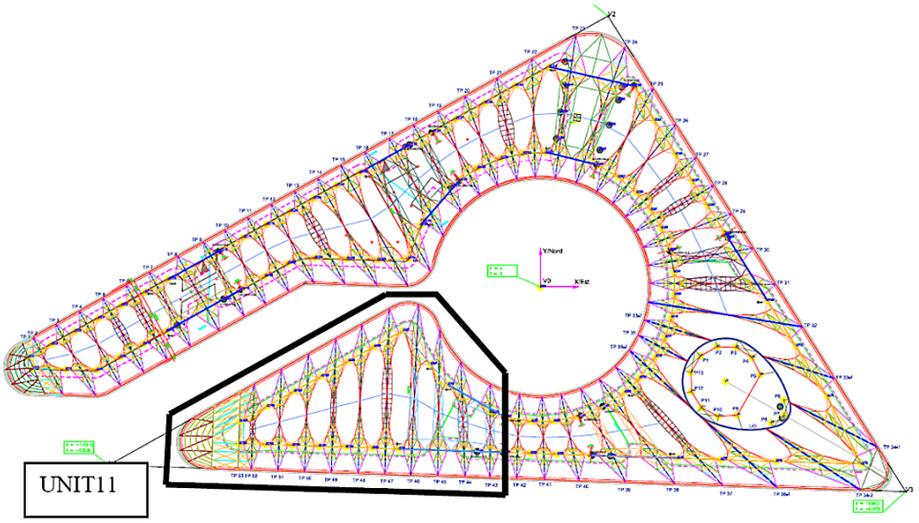
pervenendo, in definitiva, a riprodurre una mappatura tensionale virtualmente modificata; mappatura che, confrontata con gli output a bordi rigidi, ha convalidato la bontà delle calcolazioni numeriche integrate acciaio-membrana. Naturalmente, l'analisi sismica della struttura ha dovuto, differenziandosi in questo caso dal procedimento esecutivo fondato sulla rispo-

sta spettrale, essere eseguita mediante integrazione al passo delle equazioni del moto del tipo (Equazione 1) [8]:

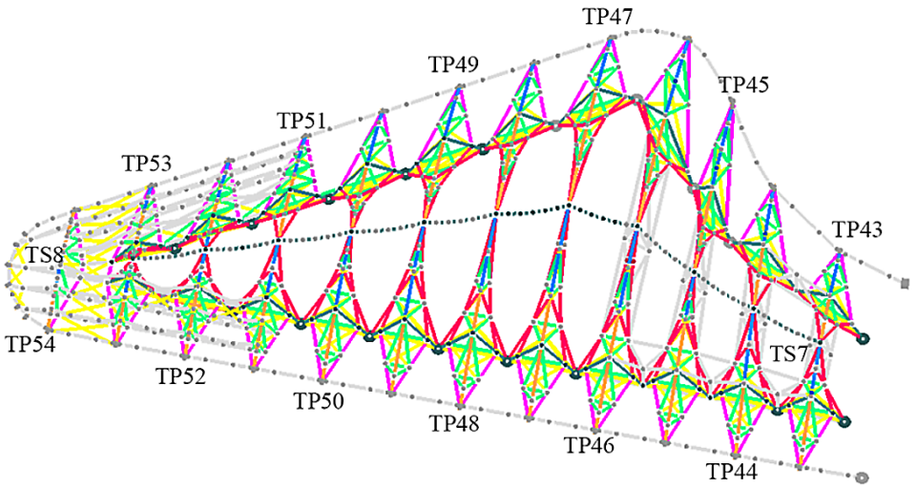
$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + [K_0 + K_G + K_{NL}]u(t) = \\ = G_i + P_i + Q_i + E_{seism}(t) \qquad (1)$$

con M quale matrice di massa, C quale matrice di smorzamento, $[K_0 + K_G + K_{NL}]$ quale matrice di rigidezza istantanea tangente (a termini lineari e non-lineari), $u(t)$, $\dot{u}(t)$, $\ddot{u}(t)$ quali vettori spostamento, velocità, accelerazione, G_i, P_i, Q_i, ad indicare rispettivamente i carichi di tipo gravitazionale (strutturali e non), il set di pre-tensioni applicate a membrane e rod-bars, il set di carichi variabili opportunamente combinati, ed infine $E_{seism}(t)$ ad indicare l'evento sismico a mezzo di gruppo di 3 accelerogrammi spettrocompatibili, 2 dei quali a titolo di esempio mostrati alla figura 26; tali input sono stati applicati alla base di un modello integrale comprensivo di copertura (acciaio + membrana) ed edificio in c.a. in elevazione, quest'ultimo riprodotto in termini di massa, rigidezze laterali e distanza dal suolo. Dal raffronto con l'indagine esecutiva (di tipo lineare) ne è emerso come la struttura abbia fornito risposta sensibilmente meno critica di quanto in sede esecutiva, ciò in accordo, da un lato, alla differente metodologia di calcolo utilizzata (in grado di meglio cogliere l'interazione massa-accelerazione delle differenti forme modali del sistema) e da un altro a quanto ingegneristicamente atteso per un simile sistema, caratterizzato da estrema leggerezza associata a flessibilità strutturale.

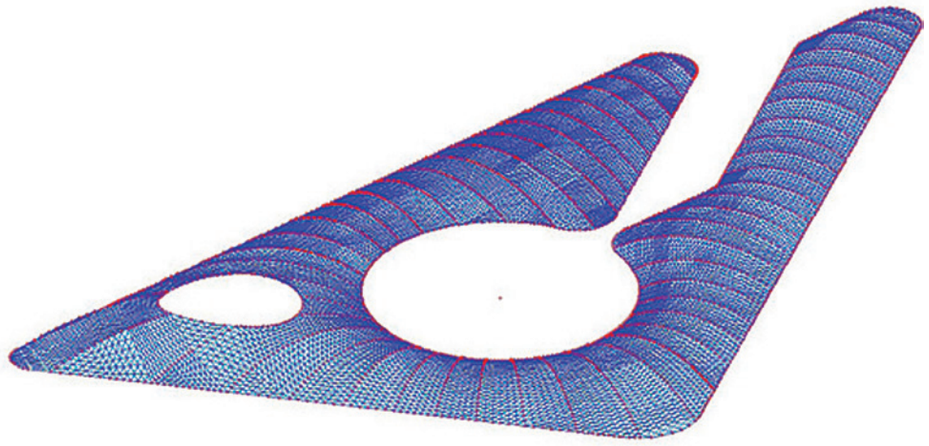
Per lo studio delle risposte dinamiche oscillanti, sempre per mezzo di analisi



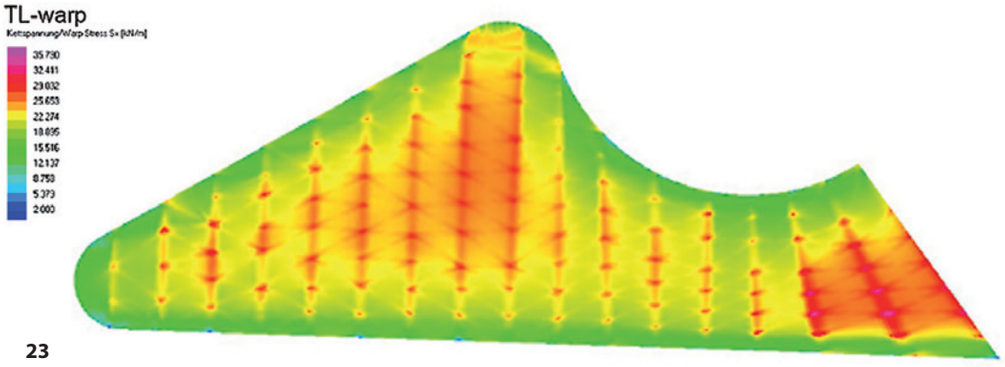
20



21



22



23

Fig. 20 - Lotto costruttivo denominato Unit 11 (planimetria telai reticolari, concessione Simete). Fig. 21 - Lotto costruttivo denominato Unit 11 (modello esecutivo *Dolmen,* concessione Simete). Fig. 22 - Modello numerico globale della membrana (piattaforma di calcolo *TLload,* concessione Form TL). Fig. 23 - Modello numerico globale del comparto *Unit 11* (piattaforma di calcolo *TLload,* concessione Form TL).

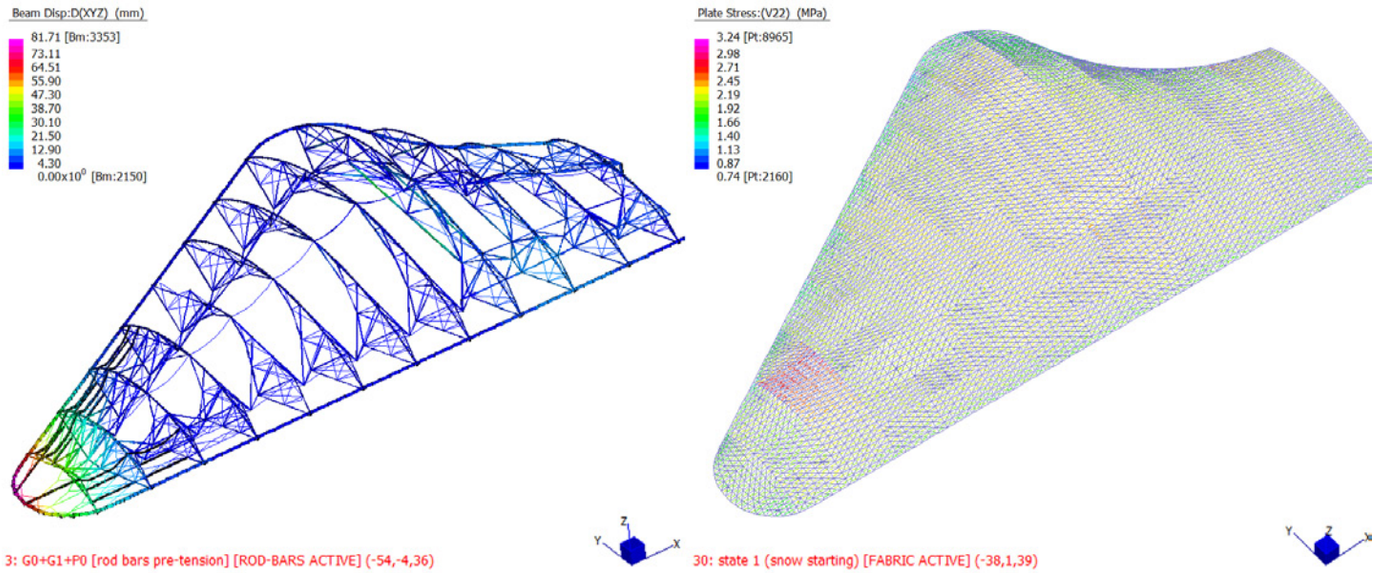


Fig. 24 - Modelli numerici unifilari (sx) e membranali (dx) importati in ambiente *Straus 7 Non-Linear* (concessione MZA).

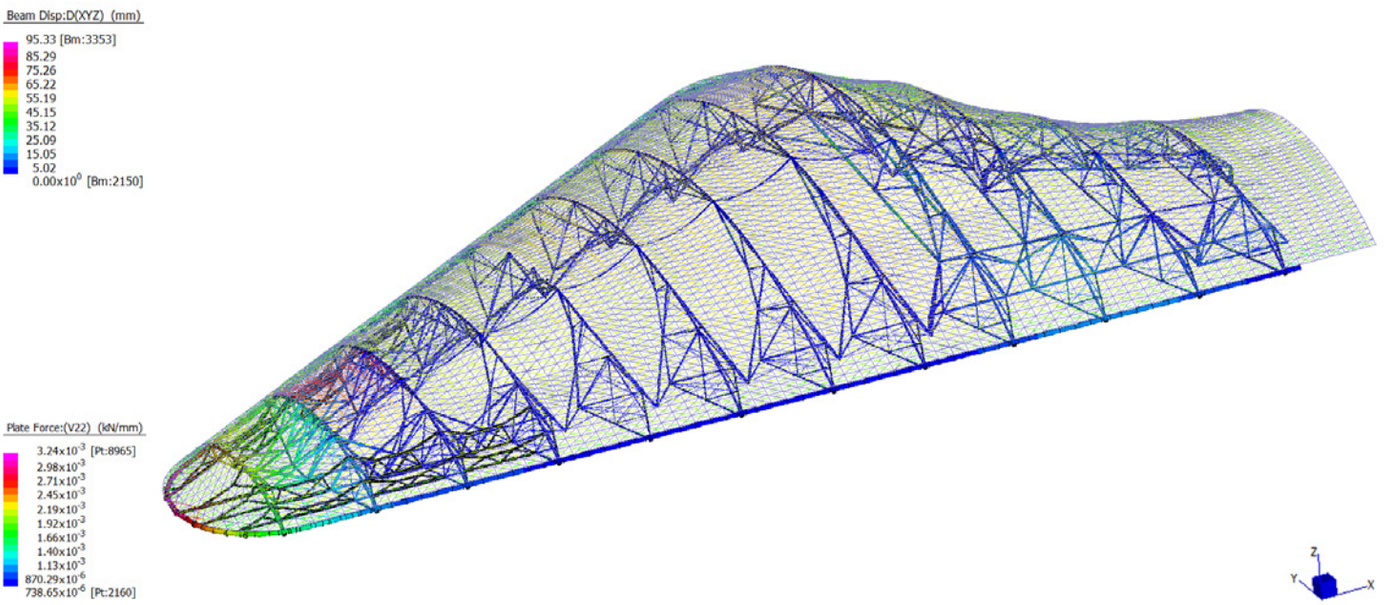


Fig. 25 - Modello numerico integrato acciaio-membrana (ambiente *Straus 7 Non-Linear,* concessione MZA).

time-history, è stato possibile assegnare degli impulsi a seguito dei quali si sono potute estrarre le frequenze fondamentali delle strutture. In tal senso è risultato utile quindi adottare siffatti modelli numerici per predire i risultati effettivamente riscontrati durante le prove di carico eseguite al termine delle fasi costruttive. La porzione strutturale di figura 29, con uno sbalzo di circa 20 m, è stata pertanto oggetto di prove di carico di tipo statico e dinamico. In figura 30 è possibile osservare l'allestimento dei martinetti a rilascio improvviso utilizzati per innescare il moto oscillatorio dello sbalzo.

Il confronto tra valori attesi (da analisi numerica) e valori misurati (da prove in situ) è al seguito riassunto (Tabella 2) per quanto concerne la prima frequenza fondamentale di vibrazione e l'associata forma modale, dato ritenuto tipicamente saliente relativamente al connubio massa-rigidezza di un sistema meccanico; è inoltre riportato il raffronto con la freccia verticale rilevata durante i caricamenti statici. Le deformate, in termini di spostamento e forma di oscillazione della prima frequenza natura-

parameter	*udm*	*expected*	*measured*	*X* [meas/expec]
v_1	Hz	2.21	2.34	1.06
f_1	mm	-109.22	-103.40	0.95

Tab. 2 - Confronto valori attesi/misurati da prova di carico.

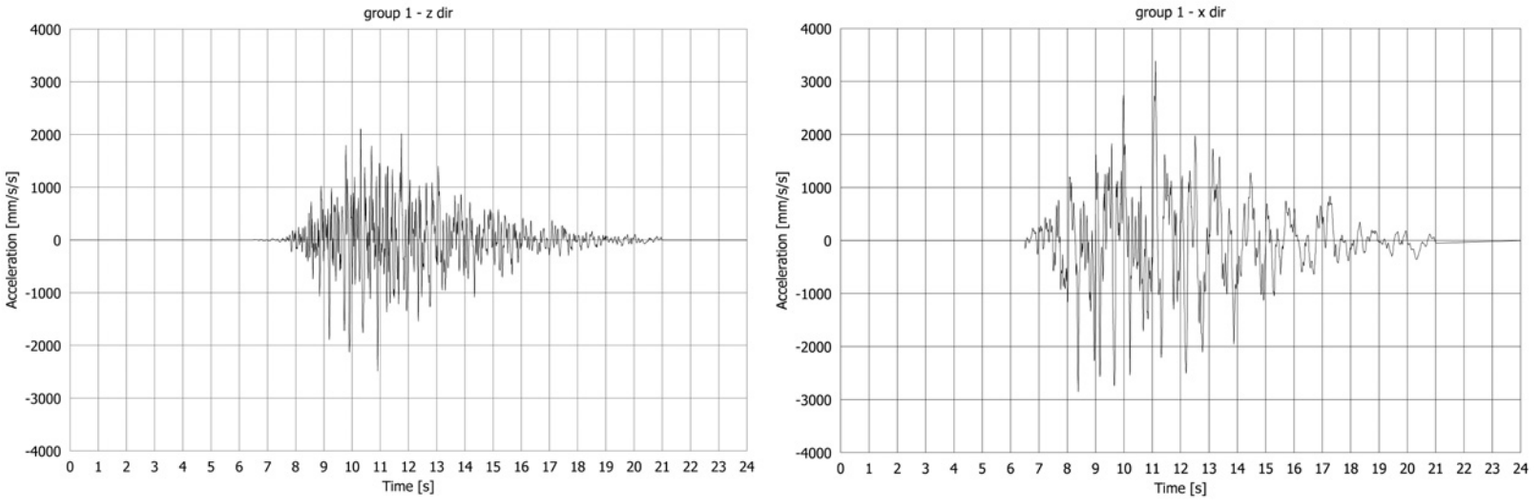


Fig. 26 - Accelerogrammi spettrocompatibili orizzontali e verticali secondo NTC2008 adottati per la risposta sismica (concessione MZA).

le del sistema, nell'effettiva configurazione della prova di carico (si osservi l'assenza di membrana di alcuni moduli) sono inoltre visibili nelle figure 27 e 28.

Dall'osservazione del parametro di attendibilità tra valori rilevati e valori attesi, colonna n° 5 di Tabella 2, può allora affermarsi come, con uno scarto massimo registrato dell'ordine del 6%, le fasi di calcolazione tensostrutturale integrata (interazione elastica bordo-tensostruttura [7]) abbiano, di fatto, raggiunto lo scopo prefissato di validazione e riproduzione di una quanto più realistica risposta meccanica globale.

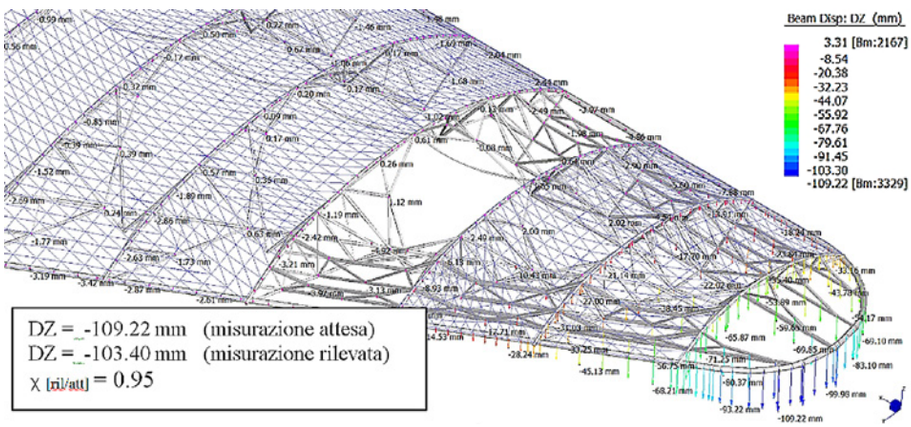


Fig. 27 - Freccia elastica verticale sotto caricamento (condizione riprodotta: SLS neve, concessione MZA).

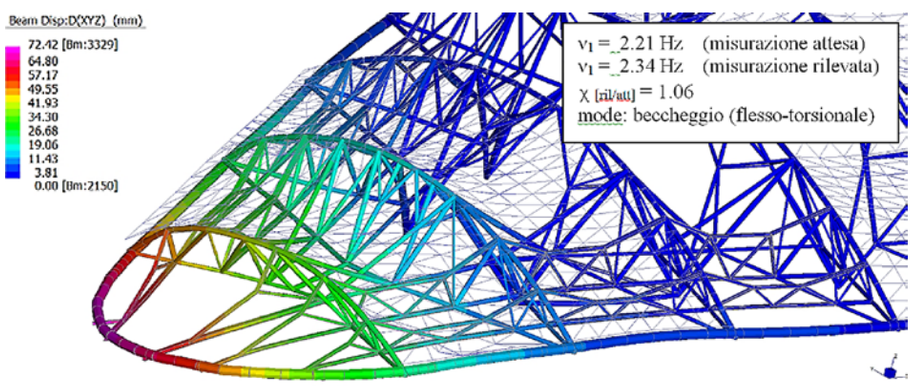


Fig. 28 - Forma modale relativa ν_1=2.21 Hz da prova dinamica (ambiente *Straus 7 Non-Linear*, concessione MZA).

5 CONCLUSIONI

La copertura del nuovo insediamento delle Facoltà di Giurisprudenza e Scienze Politiche nell'ex area Italgas in Torino, inaugurato come Nuovo Campus Universitario Luigi Einaudi, sistema tensostrutturale in acciaio e membrana, è stata qui presentata e descritta, ritenendo degna di interesse la sua importanza per la città di Torino, nonché la sua struttura dal punto di vista tecnologico, del design e della realizzazione nel settore della carpenteria metallica. Particolarmente, l'acciaio e la sua lavorazione d'officina, hanno consentito grande adattabilità tra le strutture di supporto e la forma; forma architettonicamente caratterizzata da non-regolarità geometrica in ogni parte del suo sviluppo e grande estensione.

Dr. ing. Mauro Zanchin, dr. ing. Augusto Mastropasqua

MZA Structural Engineering srl, Treviso-Udine

Ringraziamenti

Si rivolge ringraziamento all'Università di Torino, alle aziende impegnate nella costruzione ed a tutte le figure preposte al controllo ed alla vigilanza tecnica, per la propositiva collaborazione. Ringraziamento infine all'arch. Samuela Durante per le interessanti note di Introduzione del presente articolo.

Fig. 29 - Sbalzo L = 20 m oggetto della prova (concessione 4 EMME).

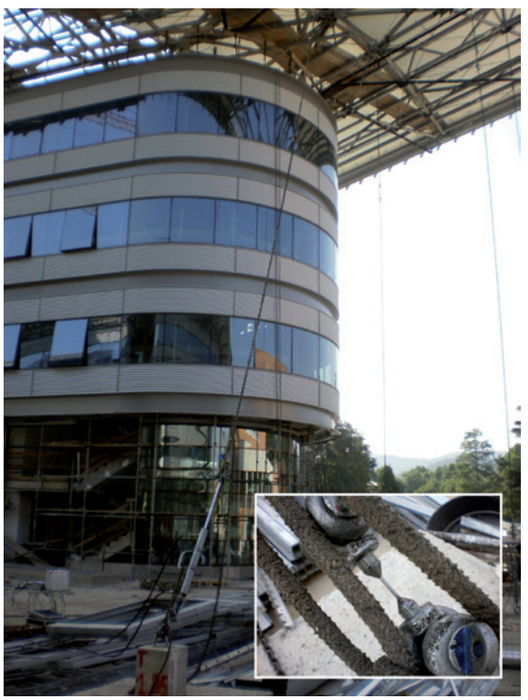


Fig. 30 - Martinetti a rilascio improvviso (concessione 4 EMME).

CREDITS

Progetto: Nuovo Campus Universitario Luigi Einaudi di Torino
Committente: Università degli Studi di Torino
Impresa generale: Sinergie scarl (Codelfa spa, Gozzo Impianti spa, Arsis Costruzioni spa)
Rappresentante ATI con delega: dr. ing. Paolo Baranzini
Impresa realizzatrice strutture metalliche: Stahlbau Pichler gmbh
Impresa realizzatrice membrane di copertura: Canobbio spa
Impresa realizzatrice facciate strutturali: Focchi spa
Progettazione architettonica: Foster & Partners, Benedetto Camerana, Giugiaro Design
Progettazione esecutiva copertura metallica: Simete srl
Validazione statica sistema tensostrutturale integrato acciaio -membrana ai sensi DM 14.01.2008: Mastropasqua-Zanchin & Associates Structural Engineering srl
Progettazione membrana strutturale: Canobbio spa e FormTLgmbh
Responsabile unico del procedimento: dr. ing. Piero Cornaglia (Divisione Edilizia e Grandi Infrastrutture, Università degli Studi di Torino)
Coordinatore di progetto: dr. arch. Carlo Chierto
Direzione Lavori Generale: dr. arch. Cosimo Turvani
Direzione Operativa Strutture ai sensi di Legge 1086: prof. ing. Francesco Ossola
Coordinatore della Sicurezza: dr. ing. Francesco Popolo
Presidenza commissione collaudo e collaudatore statico: dr. ing. Giambattista Quirico
Progettazione costruttiva carpenterie metalliche di copertura (Lotti C1, D2, D4-3): Stahlbau Pichler gmbh
Progettazione costruttiva carpenterie metalliche di copertura (Lotti C2, C3, D1, D3, D4-1, D4-2): Mastropasqua-Zanchin & Associates Structural Engineering srl
Prove in situ: 4 Emme Service spa

Bibliografia

[1] EN1993-1-8 (2005): *"Eurocode 3: Design of steel structures – Design of Joints"* 2005, CEN 2005, ICS 91.010.30

[2] X.L. Zhao, J. Wardenier, J.A Packer, G.J. van der Vegte: *"Current static design guidance for hollow section joints"*, Proceedings of the ICE – Structures and Buildings, Volume 163, Issue 06, December 2010, pages 361-373.

[3] J.A. Yura, N. Zettlemoyer, I.F. Edwards, *"Ultimate capacity equations for tubular joints"*, Proceedings of the Offshore Technology Conference, paper OTC 36902, Houston, USA.

[4] R. Gori, A. Mastropasqua, M. Zanchin, *"Numerical evaluation of chord failure resistance for multi-intersection tubular joints with non-regular geometry: a case study"*, in B.H.V. Topping Editor, Proceedings of the Eleventh International Conference on Computational Structures Technology, Dubrovnik, Croatia, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 32, 2012.

[5] API American Petroleum Institute, *"Recommended practice for planning, designing and costructing fixed offshore platform – Working stress design"*, 21th edition, December 2000, Washington D.C. USA.

[6] W.J. Lewis, *"Tension structures: form and behaviour"*, London, Telford, 2003

[7] M. Majowiecki, *"Tensostrutture: progetto e verifica"*, Genova, Crea Edizioni, 1994

[8] R. Gori, A. Mastropasqua, *"On the dynamic response of multi cable-beam systems for façade tension structures"*, in B.H.V. Topping, G. Montero, R. Montenegro Editors, Proceedings of the Eighth International Conference on Computational Structures Technology, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 97, 2006.