

DALLE TENSOSTRUTTURE AL FREE FORM DESIGN: FASCINO E RISCHI PER L'INGEGNERIA STRUTTURALE

Intervista a Massimo Majowiecki

(Proponiamo una intervista a Massimo Majowiecki, derivata da quella, a cura di Roberto Masiero e David Zannoner, riportata nel volume "Massimo Majowiecki Strutture" edito da Mimesis Architettura nel 2015. Il volume è stato recensito da Costruzioni Metalliche nel numero 5/2018).

Cosa ti ha spinto ad indagare il tema delle tensostrutture dedicando a questo campo operativo e di ricerca buona parte della tua attività professionale?

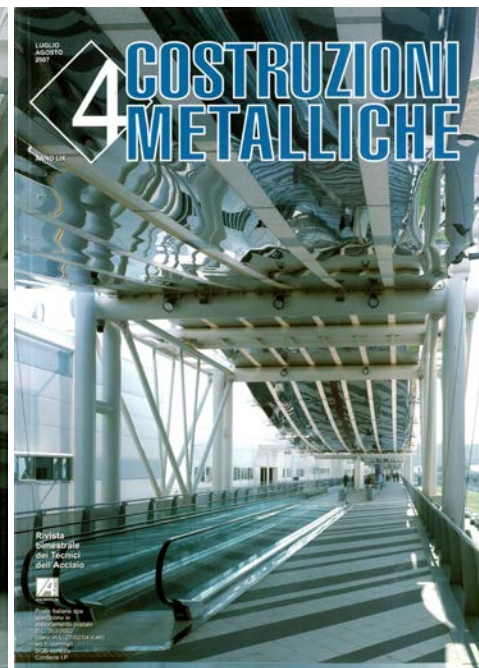
Penso che questo si possa ricondurre ad una questione di "momento storico", ad una fortunata coincidenza fra il punto di arrivo nei miei studi universitari e quanto stava accadendo nel mondo dell'ingegneria. Iniziai ad occuparmi di tensostrutture quando scelsi l'argomento della tesi di laurea. Forse per caso, o per curiosità, mi capitò fra le mani il libro di Frei Otto: *Das hängende Dach*.

Avevo un'età nella quale ci si innamora immediatamente dell'innovazione concettuale; subito fui attratto dalla leggerezza dei "sistemi sospesi" e dei nuovi materiali, tutto molto diverso da quanto si insegnava all'università, dove si parlava essenzialmente di strutture "pesanti", in cemento armato, secondo un approccio, a quel tempo, tipico della scuola di Bologna.

Perciò chiesi di poter sviluppare la tesi di laurea sui nuovi sistemi strutturali leggeri. I docenti mi avvisarono che non sarebbero stati in grado di aiutarmi sull'argomento, così mi misi a studiare ed a sviluppare un metodo di analisi per strutture che funzionano in campo di non linearità geometrica ed in trazione pura: le tensostrutture. Decisi quindi di sviluppare il metodo numerico della ricerca della forma (il *form finding*) con un programma elettronico dotato d'interattività grafica 3D, primo al mondo nel 1970 per il quale ho avuto il *Pioneer Award*, che permetteva di visualizzare quanto elaborato teoricamente. Eravamo a cavallo tra gli anni Sessanta e gli anni Settanta e, anche in questo caso, credo si debba parlare di un "momento storico": l'inizio dell'applicazione delle tecniche informatiche nell'ingegneria strutturale. Oggi siamo arrivati al *free form*.

Quali conseguenze ha avuto, nel campo dell'ingegneria, questa





tendenza che potremmo riassumere con la definizione anglosassone di free form?

Una cosa è il *form finding*, ricerca morfologica strutturale tipica della scuola Italiana del 900: le impostazioni concettuali di Nervi, Morandi e Musmeci richiedono alla struttura un “linguaggio” espressivo in termini di funzionalità statica. Per le tensostrutture la ricerca della forma strutturale non può essere dettata da un’impostazione geometrica, ma è il risultato imposto da condizioni di equilibrio. Al contrario il *free form design* (FFD) emerso con forza nella metà degli anni Novanta, non risponde ad alcun requisito statico. Il FFD nasce con la diffusione di potenti programmi di grafica 3D come Rhinoceros o Catia, messi a punto nel campo aeronautico; questi software sviluppano particolari applicazioni nell’ambito della geometria analitica e descrittiva, facendo largo uso delle curve di Bézier, delle Splines e, per le superfici, delle B-splines e le Nurbs. Con l’IT, l’architettura entra nell’era del FFD introducendo, per contro, notevoli incertezze in termini di affidabilità e richiede un ripensamento nel processo progettuale dell’ingegneria strutturale. Ciò è confermato dal fatto che vi è stata, a causa di tali problematiche, tutta una serie di documentati insuccessi progettuali e costruttivi. *Questi errori sembrano legati ad una mancata interazione tra ingegneria strutturale e progetto architettonico. Tutto questo ha portato, nel passato, e porta tuttora a soluzioni terribilmente deludenti. Qual è a tuo avviso la ragione di tali problematiche?*

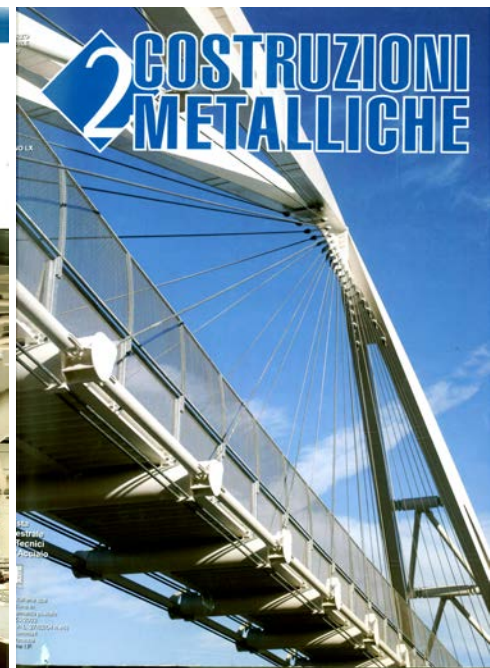
Attualmente si assiste ad una libera espressività formale che origina degli “oggetti architettonici” (torri inclinate, ponti scultura, nuvole) la cui forma, in alcuni casi, non ha nessun nesso con i principi di tipo strutturale. In questo caso le incertezze fenomenologiche della progettazione svolgono un ruolo molto importante.

In accordo con l’impostazione filosofica tecnico-scientifica di Nervi, questi sarebbero “falsi strutturali”. Allo stesso tempo non si può negare che alcune costruzioni raggiungano livelli di arte

architettonico-scultorea dove il ruolo della struttura è unicamente quello di ente resistente dell’oggetto architettonico. Una chiara immagine di questo ruolo è rappresentata dalla statua della libertà, nella quale tutti vedono esternamente una formale scultura mentre all’interno della stessa esiste una complicata struttura resistente progettata da Eiffel.

Gli esempi moderni non sono chiaramente disaccoppiati in termini disciplinari; l’influenza pittorico-scultorea, scenografica, fumettistica genera virtuali realtà, dove la correlazione disciplinare architettonico-strutturale, intesa come linguaggio progettuale integrato, può dichiaratamente non esistere o essere falsamente dichiarata. Molti di questi nuovi oggetti architettonici ci hanno meravigliato nel nome della definizione stessa del termine architettura come attività tecnico-intellettuale volta a modificare l’ambiente fisico relativamente alle esigenze della vita associata. Possono comunque risultare didatticamente devianti: un “bel” falso strutturale può infatti indurre studenti e progettisti ad elaborare imitazioni progettuali con l’introduzione di pericolosi “equilibrismi strutturali”. Per evitare il diffondersi di stereotipi architettonico-strutturali che sacrificano la stabilità strutturale alla generazione di uno “stupore tecnologico” è necessario e determinante, a mio parere, l’attivazione di un insegnamento interdisciplinare di architettura strutturale, allo scopo di introdurre una metodologia progettuale che proponga tipologie strutturali adatte ad ogni tipo di architettura, da quella litoide alla Hi-tech fino al FFD.

In passato, la suddivisione delle strutture in tipologie (il telaio, le volte, la membrana, ...) e l’individuazione del singolo elemento strutturale (la trave, il pilastro, il solaio...), erano le basi stesse della concezione strutturale. Si tratta di aspetti legati alla tradizione dell’ingegneria strutturale in termini fisico-intuitivi: un sapere e concezioni progettuali sviluppate nel corso di migliaia di anni, oggi in via d’estinzione.



Quale importanza ha la concezione del dettaglio nell'ambito dei tuoi progetti e come pervieni alla definizione di una soluzione che ti soddisfi, per un certo particolare costruttivo?

Nell'ingegneria strutturale convenzionale, il dettaglio non ha mai ricevuto particolare attenzione. Nelle strutture ridondanti, iperstatiche, spesso il particolare ha un'importanza relativa: il suo difetto provoca problemi locali, non inficia il funzionamento dell'intera struttura.

Ma se noi consideriamo la struttura come una catena di resistenza disposta in serie, come accade nelle strutture isostatiche o ipostatiche, la resistenza dell'intera catena è condizionata dalla resistenza di un singolo elemento, di un anello. L'anello della catena deve quindi essere studiato con cura e la sua funzione, a mio avviso, dev'essere evidenziata e resa chiara. È per questo che ho sempre prestato molta cura nel disegnare i particolari costruttivi: voglio sia evidente il loro ruolo, la loro importanza nel funzionamento dell'intera struttura.

Esistono oggi problemi strutturali ancora aperti, nel senso che non hanno ancora trovato una soluzione soddisfacente a livello scientifico e teorico?

I problemi strutturali che più spesso ci troviamo ad affrontare nella nostra professione sono quelli che riguardano l'identificazione dell'ente sollecitante: il vento, la pioggia, la neve, il sisma, etc.

La distribuzione della neve alla presenza di vento (*wind storm*) è una combinazione di carico che non riusciamo ancora a simulare teoricamente: è necessaria una simulazione in galleria del vento. L'azione della neve e del vento dà luogo, nelle grandi coperture, a comportamenti simili a quelli che governano la formazione delle dune nel deserto, con la possibilità dello sviluppo di accumuli locali che potrebbero essere in certi casi molto pericolosi e generatori di collassi progressivi. Nel caso dei ponti strallati e sospesi abbiamo invece problemi di interazione aeroelastica, di instabilità di tipo

aerodinamico per distacco dei vortici (VIV), di interazione antropica risonante nel caso di ponti pedonali, problemi che richiedono pertanto il *design assisted by testing*.

Nel caso di progettazione antisismica una delle guide concettuali principali è la cosiddetta regolarità strutturale; è chiaro che quest'aspetto è in aperto contrasto con le morfologie *free form*; si aprono per contro, rimedi strutturali quali l'isolamento sismico in caso di SLO (stato limite operativo).

L'innovazione riapre problemi che si consideravano ormai risolti, in questo tipo di strutture, al fine di garantire il livello di affidabilità richiesto, sono necessarie competenze speciali in fase di progettazione e costruzione; le cosiddette *advanced analysis* richiedono competenze specialistiche.

I sistemi strutturali morfologicamente "liberi" tendono ad essere parametricamente sensibili e questa sensibilità dev'essere analizzata con metodi di analisi di II o III livello; infatti, considerando i tre livelli di analisi esistenti previsti dalla normativa sulla sicurezza: il livello I o semiprobabilistico, il livello II o probabilistico approssimato ed il livello III o probabilistico completo, solo il primo è studiato ed utilizzato diffusamente: i due successivi non fanno parte della pratica corrente.

Contrariamente all'ingegnere meccanico o aeronautico, che possono permettersi di testare un modello in scala reale del loro progetto, l'ingegnere civile deve spesso operare in presenza di un margine d'incertezza maggiore, dibattuto tra il concetto di "sfida" e quello di "ansietà" nei confronti dei rischi che potrebbero derivare dall'accettare la sfida progettuale.

I vantaggi apportati dai processori elettronici stanno determinando nel periodo recente una progressiva esaltazione delle possibilità del calcolo automatico e danno l'impressione che in questo settore, l'uomo potrà un giorno essere superato dalla macchina. Si tratta di una possibilità reale?

C'è stato indubbiamente un periodo di "plagio elettronico", una sorta di "condizionamento psicologico" in cui la cieca fiducia nella potenza di calcolo delle macchine calcolatrici impediva di eliminare gli errori operativi con l'intuitivo ed esperto "something is going wrong", filtro principale dei "human gross errors" secondo la teoria della sicurezza.

Ormai siamo consapevoli che in fondo la progettazione è interattiva: al computer deve essere data la funzione di "analisi e calcolo" mentre l'operatore deve essere capace di "sintesi progettuale" e di controllo dei risultati in base alla propria conoscenza di base.

Oggi il suo uso, anche per merito di una normativa iper-conservativa, è così diffuso che anche per un semplice elemento strutturale è necessario il calcolo automatico. Dopo gli anni Ottanta sono state provate esperienze semantiche di intelligenza artificiale AI che tuttavia, sino ad oggi, non hanno retto. Attualmente software indirizzati alla grafica parametrica sono di notevole aiuto nella progettazione architettonica e strutturale mentre il BIM permette di controllare i processi di progettazione, costruzione e manutenzione. *Qual è la tua visione del futuro? Quale futuro per la tecnica strutturale? Quale futuro per la progettazione?*

Un tempo si progettava un edificio con una relazione tecnica di poche pagine e con calcoli interamente fatti a mano. Oggi non è più possibile progettare nemmeno il più semplice elemento strutturale senza usare il computer; sarebbe interessante valutare il beneficio in termini di sicurezza rispetto all'incremento di complicazioni indotte dalla babelica tendenza normativa.

Ad esempio il metodo di calcolo classico di una trave appoggiata si basa su una formula trinomia, che lega tra loro parametri meccanici e di sollecitazione. La verifica si condensa nel controllo di un singolo indice, un unico coefficiente di sicurezza relativo ad un puntuale stato tensionale di riferimento. Il problema sta nel fatto che i metodi di verifica, anche nel caso degli elementi strutturali di base, sono del tutto convenzionali.

Nella realtà questo tipo di controllo convenzionale si incarica di tener conto, in forma fortemente approssimata, di aspetti molto complessi che riguardano: le condizioni al contorno, il comportamento della sezione trasversale, la correlazione fisica fra i diversi parametri meccanici in gioco mentre le sei componenti di sollecitazione risultano topologicamente scorrelate.

Ci sarebbe allora la possibilità di utilizzare la potenzialità del computer per riacquisire il senso fisico dei fenomeni strutturali. In futuro, mediante l'analisi di sensibilità parametrica, incluse le incertezze costruttive, sarà possibile identificare: le zone più deboli della struttura, la combinazione di carico con minore indice di sicurezza, visualizzare la storia di carico di collasso più probabile sulla scorta di quello che descrive ad esempio Wai-Fah Chen nei suoi test sull'instabilità dell'equilibrio e, come richiesto dai nuovi Eurocodici a riguardo della alla robustezza strutturale, la sensibilità locale e globale contro il *chain collapse*.

