

## Architettura & strutture: l'etica tra finding form e free-form

Massimo Majowiecki



Massimo Majowiecki, ingegnere, si laurea presso l'Università di Bologna e vince il primo premio dell'U.I.S.A.A. (Ufficio Italiano Sviluppo Acciaio) per la migliore tesi di laurea italiana. Nei primi anni '70, sviluppa nell'ambito di attività di ricerca dell'Università di Bologna, tra i primi al mondo, un sistema di software interattivo grafico finalizzato alla ricerca di forma, all'analisi statica e dinamica per membrane e reti di cavi. Nel 1980 Majowiecki fonda uno studio di progettazione strutturale (STM) a Bologna, realizzando opere come lo Stadio Olimpico di Roma e lo Stadio delle Alpi di Torino. La progettazione di più di duecento strutture in Italia e nel mondo, ha consentito di ottenere un background di esperienza e conoscenza posto alla base dell'approccio tramite "conceptual - design" tipico del lavoro di M.M. L'architettura strutturale è il campo principale di ricerca e applicazione di M.M. con impiego di materiali convenzionali e compositi hi-tech. Già docente di Architettura Strutturale presso l'IUAV di Venezia. Nel 2008 gli viene conferito Honoris Causa la laurea in architettura dall'Università di Trieste.

### Sintesi

L'influenza di potenti algoritmi di modellazione geometrica permette oggi una libertà formale prima inimmaginabile nella progettazione architettonica. La veloce diffusione del FFD (*Free Form Design*) e delle relative realizzazioni FFB (*Free Form Buildings*), alcune di notevole valore rappresentativo per la storia dell'architettura, ha travolto la tradizionale impostazione dell'ingegneria strutturale generando incertezze di processo e conseguenti problemi di affidabilità progettuale, in generale, e di sicurezza, in particolare. D'altro canto imitazioni e originalità a tutti i costi, ottenibili dalla facilità operativa del FFD, aprono problemi di etica di sostenibilità nell'ambito tecnico, culturale ed economico: perché occorre tenere ben presente che l'invenzione di forme strutturali "libere" deve pur sempre soggiacere alle fondamentali leggi dell'equilibrio e della resistenza. La metodologia dell'analisi del valore (VA), può aiutare a ottenere la soluzione progettuale più idonea.

### Architettura & tecnologia: l'influenza dell'informatica

Il contributo tecnologico degli ultimi decenni ha attraversato l'architettura iniziando un processo d'innovazione e, per certi versi, influenzandola talmente da essere soprannominato "processo d'ingegnerizzazione dell'architettura". In realtà, il fenomeno può essere interpretato come una nuova, storica, sintesi scientifica, ottenuta mediante l'integrazione del contenuto tecnologico, apportato specialmente dai nuovi materiali da costruzione, e dall'associazione di questi con tipologie e metodologie costruttive appropriate (nominate *Hi-tech*).

Attualmente assistiamo ad una metamorfosi del linguaggio di progettazione prodotta dalle tecniche informatiche (IT) interattive grafiche (CAD).

Nel processo di progettazione concettuale architettonica la componente tecnologica informatica, mediante l'impiego di algoritmi geometrici per la generazione di superfici e solidi (RHINO, CATIA, ecc.) e sistemi software nati in ambito di design industriale, diventa dominante. (fig. 1)

Si assiste a una libera espressività formale che origina "oggetti architettonici" la cui forma, nella maggior parte dei casi, sembra non avere alcun nesso con principi di carattere strutturale.

Molti di questi nuovi "oggetti architettonici" ci hanno meravigliato e, nel nome della definizione stessa del termine architettura, quale attività tecnico-intellettuale volta a modificare l'ambiente fisico in relazione alle esigenze della vita associata, sono stati largamente apprezzati.

## Architecture & structures: ethics between finding form e in free-form

Massimo Majowiecki

### Summary

Today, the influence of powerful algorithms of geometrical modeling allows a formal freedom (FFD) that nobody could have imagined in the world of architectural design. The fast dissemination of FFD and the associated applications (FFB), some of them extremely important for the history of architecture, has brought fresh air in the traditional setup of structural engineering, generating uncertainty about the process and design reliability problems in general and security problems in particular.

On the other hand, imitation and originality at all costs, achievable thanks to FFD's user-friendly qualities, lead to ethical problems of sustainability in the technical, cultural and economical fields. The value analysis methodology (VA) may help obtain the ideal design solution.

### Architecture & technology: the influence of informatics

The technological innovation of the last few decades has also had an impact on architecture, starting up a process of innovation and exerting such a great influence on it to earn the name "computerization of architecture". As a matter of fact, this process can be understood as a new, historical, scientific synthesis, obtained through the incorporation of technological contents, brought about especially by new building materials and their association with adequate building types and methodologies (called *hi-tech*).

We are currently experiencing a metamorphosis of the language of design brought about by information technology (IT) and computer aided design (CAD) techniques.

In the process of conceptual architectural design the information technology component, through the employment of geometrical algorithms for the production of surfaces and solids (RHINO, CATIA, etc.) and software stemming from the field of industrial design, has become dominant: (fig.1) the "architectural form" can be "unbuilt" with unimaginable formal and compositional freedom.

Many of these new "architectural objects" have amazed us, and in the name of the definition of the term architecture itself, i.e. a technical/mental activity aimed at modifying the physical environment according to the connected life needs, they have been largely appreciated.

These new architectural creations, based primarily on individual artistic capacity (such as the Sydney Opera House of Utzon, 1957-1973 and Bilbao's Guggenheim Museum, 1991-1997 of Gehry- Fig.1) might, on the other hand, be viewed as didactic deviations and lead to design imitations that introduce dangerous "acrobatics" in the structural field. Moreover, the artistic morphological aggregations of some projects inspired by the so-called "Bilbao effect" might lead to considering every building of prismatic configuration as out of fashion. (figg. 2-3)

Disegni / Drawings Aldo Capasso.

Massimo Majowiecki, engineer, graduated from Bologna University and was awarded with the first prize by U.I.S.A.A. (Italian Office for Steel Development) as the author of the best Italian degree thesis. In the early 70s he developed, at the University of Bologna, an interactive graphics software system, designed for the shape-finding, statics and dynamical analysis of membranes and cable networks, which had no precedents worldwide. In 1980 M.M. established an office for structural engineering in Bologna (STM) and, ever since then, he created a remarkable number of projects like the Olympic stadium of Rome and the Delle Alpi stadium in Turin. Having designed more than two hundred constructions, both in Italy and abroad, he earned a great deal of expertise, which represents the foundation of Majowiecki's experience-based, synthetic, conceptual design approach. STM consulting firm works in the structural architecture field, designing structures made of traditional and composite hi-tech materials, applied to both conventional and special structures. Former professor of Structural Architecture at the IUAV in Venice. In 2008 he was awarded a degree honoris causa in architecture from the University of Trieste.

Approfondimenti su / See also: [http://: www.majowiecki.com](http://www.majowiecki.com)

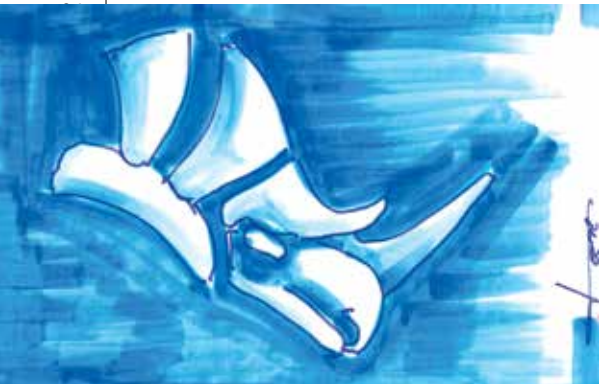


fig. 1. Rhinoceros NURBS modeling, Windows.

Queste nuove realtà architettoniche, basate essenzialmente su capacità artistiche individuali (quali la Sydney Opera House di Utzon, 1957-73 ed il Guggenheim Museum Bilbao di Gehry, 1991-97) possono, d'altro canto, risultare didatticamente devianti inducendo ad elaborare imitazioni progettuali che introducono pericolosi "equilibrismi" in campo strutturale; mentre le artistiche aggregazioni morfologiche di alcuni progetti ispirati al cosiddetto "effetto Bilbao" possono far ritenere fuori moda ogni edificio a configurazione tradizionale. (figg. 2-3)

#### Ingegneria & tecnologia: l'impostazione unitaria delle teorie della meccanica strutturale e l'analisi automatica

Contemporaneamente, la rivoluzione informatica ha naturalmente influenzato l'ingegneria strutturale. L'empirismo giocava un grande ruolo nella progettazione; benché fossero disponibili alcune teorie generali, i metodi per applicarle erano ancora in fase di sviluppo ed era inevitabile ricadere in schemi approssimati e far appello a indicazioni provenienti da numerose prove e conferme.

Oggi è diffusa l'opinione che l'avvento del calcolo automatico abbia posto fine a tale epoca semi-empirica dell'ingegneria: ormai possono essere costruiti modelli matematici raffinati su alcuni dei più complessi fenomeni fisici e, se la potenza del calcolatore è sufficiente, si possono produrre risultati numerici credibili sulla risposta del sistema esaminato.

I vantaggi offerti dagli elaboratori elettronici possono, d'altro canto, creare un'esaltazione incontrollata del calcolo automatico e dare l'illusione che l'uomo possa essere superato dalla macchina, e la logica dall'automatismo.

#### Architettura & strutture

Nel contesto di questa terza impressionante rivoluzione tecnologica ci interessa analizzare l'evoluzione dell'interazione tra architettura ed ingegneria strutturale.

A questo scopo siamo fortunati, giacché tra i primi progettisti moderni nel campo dell'architettura strutturale troviamo protagonisti italiani: Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi e Sergio Musmeci.

**Nervi** ha poche perplessità compositive: "La progettazione è il fatto fondamentale della creazione edilizia. Essa si può definire, in senso vasto, come l'invenzione e lo studio dei mezzi necessari a raggiungere un determinato scopo con la massima convenienza".

E' ancora: "L'ideazione di un sistema resistente è atto creativo che solo in parte si basa su dati scientifici; la sensibilità statica che lo determina, se pure necessaria conseguenza dello studio dell'equilibrio e della resistenza dei materiali, resta, come la sensibilità estetica, una capacità puramente personale. Anche per la progettazione statica la chiara visione del fine da raggiungere e la serena indipendenza di spirito nei riguardi di soluzioni già attuate in casi analoghi, sono indispensabili condizioni di buon successo. Indipendenza che non è la ricerca di un'originalità fine a se stessa". (fig. 4)

**Morandi** avverte e intuisce la possibilità di "plagio" da parte dell'analisi automatica delle strutture nel processo di progettazione rispetto al potere di sintesi fisico-

#### Engineering & technology: the standardization of structural mechanics theories and automatic analysis

*Of course, the information technology revolution has influenced structural engineering as well. During the 50s and the 60s the design methodology of the structural engineer has been remarkably influenced by two major developments: the harmonization of the various theories of structural mechanics and the introduction of electronic processors accompanied by symbolic and matrix languages and finite element methods.*

*Today the common belief is that automatic calculus has put an end to this semi-empirical age of engineering: by now sophisticated mathematical models can be built on some of the most complicated physical phenomena and if the processor is sufficiently powerful, reliable numerical results can be obtained based on the reply of the examined system». The advantages brought by electronic processors may, on the other hand, create an uncontrollable exaltation of the automatic calculus and give the false impression that man can be outshined by machines and the logic of automation.*

#### Architecture & structures

*In the light of this third remarkable technological revolution (Information Technology) we would like to examine the evolution of the interaction between architecture and structural engineering. And we are in luck, because many of the first pioneers in the field of structural architecture are Italian: Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi and Sergio Musmeci.*

**Nervi** has no doubts: "Design is the basic element of a building work. Broadly it is the invention and study of the tools needed to achieve a precise goal with maximum convenience."

*"The development of a resistant system is a creative action which is based on scientific principles only in part. The static sensibility that determines it, though a necessary consequence of the study of equilibrium and material resistance, remains, like aesthetic sensibility, a purely personal capacity. Also in the case of static design, a clear vision of the aim to be attained and the serene independence of the soul from already adopted solutions in similar cases are the necessary preconditions for success. Independence is not the search for originality as an end in itself" (fig.4)*

**Morandi** warns against the danger of "plagiarism" by the automatic analysis of the structures during the design process in relation to the power of physical/intuitive synthesis: "An average familiarity with design is enough to know that it is always possible, at least to some extent, to solve a problem in more than one way, and that these solutions may be perfectly equivalent from a functional, static and economical point of view.

*At this point, the choice of one among the many equivalent solutions and the special attention to formal detail (which is almost always independent from calculus restraints) go beyond the purely technical aspect and, either intentionally or unconsciously, participate in artistic creation." (fig 5)*

*He began to deny every validity both of technology as an end in itself and of formal preconception, preferring a clear architectural design, committed to the ideal of balance (uncompromising) between functionality of setup, rigor of the structural solution and*



fig. 2. Sydney Opera House, Jørn Utzon 1973.

fig. 3. Guggenheim Museum, Bilbao, Frank O. Gehry 1980.



#### Bibliografia dell'autore / Author's bibliography

- Majowiecki M. (2005) *Textile Composites and inflatable Structures*, in "Wide span Membrane Roof Structures: design assisted by experimental analysis", Onate E. and Kroplin B., Springer.
- Majowiecki M., (2001) *Tensostrutture*, Manuale dell'Ingegnere Cremonese, ESAC.
- Majowiecki M., (1998) "La modellazione strutturale", in *Architettura e leggerezza. Il significato del peso nella costruzione*, Capasso A. (a cura di), Maggioli Editore, Rimini.
- Majowiecki M., (1995), *Tensostrutture: progetto e verifica*, (II edizione) CREA.
- Majowiecki M., Pinto V., Capasso A. (a cura di) (1993), *Le tensostrutture a membrana per l'architettura*, Maggioli Editore, Rimini.
- Majowiecki M., (1991) *Tensostrutture*, Manuale dell'Ingegnere Cremonese, ESAC.
- (I testi citati sono parte di una più vasta produzione)



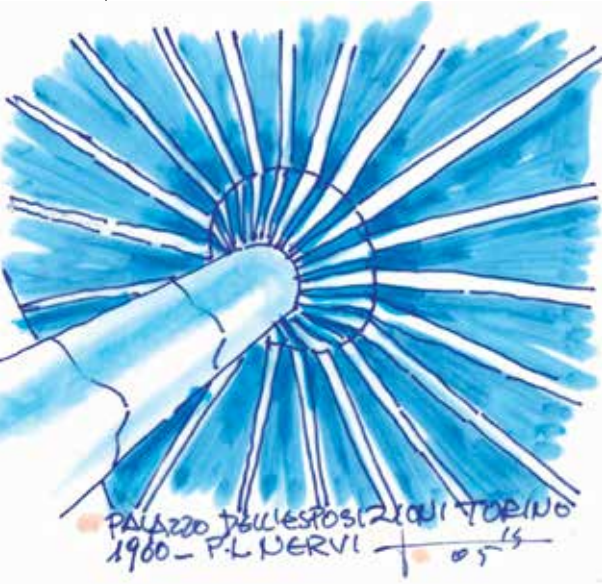


fig. 4. Palazzo dell'Esposizioni Torino, P.L. Nervi, 1960.

intuitiva. Infatti, afferma: “Basta possedere anche una modesta dimestichezza con la progettazione per sapere che è sempre possibile entro certi limiti, risolvere un tema in più maniere perfettamente equivalenti, funzionalmente, staticamente ed economicamente. A questo punto la scelta definitiva della soluzione fra tante valide, e l’amorosa cura del dettaglio formale trascendono il fatto puramente tecnico e, intenzionalmente o inconsciamente, partecipano alla creazione artistica”. (fig. 5) Andò maturando in lui la negazione di ogni validità sia della tecnologia fine a se stessa sia dei preconcetti formali, a favore di un disegno architettonico chiaro e aderente all’ideale di equilibrio (non compromesso) tra funzionalità dell’impostazione, rigore della soluzione strutturale e qualità dell’immagine finale.

Le consapevoli scelte costruttive che ne precisano l’identità raggiunta, derivano dall’esplicita adozione di “schemi statici semplici facilmente controllabili, anche nei riguardi di una sempre imperfetta esecuzione, e in cui la disposizione e la forma delle varie membrature esprimano chiaramente la funzione statica: in ultima analisi la loro ragione di esistere”. E osserva quindi: “Il calcolo, questa parola misteriosa per i non iniziati e in nome della quale si sono sciupate e si seguitano a sciupare tante realizzazioni di bellissimi temi, può mai essere considerato un fattore assoluto di determinazione della forma di una struttura, quando risulta ampiamente dimostrato che essa è fondata sulla consapevole sensibilità di chi progetta, architetto o ingegnere che sia?”

Con **Musmeci** le impostazioni concettuali di Nervi e Morandi, che richiedono alla struttura un “linguaggio” espressivo in termini di funzionalità statica, vengono spesso supportate da dimostrazioni matematiche. Musmeci introduce il concetto della ricerca della “forma strutturale” in funzione della minimizzazione della materia richiesta per controbilanciare l’energia potenziale di un sistema di forze esterne. (fig. 6)

“La ricerca della forma strutturale non è innescata da un atto intuitivo o capriccioso, ma da un processo che ricerca la necessaria configurazione della materia nello spazio, atta a risolvere un determinato compito strutturale impiegando il minimo indispensabile delle risorse”. “La struttura, attraverso la sua forma, rivela con immediatezza il flusso delle forze interne che la percorrono e che non sono dunque rinchiusi e nascosti entro il volume di una morfologia concepita astrattamente, secondo pregiudizi estetici e statici in cui gran parte della materia e dello spazio impiegati è superflua”.

Secondo Musmeci esiste una sola quantità minima di una determinata materia con cui ogni struttura può essere realizzata, una volta definito il sistema delle forze esterne. Tale invariante è connessa direttamente al concetto di minimo strutturale.

È la forma che, con il minimo impiego di una certa materia, occupa il minimo volume nello spazio.

#### Architettura tensostrutturale: la ricerca della forma

La “forma costruttiva” non può essere identificata da modellazioni fisiche o tecniche informatiche che impieghino algoritmi puramente “geometrici”, essa è definita da una ricerca di equilibrio sottoposta ad uno stato tensionale iniziale (pre-sollecitazione), nell’ambito delle condizioni limite al contorno; la superficie geometrico-tensionale

*quality of the final image. The conscious building choices that shape the final identity stem from the explicit adoption of “simple and easily controllable static schemes, also in relation to an always imperfect execution, in which the arrangement and the shape of the various frames clearly express the static function: ultimately, their reason for existence.”* “Calculus, this mysterious word for the uninitiated and for the sake of which many executions of wonderful subjects have been wasted and continue to be wasted, could it ever be considered as an absolute factor of determination of a structure’s shape, when it has been proved that this is based on the conscious sensibility of the designer, be it an architect or an engineer?”

*With Sergio Musmeci the conceptual setup of Nervi and Morandi, that requires the structure to feature an expressive “language” in terms of the static functionality is supported by mathematical demonstrations. Musmeci introduces the concept of the search for “structural form” associated with material minimization to contrast the potential energy of a system of external forces. (fig. 6) “The search for the structural form is not triggered by intuition or whimsy, but by a process that investigates the necessary configuration of matter in space, capable of carrying out a specific structural task by employing the minimum amount of resources”.*

*“Through its form, the structure immediately reveals the flow of internal forces that cross it, which is not enclosed and hidden within the volume of an abstractly conceived morphology, prone to esthetic and static prejudice, in which most part of matter and space is superfluous”. Musmeci believes there is only one minimum quantity of a certain material*

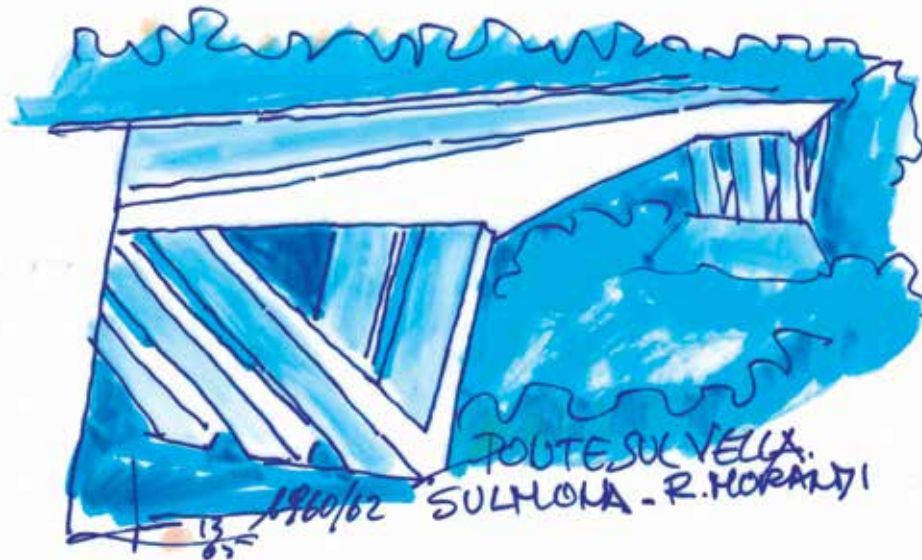


fig. 5. Ponte sul Vella / Bridge over Vella, Sulmona, Riccardo Morandi 1962.

risultante, “lo Stato 0”, è salvo, pertanto, dalla influenza “decostruttivista”.

La necessità della ricerca della forma progettuale per le tipologie tensostrutturali, discende direttamente dalla duplice impostazione progettuale possibile: impostazione progettuale classica: è noto lo stato geometrico - trovare lo stato di sollecitazione; impostazione progettuale per membrane tensostrutturali: è noto lo stato di pre-sollecitazione - trovare lo stato geometrico. (fig. 7)

Estremamente rappresentativa della ricerca della forma naturale delle membrane pre-sollecitate è l'ideale configurazione della superficie minimale (fisicamente approssimata nella realtà dalle bolle di sapone), ricerca che ha impegnato alcune generazioni di matematici.

Con l'avvento dei primi minicomputer, è stato possibile sviluppare gli algoritmi di calcolo che, mediante programmazione interattiva e particolari periferiche grafiche, rendevano possibile la visualizzazione delle superfici strutturali generate da “condizioni di equilibrio” mediante la teoria della ricerca della forma strutturale: “lo Stato 0”. Si arriva alla definizione di superfici membranali minimali, pre-sollecitate, pneumatiche, idrostatiche (campo applicativo delle strutture leggere) e all'ottimizzazione della forma strutturale, in funzione della distribuzione tensionale. (fig. 8)

#### **Free Form Architecture (FFA), una nuova frontiera per lo stato dell'arte?**

Molti contemporanei guardano alle leggi imposte dalle nuove tendenze progettuali come:

- la prevalenza dell'estetica sulla razionalità statica;
- l'assidua ricerca dell'efficienza strutturale per risolvere una questione più complessa della realtà al fine di ottenere una soluzione originale;
- la retorica categorica delle azioni strutturali che si traducono in linguaggi progettuali;
- la struttura come scultura;
- impressionismo meccanicistico;
- la trasposizione metaforica, nell'architettura, della Natura e di altri elementi estranei;
- la ripetizione ritmica e monotona di un motivo architettonico;
- la rappresentazione enfatica dei dettagli tipici di un elemento per individuare la scala generale;
- l'introduzione di risorse ausiliarie di tecniche informatiche.

Nelle realizzazioni dei nostri giorni, la libertà formale dà origine a oggetti architettonici come torri pendenti e a spirale, ponti scultura, “enclosures” e coperture a forma libera e simili, la cui forma molto spesso non ha nulla a che fare con principi strutturali. Tuttavia, molti di questi nuovi oggetti architettonici ci hanno meravigliato; è innegabile che alcune opere raggiungano il livello di arte architettonica e scultorea, e il ruolo svolto dalla struttura è soltanto quello di supportare il progetto architettonico.

Per contro, un falso strutturale e/o forme dalla morfologia scultorea, che fanno sembrare obsoleto qualsiasi edificio a configurazione prismatica, potrebbero indurre

*with which every structure can be created, once the system of external forces has been defined. This invariant is directly associated with the concept of structural minimum. It is form, that, with a minimum employment of a certain material, occupies the minimum volume in space.*

#### **Tensile structural architecture: form-finding**

*The “constructive form” can't identify itself by physical modeling or information techniques that use pure geometrical algorithms, but it's characterized by research of equilibrium conditioned by a first tensional state (pre external forces system) in borderline conditions; the geometrical tensional resultant surface, the “State 0”, is safe, therefore, by de-constructive influence.*

*The need of design form research, for tensile structural typologies comes directly from double possible design approaches:*

*Classical design approach: the geometrical state is known – to research the forces system state;*

*Tensile membrane design approach: the pre external forces system is known – to research the geometrical state. (fig. 7)*

*The ideal form of minimum surface (physically like soap films) is extremely representative to finding natural form of pre-tensed membranes.*

*A lot of mathematicians generations were very interested in this research.*

*With the coming of first computers, it was possible to develop calculation algorithms, which, through interactive programming and peculiar graphic hardware, made possible the visualization of structural surfaces, that is produced by “conditions of equilibrium” throughout the theory of structural form research: “State 0”.*

*We come to know the definition on membrane minimal, pre-tensed, pneumatic, hydrostatic surfaces (application field of light structures) and the optimum structural shape, considering tensional distribution (fig. 8)*

#### **Free Form Architecture (FFA), a new frontier for the state of the art?**

*Many contemporaries see the laws dictated by new design trends as:*

- the prevalence of esthetics over static rationality;
- thorough search for structural efficiency to solve a more complex issue than reality and achieve an original solution;
- the categorical rhetoric of structural actions that translate into design languages;
- the structure as a sculpture;
- mechanistic impressionism;
- the metaphorical transposition, into architecture, of Nature and other foreign elements;
- the rhythmic and monotonous repetition of an architectural motif;
- the emphatic representation of a typical element's details to identify the overall scale;
- the introduction of auxiliary IT resources.

*In present-day realizations, free formal expressiveness gives rise to architectural objects such as leaning and twisted towers, sculptured bridges, free-form enclosures and the*



fig. 6. Ponte sul Basento / Bridge over Basento, Potenza, Sergio Musumeci 1969.



studenti e professionisti privi di sufficienti conoscenze ed esperienza a elaborare imitazioni caratterizzate da pericolose incertezze progettuali. Gli attuali esempi di architettura strutturale non sono più correlati in termini di disciplina come in passato; l'architettura spettacolare è intanto diventata una moda internazionale e l'estetica teatrale è stata accolta calorosamente in molte parti del mondo. Nonostante Spinoza affermi che "l'etica cambia col tempo perché le sostanze che l'intelletto percepisce ovviamente cambiano", l'introduzione di questioni di etica architettonica e strutturale nel rispetto del principio della responsabilità introdotto da Hans Jonas potrebbe scongiurare alcuni stereotipi tecnologici e strutturali, dove la stabilità strutturale è sacrificata alla creazione di stupore tecnologico o dove la maggior parte del materiale utilizzato per la funzione è in realtà strutturalmente inutile e volto a ottenere una scultura. L'etica potrebbe aiutare a ottenere informazioni e processi di realizzazione più affidabili dai progettisti evitando di conseguenza che i progetti siano basati su false ipotesi. (figg. 9a-b-c-d)

#### Le incertezze progettuali come divario tra Scienza (sapere "perché") e Tecnologia (sapere "come")

In un interessante trattato del 1956, Francisco Vera affermava che lo sviluppo della scienza e della tecnica nella civiltà occidentale non era correlato nel tempo come, al contrario, avveniva, con armonia e coerenza, nelle civiltà orientali.

Dall'epoca della prima rivoluzione industriale, infatti, inizia un fenomeno di accelerazione della tecnologia rispetto all'associato campo scientifico. Questa dicotomia diventa molto evidente nell'epoca moderna, dove ricerca e produzione tecnologiche non sono più "filtrate" o integrate con continuità dal parallelo processo di sintesi scientifica. Le scoperte tecniche non accompagnate da controllo scientifico spesso risultano controproducenti ed "inquinanti"; l'innovazione tecnologica ci appare discontinua e si presenta come rivoluzione industriale manifestandosi in maniera impulsiva, dopo aver raggiunto una soglia inerziale rappresentata dalla tradizione e convenzionalità scientifica corrente.

La Storia della Tecnica ha a che fare con molti "Come" che risultano dai "Perché" noti, ma in molte occasioni, i "Come" hanno anticipato i "Perché". Ci sono anche stati molti "Cosa" che hanno funzionato per un dato periodo con un "Come" noto e un "Perché" sconosciuto. L'Etica della Sostenibilità stabilisce limiti progressivamente più stretti nel tempo, fino a quando il "Sapere Come" supera il "Sapere Perché". Il Sapere Come cresce, in funzione del tempo, più rapidamente rispetto al Sapere Perché con la conseguente crescita dell'incertezza; ne deriva che non è possibile prevedere le conseguenze a lungo termine di un'azione che si sa come compiere, ma non perché accade, e le sue conseguenze.

Alcuni errori di progettazione, che derivano dalla mancanza d'interazione tra architettura e ingegneria strutturale secondo le nuove tendenze progettuali e le nuove circostanze, oppure dalla non osservanza di standard etici in linea con il principio della responsabilità, sono stati in passato e sono tuttora causa di progetti sfortunati che comportano azioni giudiziarie, malfunzionamento strutturale e perfino crolli.

like whose shape sometimes has no connection whatsoever with structural principles. However, many of these new architectural objects are astounding; undeniably, some works achieve the level of architectural and sculptural art and the role played by structures is merely to support architectural design. Conversely, a structural forgery and/or morphological sculptured shapes making any prismatic configuration building look outdated, may induce students and professionals without sufficient knowledge and expertise to elaborate imitations that introduce dangerous design uncertainties. As regards discipline, modern examples of structural architecture are no longer correlated as in the past; in the meantime, spectacular architecture has become an international vogue and theatrical esthetics is being so warmly received in many parts of the world. Even though Spinoza states that ethics change in time because substances perceived by the intellect obviously change, the introduction of architectural and structural ethical issues according to the principle of ethical technological responsibility introduced by Hans Jonas could prevent some technological and structural stereotypes where structural stability was sacrificed, for instance, to technological astonishment, as well as false conceptual design statements and didactic deviations, while most of the material used for the bridge function was, in actual fact, structurally useless and aimed, instead, at obtaining a sculpture. Ethics may help obtain more reliable information from designers and realization processes and consequently prevent, at least, designs based on false statements. (figg. 9a-b-c-d)

#### Design uncertainties as a gap between science (know why) and technology (know how)

In an interesting essay of 1956, Francisco Vera stated that the development of science (know why) and technology (know how) in Western civilizations had no correlation in time as happened with Eastern civilizations in relation to harmony and coherence.

In the Greek-Roman period began a phenomenon of technological acceleration as opposed to the associated scientific sector.

This dichotomy becomes more evident in modern times, in which technological research and production are more "filtered" or integrated through the parallel process of scientific synthesis. Technological discoveries that are not accompanied by scientific control often turn out to be counterproductive and "polluting". Technological innovation seems discontinuous and takes the form of industrial revolution featuring impulsive manners, after having reached an inertial threshold represented by tradition and current scientific convention.

The History of Technique deals with a lot of Hows resulting from known Whys, but on many occasions, the Hows anticipated the Whys. There have also been some Whats, with a known How and an ignored Why.

Sustainability Ethics establishes progressively narrower limits in time until the Know How exceeds the Know Why. The Know How grows, in function of time, quicker than the Know Why, with the consequent increase of uncertainty; it follows that it is not possible to foresee the long-term consequences of an action, which you know how to accomplish but not why it occurs and its consequences.

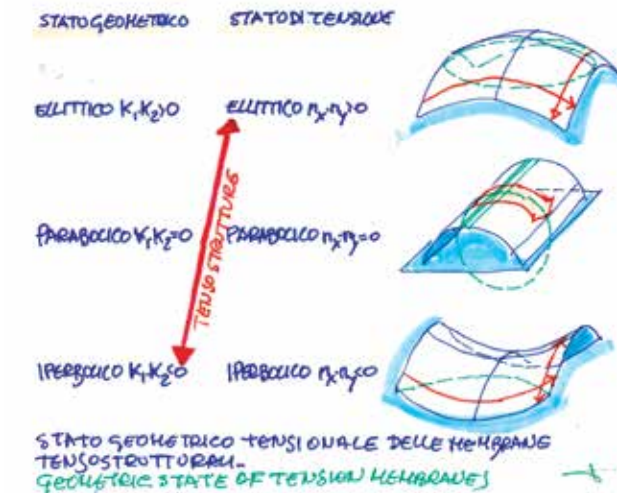
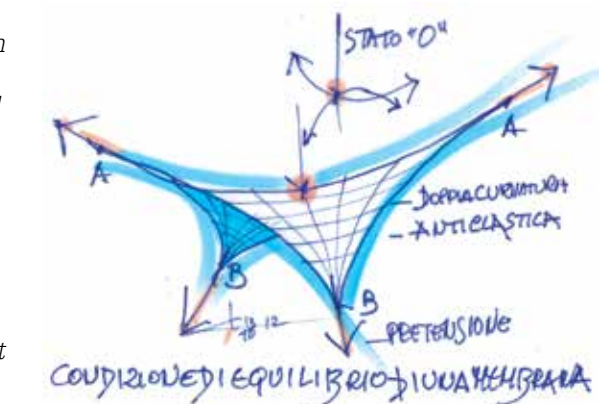
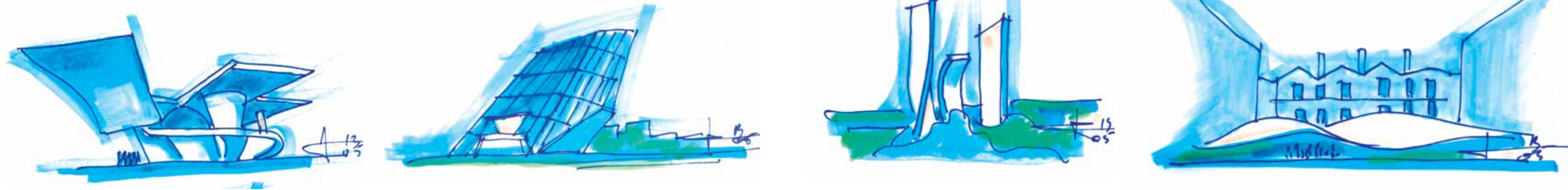


fig. 7. Stato geometrico tensionale delle tensostrutture a membrana / Tensional. Geometric state of membrane structures

fig. 8. Condizioni di equilibrio di una membrana.





in queste pagine / on these pages

fig. 9. a, b. Esempi di edifici con forma molto irregolare / Buildings Renders with irregular shapes.

c. Milano, grattacieli per il City Life / Milan, skyscrapers for City Life.

d. Parigi, copertura free form della corte interna del Louvre. / Paris, free-form cover of the Louvre's courtyard (Arch. Mario Bellini).

Considerando che la progettazione moderna è un processo complesso, olistico, trans-, multi- e interdisciplinare che deve raggiungere un necessario livello di affidabilità rispettando principi generali e regole di fattibilità, l'Architettura Strutturale si presenta come una metodologia, una conoscenza riflessiva che porta ad approcci progettuali appropriati e conformi all'etica della responsabilità civile della tecnologia.

#### Violazioni dello stato limite osservate in costruzioni insolite: un problema di sicurezza strutturale

L'analisi separata degli aspetti progettuali, porta alla mancata visione concettuale unitaria del progetto, a maturazioni cronologicamente differite, e, di norma, ad una qualità globale inferiore. Alcuni errori progettuali, nati dalla mancata interazione architettonico-strutturale o dal mancato rispetto dell'etica della responsabilità (sostenibilità), sono stati e sono causa d'insuccessi progettuali, contenziosi giuridici, danni, e in alcuni casi disfunzioni e collassi strutturali di nuove costruzioni (aumentati notevolmente negli ultimi tempi).

Dall'osservazione della performance in servizio e dei danni e crolli d'interi sistemi strutturali o di loro parti, abbiamo ottenuto molte informazioni e insegnamenti riguardanti la progettazione e la verifica in funzione dei principali stati limite e dei limiti di servizio. Le violazioni dello stato limite delle strutture sono state responsabili di crolli spettacolari come quelli dei ponti Tay (1879), Quebec (1907) e Tacoma (1940). A volte è un fenomeno apparentemente "inimmaginabile" a causare il cedimento strutturale. Coperture di grandi dimensioni sono state interessate da cedimenti parziali o totali come quelli del Hartford Coliseum (1978), del Pontiac Stadium (1982) e del Palasport di Milano (1985) a seguito di nevicate, dello Stadio Olimpico di Montreal a causa dell'azione del vento sul tetto a membrana (1988) e dell'accumulo di neve (1995), del Minnesota Metrodome (1983) la cui struttura aerea ha ceduto per effetto dell'accumulo di acqua piovana, del guscio in acciaio e vetro del palasport di Halstenbeck (2002), dell'acquapark di Mosca (2004), del terminal dell'aeroporto di Roissy (Parigi 2004).

*Some design errors caused by the lack of interaction between architecture and structural engineering under the new design trends or by non-compliance with ethical standards in line with the principle of responsibility, have led in the past and are still leading to terribly unsuccessful designs, giving rise to legal proceedings, structural malfunctioning and even collapse. Considering that modern design is a complex, holistic, multi-, cross- and interdisciplinary process that must achieve a required reliability level observing general principles and feasibility constraints, Structural Architecture (SA) steps forward as a methodology, a reflective knowledge producing adequate design approaches within the framework of technological civil responsibility ethics in order to reduce phenomenological structural uncertainties.*

*Observed limit state violations in unusual constructions: a structural safety problem*  
*The separate analysis of design variables leads to the lack of conceptual correlation, deferred maturation as regards time and as a rule to an overall lower quality. Some design errors, born of the lack of architectural and structural interaction or the non-observation of the ethics of responsibility (sustainability) have been and still are the cause of design flops, legal proceedings, damages and in some cases malfunction and structural collapse of new buildings (which have increased in the last few years).*

*The observation of in-service performance, damages and collapses of whole or part of structural systems has supplied us with plenty information and teachings regarding the design and verification under the action of ultimate and serviceability limit states. Limit state violation for engineered structures has led to spectacular collapses like the Tay (1879), Quebec (1907) and Tacoma bridges (1940). Sometimes structural failure is the result of an apparently "unforeseeable" phenomenon.*

*Long span coverings were subject to partial and global failures like that of the Hartford Coliseum (1978), the Pontiac Stadium (1982) and the Milan Sport Hall (1985) due to snow storms, the Montreal Olympic Stadium due to wind excitations of the membrane roof (1988) and snow accumulation (1995), the Minnesota Metrodome (1983) air supported structure that deflated under water ponding, the steel and glass shell sporthall in Halstenbeck (2002),*

Questi casi di cedimento strutturale rappresentano delle vere e proprie lezioni sull'argomento, volte a individuare le incertezze progettuali e costruttive nella valutazione dell'affidabilità. (figg. 10-12a-b)

Secondo Pugsley (1973), i principali fattori che determinano "la propensione verso incidenti strutturali" sono:

materiali nuovi o insoliti;

metodi di costruzione nuovi o insoliti;

nuovi o insoliti tipi di struttura per dimensioni e morfologia;

deficienza di esperienza e organizzazione delle squadre di progettazione e costruzione;

deficienza di background di ricerca e sviluppo;

clima economico;

clima industriale;

clima politico.

Nella tabella 3 la principale causa di cedimento assegna il 43% della probabilità (Walker, 1981) alla valutazione inadeguata delle condizioni di carico o del comportamento strutturale.

Causa	%	Fattore	%
Errata valutazione delle condizioni di carico o del comportamento strutturale	43	Ignoranza, disattenzione, negligenza	35
Errori nei disegni o nei calcoli	7	Dimenticanza, errori, sbagli	9
Insufficienti informazioni nei documenti contrattuali o nelle istruzioni	4	Affidamento ad altri senza sufficiente controllo	6
Contravvenzione alle condizioni dei documenti contrattuali o alle istruzioni	9	Sottovalutazione delle influenze	13
Errata esecuzione della procedura di edificazione	13	Insufficienti conoscenze	25
Uso errato, abuso e/o sabotaggio, catastrofe, deterioramento imprevedibili (in parte "inimmaginabili"?)	7	Situazioni oggettivamente sconosciute (inimmaginabili?)	4
Variazioni irregolari nel carico, la struttura, i materiali, l'esecuzione, ecc.	10	Altro	8

Tabella 3 - Principali cause di cedimento.  
Adattato da Walker (1981)

Tabella 4 – Fattori di errore in casi di cedimento osservati.  
Adattato da Matousek e Schneider

A parte l'ignoranza e la negligenza, si può notare che la sottovalutazione delle influenze e le insufficienti conoscenze sono i fattori più probabili nei casi di cedimento osservati (Tabella 4).

Tutti questi fattori si possono applicare molto bene a strutture che spesso presentano qualcosa di "insolito" che ha chiaramente delle ripercussioni sull'interazione umana.

the aquapark in Moscow (2004), the Roissy air terminal 2E in Paris (2004) and many others. These cases of failure of the structural mechanism can help identify the design and construction uncertainties in reliability assessment. (fig. 10-12a-b)

According to Pugsley (1973), the main factors which may affect "proneness to structural accidents" are:

new or unusual materials;

new or unusual methods of construction;

new or unusual types of structure in dimension and morphology; experience and

organization of design and construction teams;

research and development background;

financial climate;

industrial climate;

political climate.

In Table 3, the prime cause of failure gives 43% probability (Walker, 1981) to inadequate appreciation of loading conditions or structural behavior.

Cause	%	Factor	%
Inadequate appreciation of loading conditions or structural behavior	43	Ignorance, carelessness, negligence	35
Mistakes in drawings or calculations	7	Forgetfulness, errors, mistakes	9
Inadequate information in contract documents or instructions	4	Reliance upon others without sufficient control	6
Contravention of requirements in contract documents or instructions	9	Underestimation of influences	13
Inadequate execution of erection procedure	13	Insufficient knowledge	25
Unforeseeable misuse, abuse and/or sabotage, catastrophe, deterioration (partly "unimaginable"?)	7	Objectively unknown situations (unimaginable?)	4
Random variations in loading, structure, materials, workmanship, etc.	10	Remaining	8

Table 3 - Prime causes of failure.  
Adapted from Walker (1981)

Table 4 – Error factors in observed failure cases  
Adapted from Matousek and Schneider

Besides ignorance and negligence, the underestimation of influence and insufficient knowledge can be considered as the most probable factors in observed failure cases (Table 4).

#### **FFB architecture: uncertainties in reliability assessment**

Many novel projects of long span and high-rise structures attempt to extend the "state of the art". New forms of construction and design techniques adopted in today's conceptual design methodology generate phenomenological uncertainties about any



nella pagina accanto / on the next page

fig. 10. Copertura Palasport / Palasport Cover, Milano 1985.

fig. 11. Copertura stadio Olimpico / Olympic Stadium cover, Montreal 1988.

fig. 12. Terminal Aeroporto di Roissy / Terminal at Roissy Airport, Paris 2004.

fig. 13. Sport hall Halstenberck Global instability collapse 2002.

### Architettura FFB: incertezze nella valutazione dell'affidabilità

Molti nuovi progetti di strutture di grandi luci e altezze tentano di ampliare lo "stato dell'arte". Nuove forme di costruzione e tecniche di progettazione, adottate nell'ambito dell'attuale metodologia di progettazione concettuale, generano incertezze fenomenologiche su qualsiasi aspetto del possibile comportamento della struttura in fase di costruzione, in servizio o soggetta a condizioni estreme.

Altri fattori come l'errore umano, la negligenza, i carichi trascurati e/o la cattiva esecuzione sono spesso implicati in casi di malfunzionamento, cedimento o crollo. Fortunatamente, le strutture raramente cedono clamorosamente, ma quando lo fanno ciò, è spesso dovuto a cause che non sono direttamente collegate alle distribuzioni del carico nominale previste o alla robustezza dei materiali.

Osservando i risultati statistici del comportamento osservato in servizio, le tipologie insolite, i nuovi materiali e soprattutto "l'effetto scala" delle grandi dimensioni, emergono molti aspetti legati alla progettazione speciale e si possono individuare i seguenti tipi d'incertezze nella valutazione dell'affidabilità: (fig. 13)

incertezza fenomenologica;  
incertezza decisionale;  
fattori umani;  
incertezza della previsione;  
incertezza fisica;  
incertezza della modellazione;

### Incertezze fenomenologiche

L'incertezza fenomenologica può nascere quando la forma della costruzione, o la tecnica di progettazione, genera incertezza su un qualsiasi aspetto del possibile comportamento della struttura in fase di costruzione, in servizio o soggetta a condizioni estreme.

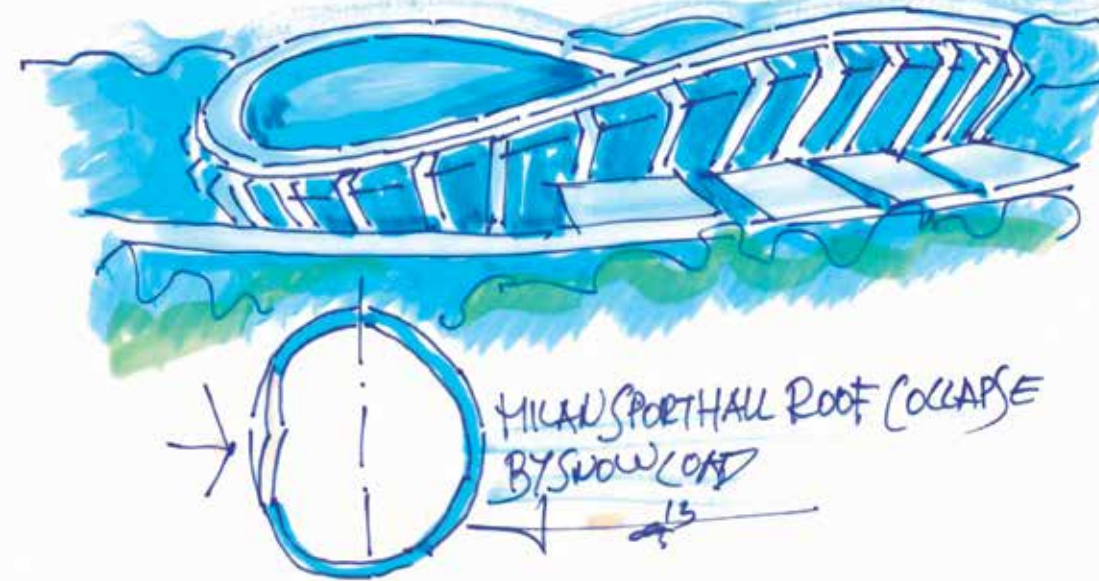
Come tutti i processi iterativi, l'elaborazione del progetto passo dopo passo fornirà una soluzione affidabile se le incertezze fenomenologiche introdotte dalla fantasia (appartenente ancora all'area sconosciuta) convergono verso un'area nota e capita, allargando così la conoscenza. Una soluzione progettuale divergente va considerata come un "insuccesso progettuale".

Per quel che riguarda l'interazione tra architettura ed etica, è importante considerare "l'insuccesso" come una "prestazione che non è coerente con le aspettative". Ciò implica che le aspettative di successo devono essere realistiche e tener conto delle risorse disponibili.

D'altra parte la sfida strutturale, che la rivoluzione formale comporta, aumenta notevolmente le incertezze nella valutazione dell'affidabilità, rendendo pertanto indispensabile per l'architettura, al più presto, un'etica della responsabilità (sostenibilità): la "Archetica".

### Etica della sostenibilità nell'architettura strutturale

Si potrebbe considerare l'Ingegneria classica come l'insieme di possesso (di sapere ed



aspect of the possible behavior of the structure under construction, in-service or subject to extreme conditions.

Other factors like human errors, negligence, neglected loadings and/or poor workmanship are most often involved in malfunction, failures and collapses.

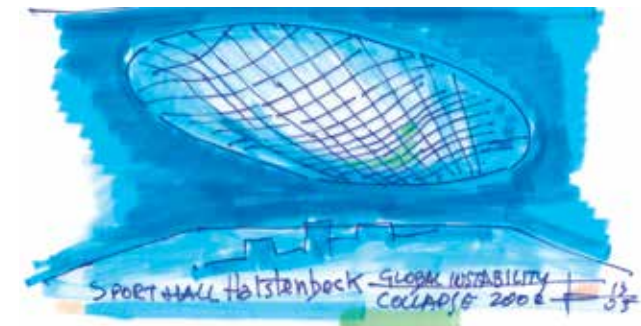
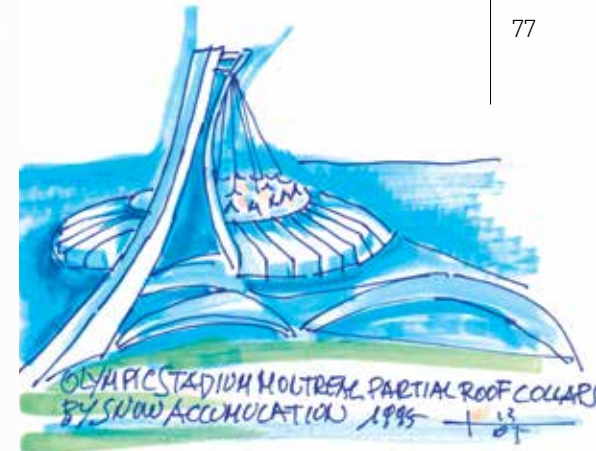
Fortunately, structures rarely collapse in a serious manner, but when they do it is often due to causes not directly related to the predicted nominal loading or the probable distribution of material strength.

If we consider the statistical results observed in-service behaviors, the unusual typologies, the new materials and, especially, the "scale effect" of large dimensions, several special design aspects arise and the following types of uncertainties have been identified in reliability assessment: (fig.13)

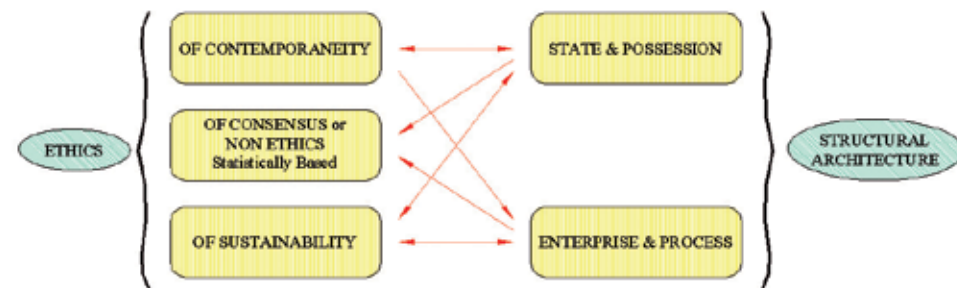
phenomenological uncertainty;  
decision uncertainty;  
human factors;  
prediction uncertainty;  
physical uncertainty;  
modeling uncertainty;

### Phenomenological uncertainties

Phenomenological uncertainty arises when the form of construction or the design







esperienza) e stato dell'arte nel tempo, e l'Ingegneria Moderna come un'impresa che tenta di mandare avanti un processo (progresso). (fig. 14)

Dal canto suo, l'Architettura Strutturale interagisce con l'etica attraverso i contenuti scientifici e tecnologici delle componenti: ingegneria strutturale + architettura.

Se consideriamo, inoltre, che l'attuale ingegneria progressiva è un'impresa che realizza un processo e che questo processo significa che il "possesso" e lo "stato" crescono in funzione del tempo, allora questo processo potrebbe cambiare l'etica della sostenibilità rendendola sempre più complessa nell'eventualità che lo stato cresca più del possesso, cosa altrettanto possibile. Tuttavia, è facile prevedere che la crescita del possesso implica la possibilità di cambiamenti che darebbero origine a nuove azioni che l'Etica della Sostenibilità potrebbe considerare eticamente inaccettabili. Ciò non accadrebbe se i cambiamenti implicassero il progresso; in altre parole, se i cambiamenti fossero sempre vantaggiosi come dovrebbero essere. Pertanto gli obiettivi noti, cui si è sempre aspirato, potrebbero essere meglio raggiunti attraverso nuove tecniche che tali obiettivi comportano. Ma accade anche il contrario cioè che, quasi tutti i giorni, nuove tecniche possano ispirare, produrre o persino imporre nuovi obiettivi cui nessuno aveva pensato, soltanto perché essi sono ora possibili.

#### Incertezze decisionali

Come spesso appare dai documenti contrattuali e tecnici, il processo decisionale è influenzato da obiettivi contrastanti. Da un lato c'è l'intenzione di avere una soluzione affidabile, evitando avventure sperimentali. Dall'altro lato, nel cercare di imparare dagli errori del passato, si valuta la possibilità prevista dal contratto di ammettere concetti originali e/o "salti" tecnologici senza sufficiente preparazione scientifica. Alcuni proprietari accettano il rischio introducendo nel processo realizzativo un livello più elevato di incertezze decisionali in vista della possibilità di ottenere un valore aggiunto da un progetto molto innovativo. Questo notevole punto di vista che ha consentito i progressi scientifici e tecnologici nel campo delle strutture leggere è molto appropriato se correlato e attentamente calibrato come estensione dello "stato dell'arte". Tuttavia, le incertezze decisionali nella valutazione

technique generates uncertainty about any aspect of the possible behavior of the structure under construction, service and extreme conditions.

Like all iterative processes, the step by step elaboration of the design will generate a reliable solution if the phenomenological uncertainties introduced by fantasy (still belonging to the unknown area) converge to a known and understood area thus broadening knowledge. A divergent design solution has to be considered as a "design failure".

With regard to interaction between architecture and ethics, it is important to consider that "failure" is defined as "performance that is not consistent with expectations". This implies that expectations of success must be realistic and that they take into account the available resources.

On the other hand, the structural challenge associated with the formal revolution evidently increases the uncertainties in reliability assessment and, therefore, makes architecture's need for a responsibility (sustainability) ethic even more impelling: the so-called "Archethic".

#### Sustainability ethics in structural architecture

We will now consider the Classical Engineering is a possession and a "state of art" and the Progressive Engineering like an enterprise that accomplishes a process and that this process means that "possession" and "state" grow in function of time. (fig.14)

However the Structural Architecture interacts with ethics through the scientific+technological contents of the components : structural engineering + architecture. If we also consider that present progressive engineering is an enterprise that accomplishes a process and that this process means that "possession" and "state" grow in function of time, then this process might change the ethics of sustainability, making it increasingly complex in the event of the state growing larger than possession, which is also possible. However, it is easy to predict that the growth of possession  $P(t)$  implies the possibility of changes that would generate new action and that Sustainability Ethics could consider as ethically unacceptable. This wouldn't be so if changes implied progress; in other words, if changes were always beneficial as they should be. However, things also happen the other way round, and practically every day new techniques may inspire, produce or even impose new objectives which were unthinkable before, only because they are now possible.

#### Decision uncertainties

Contractual and technical documents often show that the decision-making procedure has been influenced by contrasting objectives. On the one hand, there is the need to have a reliable solution and avoid experimental adventures. On the other hand, the effort to learn from past errors is considered as the contractual permission of allowing original concepts and/or technological "jumps" without sufficient scientific background. Some owners accept the risk by introducing a higher level of decision uncertainties in the realization process, in view of the possibility to obtain an extra value from a very innovative design.

dell'affidabilità sono anche legate ai climi politici ed economici. Pertanto, specialmente quando si tratta di realizzazioni "inusuali", il processo decisionale politico ed economico deve essere supportato da un'adeguata analisi del valore e dal controllo della qualità delle funzioni che la soluzione progettuale prevede.

#### Fattori umani

Le incertezze risultanti dal coinvolgimento dell'uomo nel processo progettuale e costruttivo possono essere suddivise in due categorie: l'errore umano e l'intervento umano.

Per garantire un necessario livello di affidabilità nel settore delle strutture "inusuali", il processo progettuale deve essere convalidato dalle seguenti tre fasi principali: il progetto concettuale, il modello analitico e il progetto esecutivo.

Il progetto concettuale è basato sulla conoscenza ed è fondamentalmente proprietà del singolo esperto. Il suo coinvolgimento nelle prime fasi della progettazione equivale, dal punto di vista dell'affidabilità, a una strategia d'intervento umano di controllo e ispezione e, dal punto di vista statistico, a un'azione di "filtraggio" che può rimuovere una parte significativa di "errori umani".

Un corto circuito molto potente di "errori umani grossolani" può verificarsi, anche in maniera informale, grazie a fattori d'intervento umano che potrebbero derivare dall'osservazione che "qualcosa non va", un'azione che è strettamente collegata alle competenze e le capacità dei membri del team di progettazione.

Il contributo della conoscenza potrebbe eliminare gli errori grossolani sin dall'inizio e ridurre drasticamente gli errori umani statistici. Si raccomanda pertanto di attivare procedure di controllo e validazione già nelle prime fasi olistiche del progetto. In base alla metodologia progettuale (piano di lavoro), il progetto concettuale può essere definito come un approccio basato sulla conoscenza, l'esperienza e l'intuizione sintetica, che consente di individuare, nel corso del processo decisionale, la tipologia strutturale, l'elaborazione di un modello numerico preliminare e la conseguente analisi strutturale e verifica dell'affidabilità.

I suddetti concetti fanno ora parte di alcuni codici edilizi nazionali che normalmente riguardano soltanto i sistemi strutturali convenzionali. Per quel che riguarda i *progetti innovativi*, come nel caso della maggior parte degli odierni edifici a forma libera, sono disponibili pochissimi commenti.

A questo proposito è necessario precisare che dal punto di vista statistico gli errori umani di progettazione e costruzione tendono a crescere considerevolmente se l'innovazione è discontinua ed improvvisa e non raccordata *step by step* scientificamente nel tempo. La libera morfologia strutturale, derivante dall'attuale tendenza realizzativa di FFB, arriva come uno *Tsunami* nella scienza e tecnica delle costruzioni, tradizionalmente applicata a tipologie e geometrie convenzionali (telai, archi, gusci, ecc.); ciò richiederà un radicale cambiamento della *forma mentis* e metodologia dell'ingegnere strutturista civile, specialmente in relazione al controllo interpretativo dei risultati relativi allo stato deformativo e tensionale delle strutture



*This remarkable point of view, which allowed the scientific and technological advances in the field of lightweight structures, is very appropriate if correlated and carefully calibrated as an extension of the "state of the art". Tuttavia, le incertezze decisionali nella valutazione dell'affidabilità sono anche legate ai climi politici ed economici. Yet, in reliability analysis, decision uncertainties are also related to political and financial climates. Therefore, especially in the case of unusual realizations, political and financial decision-making must be supported by expert value analysis and quality control of the functions involved in the design solution.*

fig. 15. Senza con il nuovo ponte "genius loci"?

#### Human factors

*The uncertainties resulting from human involvement in the design and building process can be divided into two categories: human errors and human intervention.*

*To ensure the required reliability level in the field of "unusual" structures, the design process must be validated by the following three principal phases: the conceptual design, the analytical model, and the working design phases as shown.*

*Conceptual design is knowledge-based and, mainly, property of individual experts. Their involvement in the early stages of design is equivalent, from the reliability point of view, to a human intervention strategy of checking and inspection and, from a statistical point of view, to a "filtering" action which can remove a significant part of "human errors".*

*A very powerful short-circuit of "gross human errors" may occur, also informally, through human intervention factors resulting from the observation that "something is wrong", an action that is directly associated with the skills and abilities of the design team members.*

*Knowledge-based contribution may remove gross errors right from the start and drastically reduce statistic human errors. Therefore, it is recommended that checking or validation procedures be activated in early holistic stages of design.*

*In line with the design methodology (work plan), conceptual design may be defined as an expert approach, based on knowledge and synthetic reliability intuition that allows: the identification of the structural typology, the elaboration of a preliminary numerical*



## Etica

Per qualche riflessione in più sull'etica in architettura si segnala E. Carrieri su OP CIT (n.107 gennaio 2000) in cui osserva "Un'etica per la civiltà di tecnologia (1979), di Hans Jonas\*", fondata sul Il principio di responsabilità, una responsabilità tutta volta al futuro e a cercare di prevenire le imprevedibili conseguenze dell'«illimitato potere della tecnica sulla natura» e quindi anche e soprattutto sulla natura umana; una responsabilità che dovrebbe portare gli architetti a «includere nelle loro scelte attuali l'integrità futura dell'uomo come oggetto delle loro volontà»»

\* H.Jonas, Das Prinzip Veerantwortung, Insel Verlag, Frankfurt am Main 1979; ed.it a cura P.>P. Portinaro. Tr di P. Rinaudo, Il principio responsabilità. Un'etica per la società tecnologica. Einaudi, Torino 1990. A.C.

(cfr fig. web site)



soggette alle azioni della gravità, del vento e del sisma, ottenuti mediante sofisticate analisi secondo il metodo agli elementi finiti.

In questa situazione, l'influenza degli errori umani sopra descritti può aumentare considerevolmente.

### Incertezze della previsione

Una stima dell'affidabilità strutturale dipende dallo stato delle conoscenze di cui dispongono i progettisti. Man mano che nuove conoscenze relative alla struttura diventano disponibili, la stima diventa sempre più raffinata consentendo solitamente, ma non necessariamente, una simultanea riduzione dell'incertezza. Ciò vale soprattutto durante la fase concettuale del progetto, quando le informazioni sull'attuale robustezza dei materiali, sulle nuove tipologie ecc., diventano disponibili, sostituendosi alle stime basate su prestazioni del passato e su esperienze con strutture analoghe. Gli FFB sono insoliti e la letteratura tecnica non dispone ancora del feedback necessario.

Secondo l'esperienza diretta dell'autore, la riduzione delle incertezze nella progettazione di strutture speciali può essere ottenuta se si prende in considerazione:

la necessità di evitare e ostacolare il crollo progressivo del sistema strutturale causato da rottura locale di un elemento strutturale secondario e/o dal malfunzionamento accidentale di un collegamento costruttivo;

la compatibilità dei vincoli interni ed esterni e della progettazione del dettaglio con l'ipotesi di modellazione e con la reale risposta del sistema strutturale ;  
la sensibilità parametrica del sistema strutturale a seconda del tipo e del grado di indeterminatezza statica e la collaborazione ibrida tra il comportamento delle sottostrutture in regime di "hardening" o "softening" strutturale.

Inoltre, sarebbe necessario avere un feedback sistematico e adeguato sulla risposta del progetto monitorando l'ulteriore prestazione delle strutture in servizio al fine di valutare l'adeguatezza a lungo termine del progetto.

Nel caso delle strutture mobili, le conoscenze riguardano soprattutto le gru mobili e il relativo processo di progettazione concettuale deve tener conto delle osservazioni esistenti, test e specifiche riguardanti il comportamento di sistemi strutturali simili.

### Incertezze fisiche

Le incertezze fisiche hanno a che fare con l'analisi dei carichi e i materiali.

Per quel che riguarda le superfici ad ampia copertura e gli edifici alti con morfologia insolita, le incertezze sul carico possono essere ridotte se si considera:

la distribuzione della neve e dei suoi accumuli in funzione della direzione e dell'intensità del vento statisticamente correlate;

la distribuzione della pressione del vento tenendo conto delle densità spettrali della potenza correlate teoricamente e sperimentalmente o le funzioni temporali;

l'effetto dipendente dal tempo di azioni coattive indirette come la precompressione, lo scorrimento a breve e lungo periodo e gli effetti della temperatura.

L'utilizzo dei test, come le prove sperimentali su modelli in scala di gallerie del vento

*model and the subsequent structural analysis and reliability verifications.*

*The above mentioned concepts are now included in some national building codes, which are normally aimed only for conventional structural systems.*

*As far as innovative design is concerned, as in the case of most present-day free-form-buildings, only few comments can be found.*

*At this point we have to say that from a statistical viewpoint, human errors in the fields of design and construction tend to increase remarkably when innovation is discontinuous and sudden and when it does not take place gradually with the aid of scientific knowledge. The free structural morphology that stems from the current FFB trends is like a tsunami that creates havoc in building science and technique, which are traditionally anchored to conventional typologies and geometries (frames, arches, shells, etc.). This entails a radical change in the civil structural engineer's forma mentis and methodology, especially with regard to the interpretative control of the results, the strain and tensional state of the structures subject to gravity, wind and earthquake, obtained through sophisticated analysis carried out according to the finite elements method. In a situation like this, the influence of the above mentioned human errors can increase considerably.*

### Prediction uncertainties

*The assessment of structural reliability depends on the quality of knowledge available to designers. As new knowledge on the structure becomes available, the assessment becomes more sophisticated and is usually, but not necessarily, matched by a concomitant reduction of uncertainty. This is particularly true during the conceptual design phase, when information about actual strength of materials, new typologies etc. becomes available and replaces assessments based on past performance of and experience with similar structures. FFB are unusual and useful feedback is not available as yet in technical literature.*

*According to the author's direct experience, reduction of uncertainties in designing special structures may be achieved if we consider:*

*the need to avoid and short-circuit progressive collapse of the structural system due to local secondary structural element and detail accidental failure;*

*the compatibility of internal and external restraints and detail design, with the modeling hypothesis and real structural system response;*

*the parametric sensibility of the structural system depending on the type and degree of static indeterminacy and hybrid collaboration between hardening and softening behavior of substructures.*

*Furthermore, it would be necessary to have adequate and systematic feedback on the response of the design by monitoring the subsequent performance of such structures so that the long-term efficiency of the design can be evaluated.*

*In the case of movable structures, the knowledge base mainly concerns the moving cranes and the related conceptual design process must take into account existing observations, tests and specifications regarding the behavior of similar structural systems.*

## Ethic

*For more considerations on ethics in architecture see E. Carrieri in OP CIT (No 107 January 2000) who observes "An ethic for the civilization of technology (1979), by Hans Jonas\*, based on the principle of accountability, responsibility towards the future, seeking to prevent the unpredictable consequences of the "unlimited power of technique over nature" and thus especially over human nature, a responsibility that should lead architects to "include in their current choices the future integrity of man as object of their will"*

\* H.Jonas, Das Prinzip Veerantwortung, Insel Verlag, Frankfurt am Main 1979; ed.it a cura P.>P. Portinaro. Tr di P. Rinaudo, Il principio responsabilità. Un'etica per la società tecnologica. Einaudi, Torino 1990. A.C.

(cfr fig. web site)



## Riferimenti / References

- Pozzati P.,(1988), *The problem of ethics and responsibility in relation to technological innovations*, (discorso inaugurale all'apertura del 900esimo Anno Accademico dell'Università di Bologna, 1987), "Alma Mater Studiorum".
- de Moisset N., de Espanes D.,(2002) *Dise ar con la estructura*, Ingreso, RA.
- Jonas H.,(1990) *Il principio responsabilità*,Einaudi,
- Melchers R.E., (1987) *Structural reliability*, Elley Horwood ltd.
- Carper K.,(2001) *Lessons architects can learn from failures*, Structural Failures and Reliability of Civil Structures, Venezia, 6-7 Dicembre 2001.
- Filler M., (2005) The New York Review of books, Vol. 52, number 20, Dicembre 2005.
- Bignoli A.J.,(2003) *Interaction between ethics and engineering*, The Plan, n°3.
- Majowiecki M.,(1990) *Observations on theoretical and experimental investigations on lightweight wide span coverings*, International Association for Wind Engineering, ANIV,
- Structural Design Of Retractable Roof Structures*, IASS working group n°16, WIT Press, 2000.
- RWDI: *Roof snow loading study-roof re-design Olympic Stadium Montreal*, Quebec. Report 93.
- Vickery B.J. Majowiecki M.,(1992) *Wind induced response of a cable supported stadium roof*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, pp. 1447-1458.
- Vickery B.J.,(1993) *Wind loads on the Olympic Stadium - Orthogonal decomposition and dynamic (resonant) effects*, BLWT-SS28A.
- Majowiecki M.,(1998) *Snow and wind experimental analysis in the design of long span sub-horizontal structures*, J. Wind Eng. Ind. Aerodynamics, RWDI: *Roof snow loading study-roof re-design Olympic Stadium Montreal*, Quebec. Report 93-187F-15, 1993.
- Working Commission V: *"Using computers in the design of structures"* – atti IABSE..
- First International Conference on Computational Structures Technology, Heriot-Watt University, Edimburgo, Regno Unito, Agosto, 1991.
- Majowiecki M., Trevisan R.,(1993) "A graphic interactive software for structural modelling analysis and design", Space Structures 4, Thomas Telford, London.
- Lazzari M., Majowiecki M., Saetta A., Vitaliani R.,(1998) *Analisi dinamica non lineare di sistemi*

a strato limite e il monitoraggio in strutture esistenti, svolge un ruolo importante nella progettazione strutturale di sistemi strutturali insoliti. Per quel che riguarda le incertezze sul materiale, particolare attenzione deve essere rivolta ai fattori di affidabilità e sicurezza delle nuove ceramiche, dei cosiddetti "*smart*" *materials* e compositi *high-tech* a matrice metallica (MMC) o epossidici e polimerici (FRP). Le incertezze sul materiale, associate a rapporti molto alti tra carico accidentale/pesi permanenti, che sono un'evidente caratteristica delle costruzioni leggere, aumentano notevolmente le incertezze statistiche. L'esperienza nella progettazione strutturale del dettaglio, normalmente considerata una questione secondaria dalla progettazione convenzionale, svolge un ruolo importante nelle strutture speciali: quello di ridurre le incertezze fisiche e di modellazione e prevenire cedimenti a catena del sistema strutturale.

### Inceteezze della modellazione

Le incertezze legate al processo progettuale possono anche riguardare la modellazione strutturale numerica che rappresenta il rapporto tra la risposta reale del modello e quella prevista.

I vantaggi offerti dall'informatica e l'automazione sono stati molto significativi per il settore della progettazione strutturale in generale e particolarmente importanti nel caso dei sistemi strutturali speciali. Diventò possibile esaminare modelli teorici più rigorosi evitando, da un lato, eccessive semplificazioni che privano il modello teorico di ogni significato, come la riduzione schematica della realtà, e dall'altro lato, che calcoli apparentemente esaustivi facilitassero la perdita di fatti veramente influenti e impedissero al progettista di cercare e provare soluzioni strutturali diverse. In tale contesto, sono stati accertati molti cedimenti strutturali documentati in cui gli errori nella valutazione del comportamento strutturale erano dovuti a un'inaffidabile interazione uomo/macchina e all'illusione che i computer come potente strumento di analisi potessero sostituirsi al progetto concettuale e alla critica esperta e sintetica dei risultati. Per ridurre le incertezze della modellazione, il software interattivo per l'analisi e la progettazione di sistemi strutturali speciali deve includere, più che programmi di carattere generale, un software specifico che sia in grado di offrire assistenza su molti aspetti di analisi teorica come:

analisi "*form-finding*" dello stato '0' per trovare la forma di strutture strallate,

pneumatiche e a membrana;

analisi non lineare per materiali elastici, anelastici e plastici, incluso lo scorrimento a breve e lungo periodo;

analisi geometrica non lineare per l'analisi statica e dinamica in presenza di grandi spostamenti;

analisi incrementale non lineare per determinare l'instabilità strutturale locale e globale;

analisi stocastica dinamica nel dominio della frequenza per la presenza di *buffeting* sotto l'azione casuale del vento tenendo conto dei contributi statici, quasi statici e risonanti, assistita dall'individuazione sperimentale, su modelli rigidi in scala, delle

### Physical uncertainties

*Physical uncertainties are related to loading and material.*

*In the case of wide covering surfaces and high-rise buildings with unusual morphologies, loading uncertainties may be reduced if we consider:*

*the snow distribution and accumulations in relation to statistically correlated wind direction and intensity;*

*the wind pressure distribution considering theoretical and experimental correlated power spectral densities or time histories;*

*the time dependent effect of coactive indirect actions as pre-stressing, short and long-term creeping and temperature effects.*

*Design assisted by testing, like experimental investigation in boundary layer wind tunnel scale models, and monitoring of actual structures play an important role in structural design of unusual structural systems.*

*As far as material uncertainties are concerned, special care must be dedicated to the reliability and safety factors of new ceramics and smart materials and hi-tech composites of metallic matrix (MMC) or epoxy and polymeric (FRP) materials.*

*The uncertainties of the material, associated to very high ratios of live loads/dead weight, which are an evident characteristic of light-weight constructions, considerably increase the statistical uncertainties. Expertise in structural detail design, which is normally considered as a micro task in conventional design, plays an important role in special structures: that of reducing modeling and physical uncertainties and preventing chain failures of the structural system.*

### Model uncertainties

*Uncertainties related to the design process have been also identified in structural numerical modeling which represents the ratio between the actual and the expected model's response.*

*The advantage offered by informatics and automation has been very important in the field of structural design in general and particularly significant in the case of special structural systems. It was possible to examine more rigorous theoretical models avoiding, on the one hand, excessive simplifications that deprive the theoretical model, like a schematic reduction of the reality, of all significance and, on the other hand, that exhausting calculations lead to the loss of facts with a true influence, thus discouraging designers from trying out different structural solutions.*

*Under such apparently favorable circumstances, many documented structural failures have been detected in which mistakes regarding the inadequate evaluation of structural behavior were caused by unreliable man/machine interaction and the illusion that computers, those powerful instruments of analysis, could replace conceptual design and the expert synthetic criticism of results.*

*To reduce modeling uncertainty, the interactive software for the analysis and design of special structural systems[17] requires, rather than general purpose programs, specific software that can help with many aspects of theoretical analysis such as:*

*strutturali leggeri sub-orizzontali soggetti all'azione del vento*, ANIV; Perugia.

Samartin, (1995) "*Application of optimization techniques to structural design, Lightweight structures in civil engineering*, Warsaw, Poland, Settembre.

Puppo A.G., Bertero R.D.,(1992) *Evaluation of Probabilities using Orientated Simulation*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 6, Giugno.

Woodruff S., Billington D., (2005) *Aesthetics and Ethics in pedestrian bridge design*, Footbridge, Seconda Conferenza Internazionale, Venezia, 6-8 Dicembre 2005.

Dietrich R.J.,(1998) *Faszination Brücken*, Callwey Verlag Munchen.

Carper K. L.,(1996) "*Construction Pathology in the United States*", Lessons from structural failures, Structural Engineering International. 1/96.

Progettazione concettuale delle strutture, Simposio Internazionale, Stoccarda, Germania, Ottobre 1996.





in queste pagine / *on these pages*

fig. 16. “la Nuvola” nuovo centro congressi Eur, Roma (in corso di realizzazione) / “The Cloud” new Eur conferences centre, Rome (in work à progress), M. Fuksas, structural project from M. Majowiecki.

- a. render.
- b. calcoli strutturali / *structural calculation*.
- c. compagine strutturale./ *structural team*.
- d. fase di realizzazione / *construction phase*.

densità spettrali intercorrelate della potenza (PSD) delle pressioni interne ed esterne su grandi “*enclosure*”;  
 analisi stocastica dinamica nel dominio temporale per il controllo della stabilità aerodinamica di sistemi strutturali di grande luce e flessibili soggetti all’azione del vento, assistita dall’individuazione sperimentale su modelli aeroelastici in scala delle funzioni temporali intercorrelate, tenendo conto delle interazioni dei fluidi;  
 applicazione di tecniche di ottimizzazione alla progettazione strutturale;  
 sensibilità stocastica parametrica e analisi dell’affidabilità.

#### Maggiore affidabilità della progettazione FFB: l’Archetica

Le violazioni dei limiti di servizio e di prestazione sono strettamente collegate con l’affidabilità strutturale. È importante considerare che gli errori concettuali sono molto difficili da eliminare nella seguente fase dell’analisi strutturale e solo strategie di intervento umano come l’istruzione, l’ambiente di lavoro, la riduzione della complessità, l’auto-controllo e il controllo esterno possono eliminare gli errori umani grossolani. In numerosi casi di architettura reale molti disaccordi e un numero notevole di contenziosi derivano da aspettative non realistiche, specialmente in relazione al grado di perfezione ottenibile con un dato budget. *How much is too much?* È evidente che la risposta non può essere il “minimo costo” ma, invece, deve essere la ricerca del “massimo valore” ottenibili nell’ambito delle risorse disponibili.

Il valore, eticamente sostenibile, può essere determinato mediante la metodologia dell’analisi del valore (VA=*value analysis*) in fase di progettazione. Il VA è dotato di una tecnica operativa che permette di verificare, in termini misurati, il soddisfacimento delle esigenze espresse ed implicite del committente/utilizzatore o utente, dell’entità presa in esame in rapporto alle risorse disponibili. Introducendo l’analisi del valore si superano i limiti del “*design to cost*”, mera ricerca di riduzione dei costi con il rischio di portare a soluzioni incapaci di garantire il servizio richiesto, e quindi senza corrispondere alle esigenze di tutti gli attori in gioco (*stakeholders*).

Dal punto di vista del committente pubblico o privato il valore di una soluzione progettuale è determinato, per l’essenziale, quando sono fissate le funzioni ed il suo livello di qualità; ciò che conta è che le funzioni siano soddisfacenti (corrispondenti ai requisiti) e che il costo di produzione sia minimo. Le funzioni hanno talvolta un carattere relativo e possono, per uno stesso progetto-realizzazione, risultare sensibilmente differenti da un committente all’altro.

Distingueremo due ordini di funzioni:

da una parte, le funzioni di servizio del progetto (ossia quelle che soddisfano direttamente il bisogno dell’utente); nell’ambito delle funzioni di servizio distingueremo ancora:

- le funzioni d’uso;
- le funzioni di stima;
- dall’altra, le funzioni tecniche degli elementi del progetto: insieme, sottoinsiemi, parti elementari.

La valutazione equilibrata delle tre componenti funzionali (funzione d’uso, funzione di

*state ‘0’ form-finding analysis, for the shape-finding of cable, membrane and pneumatic structures;*  
*non linear analysis for elastic, inelastic and plastic materials including short and long-term creeping;*  
*non linear geometrical analysis; for the static and dynamic analysis under large displacements;*  
*incremental non linear analysis to detect local and global structural instability;*  
*stochastic dynamic analysis in frequency domain for the buffeting response under the random wind action considering static, quasi-static and resonant contributions, assisted by the experimental identification, on rigid scale models, of cross-correlated power spectral densities (PSD) of the internal and external pressures on large enclosures;*  
*stochastic dynamic analysis in time domain for the control of the aerodynamic stability of wide and flexible structural systems under wind excitation, assisted by the experimental identification, on aeroelastic scale models, of the cross-correlated time histories, considering fluid interactions;*  
*application of optimization techniques to the structural design;*  
*parametric stochastic sensibility & reliability analysis.*

#### Increasing reliability in ffb design: the archethic

*Performance and serviceability limit states violation are directly associated with structural reliability. It’s important to consider that conceptual errors are very hard to remove in the subsequent phase of structural analysis and only human intervention strategies such as education, work environment, complexity reduction, self-checking and external checking may eliminate gross human errors.*

*In several cases of actual architecture many disagreements and a remarkable amount of litigation over the construction resulted from unrealistic expectations, especially in relation to the degree of perfection achievable within a given budget.*

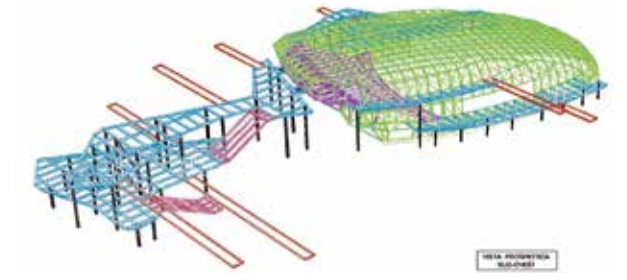
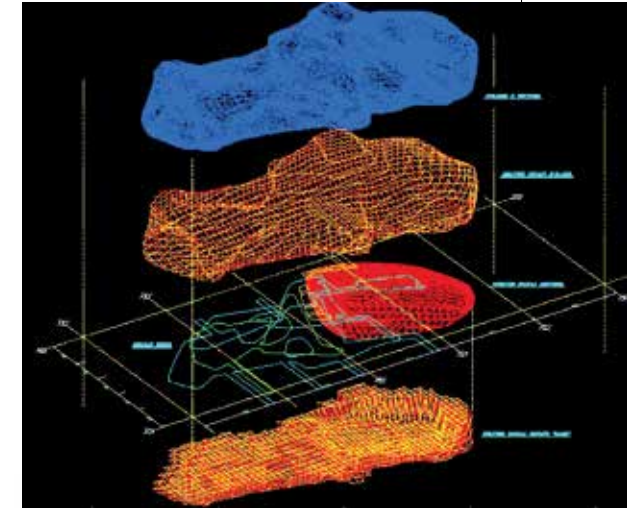
*How much is too much? Obviously, the answer cannot be “the lowest cost” but, rather, the search for the “maximum value” obtainable through the available resources.*

*The ethically sustainable value can be identified during the design stage through the value analysis method (VA).*

*VA features an operational technique that allows to assess and quantify the satisfaction of the needs, both explicit and implicit, of the client/user.*

*The introduction of the value analysis method can overcome the “design to cost” limits, i.e. the mere search for cost reduction that can lead to inadequate solutions which cannot grant the required service, and therefore cannot fulfill the needs of all players involved (stakeholders).*

*From the viewpoint of public or private clients, the value of a project suggestion can be determined, roughly, when its function and quality level have been identified. What matters is that the function is satisfactory (meets the needs) and the production cost minimal. Functions can be very subjective and clients may require remarkably different functions for the same design execution.*





Massimo Majowiecki, Bologna, 2013.

stima e specifiche tecniche) identifica la qualità dell'opera.

Particolare attenzione alla componente funzione di stima deve essere prestata nel caso della *Free-Form-Architecture*, valutazione spesso considerata implicita dal cliente affidandosi, per "chiara fama", alle *Archistar* del momento.

Altri fattori di intervento umano, volti a ridurre l'errore umano dalla progettazione alla costruzione, sono i metodi formalizzati della Garanzia della Qualità (QA). La QA tiene conto della necessità di soddisfare le esigenze di sicurezza strutturale, idoneità all'uso e durevolezza attraverso l'elaborazione di un "piano di sicurezza".

Le procedure di QA includono:

- corretta definizione delle funzioni;
- definizione dei compiti, delle responsabilità e dei doveri;
- adeguato flusso di informazioni;
- piani di controllo e schede di controllo;
- documentazione dei rischi accettati e piano di supervisione;
- ispezione e piano di manutenzione;
- istruzioni per l'uso.

Un pericolo reale è che l'eccessiva formalizzazione della QA, nata per articoli tangibili e non adatta a procedure di controllo concettuali intangibili, possa portare ad un'inaccettabile e autolesionistica degenerazione del processo progettuale in una specie di ingegneria e gestione burocratica Kafkiana.

### Conclusioni

Il *Free-Form-Design* rappresenta una sfida per gli architetti e gli ingegneri ma, dopo le prime impressionanti realizzazioni, le ripercussioni etiche ed estetiche dell'imponente "moda" degli FFB sul contesto sociale devono essere considerate con attenzione, evitando di incoraggiare la tendenza a vedere l'innovazione, di qualsiasi tipo essa possa essere, *come una cosa positiva per il solo fatto di essere innovativa*, indipendentemente dai suoi effettivi meriti o il suo contributo al sapere.

Dal punto di vista strutturale, al fine garantire il livello di affidabilità richiesto, la progettazione e la costruzione di morfologie strutturali libere di tipo FFB necessitano di un'esperienza specifica. Si raccomanda inoltre l'Analisi del Valore, anche nello stadio preliminare della progettazione, al fine di trovare la soluzione più idonea e compatibile sulla base del *function worth* atteso.

*We will divide functions into two categories:*

*on the one hand, the functions related to service (those which directly meet the need of the user); within the service functions we will make a distinction between:*

*usage function;*

*evaluation function;*

*on the other hand, the technical function of the design's elements: groups, subgroups, elementary parts.*

*The balanced evaluation of the three functional components (usage function, evaluation function and technical specifications) determines the work's quality. Special attention to the evaluation function component must be paid in the case of Free-Form-Architecture, something that clients often take for granted as they rely on the "Archistar" of the moment. Other human intervention factors, aimed at reducing human errors regarding design and construction, are the formalized methods of Quality Assurance. QA is based on the need to meet, through the implementation of a "safety plan", the requirements of structural safety, serviceability and durability.*

*QA procedures include:*

*a) proper definition of functions;*

*b) definition of tasks, responsibilities, duties;*

*c) adequate information flow;*

*d) control plans and check lists;*

*e) documentation of accepted risks and supervision plan;*

*f) inspection and maintenance plan;*

*g) user instructions.*

*A real danger is that excessive formalization of QA, applicable to tangible manufactured articles and not suitable for intangible conceptual control procedures, might lead to an undesirable and self-defeating degeneration of the design process to a sort of Kafkian bureaucratic engineering and management.*

### Conclusions

*FFD is a challenge for architects and engineers alike but, after the firsts impressive realizations, the ethic and esthetic repercussions of FFB's appeal on the social context must be carefully considered, to avoid the inclination to view innovation, of any kind, as positive merely because it is innovative, irrespective of its real merits or its contribution to knowledge. From the structural point of view, in order to guarantee the required reliability level, special expertise is needed in the design and construction of free structural morphologies involved in FFB. A Value Analysis is also highly recommended, even in the preliminary design phase, in order to find the most suitable and compatible solution in accordance with the expected function worth.*