

03.10.2012

# AI LIMITI DELLA TENSIONE

un nuovo componente per l'oggetto leggero



Chiara Vivona 767797 \_ elaborato di tesi \_ rel: Giulio Ceppi \_ Politecnico di Milano

“Il mondo è un armonia di tensioni”

(Eraclito di Efeso)



# indice

abstract	
analisi	1
<i>fare leggero</i>	6
<i>fare resistente</i>	10
<i>in-stabilità</i>	14
<i>tensione</i>	18
ricerca	25
<i>tensione in natura</i>	25
<i>tensione nell'arte</i>	42
<i>tensione in architettura</i>	50
<i>tensione e design</i>	68
<i>tensione pneumatica</i>	70
<i>membrane tese</i>	82
<i>strutture strallate</i>	92
percorso metaprogettuale	113
<i>ai limiti della tensione: design nautico</i>	115
<i>congiunzioni</i>	128
focus and concept	135
<i>famiglie</i>	137
<i>concept</i>	140
<i>aziende da coinvolgere</i>	146
progetto	135
<i>anatomia della gamba</i>	155
<i>tecnologia costruttiva</i>	162
<i>proprietà e valutazioni strutturali</i>	167
<i>modello</i>	177
<i>tavole tecniche</i>	179
<i>considerazioni finali e punti critici</i>	181
bibliografia e webgrafia	182
ringraziamenti	184



# abstract ITA

Il percorso metaprogettuale presentato all'interno di questo elaborato di tesi si va ad inserire all'interno di un campo che prende parte allo sviluppo di questi quattro ambiti:

- ◆ il saper far leggero e la conseguente riduzione di materiale impiegato.
- ◆ il saper fare resistente, contribuendo all'irrigidimento della struttura.
- ◆ la relazione tra instabilità visiva e stabilità effettiva.
- ◆ la tensione, proprietà meccanica che fa da collante alle caratteristiche elencate sopra.

Ho strutturato un percorso ben preciso, riflessivo e sperimentale, suddiviso principalmente in tre momenti:

-un primo step di analisi e ricerca dello scenario. Ho esplorato singolarmente quattro temi, quattro punti cardine della mia tesi: fare leggero, fare resistente, instabilità visiva e stabilità effettiva e tensione. Il primo capitolo introduce un prospetto generale che illustra come questi aspetti hanno influito e tutt'ora influiscono nel design, e come il design li fa propri. Ad ognuna di queste ca-

atteristiche ho dedicato un capitolo, introdotto da alcune citazioni, mirate sul tema, di designer influenti nel mondo del design. Il mio elaborato di tesi mira a fondere queste quattro tematiche alla ricerca di un nuovo scenario, partendo da queste quattro proprietà, singolarmente già insite del design, per designarne, fondendole, una nuova tipologia progettuale.

Nel secondo capitolo di ricerca, abbandonando momentaneamente le tre tematiche: far leggero, far resistente, instabilità visiva e stabilità effettiva, ho analizzato il concetto di

tensione. Nell'ambito della tensione ho approfondito con uno sguardo a 360°, il significato che viene attribuito a questa parola. Ho esplorato, la tensione in tre ambiti: la tensione nella natura, la tensione nell'arte e la tensione nell'architettura. In seguito ho esaminato il campo relativo al design. Anche, in questo caso, ho suddiviso questo ambito in tre sottocapitoli: la tensione pneumatica, le membrane tese e la tensione e le strutture strallate. Quest'ultima, analizzata più nel dettaglio è l'ambito da me scelto e sviluppato in questo elaborato di tesi, e raccoglie una catalogazione di oggetti di design studiati durante tutto l'arco della ricerca: prodotti e spunti interessanti dal punto di vista progettuale da cui ho preso ispirazione e che mi hanno condotto ad un concept concreto.

-un secondo step di sviluppo metaprogettuale e focus sui concept: con sperimentazioni sulle

possibilità offerte dai materiali per l'ottenimento di strutture resistenti con un utilizzo quantitativo minimo dei materiali. Sperimentando nel campo del design strutture impiegate in un ambito diverso, quello nautico.

-infine, un terzo capitolo che riguarda lo studio degli elementi di giunzione. Ho approfondito e realizzato il modello di questi elementi. Ho voluto "metter mano" alle problematiche ed alle soluzioni che si vengono a creare e testarne l'efficacia. L'obiettivo è quello di porgere attenzione alle caratteristiche dei materiali offerti dal mercato oggi, dare importanza al materiale non solo inteso come decorazione ma principalmente scelto per le sue caratteristiche strutturali e funzionali. Ho voluto interpretare ed adottare strutture impiegate ed utilizzate nell'ambito nautico inventando nuove tipologie formali, sperimentando i limiti del materiale: fino a che punto minimizzando spessori e materiale il prodotto regge e

funziona?. Nella progettazione, infatti, il materiale non è un elemento secondario alla forma ma comprimario. Lo stesso materiale potrebbe condizionare la forma, come nel caso del mio progetto. L'idea progettuale si basa appunto sulla frase: far resistente e leggero, questo è reso possibile dall'irrigidimento di elementi tesi coesistenti nel prodotto che ne assicurano la resistenza a trazione e compressione. Il mio obiettivo è stato quello di sperimentare nuove forme in cui la quantità del materiale viene ridotta al minimo. L'intero paragrafo potrebbe essere riassunto riproponendo una frase di Renzo Piano:

“Bisogna sempre avere l'ansia di  
sperimentare, togliere il più possibile, finché  
non ti casca tutto per terra”

# abstract ENG

## IV

The planning stage course described in this result of thesis goes inside a field taking part to the development of these four spheres:

- ◆ being able to make a light element and the consequent reduction of the material used.
- ◆ being able to make a resistant element helping in stiffening the structure.
- ◆ the connection between visual instability and effective stability.
- ◆ tension, mechanical property acting as adhesive to the above mentioned characteristics.

I have structured a well precise, reflexive and experimental course, mainly subdivided into three moments:

- a first step of analysis and search of the background: i have explored four subjects one by one, four fondation points of my thesis: making light elements, making resistant elements, visual instability and effective stability and tension. The first chapter introduces a general prospere explaining how these aspeers have influenced and still influence design and how design takes possession of them. To each of these characteristics

I have dedicated a chapter, introduced by some quotations aimed at the subject of designers having influence in the design world. My result of thesis aims at merging this four subjects to the search of a new background, as from these four properties, already implied one by one in the design, in order to designate, by merging them, a new planning typology.

In the second chapter of search, leaving the three subjects temporarily: making light elements, making resistant elements, visual instability and effective stability, I have analysed thoroughly

at 360° the meaning ascribed to this word. I have explored tension in three spheres: tension in nature, tension in art and tension in architecture. Then, I have examined the field concerning design. Even in this case I have subdivided this sphere in three underchapter: tension and air, tension and the tight membranes and tension and reticular structures. This last point, analysed in a more detailed way is the sphere chosen by me and developed in this result of thesis and collects a cataloguing of objects of design studied during all the period of the research: products and interesting hints under the plain point of view, where a flicked up my inspiration leading me to a real concept.

A second step of planning stage development and focus on concept: experiment on the opportunities offered by the materials to get resistant structures by using a least quantity on the materials. Experimenting in the field of design,

structures used in a different sphere: the nautical one.

At last, a third chapter, concerning the study of an exemplifying plan, where the elements is determined in all its peculiarities; I have wished to study in detail and realize one of the concept as the theme developed by me does not linger over the formal solution only, but it is based above all on the theme of resistance got by using a least stiff quantity of material. I put my hands on the problems and solutions being created and to their efficacy. The purpose is to give attention to the characteristics of the materials offered today by market: giving importance to material intended not only as decoration, but mainly chosen thanks to its structural and functional characteristics. Adopting structures used in the nautical sphere, I have experimented the limits of the material inventing new formal typologies. As far as, minimizing thicknesses



## VI

and material does the product hold and work? The planning idea is based precisely on the sentence "to make resistant and light", practicable by the stiffening of tight elements coexisting in the plan, assuring compression and tensile stress resistance. The whole paragraph could be summed up reproposing a Renzo Piano's sentence.

"It's always necessary to have the eagerness to experiment, to take off as much as possible fill everything falls to the ground"

Renzo Piano

**analisi**

In questa sezione di Analisi ho esplorato singolarmente quattro temi, che diverranno poi i quattro punti cardine della mia tesi: fare leggero, fare resistente, instabilità visiva e stabilità effettiva e tensione. Il capitolo introduce un prospetto generale che illustra come questi aspetti hanno influito e tutt'ora influiscono nel design, e come il design li fa propri. Ad ognuna di queste caratteristiche ho dedicato un capitolo, introdotto da alcune citazioni, mirate sul tema, di designer influenti sul mondo del design. Il mio elaborato di tesi mira a fondere queste quattro tematiche alla ricerca di un nuovo scenario, partendo da quattro proprietà, singolarmente già insite del design, per designarne, fondendole, una nuova tipologia progettuale.

In questa sezione ho descritto singolarmente questi quattro ambiti:

- ◆ il saper far leggero e la conseguente riduzione di materiale impiegato.
- ◆ il saper fare resistente, contribuendo all'irrigidimento della struttura.
- ◆ la relazione tra instabilità visiva e stabilità effettiva.
- ◆ la tensione, proprietà meccanica che fa da collante alle caratteristiche elencate sopra.

Riassunti nel grafico nella pagina seguente.

Ognuno delle proprietà, appena descritte, possono essere collegate l'una all'altra: il saper far leggero e la sua conseguente riduzione di materiale impiegato crea una sensazione visiva di instabilità, il ridurre il materiale comporta per il buon funzionamento che sia resistente, questa caratteristica si collega alla tensione, tipologia di irrigidimento che riporta il prodotto ad una stabilità effettiva. In questa

sezione, comunque ho scollegato e preso queste proprietà spiegandole individualmente. Questi aspetti hanno da sempre influito e tutt'ora influiscono nel design. Ho introdotto, così, queste caratteristiche con alcune citazioni, mirate sul tema, di designer influenti sul mondo del design. Ad ogni designer ho allegato una proprietà: a Renzo Piano, architetto italiano, la leggerezza; a Gillo Dorfles, critico d'arte e filosofo italiano, la resistenza; a Franco Albini, anche lui architetto italiano, la teoria sull'instabilità visiva e la stabilità effettiva; a Bruno Munari, artista e designer italiano, il tema della tensione, in quanto, in tutte le sue produzioni si possono annoverare studi su questo particolare tema, testimoniate dalle sue strutture in tensione degli anni trenta. Ho, infine, individuato un oggetto symbol che identifichi e caratterizzi pienamente una caratteristica tra quelle individuate. Ho così, proseguito nella selezione di questi prodot-

ti, accoppiandoli con le relative proprietà: il saper far leggero è rappresentato dalla Superleggera di Gio Ponti, simbolo intramontabile di eccellenza della leggerezza: pesa appena 1,7 kg e si solleva con un dito.

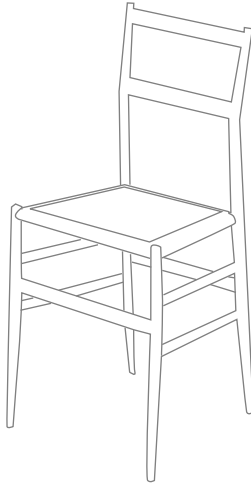
Il saper fare resistente è rappresentato dalla texture prodotta sulla lattina progettata da Kioro Miura, ingegnere aerospaziale. Questa lattina ancora chiusa, ha un aspetto cilindrico, ma una volta aperta, la riduzione della pressione interna, permette alla pelle metallica di assumere una conformazione poliedrica a diamante, che ne consente una facile piegatura una volta dismesso. La resistenza è insita nel fatto che grazie a queste pieghe l'alluminio risulta irrigidito, utilizzando, una minor dispendio di materiale impiegato.

L'instabilità visiva e la stabilità effettiva sono state rappresenta-

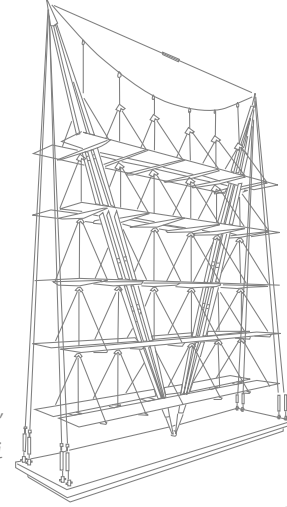
te da un unico progetto: "Clay tables" Marteen Bass: designer olandese, l'effetto dei suoi mobili che sembrano sciogliersi come pongo nascondono, invece, la loro reale solidità.

Per rappresentare la tensione, invece, ho scelto Veliero di Franco Albini: I materiali sono tesi e forzati al massimo. Questa originale libreria tensostrutturata viene spesso letta come una delle più alte espressioni della poetica delle strutture tese. Il mio elaborato di tesi mira a fondere queste quattro tematiche alla ricerca di un nuovo scenario.

fare leggero - ridurre il materiale

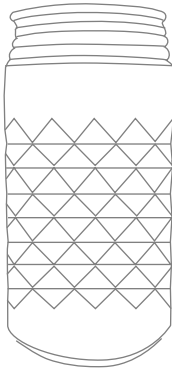


*"Superleggera"*  
Gio Ponti



*"Veliero"*  
Franco Albini

fare resistente - irrigidire



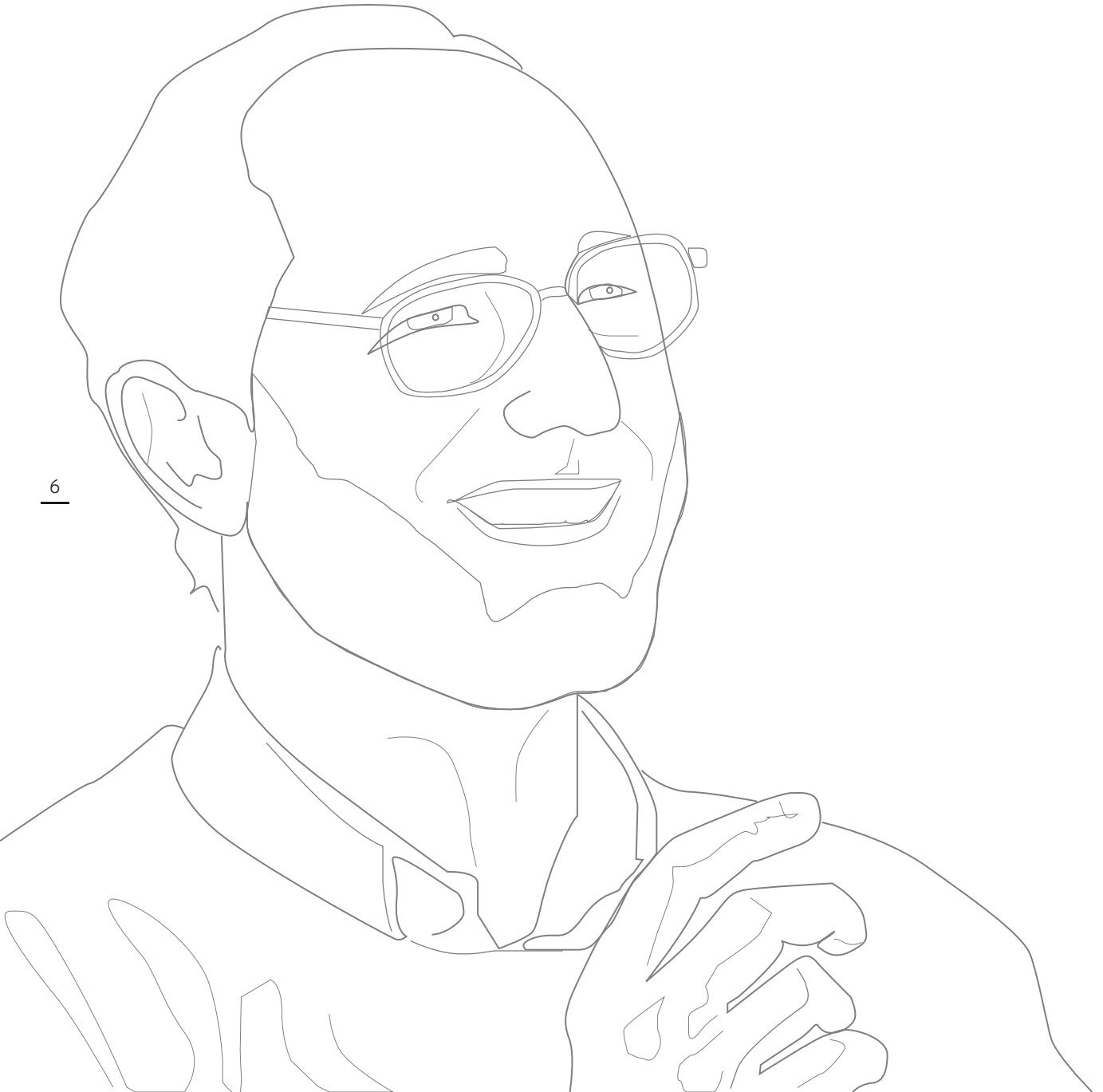
*"design texture"*  
Kyo-ro Miura



*"Clay tables"*  
Marteen Bass

instabilità visiva - stabilità effettiva

tensione





“

Bisogna sempre avere l'ansia di sperimentare, togliere il più possibile,  
finchè non ti casca tutto per terra

”

Renzo Piano

# fare leggero

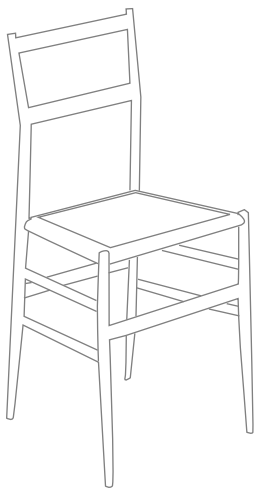
8

“La ricerca costante di una “leggerezza” nelle strutture architettoniche è stata sempre per me molto importante. È l’idea dell’architettura come arte per sollevare immense superfici di suolo, sotto le quali lasciare fluire l’imprevedibile movimento della vita quotidiana. Può darsi che nei miei lavori questa ricerca sia leggibile al punto da diventare quasi un requisito linguistico riconoscibile. Non sta a me dirlo. Ma c’è un altro modo, più prosaico, per intendere l’idea di leggerezza, che ha a che vedere con il liberarsi del superfluo. Buttare via il superfluo”.

Un milione e mezzo di lire per ogni chilo di meno: è il prezzo, che secondo uno studio francese riferito al 1985 (Euroconsult, “Etude sur l’allègement des produits industriels”) l’industria aereospaziale è disposta a pagare per ridurre il peso di un satellite. La tendenza a trovare soluzioni più leggeri negli oggetti è infatti, antica quanto la storia della tecnica. La diminuzione del peso degli utensili preistorici di selce, rappresenta, secondo Leroy-Gourhan, un indicatore del livello tecnico. In generale, -aumentare la quantità di prestazioni ottenuta da una data quantità di materia.

-ridurre la quantità dei materiali occorrenti per ottenere una data prestazione. Risponde ad una tendenza economica elementare che, è sempre stato presente nell’attività tecnica. Vi sono oggetti nei quali predomina il rapporto con un sistema linguistico: il trono del re non nasce da problemi funzionali, ma da esigenze di comunicazione; deve essere imponente e quindi deve essere (o almeno apparire) pesante. L’equazione “peso = importanza”, non è uguale in tutte le culture: una cultura nomade produce forzatamente un sistema di oggetti trasportabili e leggeri, e su questo costruisce i significati; altre

culture, come ad esempio la struttura giapponese, ha prodotto una raffinata cultura del leggero. Ma nella cultura europea il valore del peso (= qualità, durata, solidità, sicurezza) è stato raramente negato, ed ha lasciato un segno profondo sulla qualità dell'ambiente materiale. Esistono oggetti che si alleggeriscono nella sostanza, senza però mostrarlo perché un codice linguistico profondamente radicato, gli impone ancora l'"immagine del peso".



*"Superleggera"*  
Gio Ponti

introduzione ripresa da:

ABITARE - Novembre 2009  
Architettura "Facciamo cose che fanno città"  
Intervista a Renzo Piano



“ Come non riconoscere che la forma è sorta dal binomio materia-funzione?

”

# fare resistente

12

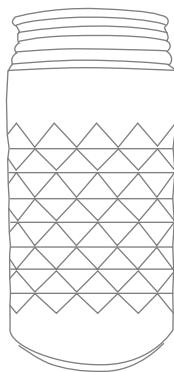
Fare il più con il minimo stipendio di energia e materiali. Questo concetto è reso possibile analizzando e studiando la forma più congegnale che l'oggetto finale deve assumere. Il materiale non cambia né in qualità, né in quantità: la proprietà della rigidità dipende maggiormente da un fattore di forma.

Una piegatura in senso longitudinale fatta su un foglio di carta, trasforma un oggetto flessibile in una struttura dotata di una certa rigidità. Il materiale non cambia né in qualità, né in quantità: la rigidità dipende da un fattore di forma. L'oggetto, da me scelto, per rappresentare questa caratteristica è la texture progettata da Kyoro Miura, ingegnere aerospaziale, prodotta sulle lattine. Questa lattina ancora chiusa, ha un aspetto cilindrico, ma una volta aperta, la riduzione della pressione interna, permette alla pelle metallica di assumere una conformazione poliedrica a diamante, che ne consente una facile piegatura una volta dismesso. La resistenza è insita nel fatto che, grazie a queste pieghe, l'alluminio risulta irrigidito, utilizzando, una minor dispendio di materiale impiegato. Su di una

singola lattina, il risparmio di materiale appare ininfluenza, ma su larga produzione la quantità diventano assai importanti. Kyoro Miura, ingegnere aerospaziale, progettista, ricercatore e pioniere dell'applicazione scientifica dell'Origami, ha da sempre, nella sua attività, ricercato e studiato i materiali e il poter ottimizzare al meglio le forme strutturali, ottimizzando i volumi dei corpi, mantenendo la resistenza necessaria ad assolvere la funzione per cui essa è stata progettata e ridurne considerevolmente la quantità di materiale impiegato e di conseguenza i relativi sprechi. Kyoro Miura, come altri designer si ispirano alla natura che progetta e crea da sempre, oggetti resistenti, attenti all'economia: lo scarto non esiste, ed è un input per la realizzazione-funzionamento di altro,

così deve essere nel design e nell'edilizia. La natura guarda all'ergonomia: basta osservare la natura (soprattutto con i nuovi strumenti tecnologici) per capire come sia perfetta, autonoma, e risolve i problemi senza cercare altro da sé. La resistenza è un elemento importante nella progettazione, ne consegue il suo ottimale funzionamento. La sfida da condurre, però, è quella di ottenere la stessa resistenza utilizzando meno materiale, fare il più con il meno senza andare ad intaccarne la resistenza. Questo è lo scopo che mi sono prefissa di raggiungere in questo elaborato di tesi.

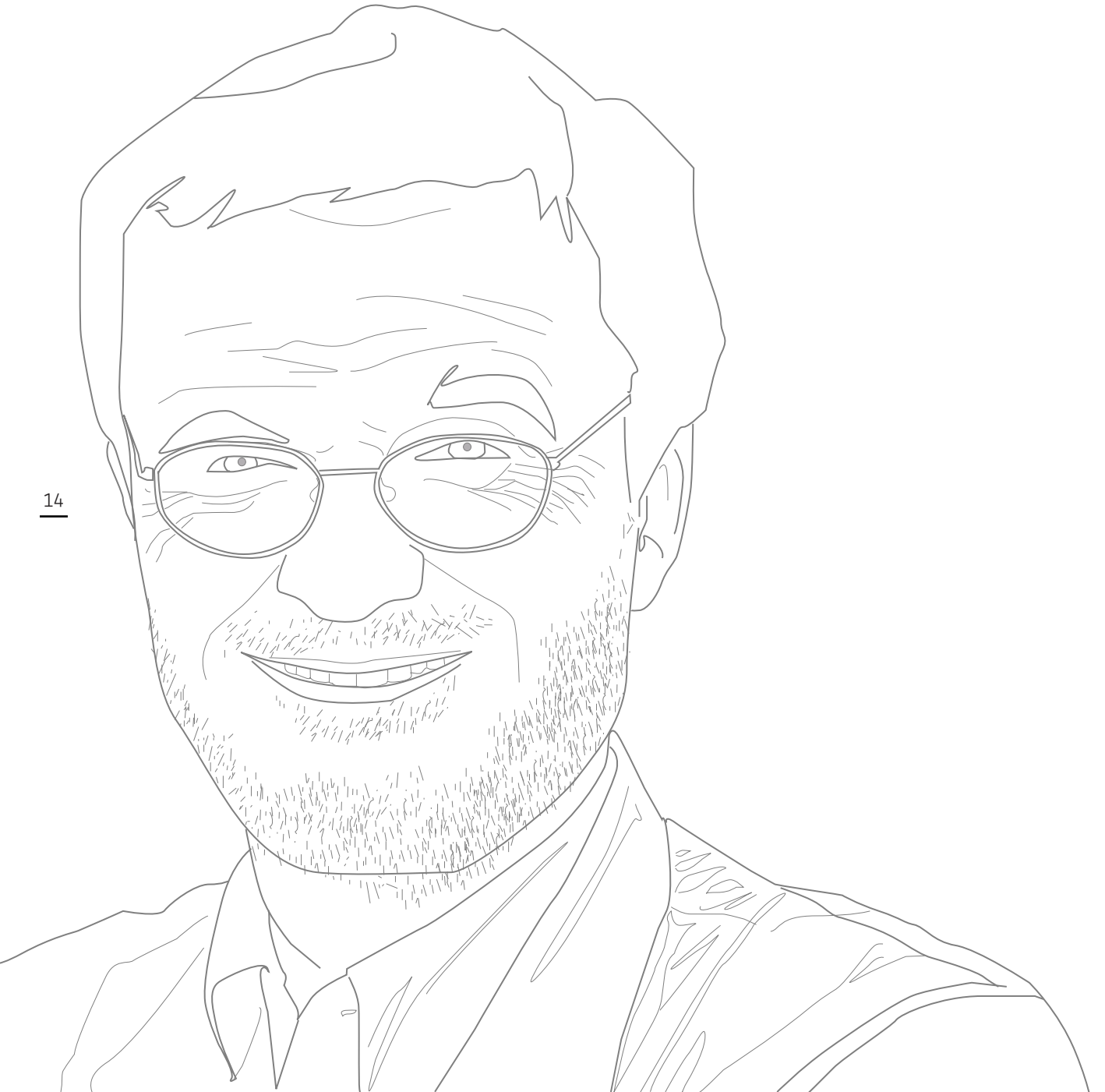
*"design texture"*  
Kyoro Miura



"come non riconoscere che la forma è  
sorta dal binomio materia - funzione?"

Gillo Dorfles





“

tra instabilità visiva e stabilità effettiva,  
tra il movimento virtuale e la stasi

”

Franco Albini

# in-stabilità

16

“La struttura viene denunciata in tutta la sua scarna essenzialità ove la sezione del materiale usato è ridotta al limite delle proprie possibilità.”[...]“Leggerezza fisica legata al peso, leggerezza visiva legata alla percezione.”

*Postulato di Franco Albini*

Nell'ambito del design molti oggetti stupiscono per la loro capacità di resistere alle forze a cui sono sollecitati, assolvendo alla funzione per cui sono stati progettati, ingannando percettivamente la loro stabilità. La visione complessiva di questi oggetti suggerisce precarietà, instabilità. L'oggetto più rappresentativo da me scelto per questa proprietà, sono la serie di mobili Clay di Marteen Baas, presentati al Salone del Mobile 2006. L'arredamento che lui immagina, è costituito da una struttura metallica ricoperta di color argilla sintetica modellata a mano. Tutti i pezzi sono unici e sembrano sfidare le regole del design funzionale: appaiono instabili, tracce portanti della modellazione

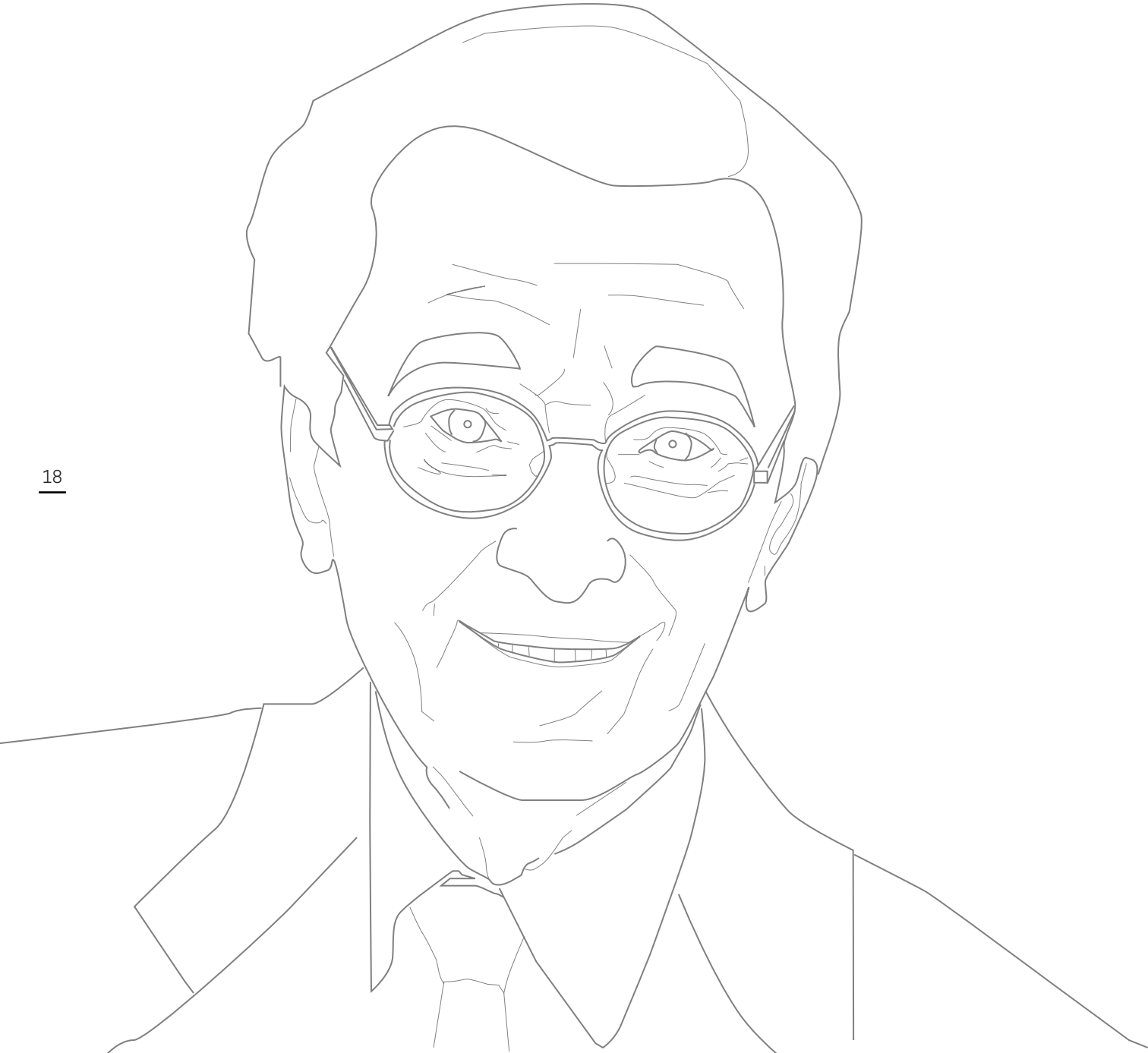
e in proporzioni insolite, come se fossero viste da uno specchio deformante. Percettivamente tutto è precario, nulla è solido e stabile. Nel mondo del design, esistono diversi approcci per manifestare lo stato di instabilità. Per quanto riguarda la mia tesi, è da ricercarsi nella relazione tra la quantità di materiale impiegato e la percezione instabile che ne sussegue. Vi sono oggetti nei quali predomina il rapporto con un sistema linguistico: il trono del re non nasce da problemi funzionali, ma da esigenze di comunicazione; deve essere imponente e quindi deve essere (o almeno apparire) pesante e resistente. L'equazione peso - stabilità - importanza, non è uguale in tutte le culture. A differenza della

cultura giapponese, nella cultura europea il valore della stabilità effettiva e del peso indica qualità, durata, solidità, sicurezza. Questo canone estetico-linguistico, ha lasciato un segno profondo nella nostra cultura. Gli oggetti si alleggeriscono nella sostanza, ma rimane, comunque, radicata nella nostra cultura, l'immagine della stabilità", simmetrica e solida. Gli oggetti che svelano e che dimostrano, purchè ingannando, un'immagine complessiva instabile, non sono accettati o facilmente metabolizzati dalla nostra cultura. Ma, ritengo che un oggetto che sia in grado di sorprendere, all'apparenza instabile e precario ma effettivamente stabile, crei aspettative e legami più stretti con le persone. La perfezione non esiste, ed il "difetto" di apparire instabile, avvicina l'oggetto al mondo terreno. La stabilità è intrinseca all'oggetto, non viene mostrata, ma svelata utilizzandola. Una conoscenza progressiva. Concludendo, la natura del materiale e la sua quantità impiegata, at-

tribuiscono alle strutture percezioni di instabilità o di instabilità. Leggerezza fisica legata al peso, leggerezza visiva legata alla percezione. Instabilità visiva - stabilità effettiva.



*"Clay tables"  
Marteen Bass*



“

Io la forma non l'ho mica disegnata, è  
venuta fuori con la tensione ed il peso

”

Bruno Munari

# tensione

20

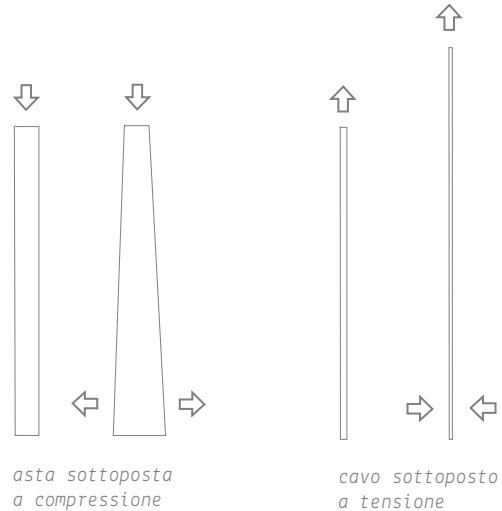
Parlare di tensione significa trattare con tutte quelle soluzioni strutturali che permettono una ripartizione più omogenea del carico, ossia di quel complesso di forze gravanti sulla costruzione, e di conseguenza la possibilità di costruire oggetti più snelli senza compromettere la stabilità. La tensione costituisce la risposta alle esigenze di ottenere un carico ripartito delle componenti del peso, ovvero di fare in modo che la forza sia ripartita uniformemente su tutta la superficie.

Un'asta sottoposta a compressione alle due estremità aumenta di sezione al centro e la struttura si indebolisce. Aumentando il carico l'asta diventa sempre più debole. Viceversa, sottoponendo un cavo a tensione, la sua sezione trasversale si riduce e gli atomi sulla superficie sono più uniti. Il legame tra gli atomi diventa più forte e all'inizio il cavo diventa più forte. Il cavo si indebolisce se è teso oltre il limite della sua resistenza. I materiali tensionabili diventano progressivamente più robusti aumentando il carico, superato il loro carico massimo diventano deboli. In termini strutturali e meccanici, per spiegare cos'è la tensione bisogna prima introdurre

il concetto di sforzo e deformazione. Lo sforzo non è una grandezza effettivamente misurabile, ma solo un'astrazione elaborata per facilitare il compito al progettista. Lo sforzo è valutato come rapporto tra la forza agente e la sezione resistente. Un corpo soggetto a delle forze subisce una variazione di dimensioni (allungamento, accorciamento..). La deformazione, quindi è il rapporto tra l'allungamento subito e la lunghezza iniziale. Sono quattro i casi limite di applicazione di sforzo e conseguenti deformazioni:

- trazione e compressione
- taglio
- flessione





-torsione

Mi limiterò ad esaminare solo il caso di trazione e compressione in quanto l'unico caso che interessa in questo elaborato di tesi. Siamo nel caso di trazione e compressione se un oggetto è sollecitato da due forze esterne (o più spesso da una forza e una reazione vincolare) di uguale modulo, applicate nella stessa direzione, ma con verso opposto. Se il corpo tende ad allungarsi nella direzione della forza si parla di deformazione di trazione. Se il corpo tende ad accorciarsi nella direzione della forza si parla di deformazione di compressione. Per valutare le condizioni di sollecitazioni bisogna, in primo luogo, valutare le azioni interne che agiscono in questa situazione, definire lo sforzo e la deformazione, infine verrà analizzata la relazione che lega lo sforzo alla deformazione: legge di Hooke o Modulo di Elasticità. Questo legame sforzo -deformazione di calcola in questo modo: lo sforzo è uguale a d il modulo

di elasticità o di Young per la deformazione, al contrario per calcolare la deformazione si deve dividere lo sforzo per modulo di elasticità o di Young. Ogni materiale è caratterizzato da uno specifico valore del Modulo di Elasticità  $E$ . La legge di Hooke, che lega lo sforzo alla deformazione, è estremamente importante, in quanto permette:

- noto il modulo di elasticità corrispondente al materiale utilizzato ( $E$ ) e la deformazione subita del materiale, di calcolare lo sforzo necessario (sforzo=Modulo di Elasticità per deformazione)
- noto lo sforzo applicato e la deformazione subita dal materiale, calcolare il modulo di elasticità del materiale utilizzato utilizzando la formula sforzo diviso deformazione.
- noto lo sforzo applicato ed il modulo di elasticità del materiale utilizzato, calcolare la deformazione che l'oggetto subisce tramite la formula sforzo fratto Modulo di Elasticità.

L'unità di misura utilizzata è in Mega-Pascal ( nelle tabelle dei manuali spes-

so però è riportata la misura in GigaPascal). 1 GigaPascal equivale a 1000 MegaPascal. Maggiore è il Modulo di Elasticità del materiale, minore è la deformazione che il materiale subisce a parità di sforzo agente. La conoscenza del Modulo di Elasticità con cui è realizzato un manufatto è fondamentale per prevedere il suo comportamento meccanico in esercizio. Per scegliere il materiale più conforme al nostro progetto devono quindi esser note:

- le forze di trazione e compressione
- le dimensioni della sezione a cui gli vengono applicate le forze di trazione e compressione
- la massima variazione di forma, nel caso specifico di trazione e compressione allungamento o accorciamento

Nella scelta del materiale due sono le caratteristiche che bisogna che siano verificate:

- il materiale deve essere resistente; cioè la sua resistenza intrinseca (sforzo critico) deve essere superiore allo sforzo agente.
- il materiale deve esser rigido; cioè il suo

modulo di Elasticità deve essere sufficientemente alto da determinare un allungamento inferiore a quello massimo di progetto. In questo caso le formule che si applicano in queste condizioni sono le seguenti:

$$\sigma_{\text{critico}} > \frac{F}{A_0}$$

$$E > \frac{F \cdot L_0}{A_0 \cdot \Delta L}$$

dove:

$\sigma_{\text{critico}}$	= sforzo critico (minimo)	MPa
$E$	= modulo di elasticità (minimo)	MPa
$F$	= forza agente	N
$A_0$	= sezione iniziale	mm <sup>2</sup>
$L_0$	= lunghezza iniziale	mm
$\Delta L$	= variazione di forma (di progetto)	mm

**ricerca**

In questa sezione di ricerca, abbandonando momentaneamente le tre tematiche: far leggero, far resistente, instabilità visiva e stabilità effettiva, ho analizzato approfonditamente il concetto di tensione. Nell'ambito della tensione ho approfondito con uno sguardo a 360°, il significato che viene attribuito a questa parola. Ho esplorato, la tensione in tre ambiti: la tensione nella natura , la tensione nell'arte e la tensione nell'architettura. In seguito ho esaminato il campo relativo al design. Anche, in questo caso, ho suddiviso questo ambito in tre sottocapitoli: la tensione pneumatica, le membrane tese e la tensione che caratterizza le strutture strallate. Quest'ultima, analizzata più nel dettaglio è l'ambito da me scelto e sviluppato in questo elaborato di tesi, e raccoglie una catalogazione di oggetti di design studiati durante tutto l'arco della ricerca.

In questo capitolo di tesi mi soffermo sull'ambito della tensione, esplorandola a 360°. La tensione, soluzione adottata e ricca di richiami nell'architettura, nel design è un tema ancora tutto da scoprire e da coltivare.

Partendo dal grafico descritto nel precedente capitolo, ho deciso di concentrarmi sull'ambito della tensione, adottata come metodologia per irrigidire i materiali impiegati. L'attenzione verso questo campo non è casuale, a differenza dell'architettura dove questo tema è molto trattato e studiato grazie anche all'avvento delle tensostrutture, nel campo del design non ci sono riferimenti ampi, ed anche se le problematiche sulla riduzione di materiale impiegato (e conseguente uso di energia e dismissione), sfruttare al meglio le proprietà dei materiali, sono le stesse, pochi sono i prodotti e gli artefatti che utilizzano la tensione come metodologia progettuale. La tensione è da sempre presente nella natura, da qui molti architetti ne hanno preso spunto ma il design ne è rimasto fuori. Eppure la piccola scala in cui il design andrebbe ad

operare, a differenza dell'architettura, faciliterebbe la produzione e la conseguente distribuzione di questi artefatti. Probabilmente, la motivazione si potrebbe ricondurre alla nostra cultura occidentale, che a differenza di quella orientale, dove la leggerezza è insita nella loro cultura, noi predileghiamo artefatti massicci che rievocano sensazioni di qualità, sicurezza, stabilità e durabilità. Un codice linguistico profondamente radicato, impone ancora, tutt'oggi, l'"immagine del peso". Ma in un periodo storico, dove il tema della sostenibilità fa da protagonista, pensare alla tensione come metodo per poter ridurre la quantità di materiale impiegato senza, in nessun modo, interferire sulla funzione e la resistenza dell'artefatto, potrebbe suggerire una nuova soluzione.

fare leggero - ridurre il materiale

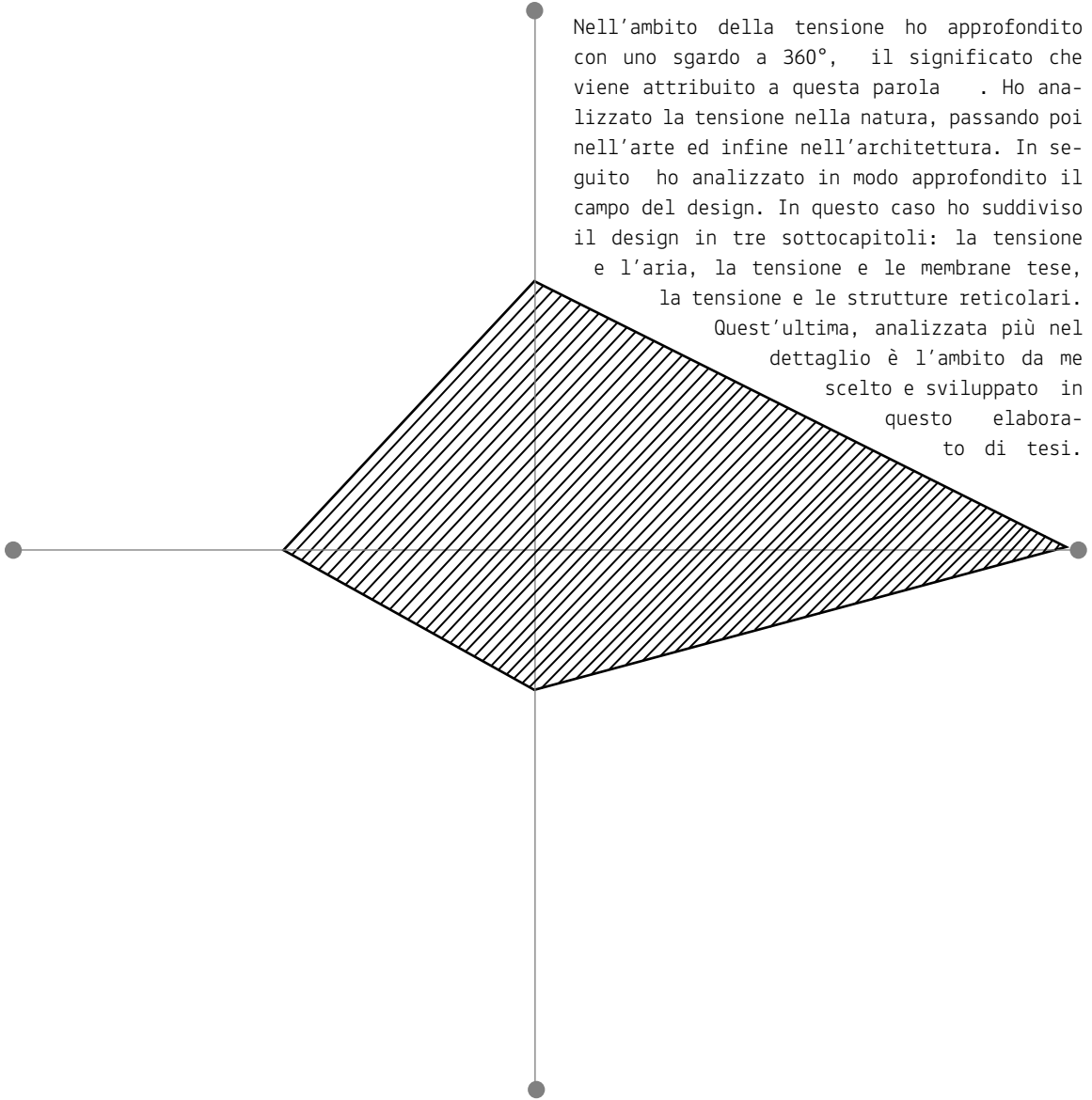
fare resistente - irrigidire

26

Nell'ambito della tensione ho approfondito con uno sguardo a 360°, il significato che viene attribuito a questa parola. Ho analizzato la tensione nella natura, passando poi nell'arte ed infine nell'architettura. In seguito ho analizzato in modo approfondito il campo del design. In questo caso ho suddiviso il design in tre sottocapitoli: la tensione e l'aria, la tensione e le membrane tese, la tensione e le strutture reticolari. Quest'ultima, analizzata più nel dettaglio è l'ambito da me scelto e sviluppato in questo elaborato di tesi.

tensione

instabilità visiva - stabilità effettiva



La tensione, viene visualizzata con uno sguardo più allargato, partendo da una microscala invisibile, passando ad una scala intermedia tangibile ed infine attraverso una macroscala planetaria.

La tensione, può essere visualizzata, con uno sguardo più allargato, nella micro, media e macro scala.

Alla scala microscopica (atomi, virus,...), la natura utilizza la tensione in modo continuo e la compressione in modo discontinuo. La materia acquista sostanza quando l'energia viene organizzata in schemi di forze attrattive o repulsive. L'atomo è costituito dalla forza centrifuga degli elettroni in movimento negli orbitali bilanciata dalla forza di attrazione del nucleo. Tutte le forze corrispondono in un equilibrio dinamico che determina la fisionomia dell'intero sistema.

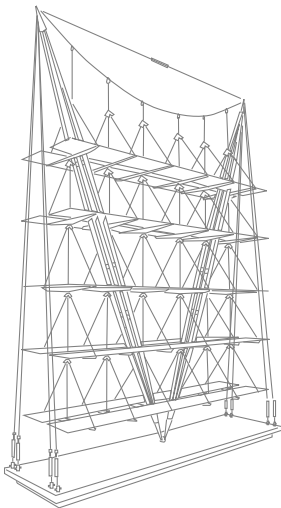
Ad una scala intermedia si colloca la dimensione reale delle cose a noi visibili e tangibili.

Alla macroscala, cioè alla scala astronomica, le forze di attrazione e repulsione determinano

la forma della nostra galassia. Keplero, indicò la relazione tensionale del sistema solare, malgrado l'enorme distanza tra i corpi celesti. Il sistema solare contiene la forza centrifuga dei pianeti trattenuti nelle loro orbite dalla forza di gravità esercitata dal sole.

In definitiva, le strutture, a partire dalla micro per poi passare all'intermedia ed alla macro scala mantengono la loro forma grazie all'equilibrio esistente tra forze tensili continue e forze compressive discontinue. Per citarne qualcuno: L'atomo di carbonio, la molecola dell'acqua, le proteine in generale, le cellule, i tessuti, gli esseri umani e tutte le creature viventi usano il principio della tensione (minimo sforzo per massimo rendimento).

*"Veliero"*  
Franco Albini



tensione



tensione in natura

tunicati  
ragnatela  
scheletro foglia  
ali di pipistrello

tensione nell'arte

Bruno Munari  
Kenneth Snelson  
Needle tower

tensione in architettura

Millennium Dome  
Bigo  
Waldstadion  
Olympia stadion  
Milwaukee Museum  
Ponti di Calatrava  
Kurilpa bridge

# tensione in natura

30

La natura si costituisce per la maggior parte di strutture che sfruttano al meglio il principio della tensione, cioè minimo sforzo per massimo rendimento.

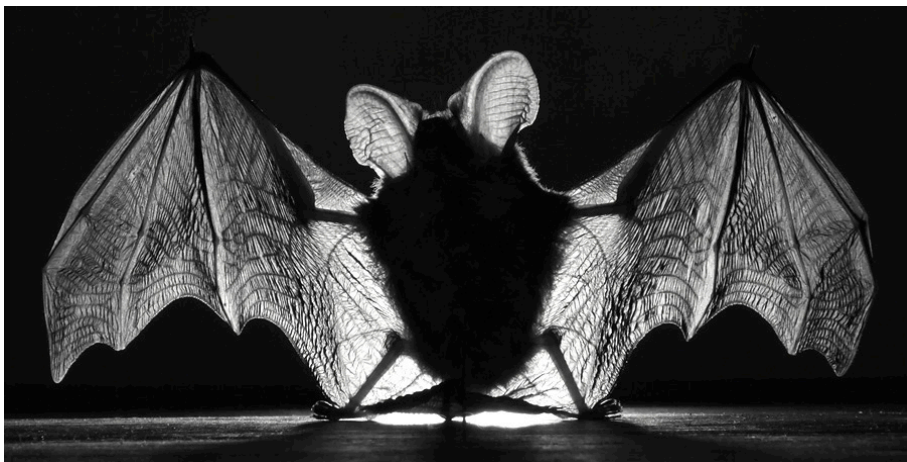
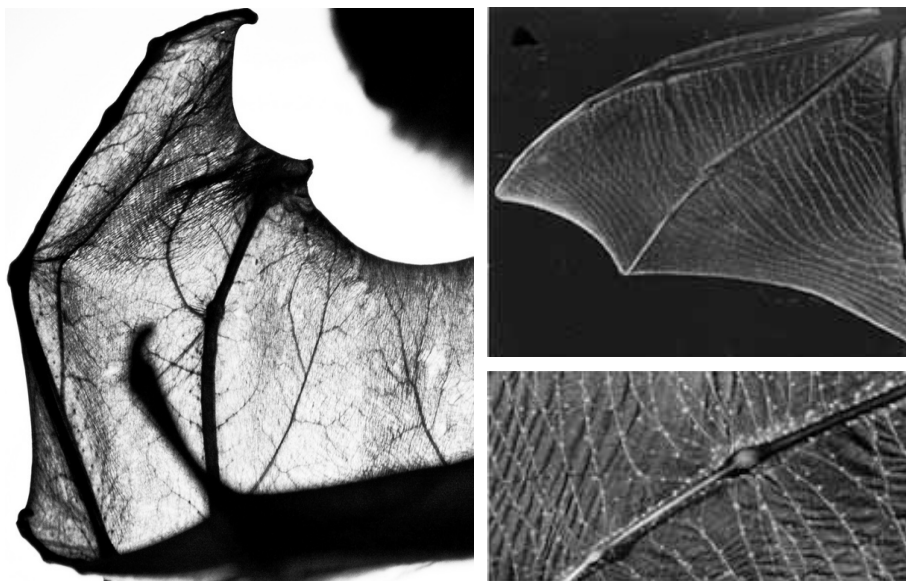
Nel 1960 nacque l'idea che la tecnica delle costruzioni leggere trovasse le sue origini nella struttura del mondo naturale, le sue leggi, le condizioni ed i motivi di nascita e di sviluppo di tutte le forme naturali. La natura si costituisce per la maggior parte di strutture in tensione: le ossa degli uccelli sono formate da una parte esterna sottile e compatta irrigidita da una parte interna cellulare; il legno è una combinazione tra fibre resistenti di cellulosa e una matrice plastica, la lignina. La natura, ogni volta che una pressione genetica ha spinto verso la combinazione di leggerezza e resistenza meccanica, ha prodotto "soluzioni tecniche" caratterizzate per lo più da materiali complessi e compositi. A confronto con le strutture naturali, la tecnica degli uomini appare come un insieme di soluzioni

assai rudimentali; e tuttavia assistiamo ad un progressivo avvicinamento tra le soluzioni trovate dalla natura e quelle trovate dalla cultura. "fare leggero e resistente". Dal trilito alle attuali strutture dei compositi a fibra continua è evidentissimo un duplice processo: i materiali impiegati sono sempre più lontani da ciò che è dato in natura, e contemporaneamente la strategia tecnica è sempre più prossima alle strade imboccate dalla natura. Attraverso l'affinamento dei materiali e degli strumenti di calcolo si è giunti oggi, sulla scia delle soluzioni naturali, a realizzare strutture leggere e resistenti in cui i materiali sono distribuiti nel modo più opportuno. Progettare in modo naturale significa produrre all'interno delle stesse regole della natura: . minimizzazione dei tempi

- . minimizzazione dei costi
- . minimizzazione della materia prima
- . risparmio di energia

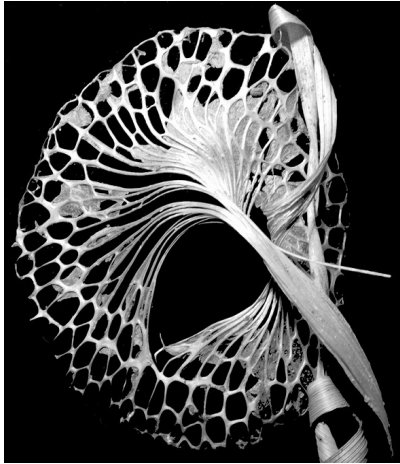
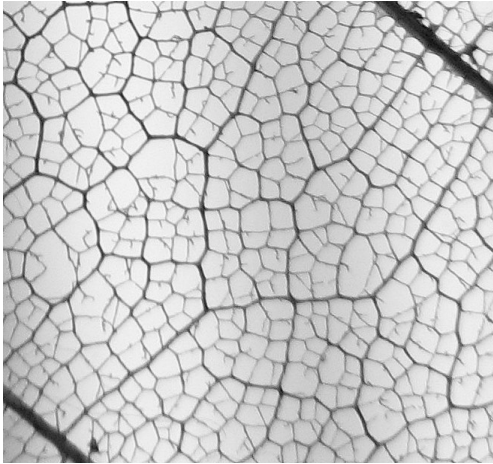
Le soluzioni tecniche più antiche sono imperniate in larga misura su strategie (a volte rudimentali, a volte ingegnosissime) di utilizzo del peso, cioè dalla proprietà più ovvia e immediatamente sensibile dei materiali impiegati. L'evoluzione della tecnica ha portato, oggi, sulla scia delle soluzioni naturali, a realizzare strutture leggere e resistenti in cui i materiali sono distribuiti nel modo più opportuno, producendo anisotropie controllate, specializzando ogni punto secondo necessità. Il "far leggero e resistente" va inteso superando le tradizionali divisioni di competenze tra il chimico (che si occupa delle proprietà del materiale) ed il progettista (che si occupa della forma del manufatto). Il problema va affrontato nel suo insieme e deve essere espresso in termini di forma: forma dell'oggetto; forma della macrostruttura del materiale (cioè

disposizione delle sue anisotropie e disomogeneità interne), forma della microstruttura del singolo materiale componente (disposizione spaziale e qualità dei legami atomici e molecolari).



## Ali di pipistrello

*le ossa degli uccelli, e più in particolare del pipistrello, sono formate da una parte esterna sottile e compatta irrigidita da una parte interna cellulare.*



## Scheletro foglia

*Struttura tesa della foglia. Leggera e resistente, lo scheletro della foglia è composta da tantissime strutture tese che mantengono in tensione la guaina (la struttura avvolgente)*

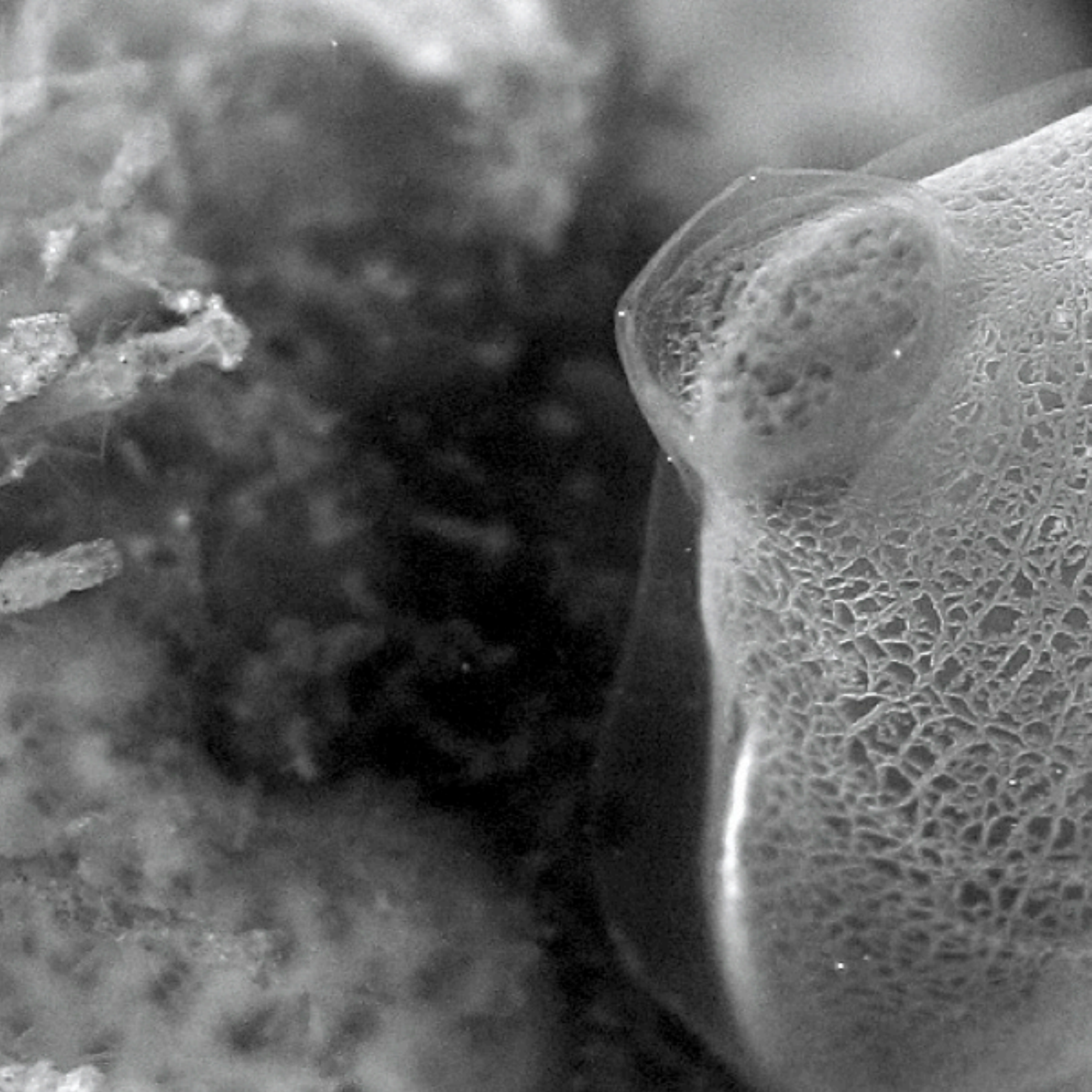




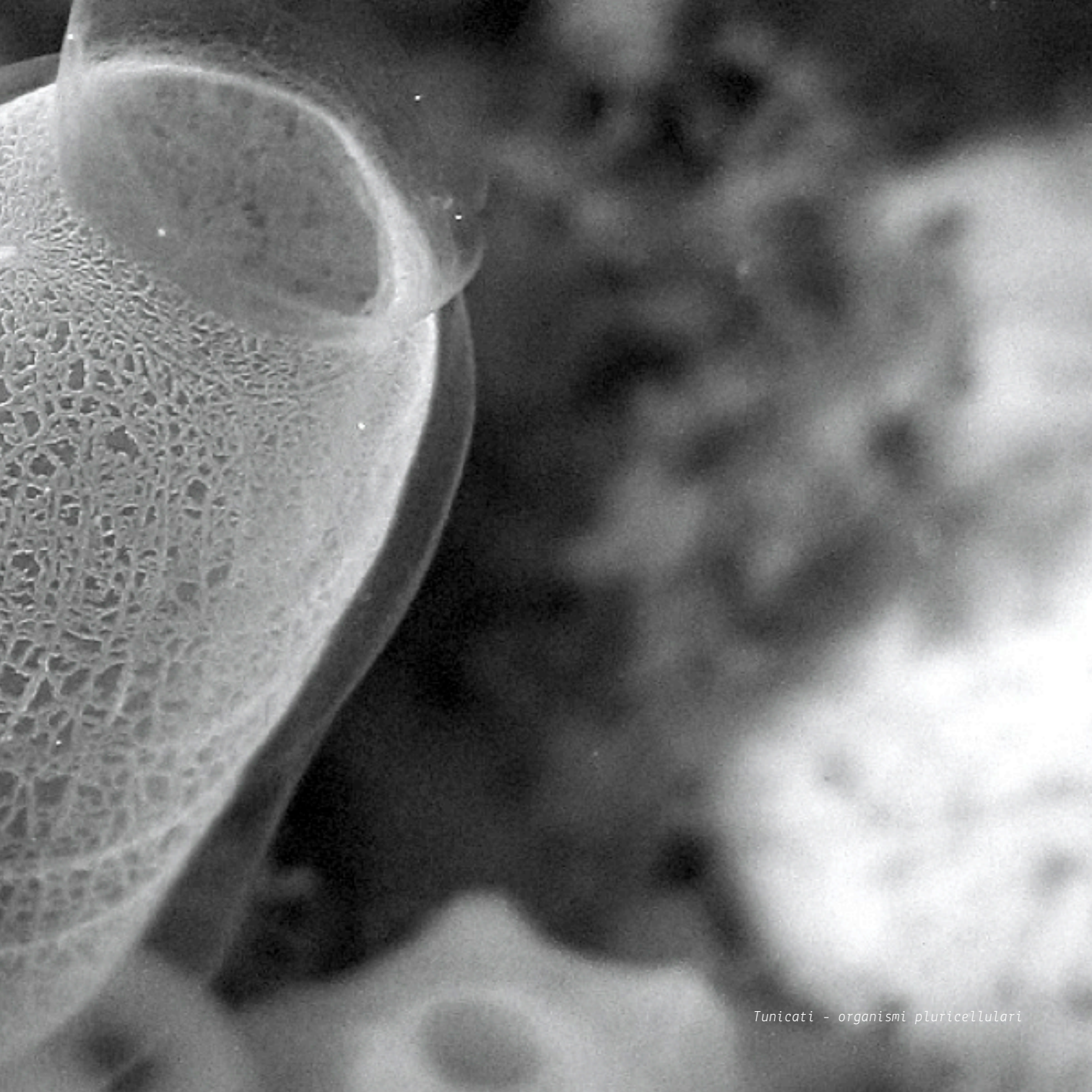


*Scheletro della foglia*

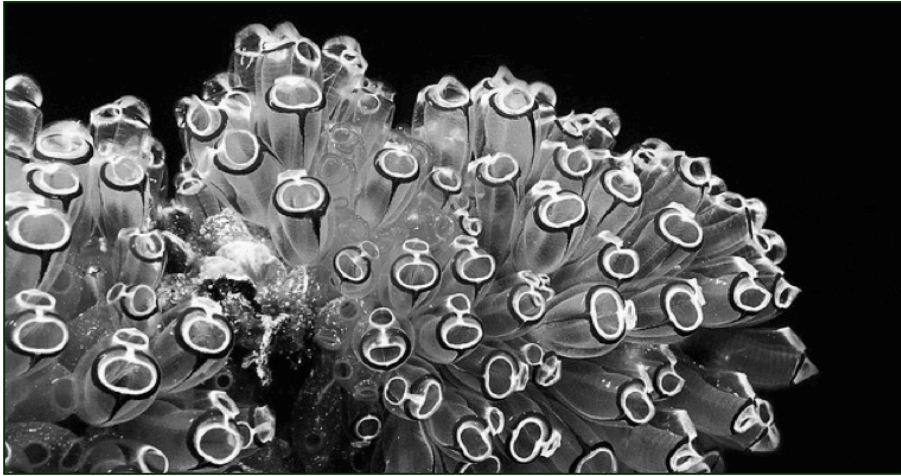






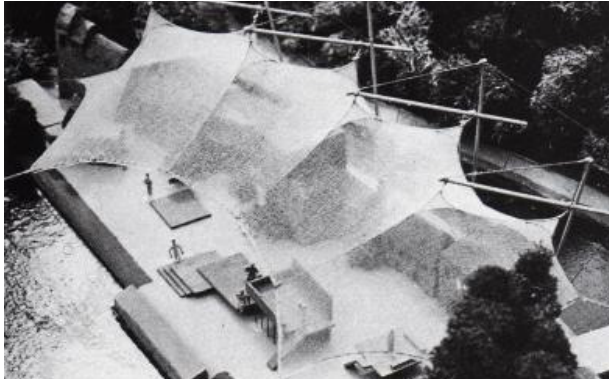


*Tunicati - organismi pluricellulari*



## Tunicati

*Il termine Tunicati deriva invece dal rivestimento del corpo, chiamato tunica. Il suo corpo è una sacca che si riempie gonfiandosi, in questo modo la tunica si tende.*



## Ragnatela

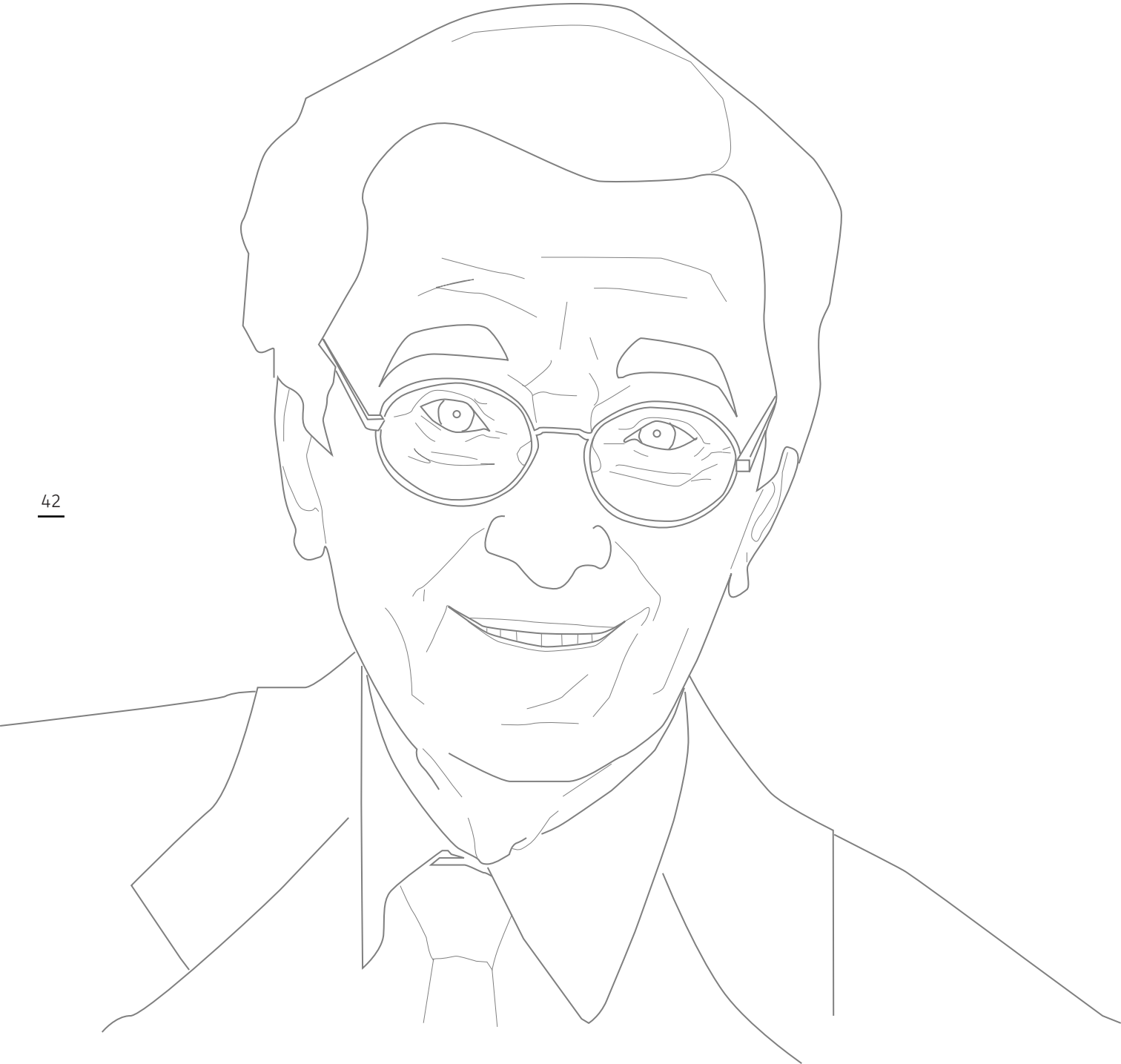
*Le ragnatele sono costituite da uno dei materiali più robusti al mondo, addirittura quattro volte più resistente dell'acciaio e tre volte più resistente del Kevlar. Non esistono, tutt'oggi, artefatti dotati di una simile combinazione di resistenza ed elasticità.*











“

“Due opposti stanno assieme e creano un corpo solido.  
La tensione si rivela nelle linee rette,  
la compressione nelle forme organiche.  
Gli elementi organici non si toccano fra loro,  
gli elementi in tensione collegano il tutto.  
Natura e geometria. Negativi-positivi a tre dimensioni.”

”

# tensione nell'arte

44

La tensione nell'arte è un insieme di sistemi in uno stato di auto-equilibrio stabile comprendenti una serie discontinua di componenti compresi all'interno di un continuum di componenti "tesi".

Negli anni trenta Munari ed altri artisti lavorano attorno all'idea delle strutture in tensione, sculture astratte in cui uno scheletro strutturale viene messo in tensione da fili. Negli anni '30 in Italia il mercato dell'arte è quasi inconsistente e gli artisti astrattisti in generale non godono di attenzioni favorevoli. L'esatto contrario di quanto accade oggi, in cui le ripetute attenzioni mediatiche trasformano giovani artisti in vere star mondiali. Per quanto riguarda la produzione di Munari, pur trattandosi di un'idea e di forme astratte innovative, è nello specifico molto limitata, rara e poco esposta. Munari lavora sulle forme che richiamano le tensostrutture: strutture definite per mezzo di un equilibrio di forze e assolvono una funzione di informazione estetica in quanto oggetto (scultura) che prima

non esisteva. Munari lavora inoltre, anche sulle deformazioni strutturali. Obiettivo di Munari è fornire una dimostrazione visiva di come certe forme irregolari siano ottenute per deformazione di strutture regolari, come nel caso appunto di una maglia rettangolare, messa in distorsione lungo alcune linee ben definite. Bruno Munari non abbandonerà mai durante il corso della sua vita la ricerca sulla tensione e sulla compressione. Tra Bruno Munari e d un altro artista Max Bill i rimandi sono molti, le ricerche molto affini, in costante sintonia. A partire dagli anni '60, un altro artista: Kenneth Snelson lavora sulla progettazione di strutture costruite con tubi metallici e cavi. La conoscenza e la stima tra i due artisti è documentata e reciproca. Le strutture di Snelson sono modulari, i tubi non si toccano e



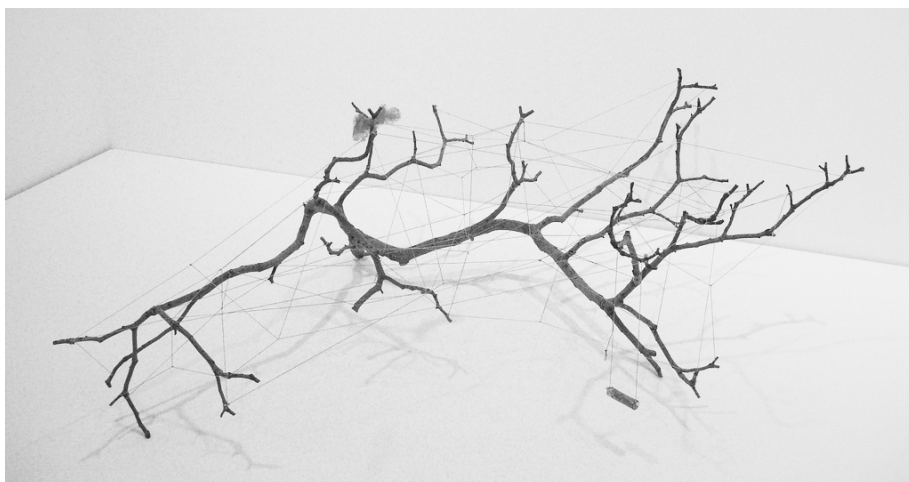
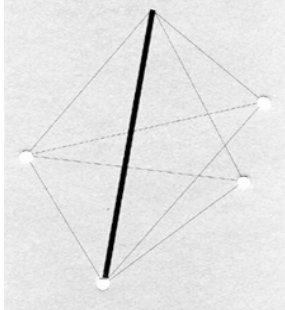
sono in compressione, i cavi forniscono tensione alla struttura solida geometrica che se ne ricava. Le sue sculture realizzate tramite l'uso di elementi flessibili erigidi seguono l'idea della "tensegrity", termine nato dalla combinazione di due termini: tensional e integrity e coniata nei primi anni '50 da R. Buckminster Fuller. Questo termine indica un principio strutturale basato sull'uso di componenti compressi all'interno di una rete di tensioni continue. Le sculture di Snelson, in apparenza fragili e leggere devono, invece, la loro forza e resistenza alla tensione, ottenuta attraverso una combinazione di spinte e forza contrarie, esercitata tra tubi rigidi e cavi. Queste sculture sfruttando le caratteristiche tecniche di resistenza dei materiali, assolvono uno dei principi fondamentali del design immateriale: "Less is More". Si possono così definire: "sistemi in uno stato di auto-equilibrio stabile comprendenti una serie discontinua di componenti compressi all'interno di un continuum

di componenti tesi". La particolarità di queste strutture, è data dal loro aspetto etereo e quasi magico, che in molti casi sembra sfidare le leggi di gravità, dando l'impressione di fluttuare nell'aria. Magicamente affascinati da queste "sculture", Fuller ed Emmerich, cercarono applicazioni in ambito costruttivo ed architettonico e tentarono anche di impostare il problema in termini geometrico/matematici. Fuller si concentrò sullo studio di cupole geodetiche tensegrali. Quando egli fu chiamato a realizzare la struttura geodesica dell'Expò di Montreal del 1967, il suo intento era quello di sfruttare il sistema tensegrale per la sua realizzazione, ma per motivi di tempo e budget dovette abbandonare l'idea a ripiegare su una struttura reticolare più tradizionale ma rimanendo comunque legato ai principi di questa tecnica: fare il più con il minimo stipendio di energia e materiali. flessibili.

prima mondiale alla Sincron  
 un nuovo **MUNARI**  
 in Tensione e Compressione.

Inaugurazione della XIV personale  
 di Bruno Munari alla Sincron  
 sabato 13 ottobre 1990 - ore 17

anno XXIV - mostra n. 168  
 orario galleria 16,30 - 20  
 tutti i giorni

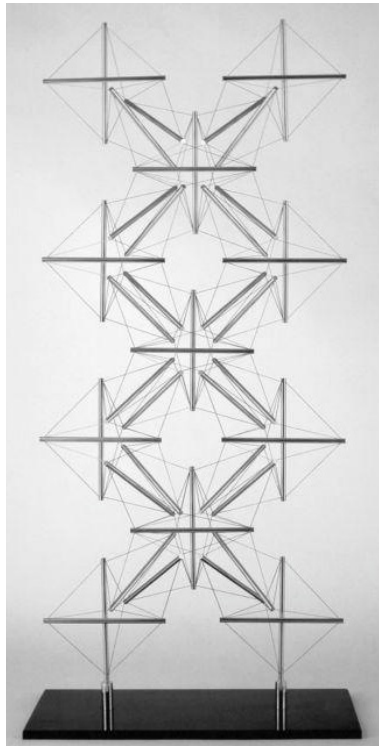
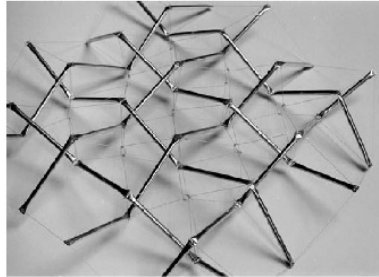


## Bruno Munari

IN ALTO A SINISTRA: Bruno Munari, dal cartoncino della mostra un nuovo munari, Galleria Sincron, 1990

IN ALTO A DESTRA: Bruno Munari, tensostruttura, 1907

IN BASSO: pubblicata sul catalogo della mostra Alta Tensione, Milano 1991



## Kenneth Snelson

*IN ALTO A SINISTRA: Kenneth Snelson seduto su una delle sue sculture*

*IN ALTO A DESTRA: Planar Weave*

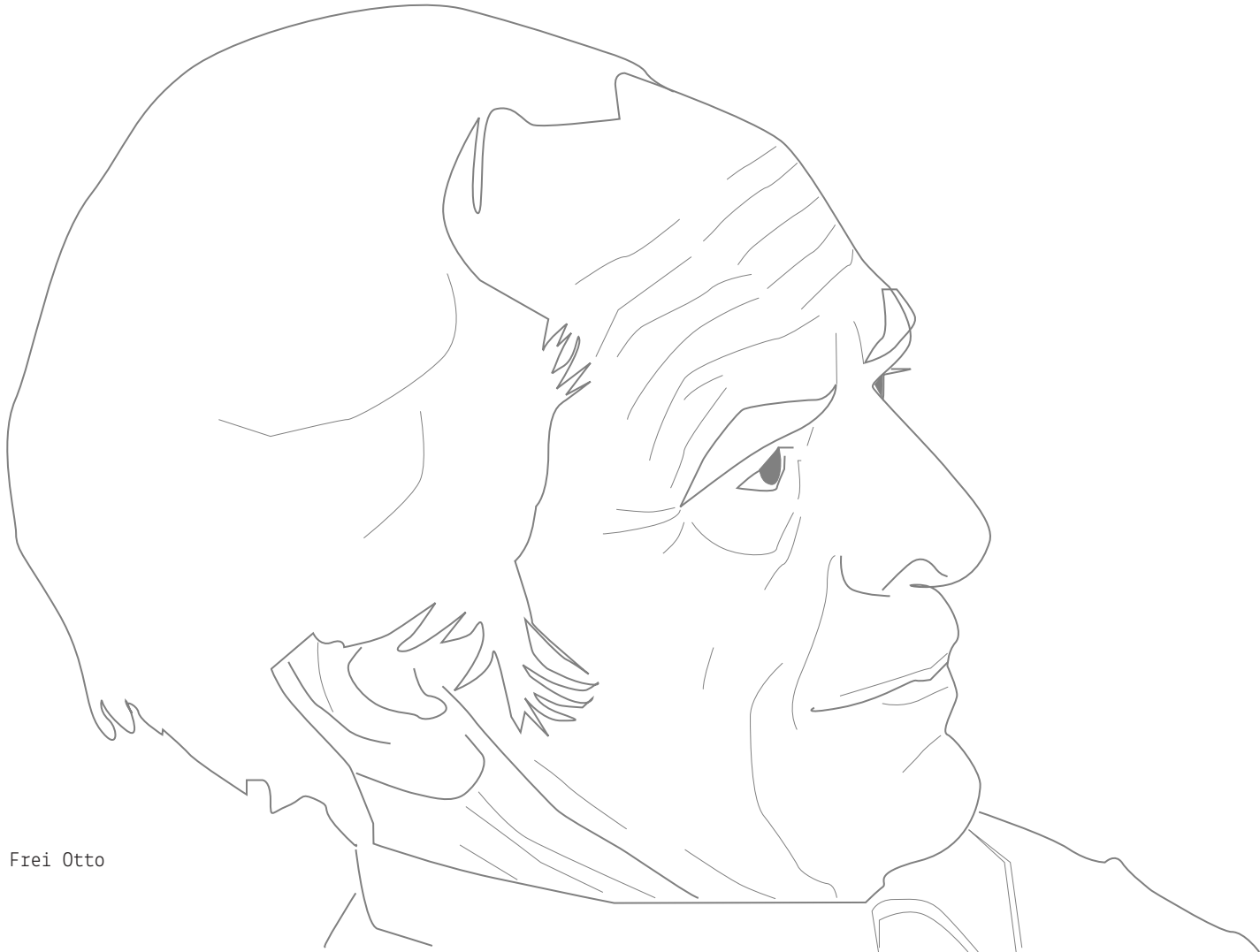
*IN BASSO A SINISTRA: kenneth snelson struttura in costruzione, 1970*

*IN BASSO A DESTRA: x-planar tower*





*Needle Tower  
Kenneth Snelson*



Frei Otto

“Frei Otto può considerarsi il creatore di una sorta di architettura organica , prodotta cioè, con il minimo sforzo, allo scopo di ottenere il massimo del risultato; egli sfrutta la leggerezza, la pieghevolezza, la resistenza delle materia, che organizza in strutture ordinate scientificamente

”

# tensione in architettura

52

Nell'architettura e nei suoi diversi ambiti, la trazione, la qualità della leggerezza e l'irrigidimento delle strutture sono la soluzione più efficace per rispondere a diversi requisiti:

- ◆ Lavorare per sottrazione carica di nuova identità l'oggetto
- ◆ Riduzione del numero di componenti e degli spessori
- ◆ Riduzioni dei pesi e delle strutture
- ◆ Ridurre il consumo specifico di materia (si paga per aver di meno)
- ◆ Riduzione dell'immagine
- ◆ Dematerializzazione
- ◆ Minimizzazione dei costi
- ◆ Minimizzazione dei tempi di costruzione e riduzione del consumo di energia

Leggerezza equivale a costruzione che si può realizzare con poco materiale. L'utilizzo di nuove tecniche hanno permesso di sfruttare le caratteristiche intrinseche del materiale in rapporto a determinate forme che garantiscono la resistenza. La leggerezza necessita di pulizia formale. Oggi si pensa che costruire in trazione significhi creare qualcosa di provvisorio, di aleatorio: questo perchè siamo abituati a collegare queste

architetture alla cultura del nomade, inoltre a differenza della civiltà orientale dove la cultura della leggerezza è insita, nella cultura occidentale il valore del peso accompagna attributi come : qualità, durata, solidità e sicurezza. Le prime forme di architettura in trazione hanno la sua culla in civiltà lontane dal Mediterraneo. La Cina grazie all'abbondanza delle sue reti fluviali necessitava di strutture ca-



pacì di attraversarli frequentemente. Grazie anche alla presenza abbondante di liane e vegetazione fecero la loro apparizione i primi ponti sospesi, considerati da molti il prototipo della moderna tecnologia tensile. Bisognerà attendere la seconda metà del 15° secolo, grazie ai manoscritti di Leonardo Da Vinci (1452/1519) per avere la prima testimonianza di studi sui problemi della resistenza, dei materiali e della struttura, raccolti nel libro: "Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze" nel 1633. Le prime architetture fecero la loro comparsa intorno al 1824; di cui si possono annoverare i nomi di alcuni dei protagonisti incontrastati di questa scena: Buckminster Fuller, Frei Otto, Rudolf Bergermann. Altro riferimento di non minor importanza che ha contribuito allo sviluppo della mia tesi riguarda l'architettura delle tensostrutture: principio delle costruzioni leggere. Una tensostruttura

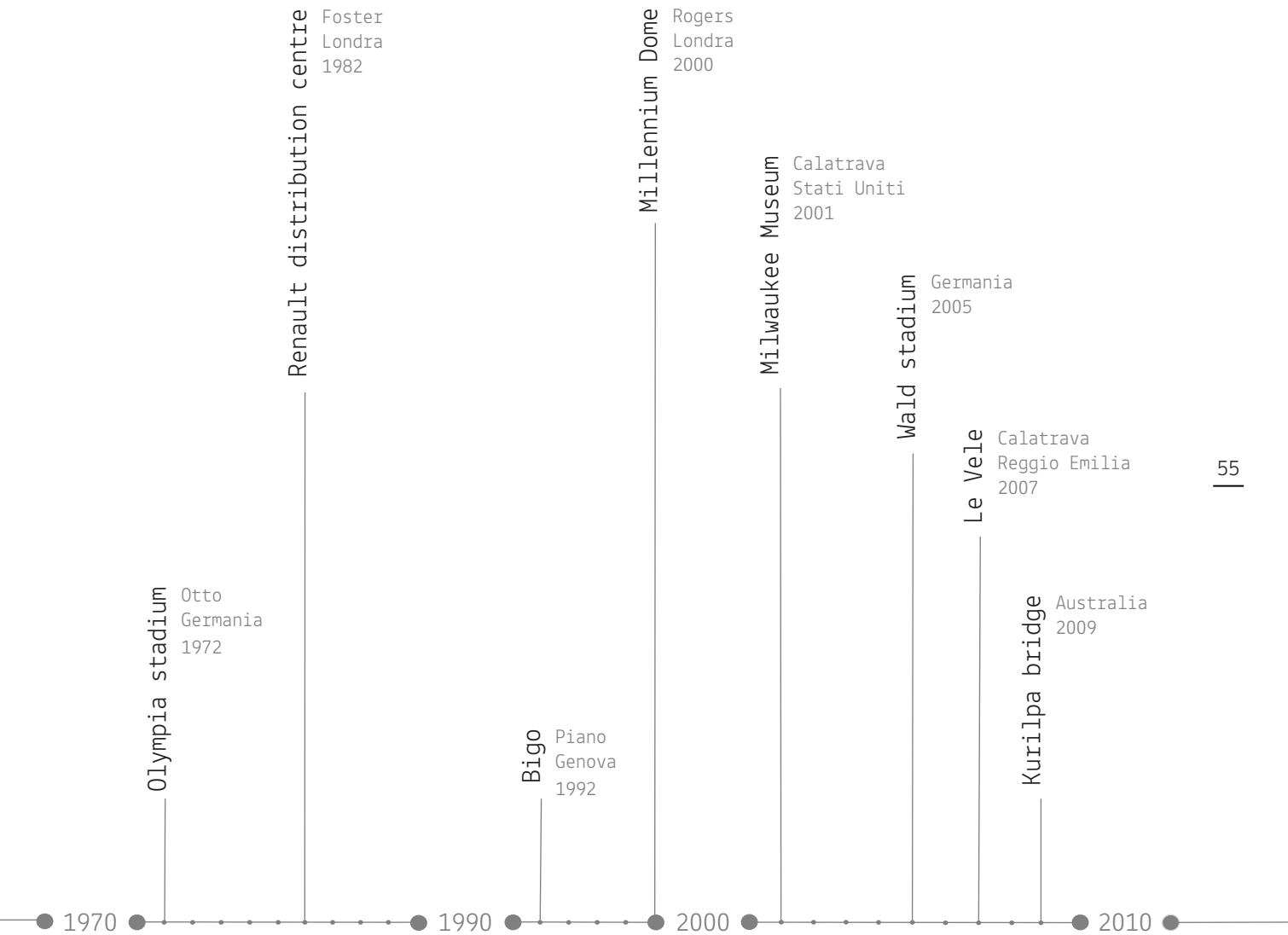
è un edificio realizzato con materiali mantenuti in posizione tramite tensione. Generalmente sono composte da cavi e tiranti che sorreggono coperture in tela o in lamiera. Le qualità tipiche di queste coperture e che sono state le basi fondamentali nella realizzazione della mia tesi. "Principio delle costruzioni leggere" questo sarà lo slogan con cui Frei Otto, principale architetto europeo degli anni '50 e '60 del cosiddetto movimento delle strutture a trazione, denominato Tensionismo, promuoverà l'evoluzione delle tensostrutture. Assistiamo a molte costruzioni che ritraggono il tema della trazione. Il Crystal Palace di Paxton del 1851 importante per la sua esasperata ricerca della leggerezza. "Il Bigo", copertura per il molo Embriaco a Genova costruito da Renzo Piano nel 1992. La sede dell'istituto di strutture leggere a Stoccarda di Frei Otto del 1968. Le architetture di Frei Otto nascono dall'osservazione degli accampamenti nomadi in condi-

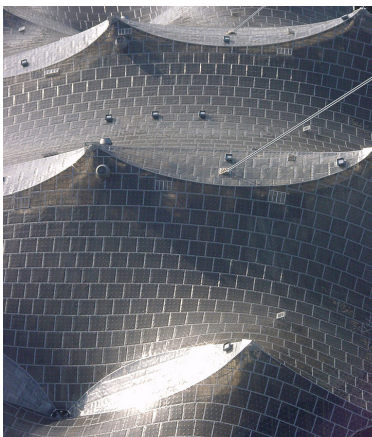
zioni climatiche estreme e dalla sperimentazione quasi ossessiva che compie sui materiali, di cui sfrutta al massimo possibilità tecnologiche e statiche a vantaggio di una grande leggerezza e trasparenza. Lara-Vinca Masini in "L'arte del novecento" scrive: "Frei Otto può considerarsi il creatore di una sorta di architettura organica, prodotta cioè, con il minimo sforzo, allo scopo di ottenere il massimo del risultato; egli sfrutta la leggerezza, la pieghevolezza, la resistenza delle materie plastiche, di involucri gonfiabili, che organizza in strutture ordinate scientificamente." Da ciò si deduce quanto Frei Otto sia uno straordinario sperimentatore la cui influenza è evidente sia nell'architettura radicale (gruppi come gli inglesi Archigram e i fiorentini Ufo hanno preso in prestito da lui tensostrutture e strutture gonfiabili) sia nell'architettura hi-tech di Renzo Piano, Norman Foster, Richard Rogers che con il maestro tedesco hanno un debito intellettuale di non poco

conto. Ho analizzato, così, otto architetture scelte per la loro peculiarità di essere strutture irrigidite dalla presenza di cavi in trazione.

*Nelle pagine che seguono sono riportati otto esempi di architetture in tensione. La scelta e l'ordine in cui si susseguono è legato alla cronologia temporale in cui queste strutture sono state realizzate concretamente.*

---





## Olympia stadion

*Frei Otto  
Munich, Germania  
1972*

*A livello tecnologico la struttura è formata da una rete di cavi pre-tesi, sospesi tra piloni in acciaio e ponti di collegamento reticolari. La rete è stata ricoperta da pannelli in vetro acrilico, collegati tra loro ed ancorati con supporti-cuscinetto.*



## Renault centre

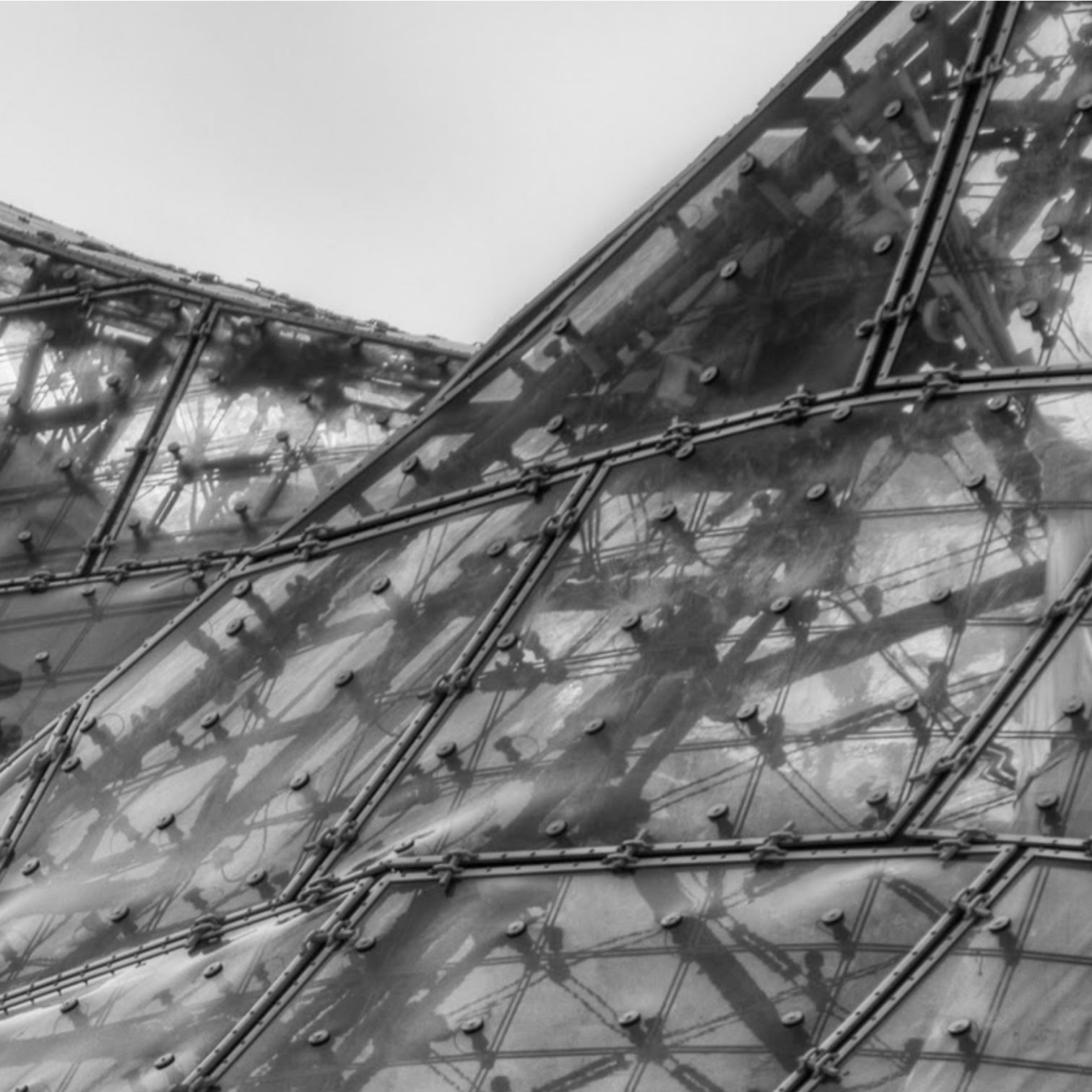
Norman Foster  
Swindon, UK  
1982

*L'interesse principale, ancora una volta, è rivolta alla struttura. La quale è composta da stralli, cioè cavi, oggi generalmente realizzati in metallo, che sostengono l'albero di una barca o di una nave dalla parte anteriore della grande copertura.*

*PARTICOLARE OLYMPIA STADION  
Frei Otto  
Munich, Germania  
1972*









## Bigo

*Renzo Piano  
Genova, Italia  
1992*

*Il "Bigo", nome e progettazione ispirato alle gru usate per carico-scarico merci nel porto ligure, è uno dei monumenti moderni divenuto oggi simbolo della città. Le snelle aste consentono sia di sorreggere l'elegante tensostruttura che copre lo spazio dove si svolgono varie manifestazioni sia di supportare un ascensore panoramico.*

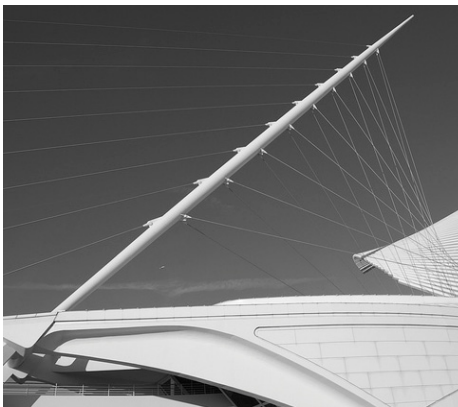
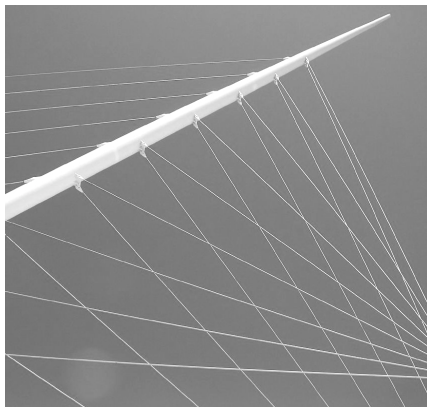




## Millennium Dome

Richard Rogers  
Greenwich, London UK  
2000

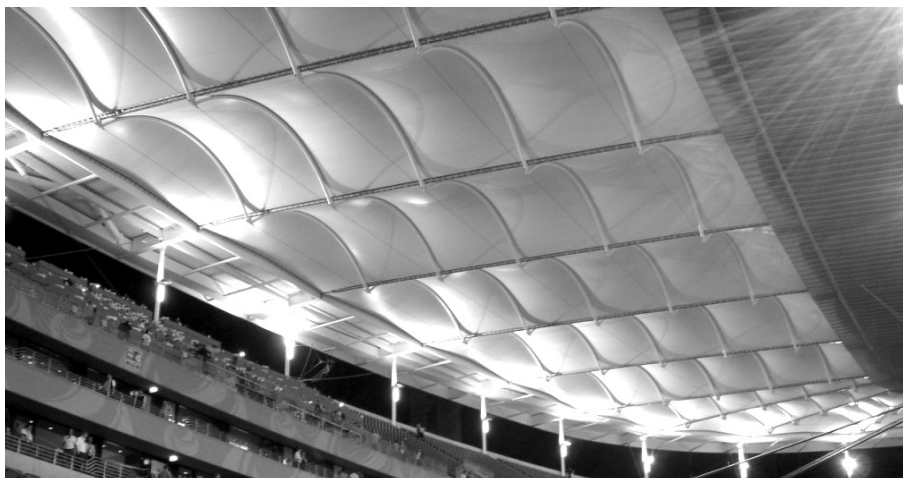
*La più grande tensostruttura esistente al mondo è tenuta insieme da un sistema radiale di cavi tesi che controlla la flessione. Sugli alberi, realizzati in tubi di acciaio, sono bloccati i cavi in tensione che forniscono un sistema tensionale, progettato per avere una resistenza tale che, nel caso di rottura di un solo albero, non venga compromessa la sicurezza.*



## Milwaukee Museum

Santiago Calatrava  
Milwaukee, Stati Uniti  
2001

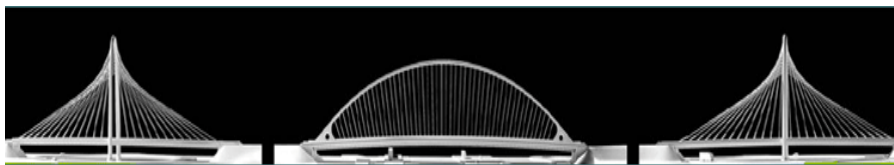
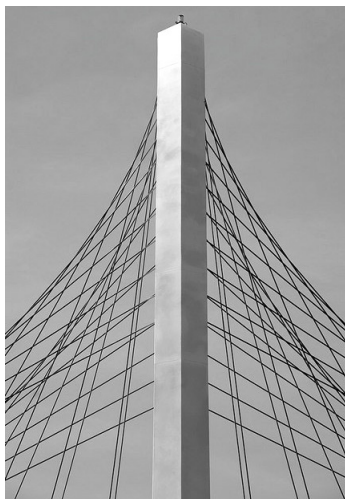
*L'elemento che ha maggiormente attratto è l'avveniristica vela mobile. Composta da 72 nervature metalliche che si dispiegano fino ad un'ampiezza di 66 metri durante il giorno, per richiudersi sulla struttura arcuata a sera o in caso di cattivo tempo. Si tratta di una architettura elegante e leggera ma al tempo stesso funzionale.*



## Waldstadion

*Commerzbank Arena  
Von Gerkan, Marg & Partner  
Frankfurt, Germania  
2005*

*Il Commerzbank Arena di Francoforte ospita competizioni di calcio. Una particolare membrana sostenuta da una rete di cavi di acciaio ha risolto il problema: il sistema è stato messo a punto dagli ingegneri Schlaich Bergermann und Partner.*



## Le vele

*Santiago Calatrava  
Reggio Emilia  
2007*

*I tre ponti, riescono a tradursi in un complesso architettonico dalla forma dinamica e apparentemente leggera grazie all'uso congiunto di acciaio e cemento armato interamente dipinti di bianco. Si tratta di ponti strallati, i cui stralli (cavi e tiranti in acciaio) compongono delle forme insolite.*





## Kurilpa Bridge

*Cox Rayner Architects  
Arup Engineers  
Brisbane, Australia  
2009*

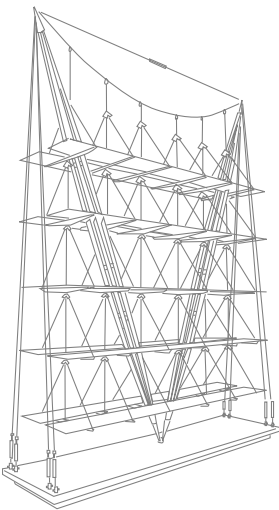
*Il Kurilpa Bridge, ponte ciclabile e pedonale di Brisbane, utilizza il principio della "tensegrity" (contrazione di "tensional" e "integrity") reso famoso da Buckminster Fuller per indicare la sua ricerca di sinergia fra le componenti di tensione e compressione, per creare una struttura leggera e incredibilmente forte allo stesso tempo.*

KURILPA BRIDGE  
Cox Rayner Architects  
Arup Engineers  
Brisbane, Australia  
2009





*"Veliero"*  
Franco Albini



tensione



tensione pneumatica

Cushicle - Blow  
Linea Areospace  
Up5 - Plopp family  
Sparkling chair  
Regina di cuori

membrane tese

lampada Falkland  
Trasparent chair  
Ram - Palombella  
Strap - Wallfa  
Soft Clock  
shelves

strutture strallate

libreria Veliero  
Tolomeo  
Parentesi  
Il tavolo sospeso  
Ala  
Bow  
Wire Bike  
Hallo Work

# tensione pneumatica

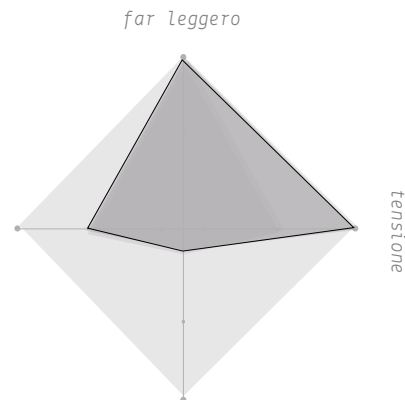
70

L'esempio del pallone: Il comportamento del pallone può essere esteso alle bolle di sapone ed alle strutture pneumatiche. La superficie esterna di un pallone è una membrana in tensione continua e le molecole d'aria, spingendo all'interno, si comportano come aste a compressione discontinua. Queste strutture in tensione con l'aria, migliorano le loro caratteristiche di rigidità ed indeformabilità, se si aumenta la pressione d'aria interna allo stesso modo in cui in strutture reticolari si aumenta la tensione nei cavi.

L'utilizzo della tensione dell'aria nei prodotti, consentì di migliorarne le caratteristiche di rigidità ed indeformabilità. Inoltre, consente di produrre oggetti leggeri e funzionali. La scoperta dell'aria non fu immediata. Attente osservazioni e tanti esperimenti consentirono l'applicazione su larga scala di questa tecnica basata, appunto, sull'utilizzo della tensione dell'aria. Oggi noi risolviamo molti dei nostri problemi con l'aria, basti pensare ai pneumatici delle automobili, e se ancora non esiste una vera e propria Scienza del Gonfiato, è evidente il nostro interesse per questa tecnica che va sempre più estendendosi contribuendo a modificare e a migliorare la nostra vita. Anche in architettura

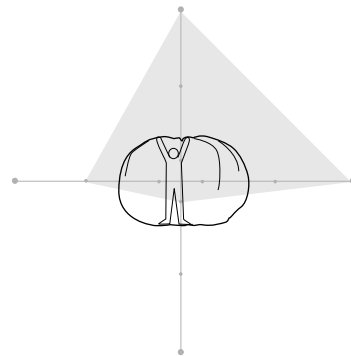
e urbanistica gli studi e gli esempi di applicazioni pneumatiche non mancano di affascinarci con le loro suggestioni da fantascienza. Ora assistiamo anche all'applicazione dell'aria in tensione anche nell'arredo, nei mobili, attratti dalla possibilità di soluzioni effimere, che soddisfino la negazione dei significati che durano, contrapponendovi l'oggetto fatto di niente e solo per l'uso. Il problema era nell'aria. Se ne parlava genericamente tra i designer e si facevano proposte ai produttori, che non riuscivano a liberarsi dal complesso del palloncino e dello spillo. Poi, improvvisamente, le prime fotografie sulle grandi riviste non specializzate, i primi articoli e via via su tutta la

stampa sino ai quotidiani. Iniziò in questo modo il contagio dell'utilizzo dell'aria mantenuta in tensione. La messa a punto delle tecniche di termosaldatura dei tessuti plastici impermeabili portarono, negli anni '60, al proliferare delle applicazioni pneumatiche. Fu, appunto dagli anni '60 in poi che la tensione dell'aria divenne una vera e propria tecnologia costruttiva: la superficie esterna dei prodotti è una membrana in tensione continua e le molecole d'aria contenute nell'oggetto, spingendo all'interno, si comportano come aste a compressione discontinua. Queste strutture in tensione con l'aria, migliorano le loro caratteristiche di rigidità ed indeformabilità, se si aumenta la pressione d'aria interna allo stesso modo in cui in strutture reticolari si aumenta la tensione nei cavi. Ho, nelle pagine seguenti, elencato una serie di prodotti costruiti sulla tecnica dell'aria in tensione. Otto prodotti che percorrono dagli inizi dell'uso dell'aria in tensione, gli anni



'60, fino ad oggi. Gli otto prodotti analizzati in questo paragrafo sono, in ordine temporale. Analizzando questi otto casi, ho poi, ripreso il grafico relativo al primo capitolo che analizza i quattro parametri: far leggero, resistenza, instabilità visiva, stabilità effettiva e tensione. Per ogni oggetto, ogni parametro è stato valutato secondo tre giudizi: buono - discreto - ottimo. Infine i grafici degli otto oggetti analizzati sono stati sovrapposti, per verificarne la maggioranza o la minoranza relative alle proprietà del grafico. Ne risulta, per quanto riguarda questo paragrafo, relativo alla tensione dell'aria, che gli oggetti tendono ad avere un'ottima leggerezza e massima tensione. La resistenza e l'instabilità visiva sono discrete.

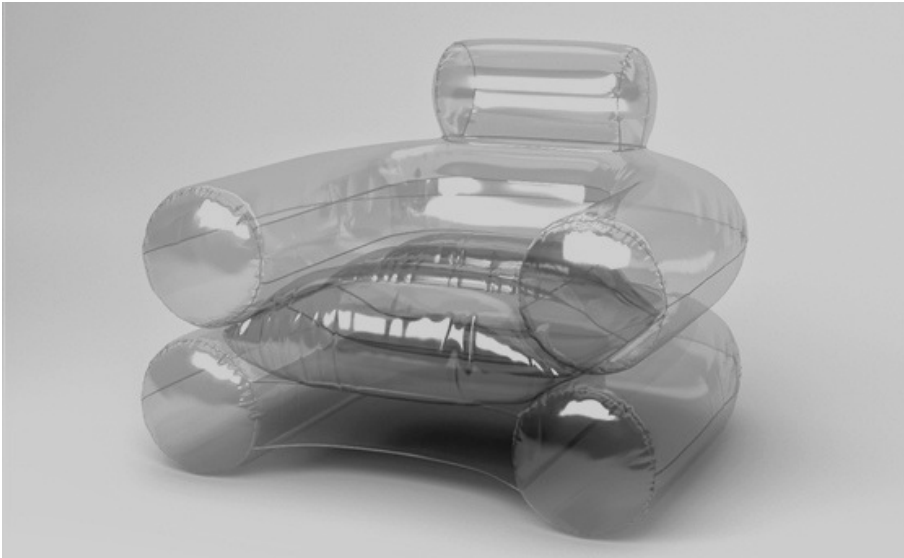
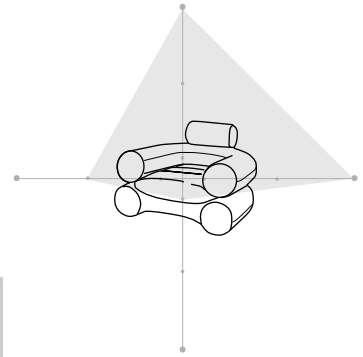
*Nelle pagine che seguono sono riportati otto esempi legati alla tensione e aria. L'ordine in cui si susseguono è legato alla cronologia temporale.*



## Cushicle

Michael Webb  
Archigramm  
1966

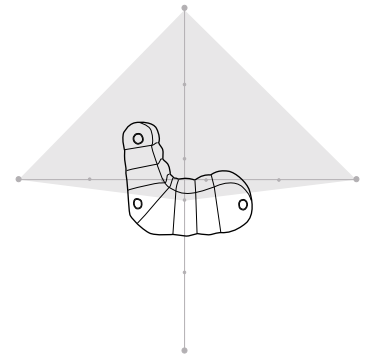
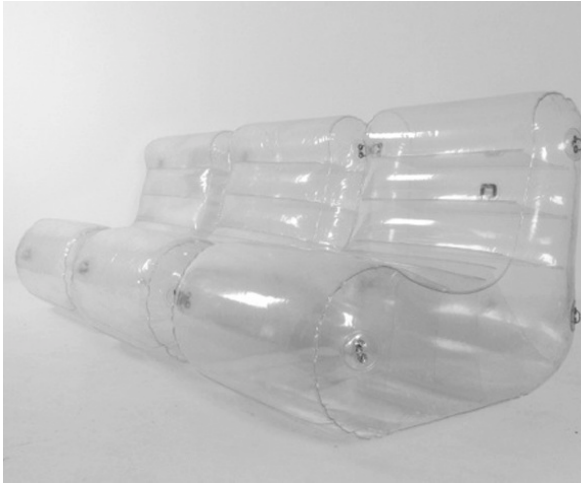
*Cushicle (neologismo formato incrociando le parole cuscino e veicolo) di Michael Webb è un progetto del 1966 ed "è un'invenzione che permette all'uomo di trasportare un ambiente completo sulla propria schiena. Si gonfia quando ce n'è bisogno. È un'unità nomade completa e interamente equipaggiata".*



## Blow

*De Pas - D' Urbino - Lomazzi  
Zanotta  
1967*

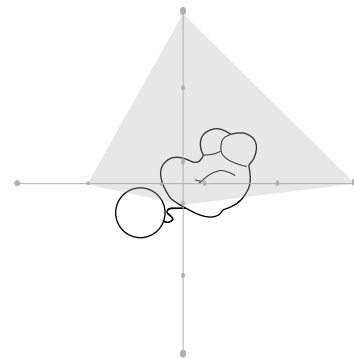
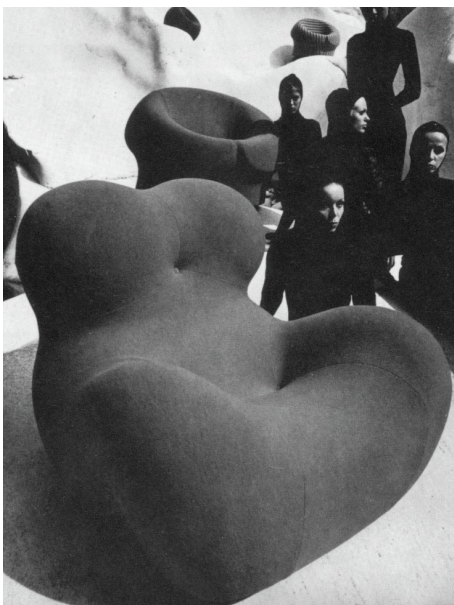
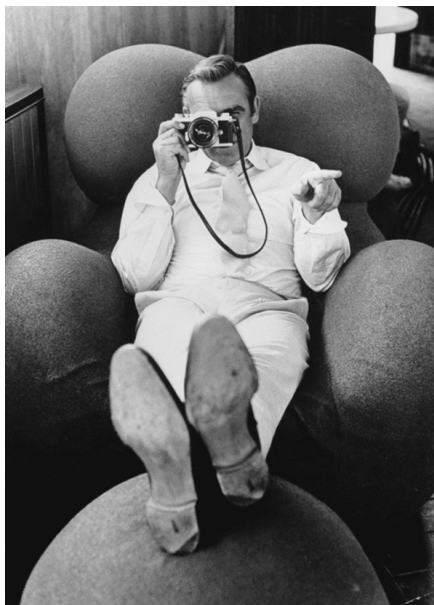
*Poltrona gonfiabile in materiale plastico di PVC trasparente calandrato. Saldatura elettronica ottenuta a mezzo di alta frequenza. La poltrona è venduta completa di gonfiatore a mantice.*



## linea Aerospace

Quasar Khanh  
1967

La linea "Aéospace" è realizzata in cloruro di polivinile (PVC). La particolarità di questi prodotti risiede nello spessore di 60 micron (tre volte quello solitamente utilizzato per la fabbricazione di mobili gonfiabili) e nell'assemblamento compiuto non tramite saldatura ma grazie ad anelli di metallo.



## Up5

Gaetano Pesce  
B&B Italia  
1969

Serie di poltrone e sedute in poliuretano espanso dalle diverse forme e colori. La seduta, fornita al cliente in forma compressa e confezionata sottovuoto, tolta dall'imballaggio e riempita d'aria assume il suo normale volume.

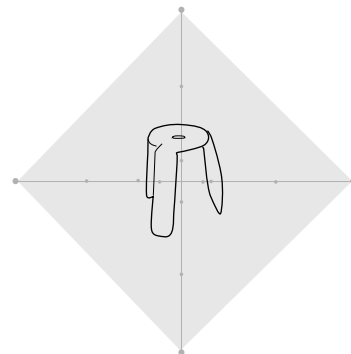








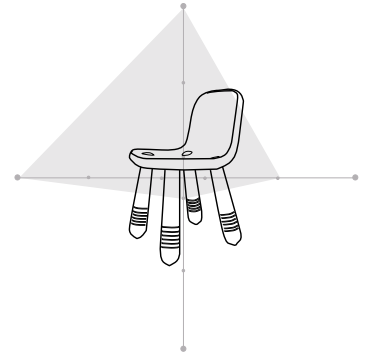
PLOPP FAMILY  
Oskar Zieta  
2009



## Plopp Family

Oskar Zieta  
2009

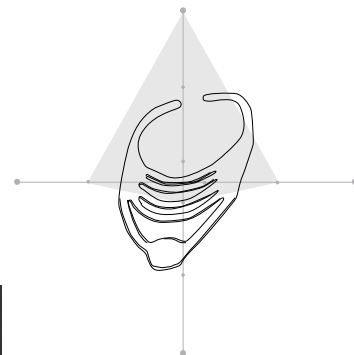
*Creata con la tecnologia FIDU. Gli oggetti realizzati con questa tecnologia, possono sostenere un peso dieci volte superiore alla loro massa (un elemento di 100 Kg può sopportare 1 tonnellata).*



## Sparkling Chair

Marcel Wanders  
Magis  
2010

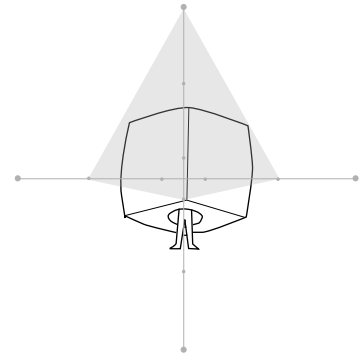
Prodotta in plastica tramite un processo di soffiaggio. Una sedia leggera (pesa meno di 1 kg) che trova la sua forza nell'aria e nella pressione al suo interno. Una seduta che sperimenta i concetti di leggerezza e minimo utilizzo di materiale, combinati con la forza della pressione dell'aria.



## Regina di Cuori

*Gum design  
Msp Daily Review  
2010*

*Leggerezza e funzionalità, parole chiavi di questo progetto. Regina di cuori è un gioiello gonfiabile, anche in questo caso l'aria è la componente principale del progetto.*



## Casa Basica

Martin Azùà  
2012

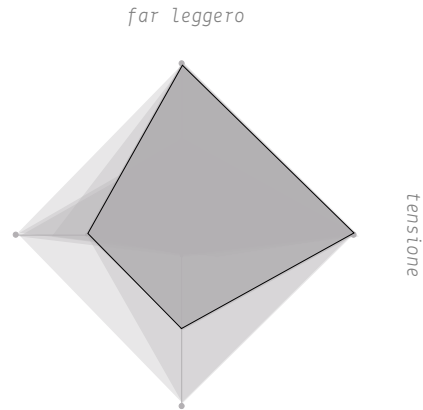
*“casa Basica”, prototipo di abitazione tascabile che si auto-gonfia grazie al calore umano o solare. In mostra al Moma di New York e al Vitra Museum. Realizzata in poliestere metallizzato.*

# membrane tese

“Non si deve imporre una forma, di un gusto, di una moda. Nella lampada di maglia la sua forma io non l’ho mica disegnata, è venuta fuori da sola con la tensione ed il peso.” *flare 1 - 1989 - Bruno Munari*

Progettare qualcosa di innovativo non è così facile. Di fronte ad un foglio bianco la nostra mente tende a ripescare fra ricordi, immagini e forme immagazzinate nel nostro cervello, riproponendolo poi con variazioni e cambiamenti. Ma questa tecnica non porta all’innovazione ma al contrario è un continuo rimanere radicati al passato. Per allontanarsi dal passato serve stare allo stesso passo delle nuove scoperte sia che riguardino nuovi tipi di materiali e le loro caratteristiche sia che esse siano scoperte di nuove tecniche di lavorazione che possono rendere un materiale “tradizionale” innovativo e moderno grazie alla sua lavorazione. La forma quindi, non è l’elemento principale e caratterizzante di un progetto, non è l’elemento che lo ha creato. La forma è una conseguenza del materiale usato e della sua lavorazione, la forma nasce da questi. Bruno Munari

ed altri grandi maestri del design hanno compiuto molti studi su questo argomento. Su Flare 1 del 1989 Bruno Munari afferma: “Non si deve imporre una forma, di un gusto, di una moda. Nella lampada di maglia la sua forma io non l’ho mica disegnata, è venuta fuori da sola con la tensione ed il peso.” Solo in questo modo è possibile sradicarsi dalle forme del passato e creare l’innovazione. la superficie tensile dei prodotti è una membrana in tensione continua. Queste membrane in tensione, migliorano le loro caratteristiche di rigidità ed indeformabilità, se si aumenta la tensione, allo stesso modo in cui in strutture reticolari si aumenta la tensione nei cavi. Il tessuto mantenuto in tensione da un’anima, ricopre ed avvolge l’intera struttura ridisegnanandone e completando il suo profilo, donandogli un effetto scultoreo, tridimensionale, che si

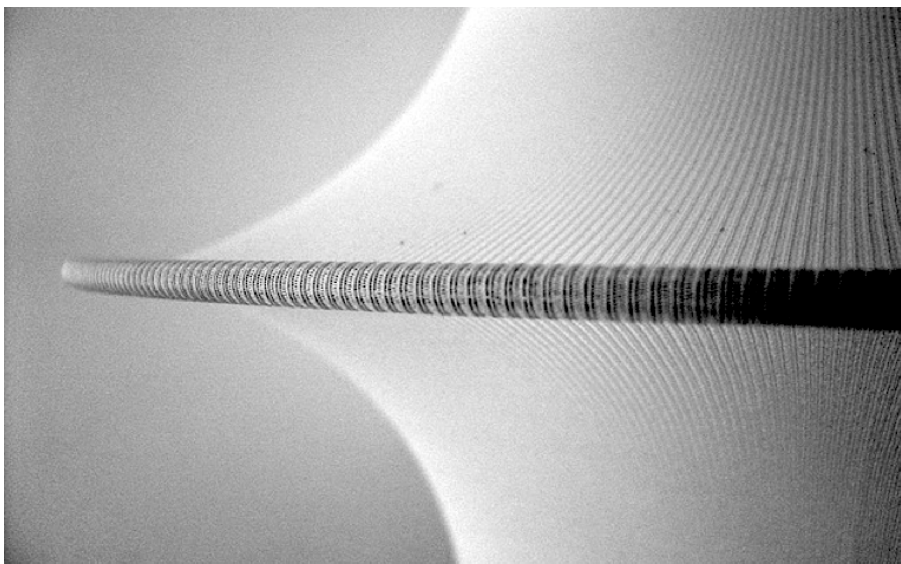
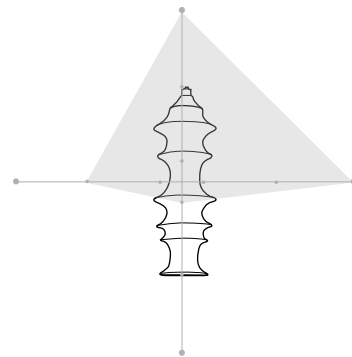


avvicinano molto di più a delle opere d'arte più che a oggetti funzionali di design. Ho, nelle pagine seguenti, elencato una serie di prodotti costruiti sulla tecnica delle membrane in tensione. Otto prodotti che percorrono dagli inizi dell'uso del tessuto mantenuto in tensione, gli anni '60, fino ad oggi. Gli otto prodotti analizzati in questo paragrafo sono, in ordine temporale. Analizzando questi otto casi, ho poi, ripreso il grafico relativo al primo capitolo che analizza i quattro parametri: far leggero, resistenza, instabilità visiva, stabilità effettiva e tensione. Per ogni oggetto, ogni parametro è stato valutato secondo tre giudizi: buono - discreto - ottimo. Infine i grafici degli otto oggetti analizzati sono stati sovrapposti, per verificarne la maggioranza o la minoranza relative alle proprietà del grafico. Ne risulta, per quanto riguarda questo paragrafo, relativo alle membrane in tensione, che gli oggetti tendono ad avere un'ottima leggerezza, massima tensione

ed una buona resistenza. L'instabilità visiva è buona. Siamo abituati a concepire i tessuti come materiale molle, senza scheletro. E quindi, siamo legati alla concezione che il tessuto di per sé, non sia funzionale né strutturale, invece abbinato ad una struttura rigida, lo scheletro appunto, ed avvolgendolo con il tessuto in tensione, si creano delle soluzioni strutturali interessanti. In questo paragrafo, sulle membrane in tensione, aumenta la sensazione di instabilità visiva, rispetto a quella percepita dalle strutture mantenute in tensione dall'aria.

*Nelle pagine che seguono sono riportati otto esempi legati alle membrane in tensione. L'ordine in cui si susseguono è legato alla cronologia temporale.*



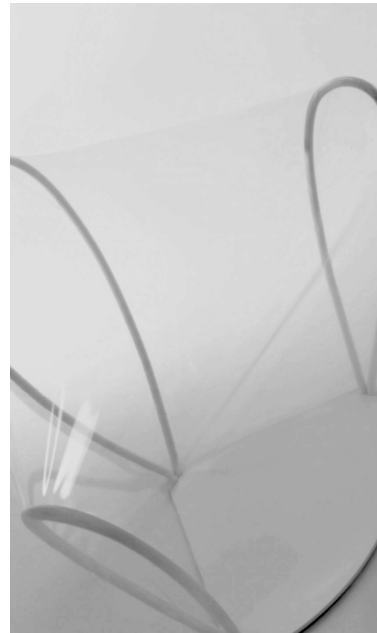
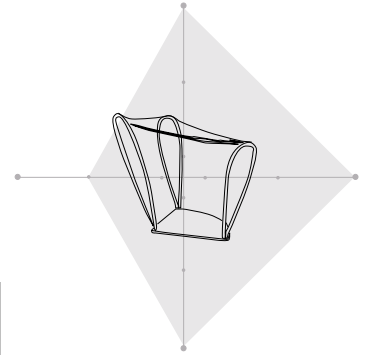


## lampada Falkland

Bruno Munari  
Danese  
1964

*Fu ideata pensando a una maglia elastica tubolare che prendesse forma mediante l'inserimento di alcuni anelli metallici di diverso diametro. Nella realizzazione di questo oggetto, il designer opera una sorta di dematerializzazione del prodotto.*

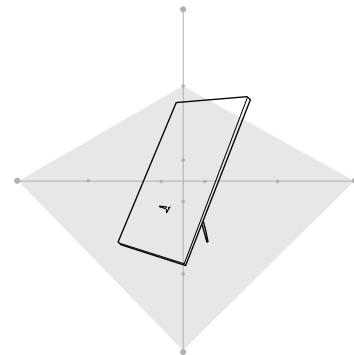




## Transparent chair

Nendo  
Zanotta  
1967

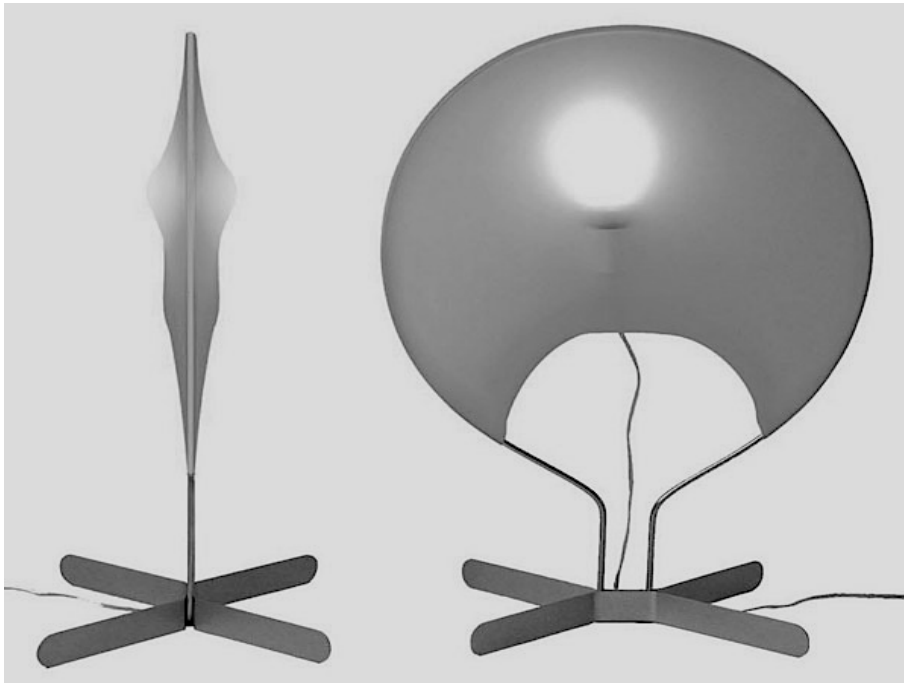
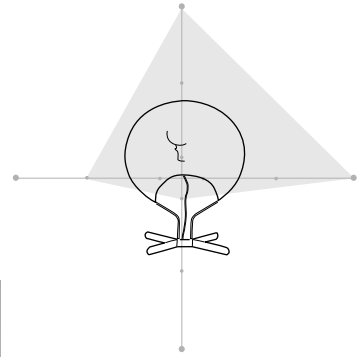
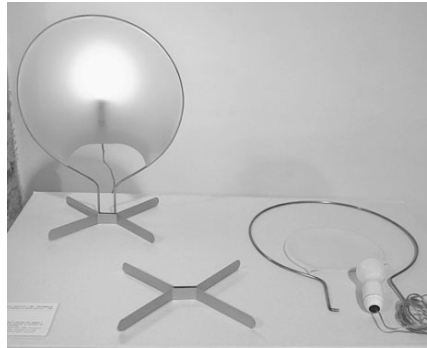
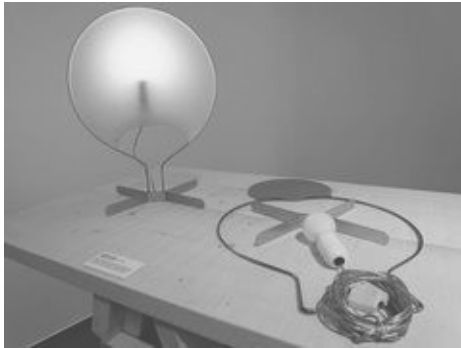
*The Transparent Chair è composta da una pellicola poliuretana particolarmente resistente. L'elasticità del poliuretano permette alla seduta di tornare alla forma originaria senza danneggiarsi. Guardandola sembra composta di nulla (assenza di braccioli e schienale), se non dai 3 elementi e dalla pellicola tenuti in tensione.*



## Ram

*No Picnic  
Felicerosi  
1999*

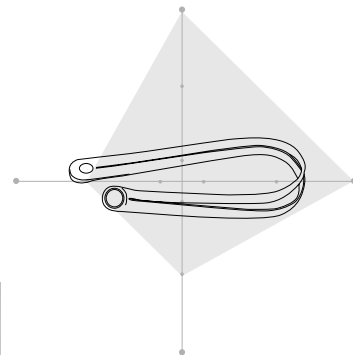
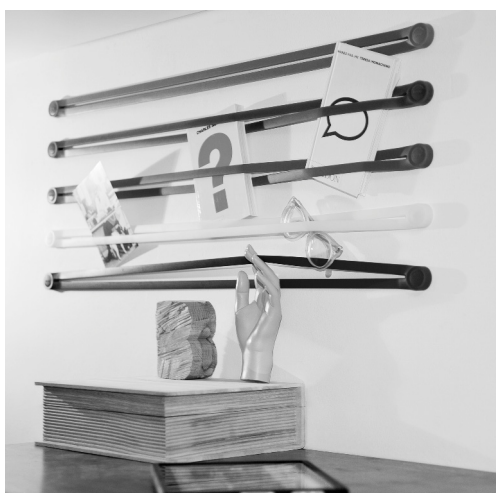
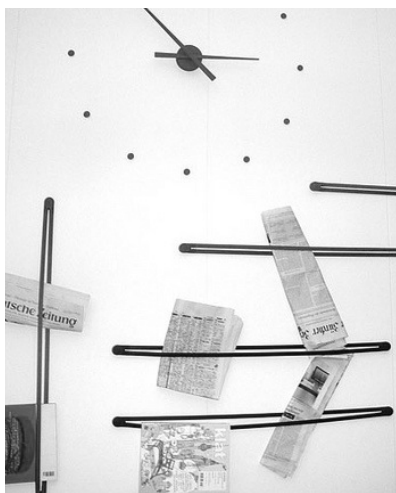
*La poltrona Ram ritaglia le proprie forme su quelle di chi si siede. La seduta è un pannello rivestito in tessuto elastico e mantenuto in tensione. La struttura è in tubolare di acciaio smaltato, il sedile e lo schienale sono imbottiti in poliuretano espanso.*



## Palombella

Paolo Ulian  
Salone Satellite  
2000

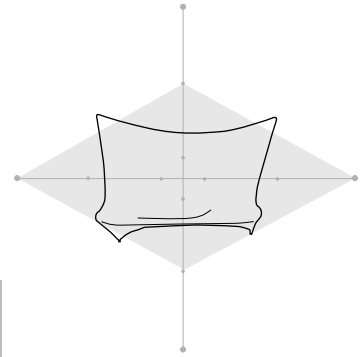
Formata da quattro elementi separati, è facilmente montabile e smontabile. Il diffusore è realizzato applicando una comune cuffia da piscina in gomma silicatica mantenuta in tensione su una semplice struttura in tondino di acciaio.



## Strap

NL Architects  
Droog Design  
2000

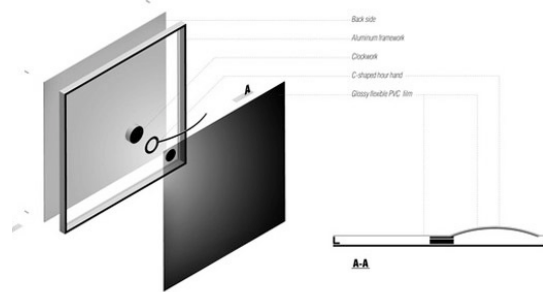
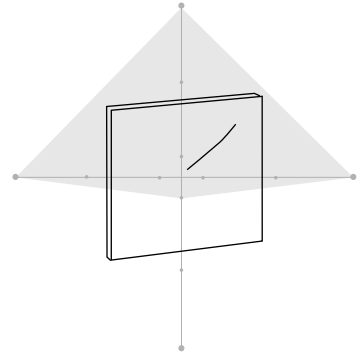
*Il design di questo oggetto, di NL Architects per Droog, dà alla normale cinghia da bicicletta una nuova funzione. Tra queste cinghie, tenute in tensione, si possono inserire e bloccare diversi oggetti. Elemento che, sfrutta la tensione per assolvere alla sua funzione.*



## Wallfa

Jordi Canudas  
Zanotta  
2008

*Wallfa funge sia da parete divisoria sia da divano: Una sottile membrana stretch e una doppia seduta (consente di sedersi su entrambi i lati). Il tessuto dello schienale, tenuto in tensione, si modella prendendo la forma di chi è seduto, modellandosi ad esso avvolgendolo.*

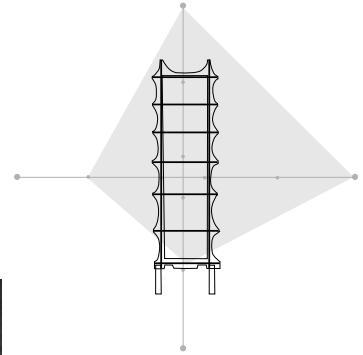


Soft Clock  
Myznik Egor  
myznik@yandex.ru

## Soft Clock

Myznik Egor  
concept  
Red Dot Design Award  
2009.

*Soft Clock, orologio progettato da Myznik Egor, è composto da una struttura interamente ricoperta da un tessuto mantenuto costantemente in tensione. Le lancette situate sotto il tessuto teso, spingendo contro di esso, disegnano giochi di luce ed ombra, segnalando l'ora.*



## Shelves

Lanzavecchia e Wai  
Spaziale Series  
2010

*Le strutture rigide sono rivestite di un tessuto elastico che assume la forma di ciò che il mobile è destinato a contenere. Quando lo spazio per i libri non basta, si espande. In questo progetto, la tensione è la componente principale: tiene assemblate le varie componenti e ne consente l'ampliamento o la riduzione a seconda delle esigenze.*

# strutture strallate

92

Gli oggetti di design che andrò ad analizzare incorporano tutte e quattro le proprietà:

- ◆ il saper far leggero e la conseguente riduzione di materiale impiegato.
- ◆ il saper fare resistente, contribuendo all'irrigidimento della struttura.
- ◆ la relazione tra instabilità visiva legata alla percezione e stabilità effettiva.
- ◆ la tensione

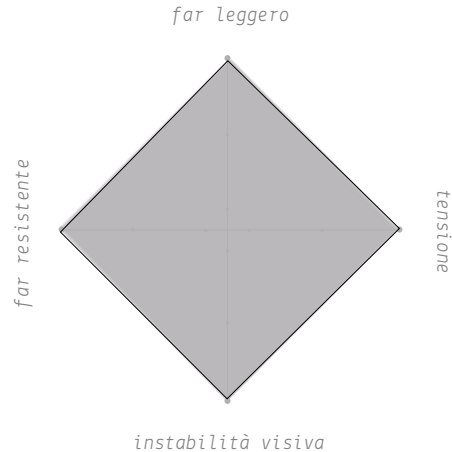
Ho analizzato otto prodotti in questo paragrafo: in ordine cronologico: libreria Veliero di Franco Albini, la lampada Tolomeo di Michele De Lucchi, Parentesi di Achille Castiglioni, Ala di Richard Sapper ed altri oggetti come il tavolo sospeso di Crassevig, Bow di V12 Design, Wire Bike di Ionut Predescu e Hallo Work di 45 Kilo presentato quest'anno al Salone Satellite. Tutti questi oggetti, appartenenti alla categoria delle strutture in tensione, a differenza delle altre due categorie: tensione dell'aria e membrane tese, incorporano ed assolvono totalmente le quattro proprietà descritte nel primo capitolo.

- il saper fare leggero e la conseguente riduzione di materiale impiegato

- il saper fare resistente, contribuendo all'irrigidimento della struttura
- la relazione tra instabilità visiva legata alla percezione e stabilità effettiva.
- la tensione

Ognuno di questi oggetti incorpora in sé totalmente questi quattro parametri, per questo motivo ho deciso di continuare il mio elaborato di tesi, concentrandomi e studiando nuove metodologie costruttive che riprendono il tema delle strutture in tensione. Per quanto riguarda la tensione, il suo utilizzo consente soluzioni strutturali che permettono una ripartizione più omogenea del carico, ossia di quel complesso di forze gravanti sulla struttura, e di conseguenza la possibilità di realizzare



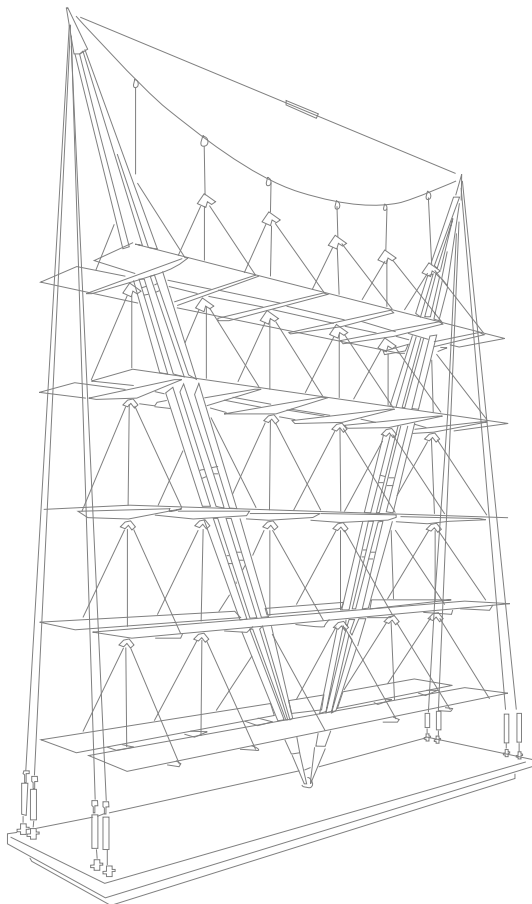


oggetti più esili senza comprometterne la stabilità. Focalizzare l'attenzione su di una forza in particolare: la tensione. La tensione costituisce la risposta alle esigenze di ottenere un carico ripartito delle componenti del peso, ovvero di fare in modo che la forza sia ripartita uniformemente su tutta la superficie. quindi, la mia ricerca prosegue in questa direzione, analizzando prima gli otto oggetti rappresentativi totalmente dei quattro parametri, e continuando il mio elaborato di tesi alla ricerca di nuove soluzioni formali, che consentano di incorporare le quattro proprietà in un unico progetto. Oggetti progettati con l'utilizzo di un minimo quantitativo di materiale impiegato, che grazie all'uso della tensione permettono all'oggetto di mantenere la sua stabilità, di assolvere alla sua funzione e di resistere alle forze che gravano su di esso. L'estrema leggerezza e l'uso di poco materiale rispetto ai canoni più spesso utilizzati per questo tipo di progetto, rendono questi progetti vi-

sibilmente instabili data la precaria percezione che essi suggeriscono, al contrario, grazie alla tensione dei tiranti, la struttura è rigida ed effettivamente stabile. Infine, in tutti questi progetti si assiste a tutte queste caratteristiche:

- lavorare per "sottrazione"
- riduzione del numero di componenti
- riduzione del peso e della materia
- riduzione degli spessori
- dematerializzazione
- minimizzazione dei costi
- minimizzazione dei tempi di costruzione
- risparmio di energia

*Nelle pagine che seguono sono riportati otto esempi legati alle strutture in tensione. L'ordine in cui si susseguono è legata alla cronologia temporale.*



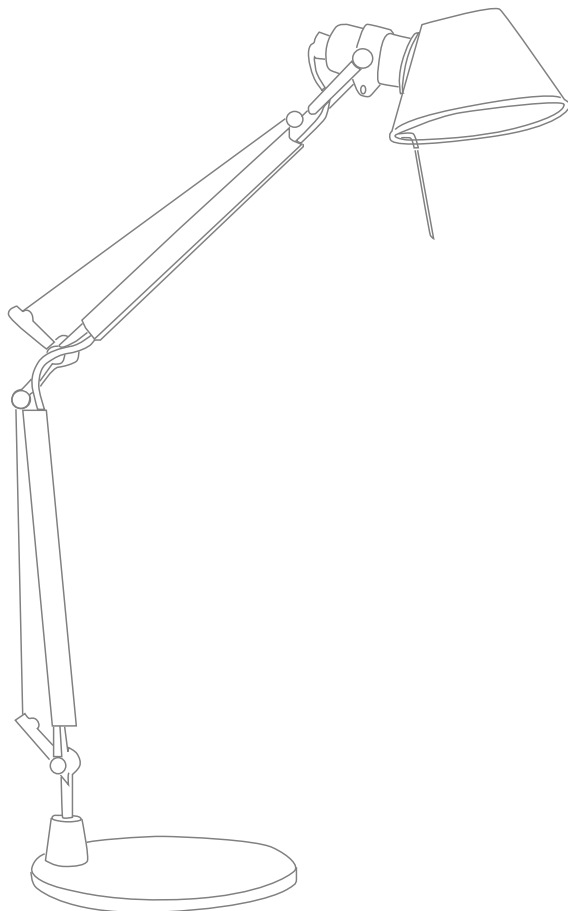
## VELIERO

La libreria Veliero è un oggetto emblematico della progettualità di Franco Albini. Tutti i materiali sono **tesi** e forzati al massimo, in questo modo, come spiegato nell'introduzione della tesi il quantitativo di materiale impiegato è ridotto al minimo ed irrigidito per assicurarne la resistenza e la stabilità, anche se l'immagine complessiva che ne deriva è visivamente instabile (l'inclinazione delle due strutture accentua l'inganno visivo), i ripiani ed i libri che andranno ad inserirsi nel sistema appaiono come sospesi, galleggianti in aria, l'uso del vetro vuole enfatizzare questo aspetto del progetto. Questa originale libreria tensostrutturata viene spesso letta come una delle più alte espressioni della poetica di Albini.

### **Franco Albini**

*puntoni e base in legno di frassino, giunti in ottone,  
bacchette d'acciaio e ripiani sospesi in cristallo,  
1938  
unico prototipo*





## TOLOMEO

La lampada Tolomeo è la rilettura in chiave moderna delle lampade a “molle” del passato. Prodotta in alluminio, la fonte luminosa, viene spostata nei punti interessanti per mezzo dei suoi lunghi bracci, una sorta di compasso con un’ampia apertura. Il meccanismo a molle è nascosto e si estende all’interno del braccio per tutta la sua lunghezza, tenuta in **tensione** dal cavetto in mostra sopra il braccio. La leggerezza espressa dall’esilità e lunghezza dei suoi bracci, dalla sottile base d’appoggio e la cura attenta dei particolari, l’uso sapiente del materiale ne fanno una lampada dal grande fascino.

**Michele De Lucchi**

*Artemide*

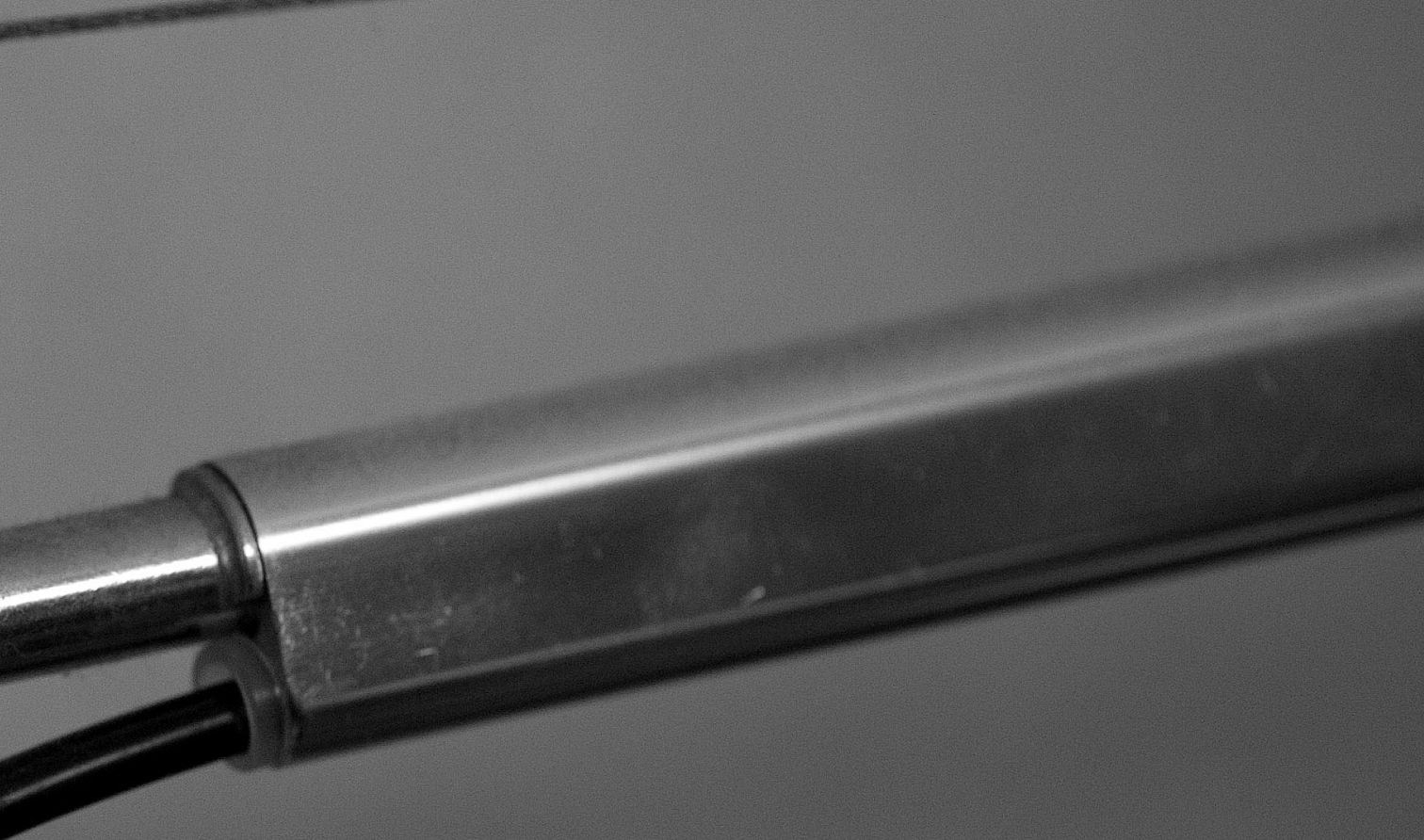
1986

*Compasso d’oro nel 1989*

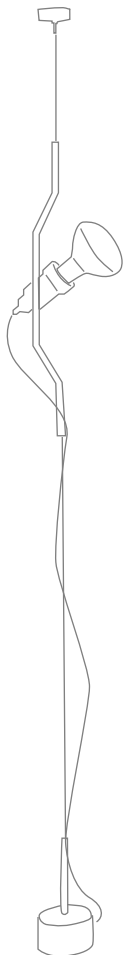








LAMPADA TOLOMEO  
particolare  
Michele De Lucchi  
Artemide  
1986  
Compasso d'oro nel 1989



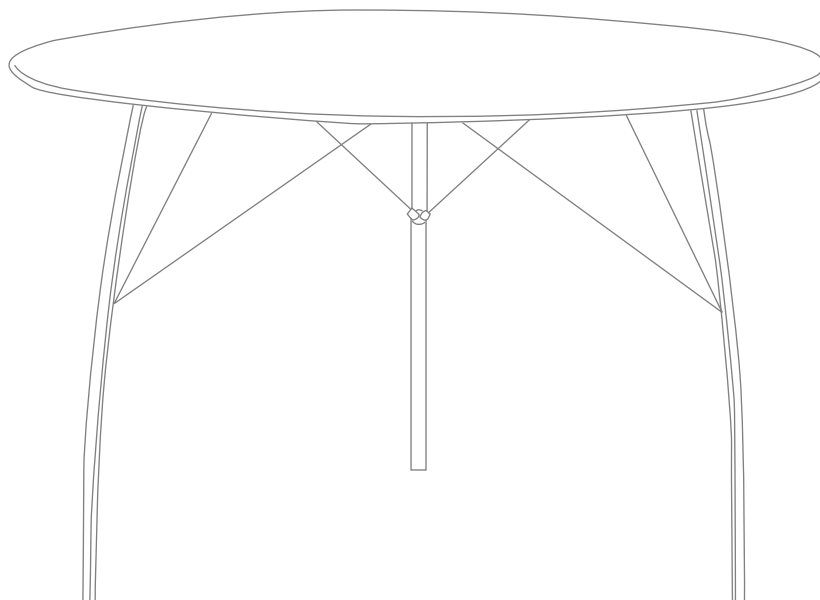
## PARENTESI

Castiglioni nel suo progetto sostituisce l'asta con una corda metallica in **tensione** che, deviata, fa attrito e permette alla lampada di stare in posizione senza il bisogno di alcuna vite. Parentesi è essenzialmente costituita da un cavo di acciaio, appeso al soffitto e tenuto in tensione da un basamento a terra, lungo il quale scorre un tubolare portalampada. L'altezza da terra è regolata da un gancio tenditore in acciaio (da barca). Il nome di "Parentesi" deriva dal tubo saliscendi di acciaio dalla configurazione arcuata. Il congegno rende possibili diversi spostamenti del fascio luminoso grazie alle variazioni di orientamento della lampada.

*Achille Castiglioni*  
*Genova, Italia*  
*1992*





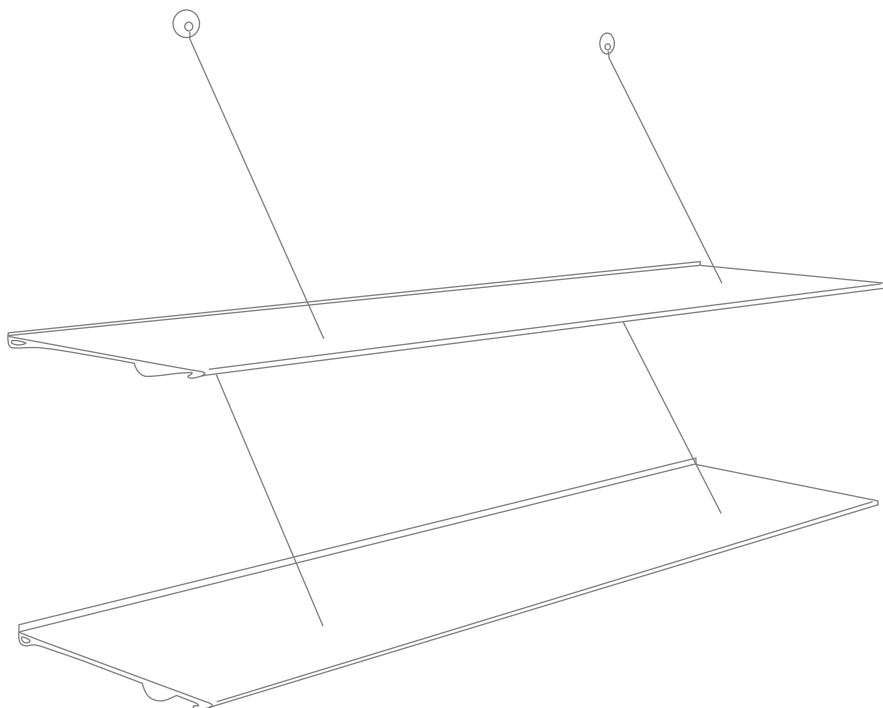


## IL TAVOLO SOSPESO

Tavolo progettato sui requisiti di leggerezza ed essenzialità formale. Il tavolo sospeso prodotto da Crassevig ha una struttura formata da tiranti in acciaio che ha permesso di assottigliare il piano e consente l'uso di sole tre gambe. Ancora una volta, l'uso dei tiranti in tensione, permette di ridurre la quantità dei materiali impiegati e di ridurre le componenti. Ne sussegue, un prodotto leggero, rigido, nel quale la componente in tensione gioca un ruolo fondamentale nella realizzazione del progetto.

*Crassevig*  
1996



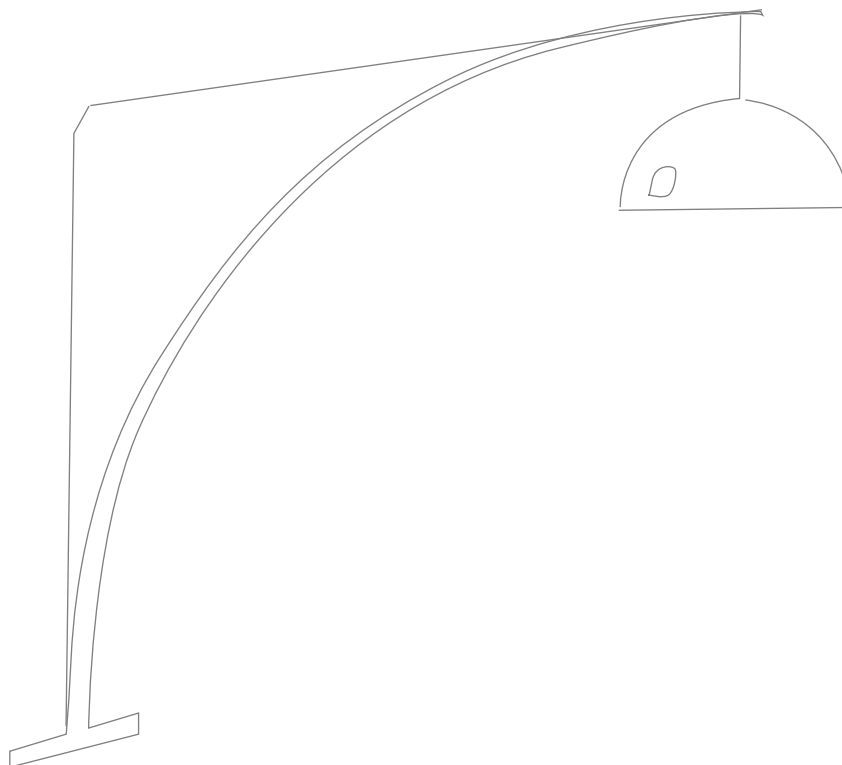


## ALA

Sistema di mensole progettato da Richard Sapper. Si tratta di un singolo modulo di estruso in alluminio. Minimalista, elogio alla linearità. Il fissaggio è assicurato da tiranti in acciaio inox ad alta resistenza (un tirante del diametro di 1,5 mm ha una portata di oltre 100 kg). Il sistema di regolazione dei tiranti, mantenuti in **tensione**, consente di determinare in modo preciso l'inclinazione della mensola.

*Richard Sapper*  
*Robots*  
2004



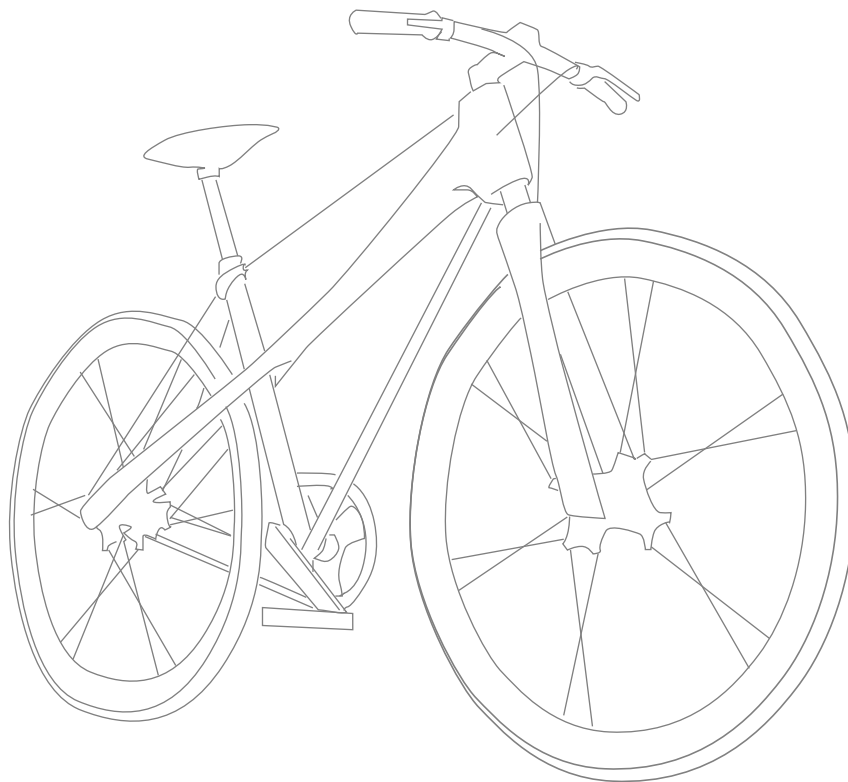


## BOW

La lampada Bow, come il nome stesso suggerisce, si caratterizza per l'inconfondibile forma ad arco. Bow è una lampada da terra con montatura e diffusore interamente realizzati in alluminio; ancorata alla parete in un punto. Bow è un oggetto che coniuga tradizione e tecnologia dei materiali. L'equilibrio che si crea tra l'arco flesso e la **tensione** del cavo di alimentazione, rende questa piantana un elegante esercizio di statica.

*Valerio Cometti + V12 Design*  
*cliente: Aureliano Toso*  
*2009*





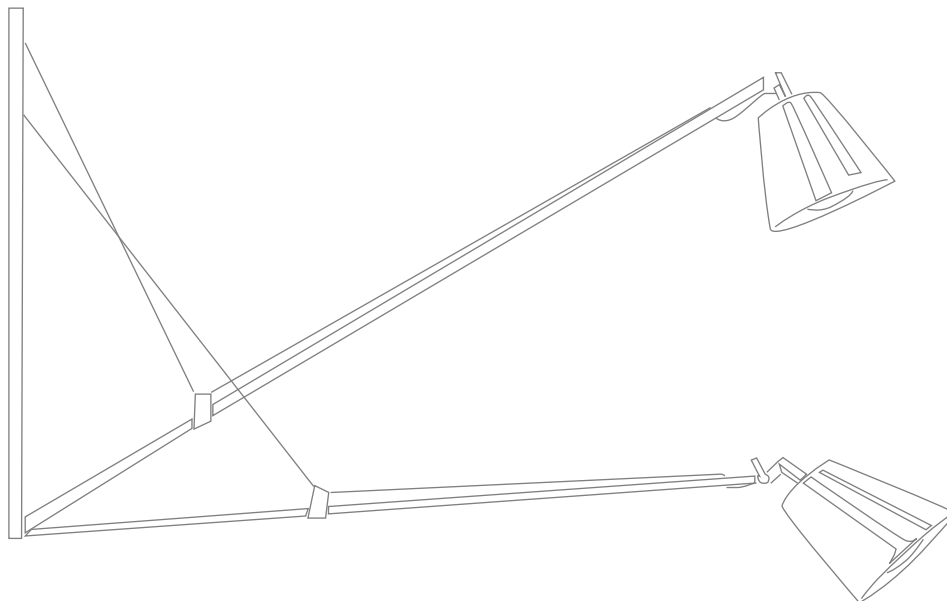
## WIRE BIKE

Questa bicicletta sembra aver dimenticato qualche tubo. A sostituirli sono stati localizzati dei fili di Kevlar. La bicicletta sfrutta la tensione dei cavi. Wire Bike propone la sostituzione del telaio classico a tubi con i fili di Kevlar. Anche in questo progetto, la tensione dei cavi, sostituiscono delle componenti, conferendo al progetto leggerezza, adeguata resistenza con il minimo stipendio dei materiali impiegati.

*Ionut Predescu*  
*concept*  
*2009*







## HALLO WORK

Hallo work, presentato da 45 Kilo e presentato al Salone Satellite 2012 di Milano, è una lampada regolabile. Hallo Work affascina per la sua semplicità e funzionalità: il meccanismo di regolazione è un semplice cinturino di pelle mantenuto in tensione, tramite lo spostamento di questo lungo il braccio, si può modificare l'altezza a seconda dell'esigenza. Ne risulta, una lampada semplice ed essenziale, nel quale il meccanismo non è nascosto, ma si mostra e ne evidenzia la sua bellezza.

*45 Kilo  
Salone Satellite  
2012*



BUSY ROUND  
table

HALLO WORK  
wall mounted working light



**percorso metaprogettuale**

In questa sezione relativa al percorso metaprogettuale, ho analizzato l'ambito di ispirazione: il design nautico. Da questa tipologia ho tratto riferimenti formali e proprietà meccaniche che ho successivamente travasato nel design dell'arredo in diverse tipologie di famiglie. Ho, così, individuato le caratteristiche che avranno i miei semilavorati e la loro tecnologia costruttiva, definendo in modo chiaro le caratteristiche che dovranno avere queste tipologie di prodotti.

# Ai limiti della tensione: il design nautico

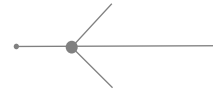
Durante la fase metaprogettuale mi sono ispirata all'albero della barca a vela. L'albero della barca a vela, infatti è costantemente sottoposto a rilevanti sforzi, e deve essere quindi rinforzato da un sistema di cavi tesi: sartie e stralli che lo sostengono e lo mantengono dritto. infatti con la loro tensione, si controlla il contenimento della flessione dell'albero, evitando, così, la deformazione e conseguente rottura.

Durante la fase progettuale mi sono soffermata sul nome dato alla libreria tensostrutturata di franco Albini: "Veliero". Ho iniziato così, ad analizzare il campo nautico, rimanendo affascinata dalla struttura dell'albero delle barche a vela. La barca a vela, e più precisamente l'elemento principale di questa, l'albero. L'albero è sottoposto a rilevanti sforzi dall'azione del vento sulla vela, deve essere quindi rinforzato da un sistema di cavi (chiamati manovre fisse o dormienti) che lo sostengono e lo mantengono dritto.

Tali cavi, oggi costruiti tutti in metallo, sono :  
-le **sartie**: sostengono l'albero lateralmente  
-gli **stralli**: sostengono in senso longitudinale. Allontanano le sartie dall'albero, migliorano l'angolo di lavoro di sostentamento e distribuiscono i carichi sull'albero stesso; impediscono all'albero di torcersi. Possono essere dritte o acquaretate).



*coppia di crocette dritte*



*coppia di crocette a quartiere*

Sia le sartie che gli stralli vengono messi in tensione e regolati mediante dei tendicavi metallici, chiamati tornichetti. Quando gli alberi sono piuttosto alti, non basta una sartia per parte, ma ne occorrono due e, talvolta, anche tre. Le lande e le piastre di queste sartie verranno disposte in posizioni diverse, in

*strallo di poppa*

*strallo di prua*

*sartia alta*

*crocetta*

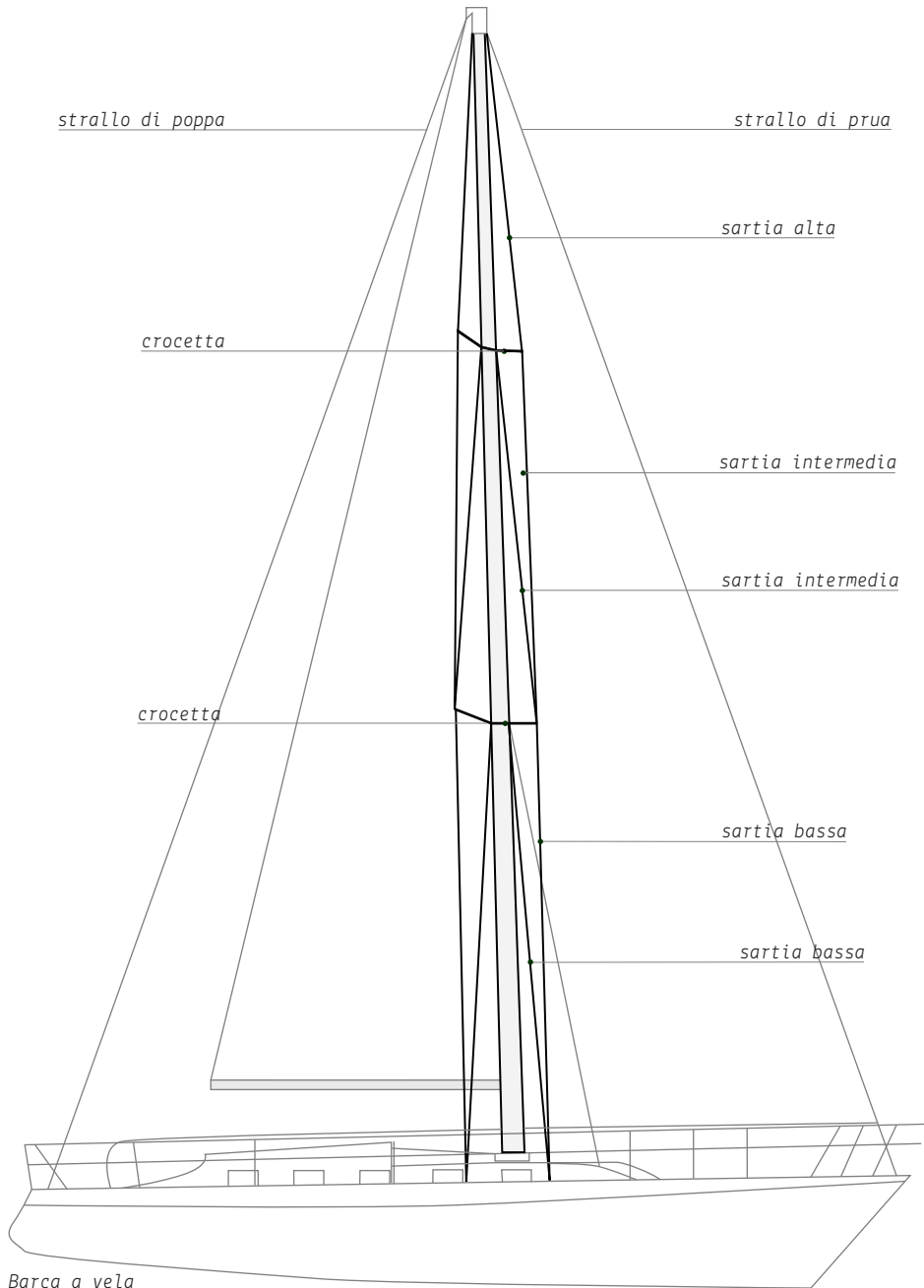
*sartia intermedia*

*sartia intermedia*

*crocetta*

*sartia bassa*

*sartia bassa*





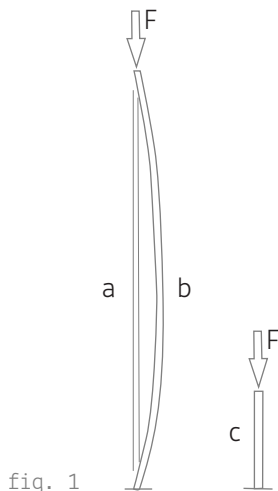


fig. 1

modo che ogni sartia sostenga l'albero nei punti di maggiore sforzo. Infatti con la loro tensione, si controlla il contenimento della flessione dell'albero. Con le attuali sezioni degli alberi una mancata messa a punto delle sartie, provocherebbe la deformazione o rottura dell'albero. L'applicazione di tecnologie sempre più avanzate ha permesso di realizzare alberi in lega leggera, robusti e flessibili tenuti in posizione da sartie e stralli d'acciaio e da cavi in sottile e robusta fibra sintetica. Ciò ha permesso di ridurre dimensione e peso. Nelle imbarcazioni a noi contemporanee l'albero è, in genere, costruito in lega leggera d'alluminio e ciò realizza un risparmio di peso considerevole nella parte alta dell'attrezzatura. Questo alleggerimento dovuto alla riduzione di materiale impiegato è dovuto all'azione tensiva di irrigidimento da parte delle sartie e degli stralli. E' evidente che un albero è tanto più flessibile quanto minori sono le sue dimensioni in

relazione all'altezza, per spiegare meglio questo concetto, nella figura in alto è rappresentato un esempio basilare (figura 1).

#### stralli, sartie e crocette:

L'albero di una barca a vela dev'essere sostenuto costantemente nella sua posizione. Per questo ho deciso nelle pagine seguenti, di illustrare passo per passo le funzioni degli elementi in tensione che irrigidiscono la struttura. Disegni e brevi spiegazioni illustreranno le varie parti che giocano questo ruolo fondamentale sull'albero della barca a vela, e la loro corrispettiva funzione. Parliamo, in un primo momento, dell'albero: E' evidente che l'albero ha bisogno di sostegni, altrimenti non può rimanere nella sua posizione verticale e tende a cadere (verso prua, verso poppa, a dritta o a sinistra) ruotando intorno alla propria base (fig. 2).

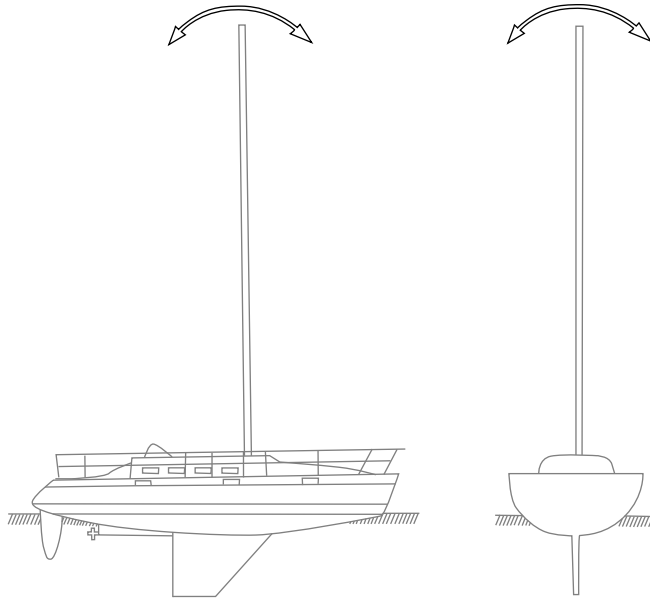


fig. 2

118

Uno strallo di prua ed uno di poppa impediscono i movimenti longitudinali (fig. 2)

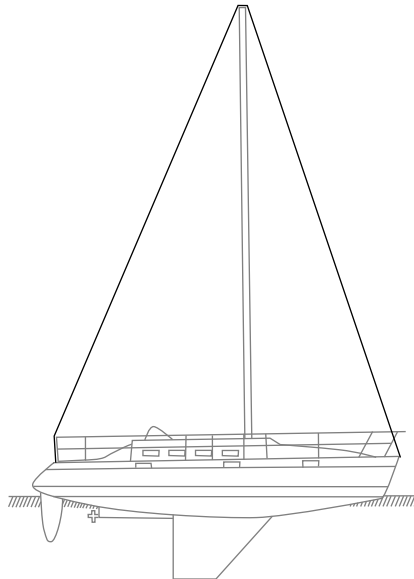


fig. 3

La presenza di due sartie, contrasta invece gli spostamenti laterali (fig. 3)

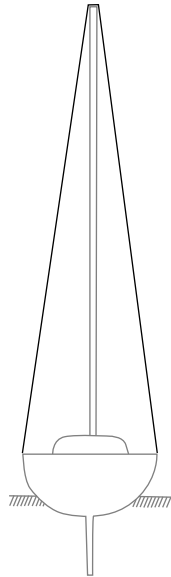


fig. 4

Se due crocette fanno forza sulle sartie spostandole verso l'esterno, la situazione statica migliora ancora un pò (fig. 4). Ciò comporta una compressione sull'albero minore: come se il punto in coperta da cui tirano le sartie fosse spostato verso l'esterno della barca (fig. 5)

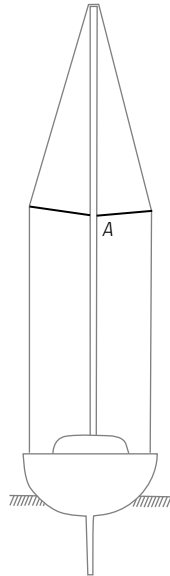
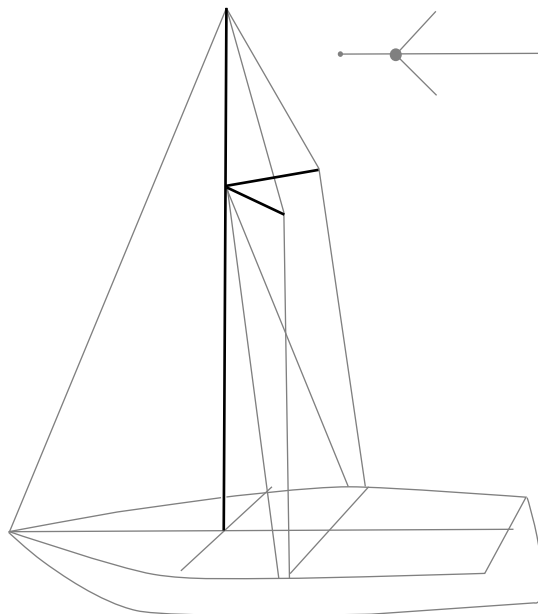


fig. 5

### Crocette a quartiere

Le crocette allontanano le sartie dall'albero, distribuiscono i carichi sull'albero stesso; impediscono all'albero di torcersi. Le crocette possono essere dritte o acquarterate. Il sistema di crociere quarterate è perfetta se vogliamo opporre una resistenza perfetta alla flessione laterale, in modo da dare comunque piena stabilità all'albero. Spostare le crocette all'indietro e attaccare le sartie su lande armate a poppa via dell'albero, (operazione necessario per ottenere l'equilibrio con solo tre tiranti), si dice mettere a quartiere (quarterare) le crocette. In questo modo si dà quartiere alle crocette, che caratterizzano appunto l'armo con le crocette quarterate. (Singolo ordine di crocette a quartiere)



*crocette a quartiere*







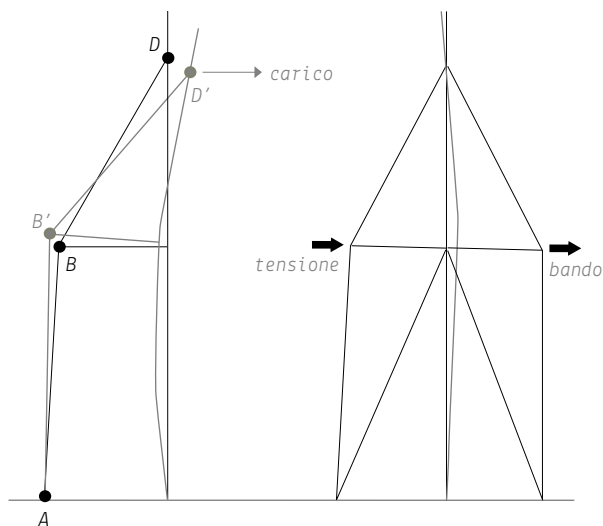


*PARTICOLARE: crocette*

### La funzione delle crocette:

Le crocette sono fondamentali per irrigidire la struttura. Ora descriverò esattamente cosa accade quando mettiamo una crocetta, cioè un puntale fra l'albero e la sartia.

Il carico deforma l'albero, il quale durante la flessione spinge la crocetta, contro la sartia nel punto B. Per la deformazione il punto B si sposterebbe in B' e D in D'. Questo comporterebbe un allungamento della sartia da ABD in AB'D'. Dato però che la sartia non è estensibile, ecco che la resistenza che questa opporrà all'allungamento, diverrà la reazione alla deformazione. Mentre una sartia si carica, cioè si tende alla deformazione dell'albero, la sartia opposta a quella in tensione sta in bando e si scarica allentandosi. In questo modo l'albero mantiene la sua posizione di equilibrio.







*PARTICOLARE: crocette*







*barche a vela*

# congiunzioni

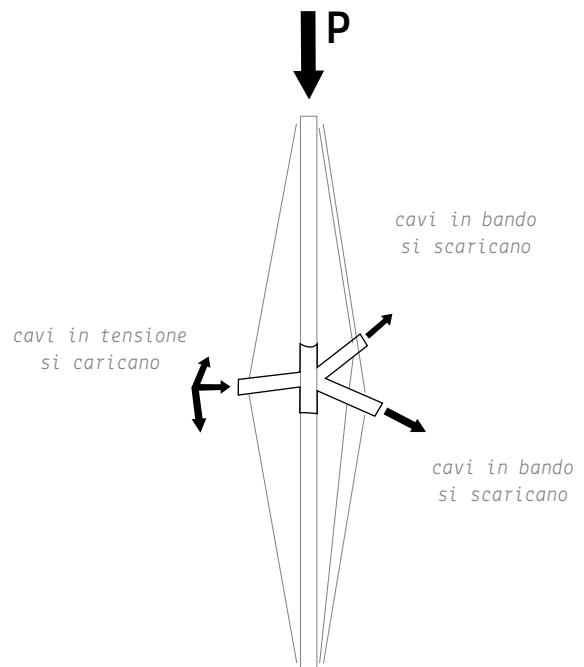
Dopo aver analizzato ed evidenziato l'importanza e la valenza strutturale dell'elemento crocetta e delle sartie (tiranti), ho deciso che il mio progetto di tesi si concentrerà, appunto, sugli elementi "chiave" delle barche a vela. Estrapolando questi elementi ed analizzandoli uno ad uno, saranno il punto di partenza per la progettazione delle congiunzioni che andrò ad inserire nelle gambe dei prodotti.

Ricollegandomi al precedente studio sulle barche a vela e sulle sue relative funzioni di sartie e crocette, ho così, deciso di progettare degli elementi di congiunzioni che avranno la funzione e forma simile agli elementi salienti che caratterizzano la barca a vela. La scelta di soffermarmi sulla produzione delle sole giunzioni ricade sulla decisione di progettare elementi che si possano inserire in diversi progetti a seconda del loro scopo e definizione d'uso. Elementi che andranno ad inserirsi nei progetti e

assolveranno a problemi di carattere strutturale ed estetico. Nell'ambito delle barche a vela, sono due gli elementi strutturali che caratterizzano la struttura garantendone la funzionalità e l'equilibrio, una è la crocetta, elemento centrale che allontana le sartie dall'albero, l'altro è l'arridatoio: elemento che mantiene tesi i cavi e ne assicura (con il passare del tempo) la possibilità di poter irrigidire tensionando i cavi che hanno subito uno smollamento. Ho progettato, quindi, una rivisitazione di questi due elementi principali che diverranno così giunzioni dei progetti. Una giunzione centrale: la crocetta, e due giunzioni di chiusura posizionati sopra e sotto il tubo della gamba che fungeranno da arridatoio e terminale a pressare. In questo modo, le giunzioni saranno inserite in tutti i progetti, in grado di fornire resistenza strutturale oltre alla componente estetica, mentre l'altezza della gamba relativa al prodotto, varierà a seconda della funzione a cui l'oggetto è destinato.

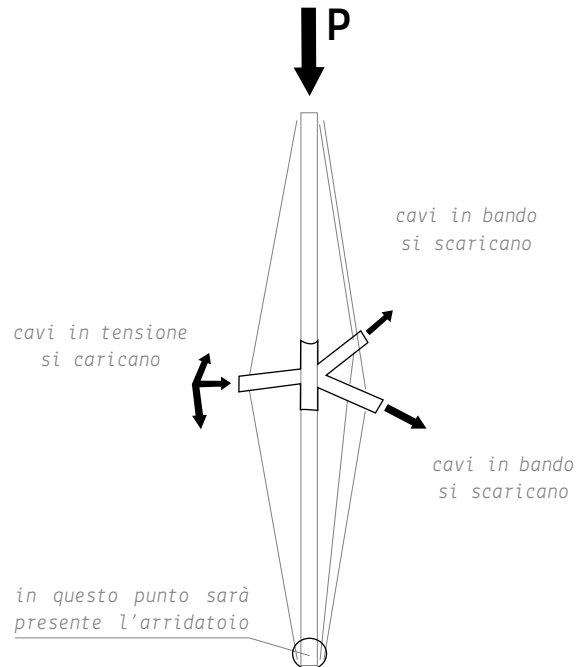
## Funzione della crocetta:

La prestazione dei tiranti è fondamentale per assicurare alla struttura il necessario equilibrio e resistenza delle le gambe nella struttura. Inoltre, fungono una rilevante funzione durante l'azione di compressione che la forza esercitata sulla gamba: la forza spingendo sulla gamba, produce nel centro una flessione, il tondino tende a flettersi nel centro, questo non accade con l'ausilio della crocetta e dei tiranti ad esso collegati. Quando la forza preme sulla gamba, il tondino reagisce alla flessione grazie all'ausilio dei tiranti, i quali, però, non rimangono immuni alla forza esercitata: nella direzione nel quale il tondino si flette, i tiranti si caricano, cioè si tendono; nella direzione opposta, contrapponendosi alla tensione dei tiranti opposti, le sartie (tiranti) si scaricano, riprendendo il termine usato nella nautica, stanno in bando, rilasciando così la loro tensione.



Funzione dell'arridatoio:

L' arridatoio è uno strumento meccanico utilizzato in nautica per tendere (tesare) una manovra dormiente, cioè l'insieme dei cavi che sorreggono l'albero dell'imbarcazione. È costituito da due corpi filettati che si possono avvitare o svitare dentro ad un corpo cilindrico controfilettato. Una parte filettata è attaccata alla coperta, l'altra alle sartie da tendere. Il suo lavoro consiste nel poter tendere i tiranti quando questi si allentano. Infatti, i tiranti soggetti all'azione di una forza a compressione non rimangono immuni da essa: nella direzione nel quale il tondino si flette, i tiranti si caricano, cioè si tendono; nella direzione opposta, contrapponendosi alla tensione dei tiranti opposti, i tiranti si scaricano, riprendendo il termine usato nella nautica, stanno in bando, rilasciando così la loro tensione. L'arridatoio serve a ritensionare i cavi allentati.







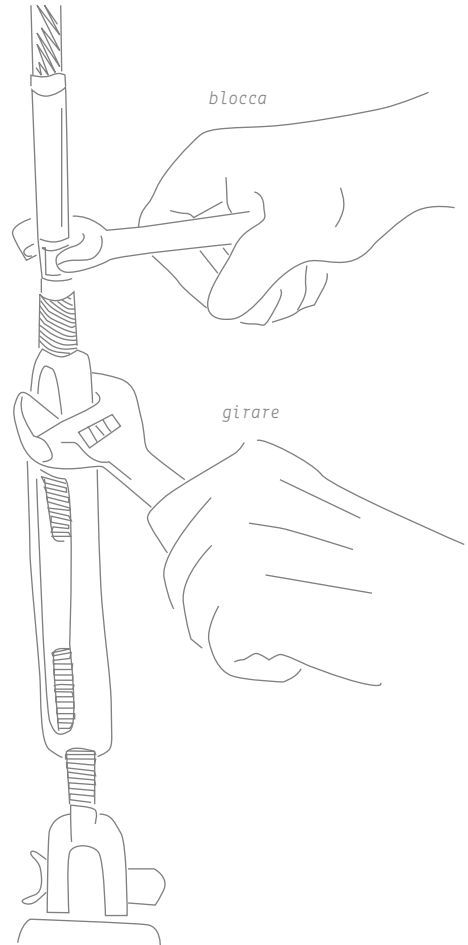
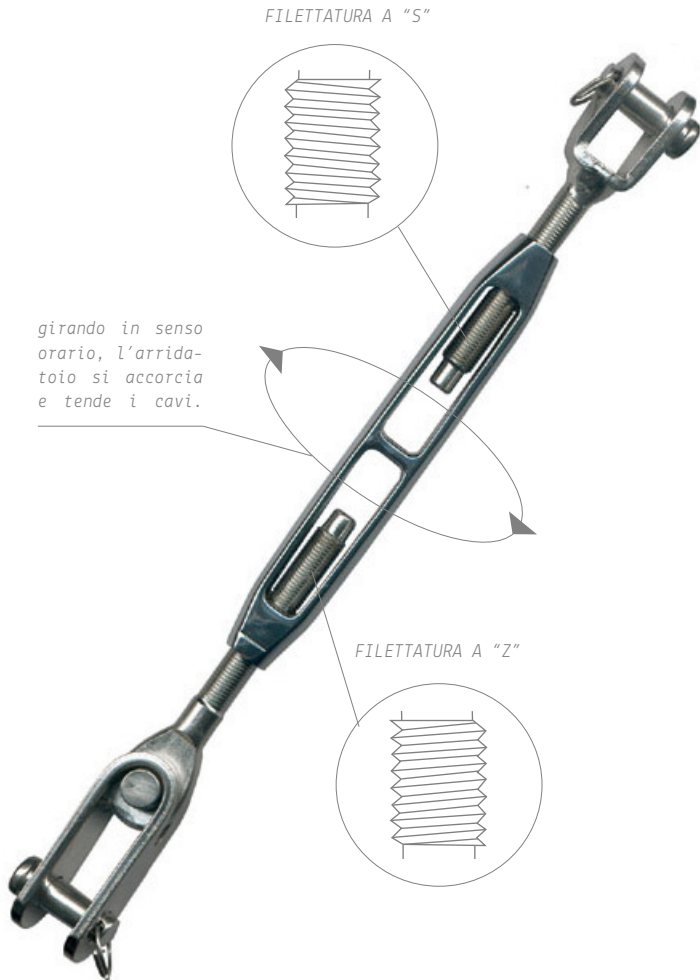


## Arridatoio

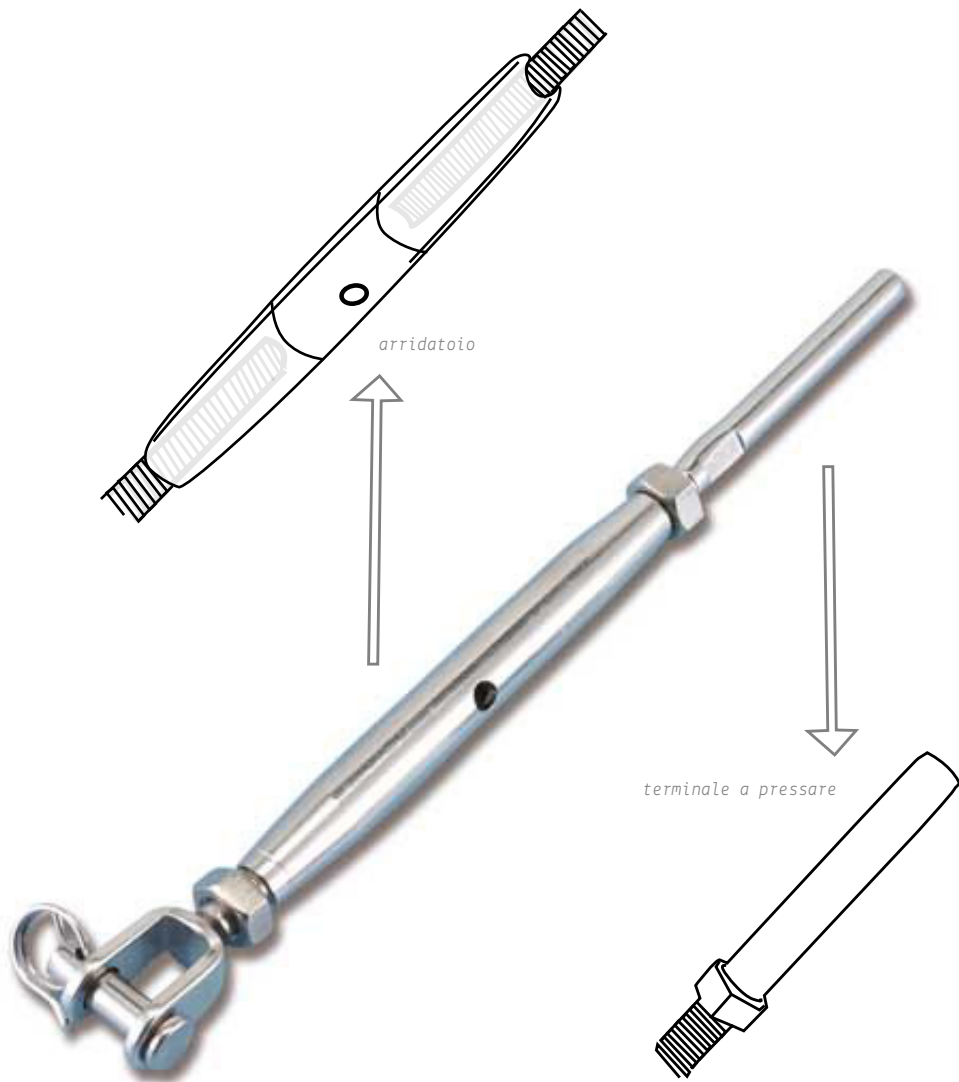
Strumento meccanico usato per tendere una manovra dormiente, cioè l'insieme dei cavi che sorreggono l'albero dell'imbarcazione. È costituito da due corpi filettati che si possono avvitare e svitare dentro un corpo cilindrico controfilettato. Girandolo in senso orario l'arridatoio si accorcia, si irrida.



Arriatoio



Terminale a pressare  
funzione: blocca i tiranti



**focus and concept**

Questa sezione, focus and concept, si propone l'obiettivo di mirare alla definizione delle caratteristiche formali e qualitative del prodotto. Vengono, così, definite le tipologie di famiglie scelte e le aziende da coinvolgere. Infine, sono passata alla definizione di alcuni concept, seguiti dalla definizione delle giunzioni strutturali per allargare la visione di questo tema ed esplorarne i campi applicativi.

# famiglie

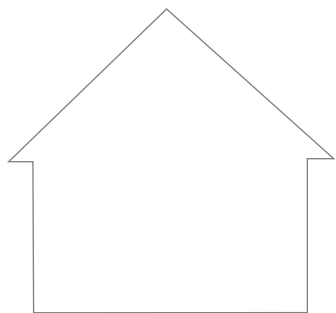
L'ambito in cui vado ad inserirmi all'interno del mio elaborato di tesi è il campo dell'arredo. Le strutture in tensione sono da sempre simbolo dell'architettura. Mi sono così imposta di lavorare sul cambio di scala, un transfert dall'architettura all'arredo. Elementi d'arredo che incorporano elementi architettonici.

Elementi d'arredo che incorporano elementi architettonici. Architettura che riduce le sue forme per divenire elementi d'arredo. Un continuum di richiami e legami tra opposti. Precarietà e stabilità. Scala micro (design dell'arredo) e scala macro (architettura). Leggerezza e resistenza. Da sempre colpita dalle strutture architettoniche, ho deciso così, di vederle realizzate nei mobili per la casa. Le problematiche sono le stesse, ma il mondo dell'architettura e quella del design sembrano completamente slegate tra loro, due perfetti sconosciuti. Eppure, in entrambi si ricerca la leggerezza, la

riduzione dei materiali impiegati, sfruttare al meglio la forma ed i materiali per ottenere la resistenza necessaria alla sua stabilità per poter assolvere la funzione per cui è stata progettata, la ricerca, quindi, delle combinazioni più adatte per poter assolvere alle proprietà indicate all'inizio del mio elaborato di tesi:

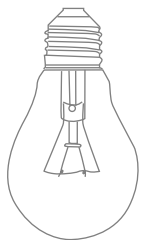
- leggerezza
- resistenza
- stabilità effettiva

Dovremmo, secondo me, più spesso ispirarci all'architettura, in quanto dovendo assolvere a funzioni tra le quali, contrastare forze e vincoli maggiori, si trovano soluzioni strutturali che si possono trasferire nel campo del design. Senza, però, mai tralasciarne la qualità estetica. Nella pagina seguente, ho così, indicato i campi dell'arredo che possono adottare le soluzioni indicate in questo elaborato di tesi.

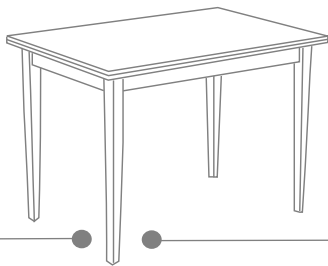


arredo

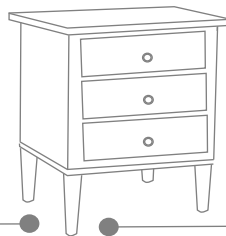




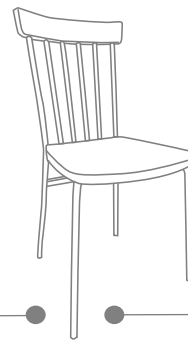
Illuminazione



Tavoli



Stivaggio



Sedute



# concept

140

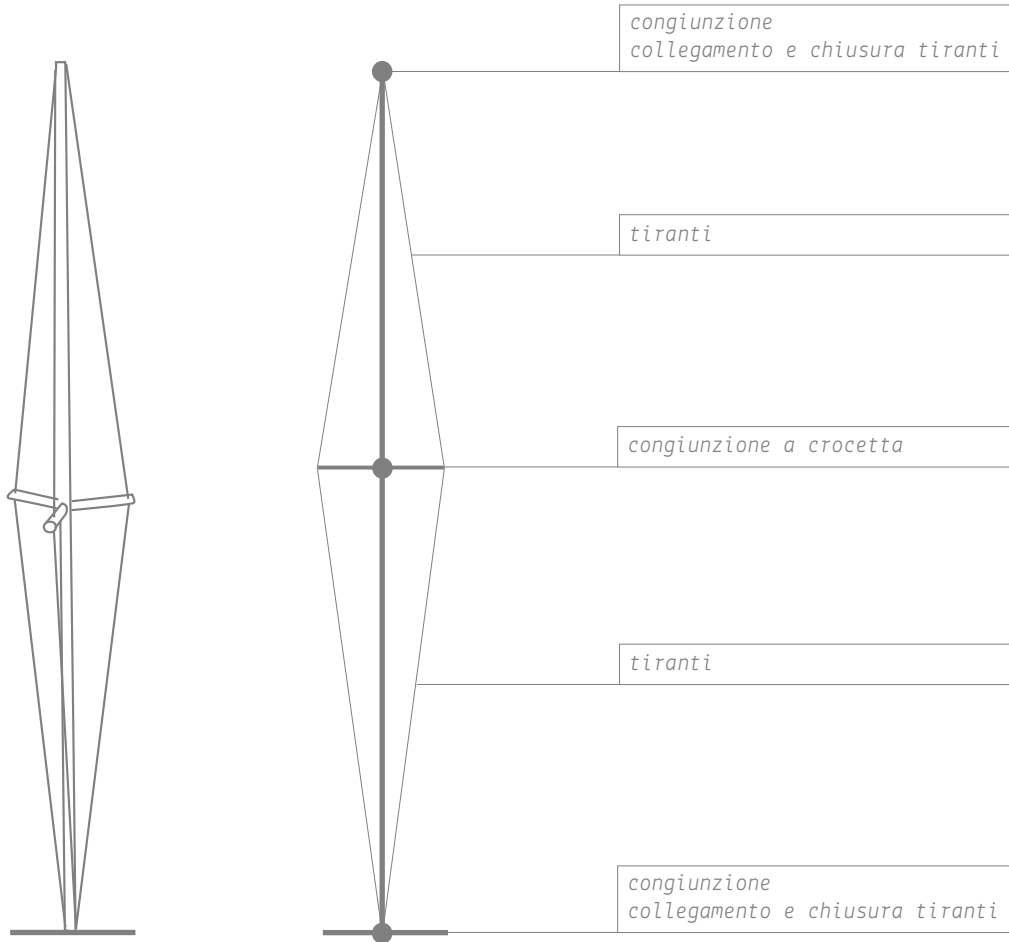
Ho progettato per ogni categoria relativa al campo del design dell'arredo, alcuni concept. La mia tesi prevede la progettazione delle sole gambe dei prodotti. Tutti i concept che andrò a proporre mi serviranno da pura rappresentazione per definire la destinazione del mio progetto sulle gambe.

Ho ipotizzato quattro oggetti, ognuno appartenente ad una famiglia differente nel campo dell'arredo: illuminazione, tavolo, stivaggio e sedute, che hanno in comune il riferimento con la struttura usata nelle barche a vele, composta da sartie e crocette. Questi elementi, che fungono da crocette e da sartie, servono, appunto, ad irrigidire la struttura, costituita da un minimo quantitativo di materiale, realizzato con un tondino di 6 mm, mentre i tiranti sono realizzati con un cavo di diametro minore di 2 mm; questa geometria consente soluzioni strutturali che permettono una ripartizione più omogenea del

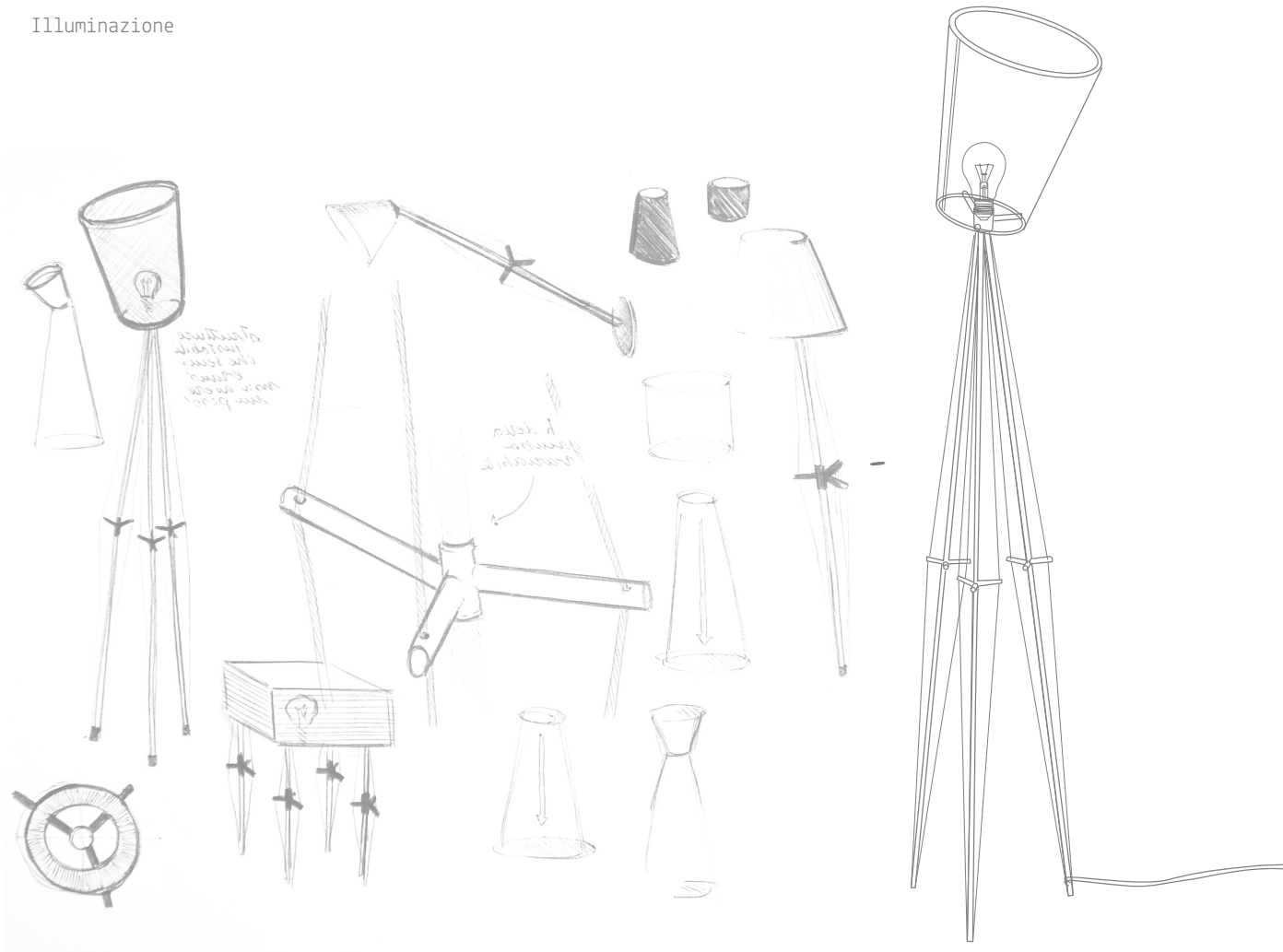
carico, ossia di quel complesso di forze gravanti sulla struttura, e di conseguenza la possibilità di realizzare oggetti più esili senza comprometterne la stabilità. Focalizzare l'attenzione su di una forza in particolare: la tensione. La tensione costituisce la risposta alle esigenze di ottenere un carico ripartito delle componenti del peso, ovvero di fare in modo che la forza sia ripartita uniformemente su tutta la superficie. Ne risultano, in questo modo, oggetti esili e leggeri, costituiti da un minimo quantitativo di materiale, ma che sono resistenti, assolvendo in questo modo alla loro funzione grazie all'irrigidimento dovuto alla tensione dei tiranti mentre la percezione visiva rimane immutata, risultando, così, instabile e precaria.

*Nelle pagine seguenti sono rappresentate delle idee ipotetiche di prodotti relativi al campo dell'arredo. I concept si inseriscono nelle famiglie elencate nel paragrafo precedente: illuminazione, tavoli, stivaggio e sedute.*

Elemento condiviso dei concept: le gambe



La mia tesi prevede la progettazione delle sole gambe dei prodotti. Tutti i concept che andrò a proporre mi serviranno da pura rappresentazione per definire la destinazione del mio progetto sulle gambe.



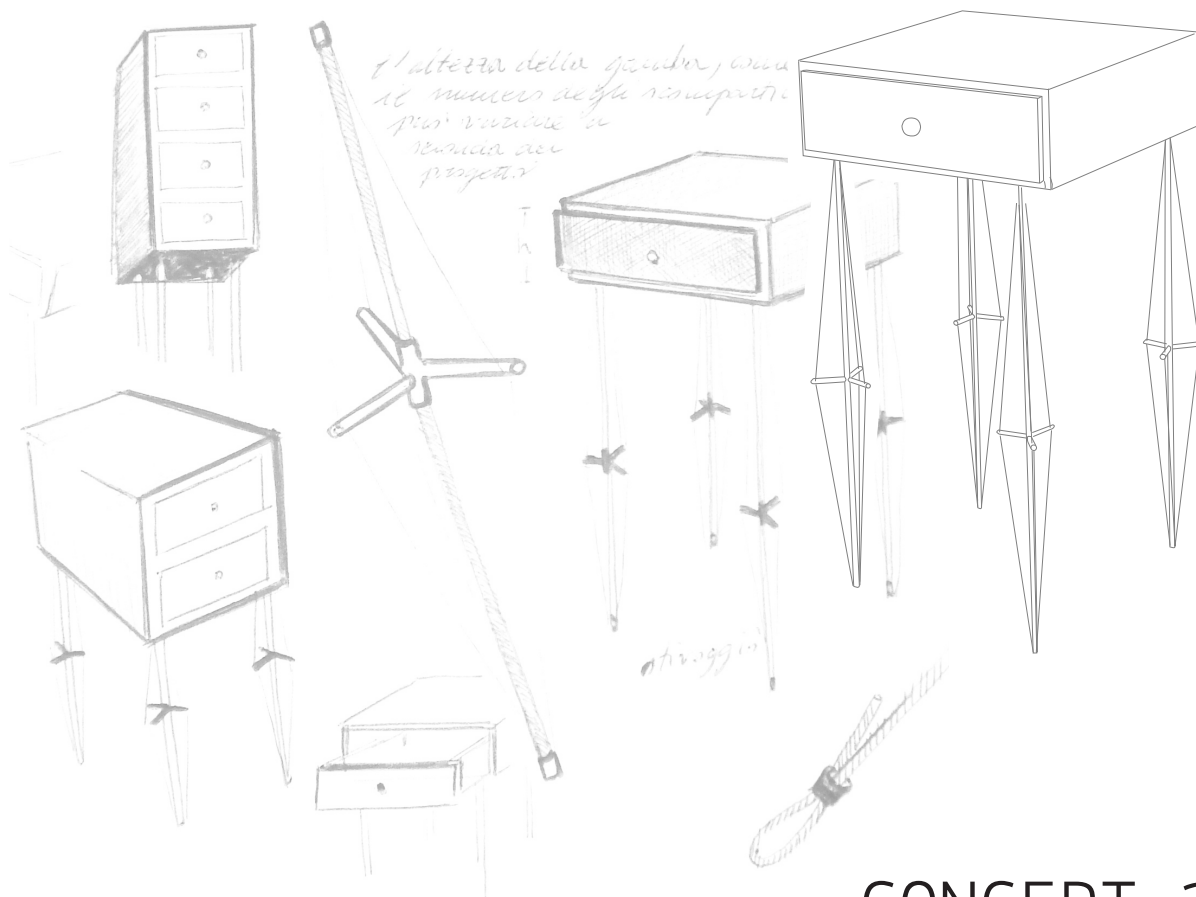
## CONCEPT . 1

Il primo concept si inserisce nella famiglia dell'illuminazione. Ho così, disegnato una lampada a tre gambe che riprende il tema dell'albero e delle crocette tenute in tensione delle barche a vela. Le tre gambe tenute inclinate di  $120^\circ$ , l'una rispetto all'altra, nel centro sono irrigidite dalle giunzioni a crocette, che grazie alla loro tensione, controllano il contenimento della flessione della struttura al centro. La percezione visiva è instabile, la stabilità sembra essere precaria.



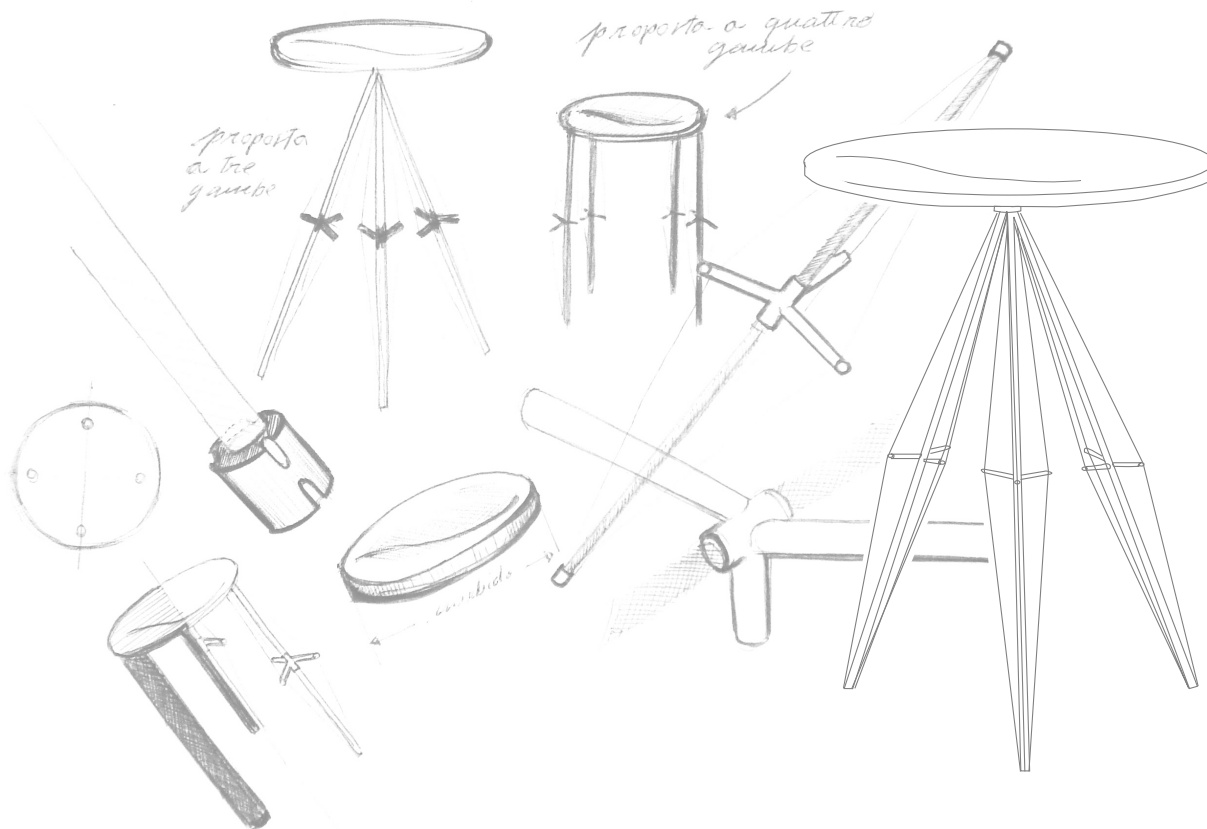
## CONCEPT . 2

Questo concept si inserisce nella famiglia dei tavoli. Il piano del tavolo trasparente lascia trasparire la geometria delle gambe sottostanti. Queste, riprendono la struttura degli alberi delle barche a vela, i tondini sono irrigiditi dai cavi in tensione. L'intera struttura appare precaria, visibilmente instabile. La leggerezza viene comunicata dalla minima quantità di materiale impegnato.



## CONCEPT . 3

Questo concept si va ad inserire all'interno della famiglia dello stivaggio. Le quattro gambe riprendono la struttura dell'albero della barca a vela, usando la tensione delle crocette e delle sartie (cavi). La percezione visiva è precaria, evidenziata anche dal contenitore trasparente che non nasconde, ma anzi mostra, il cassetto ed il suo relativo contenuto all'interno. Tutto viene mostrato, nulla è nascosto. La percezione visiva suggerisce instabilità, ma la stabilità effettiva è solida.



## CONCEPT . 4

Questo concept si va ad inserire all'interno della famiglia delle sedute. Anche in questo caso, la struttura riprende le crocette ed i cavi in tensione appartenenti al campo delle barche a vela. La percezione visiva suggerisce precarietà, instabilità. Tutto appare leggero, non solido, instabile. La tensione è la proprietà base del progetto. I materiali impiegati sono ridotti al minimo: i tondini che formano la struttura hanno un diametro di 6 mm. L'intera struttura regge grazie alla tensione.

# aziende

146

Come dimostrato precedentemente, alcuni grandi maestri del design come Albini, Munari, Castiglioni e De Lucchi si sono cimentati nella progettazione di strutture in tensione, ma non si evidenziano aziende leader nel settore che vantino una vera e propria produzione in questo campo.

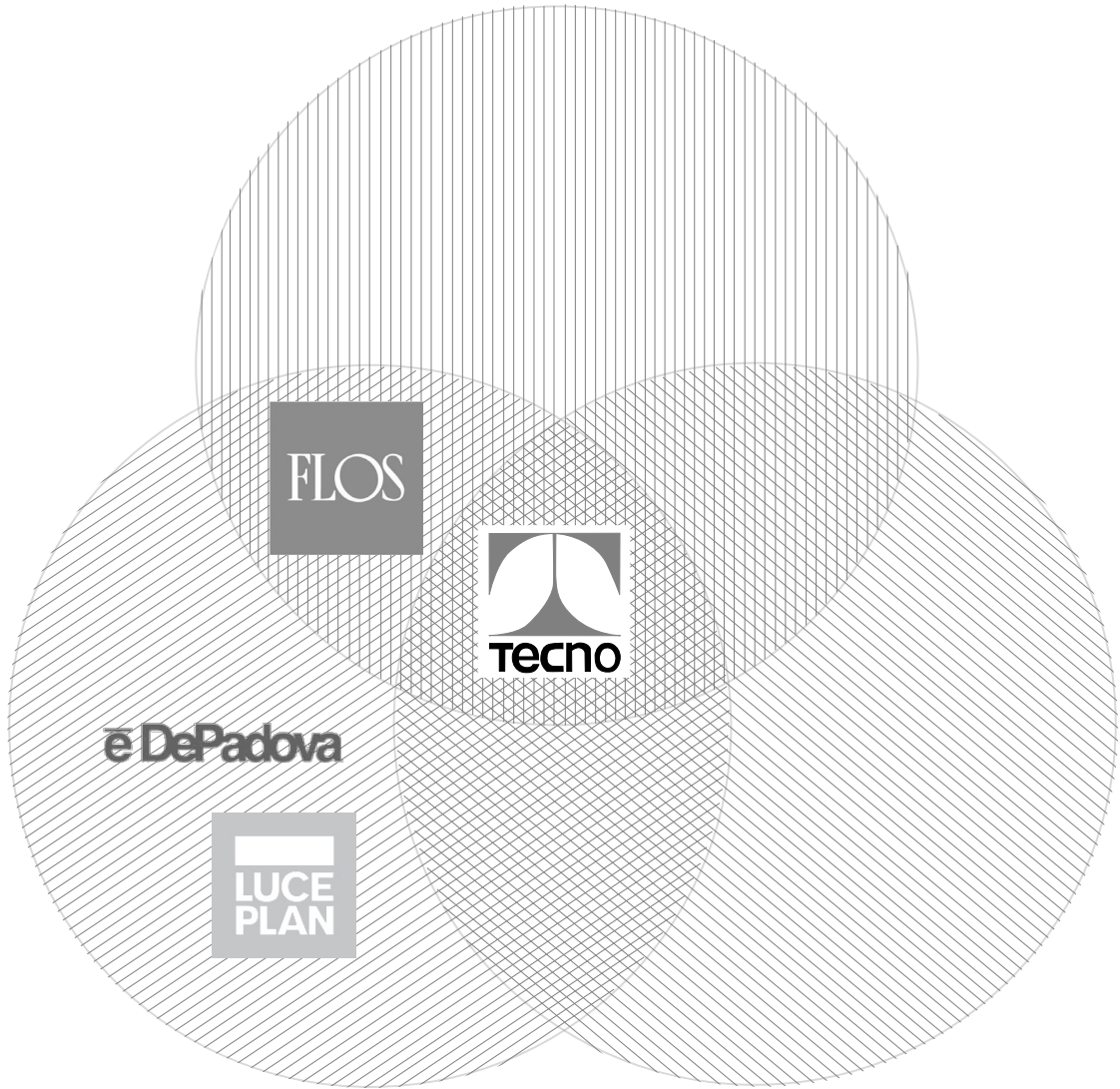
Durante la fase di ricerca sul design, mi sono imbattuta in un numero non troppo elevato di strutture in tensione. Esistono, infatti, come nel caso della libreria Veliero di Franco Albini o la lampada Tolomeo di De Lucchi, casi in cui si è raggiunta la perfezione totale dell'oggetto, prodotti che legano estetica e funzione, e che sono per questo motivo divenute icone del design italiano. Forse per questo motivo, non esistono progetti "alla stessa altezza" di questi, data l'alta competizione. Ho così, proposto nomi di aziende che potrebbero essere coinvolti nella produzione del mio progetto di tesi. Rifacendomi all'introduzione di questo capito-

lo, non esiste un'azienda leader nel settore, le mie scelte, quindi, sono ricadute su aziende che in passato o nel presente hanno avuto a che fare con il campo della **nautica** o elementi e materiali che la richiamano fortemente mediante l'uso dei materiali impiegati. Per questo motivo ho analizzato aziende che evidenziano lo stile **high tech**, la cui peculiarità sono la trasparenza e la leggerezza degli elementi strutturali, la raffinatezza dei dettagli che rimandano ad una sensazione di immaterialità e di sospensione. Un approccio tecnologico, quindi, che sperimenta la sintesi dei materiali. Mi sono, inoltre, imbattuta anche in un'azienda che si occupa anche di architettura ed in particolar modo le tensostrutture. Ho, in questo modo, creato tre insiemi:

- design nautico
- design high tech - high touch
- tensostrutture

In cui ho inserito ed analizzato le seguenti aziende: De Padova, Luceplan, Flos e Tecno.

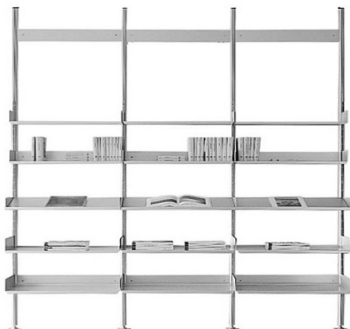
design nautico



design high-tech, high-touch

tensostrutture





1.



2.



3.



4.

# e DePadova

L'azienda De Padova nasce nel 1956, anno in cui Maddalena e Fernando De Padova iniziano a commercializzare mobili importati dai paesi scandinavi. L'azienda cresce e si sviluppa collaborando con Herman Miller, Charles Eames, ed altri designer affermati. La mia scelta è ricaduta su quest'azienda, per l'essenzialità delle forme e la percezione visiva di leggerezza.

## 1. 606 Universal Shelving System

Dieter Rams  
1984

*libreria interamente in alluminio, leggera e luminosa.*

## 2. Asseman

Patrizia Cagliani  
1984

*struttura tubolare in acciaio verniciato bianco.*

## 3. tavolo Quadrato

1986

tavolo minimalista.

## 4. Framura dondolo

Aksu - Suardi  
2009

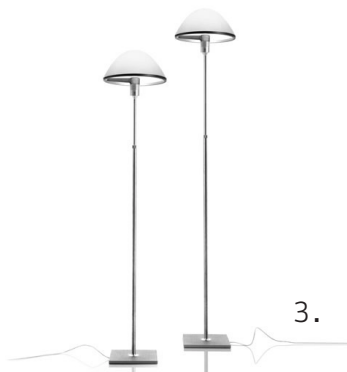
dondolo realizzato in tubolare di alluminio saldato.



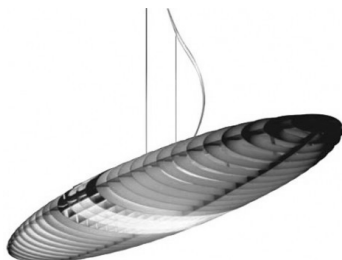
1.



2.



3.



4.



Luceplan nasce nel 1978 da Riccardo Sarfatti, Paolo Rizzatto e Sandra Severi. Luceplan progetta e produce oggetti in cui l'innovazione è percepibile

da ogni punto di osservazione, declinata in quell'area di confine tra tecnologia e funzione. L'azienda è stata scelta per le forme essenziali e la sensazione di leggerezza che gli oggetti emanano.

## 1. Berenice

Alberto Meda, Rizzatti Paolo  
1985

*Struttura leggerissima, in alluminio naturale.*

## 2. Trama

Balestrini, Longhi  
1986

*Struttura sostenuta e regolabile tramite i tiranti.*

## 3. Miranda

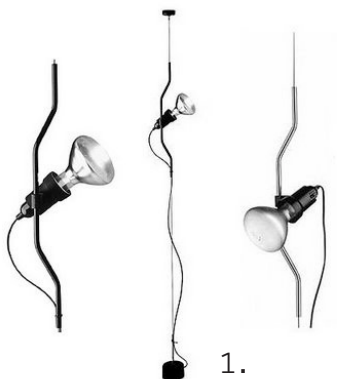
Rizzatti Paolo  
2003

*Struttura in alluminio.*

## 4. Titania

Alberto Meda, Paolo Rizzatto  
1989

*L'orditura delle centine in alluminio riflette la luce.*



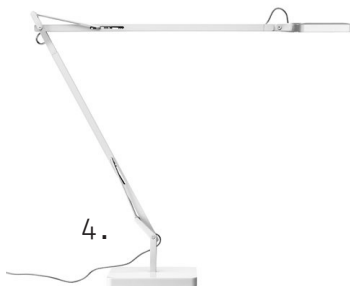
1.



2.



3.



4.

# FLOS

L'azienda Flos si avvale di designer come Piero Lissoni; il quale in collaborazione con lo Studio Brenta Yacht Design, Lissoni ha realizzato gli interni della barca a vela Ghost (2005) e con il cantiere Mondo Marine ha progettato lo yacht Tribù (2007). Avendo conoscenze nell'ambito nautico una delle mie scelte è ricaduta proprio su questa azienda.

## 1. Parentesi

Achille Castiglioni  
1971

*L'elemento illuminante scorre su un'asta metallica tesa.*

## 2. Frisbi

Achille Castiglioni  
1978

*Tre fili sottili di acciaio sostengono il piatto diffusore.*

## 3. Archimoon

Philippe Stark  
Alluminio estruso, tiranti in acciaio.

## 4. Kelvin base

Antonio Citterio  
2009  
Alluminio estruso, tiranti esterni in acciaio.



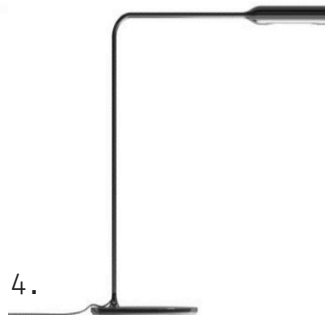
1.



2.



3.



4.



Tecno spa, è stata fondata nel 1953 da Osvaldo e Fulgenzio Borsani. Ho scelto, questa azienda sia per la sua conoscenza nell'ambito nautico (hanno progettato Moto-ryacht tra il 1993 ed il 1995), inoltre, in azienda si occupano di architettura, vantando una gran conoscenza sulle tensostrutture dei ponti (tra le realizzazioni: Arsta bridge in svezia 1994-2005; Millau Viaduct in Francia 1993-2004; Millennium bridge negli Stati Uniti 1996-2000).

1. P08

Jostus Kolberg  
1991

*Sedia pieghevole, acciaio inox.*

2. Tecno - Nomos  
Desking System

1987

*Struttura a spina dorsale.*

3. Three sixty table  
lamp

FontataArte  
2005

4. Flo light

Lumina  
2011



**progetto**

Ho approfondito e realizzato dei modelli delle giunzioni che ho progettato; così, da poter mostrare le reali proporzioni dell'elemento, rendendo visibili le minime quantità di materiale impiegato. . Ho voluto, così, realizzare un prototipo in scala 1:1. Ho voluto "metter mano" alle problematiche ed alle soluzioni che si vengono a creare e testarne l'efficacia.

# anatomia della gamba

In questo capitolo ho designato l'anatomia delle congiunzioni. Le forme si ispirano fortemente al design nautico ed agli elementi analizzati nei precedenti capitoli.

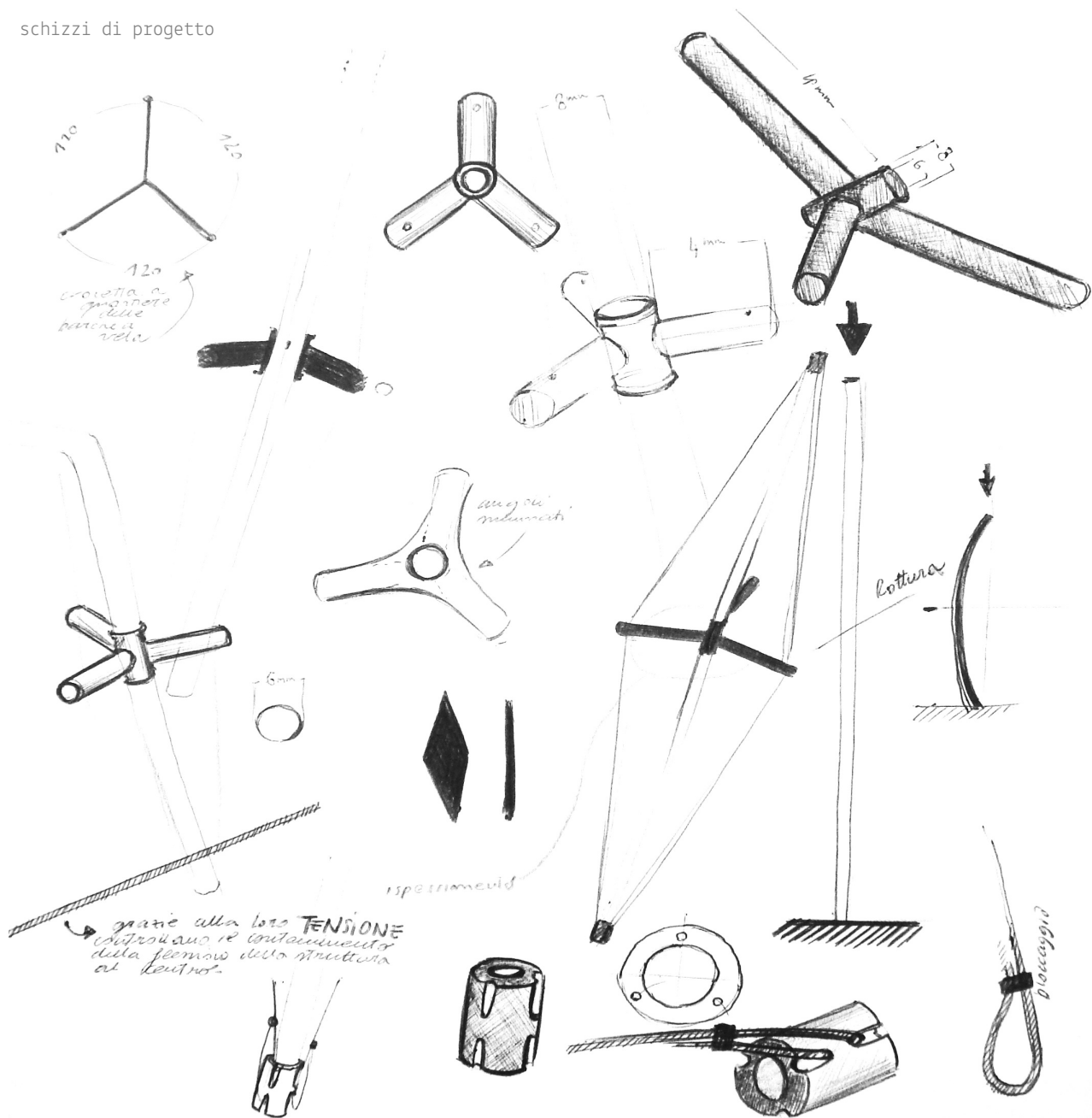
In questa fase di tesi mi sono soffermata nuovamente sulle proprietà analizzate nel primo capitolo di questa tesi, rinforzando la loro importanza durante l'elaborazione del concept e del progetto. L'importanza che viene data a queste proprietà sarà, in seguito, la linea guida che mi porterà alla definizione del progetto. Requisiti e proprietà sono direttamente collegati tra loro e rappresentano una fase fondamentale del progetto. Inoltre, il mio scopo principale è quello di convalidare la tesi che i materiali utilizzati nell'ambito nautico sono quelli con proprietà meccaniche migliori e che quindi soddisfano totalmente i requisiti da me proposti ed elaborati. Ho, così, selezionato i materiali utili alla definizione del mio pro-

getto di tesi attuando il metodo di selezione per sintesi o analogie (ragionamenti induttivi).

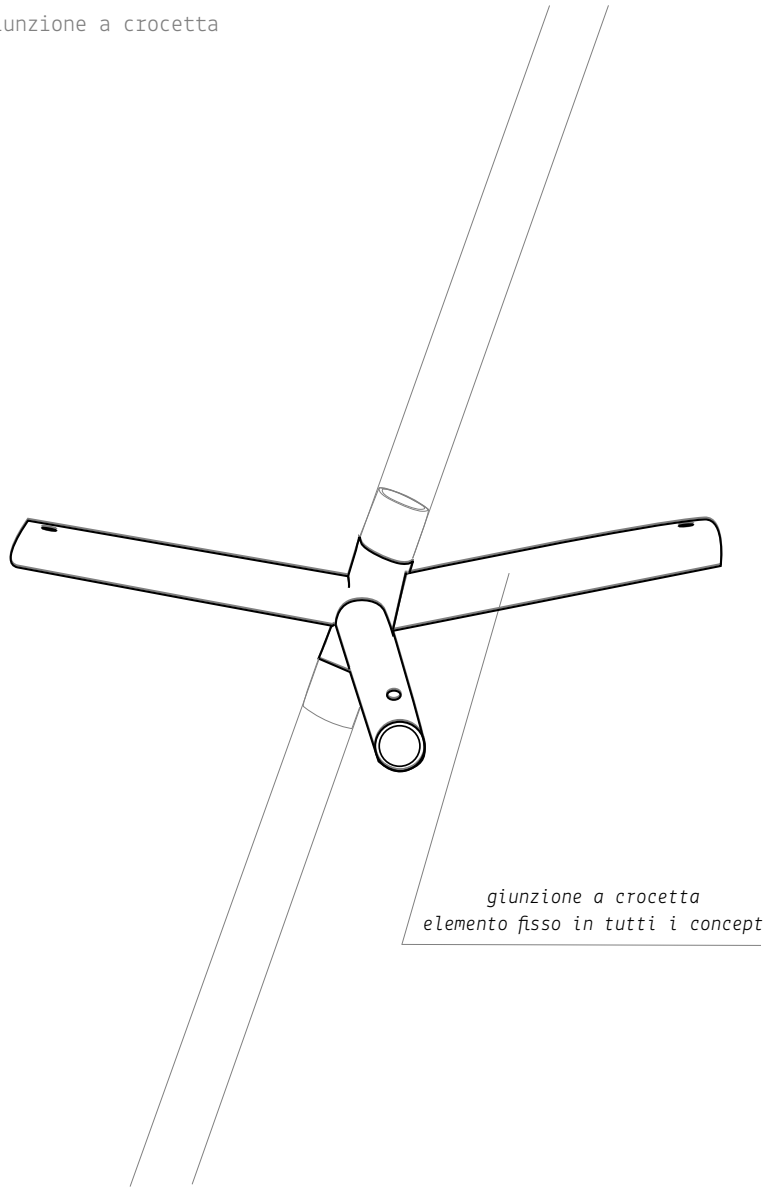
In questo capitolo ho approfondito le proprietà fisiche (durabilità) e principalmente le proprietà meccaniche (rigidità, resistenza, tenacità, duttilità). Elencherò, di seguito i requisiti che dovrà soddisfare il mio progetto, e che rispondono ai requisiti posti all'inizio della mia tesi, confermate dalle citazioni di quattro personaggi influenti nel mondo del design:

Non deformabile - tensione (Bruno Munari)  
Resistente - far resistente (Gillo Dorfles)  
Durevole - stabilità effettiva (Franco Albini)  
Leggerezza - far leggero (Renzo Piano)





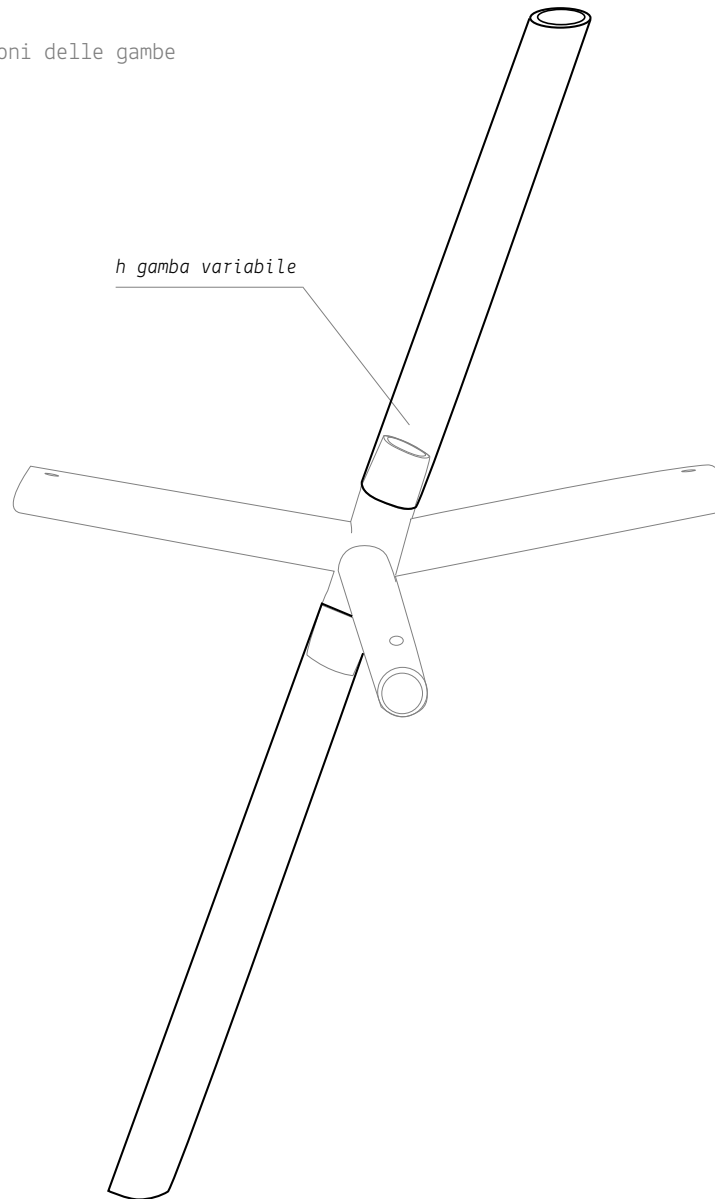
anatomia della congiunzione a crocetta



*giunzione a crocetta  
elemento fisso in tutti i concept*

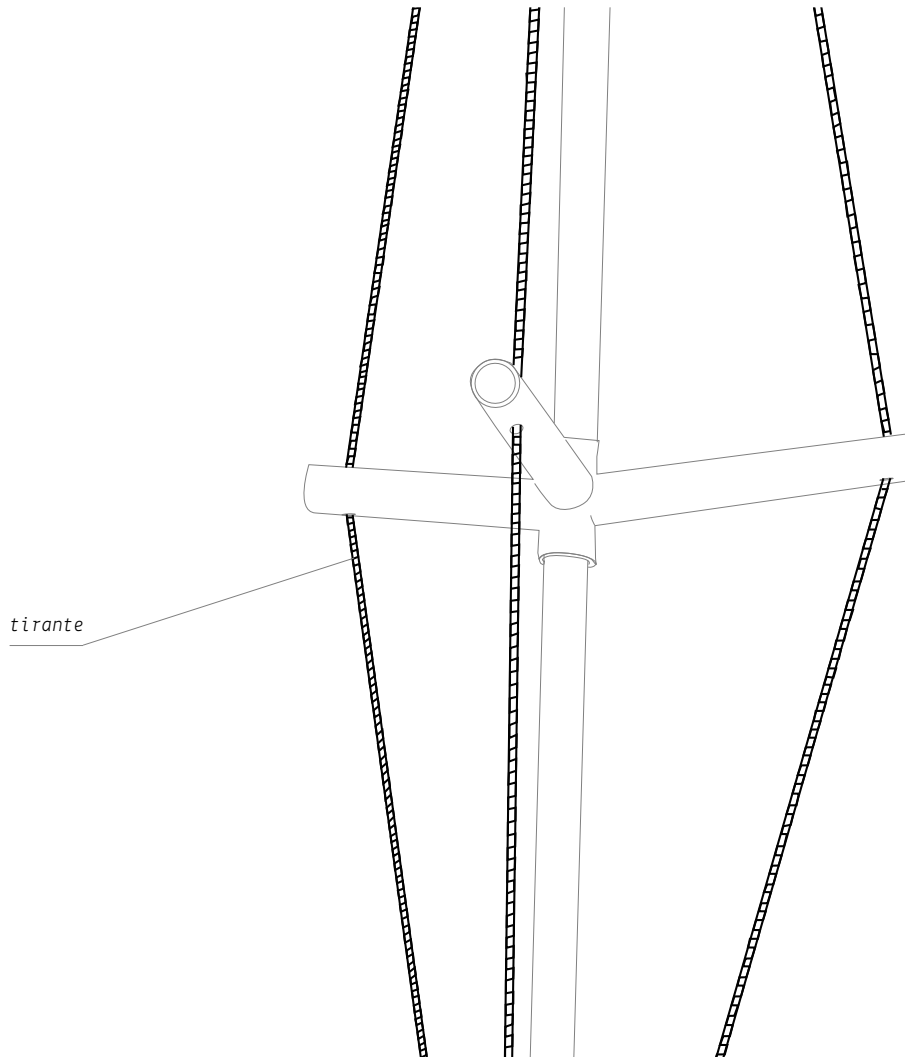
Uno degli elementi fissi che si ripetono in tutti i progetti sono le congiunzioni, l'elemento centrale: la crocetta, a questa sono collegati i tiranti, che grazie alla loro tensione, controllano il contenimento della flessione della struttura al centro.

anatomia delle tubazioni delle gambe

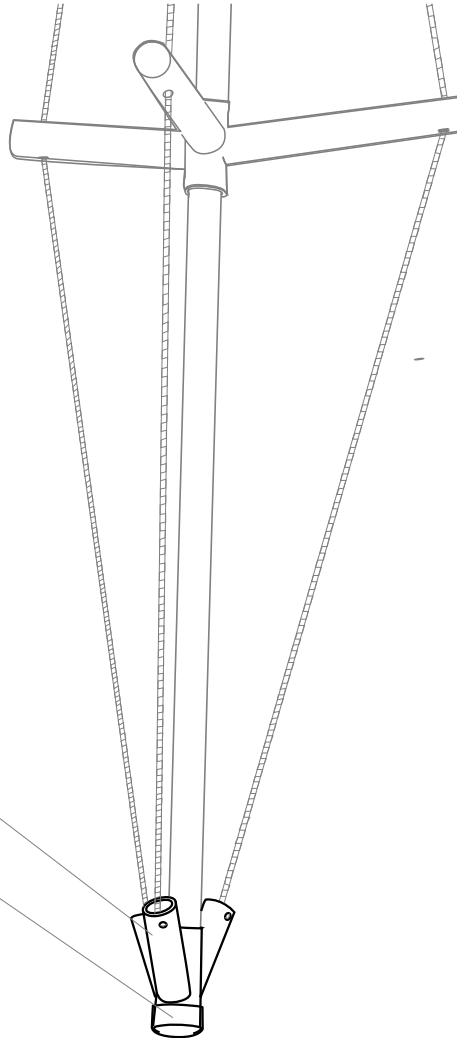


La lunghezza della gamba varia a seconda del progetto. Ho deciso, in questo, modo di lasciare la lunghezza del tubo in fibra di carbonio una variante del progetto, che si modella a seconda del progetto a cui è destinato. In questo modo si possono effettuare diverse tipologie formali di prodotto mantenendo la stessa filosofia di progetto.

disposizione dei tiranti



I tiranti, e la loro tensione, controllano il contenimento della flessione della struttura al centro. Servono ad irrigidire la struttura, ed evitano all'asta di piegarsi e rompersi al centro. Il loro contributo si può considerare estetico ma soprattutto funzionale.

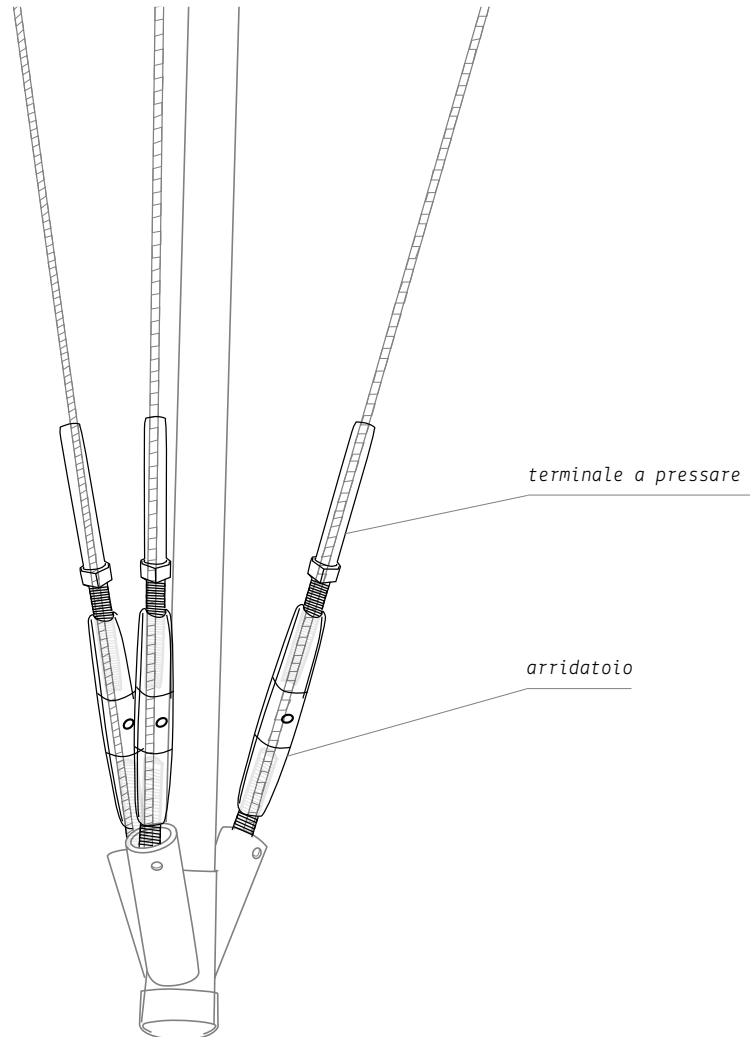


*congiunzione terminale*

*gommino terminale*

I tiranti, e la loro tensione, controllano il contenimento della flessione della struttura al centro. Servono ad irrigidire la struttura, ed evitano all'asta di piegarsi e rompersi al centro. Il loro contributo si può considerare estetico ma soprattutto funzionale.

collocamento arridatoio e terminale a pressare



Rappresentazione del collocamento del terminale a pressare e dell'irridatoio. Quest'ultimo è uno strumento meccanico usato per tendere i cavi quando questi vanno in bando, e cioè non sono più in tensione massima. Il terminale a pressare serve a bloccare i tiranti. Entrambi presenti nel mercato

# tecnologia costruttiva

162

Riprendendo i quattro requisiti che il mio progetto dovrà avere, ho scelto e analizzato quattro materiali. Dal confronto la scelta del materiale è ricaduta sulle fibre di carbonio. Materiale utilizzato nell'ambito nautico per la sua elevata resistenza meccanica e la sua bassa densità.

**Materiale per congiunzioni e tubazioni:**

Ho analizzato quattro materiali: l'acciaio, l'alluminio, il carbonio ed il titanio. Dal confronto (vedi pagina seguente) ne è risultato che l'acciaio, anche se è il materiale nella gamma dei materiali da me analizzati il più economico, non vanta il requisito della leggerezza. L'alluminio ed il titanio hanno massima leggerezza ma hanno anche minima resistenza a deformazione. Anche, se non decanta l'economicità (molto costoso), il carbonio risulta il materiale che più si modella sui requisiti di leg-

gerezza, resistenza a deformazione e durata.

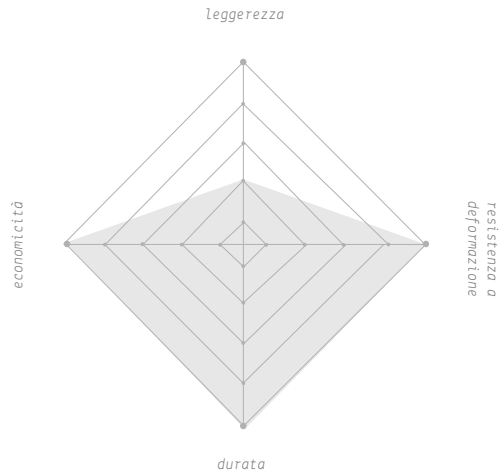
**Il carbonio:**

Quando si parla di carbonio si intende in realtà un composto realizzato da fibre di carbonio come componente strutturale e da resina epossidica. Quest'ultima funge in pratica da cemento che unisce le fibre. Le fibre sono molto sottili ma risultano tre volte più resistenti dell'acciaio e quattro volte più leggeri. Dal materiale stampato si ricavano tubazioni e congiunzioni solide e leggere.

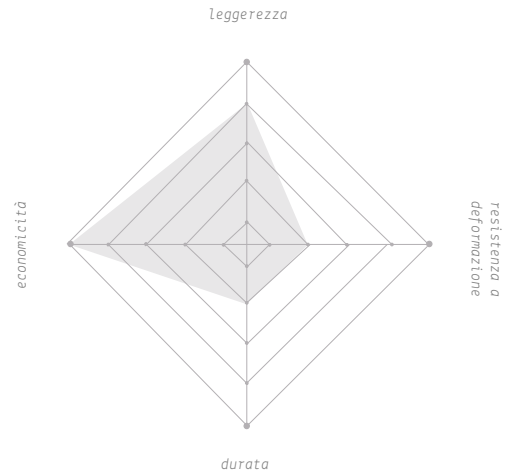
**Lavorazione:**

Mentre normalmente si producono tubi di metallo che sono poi saldati insieme, con il carbonio il metodo di realizzazione dei telai è completamente diverso. Non si parte da tubi, ma da "pelli" composte da fibra di carbonio preimpregnata di resina. Si deve poi creare uno stampo, che può avere le forme più svariate. All'interno dello stampo vengono stese le pelli e in base allo spessore

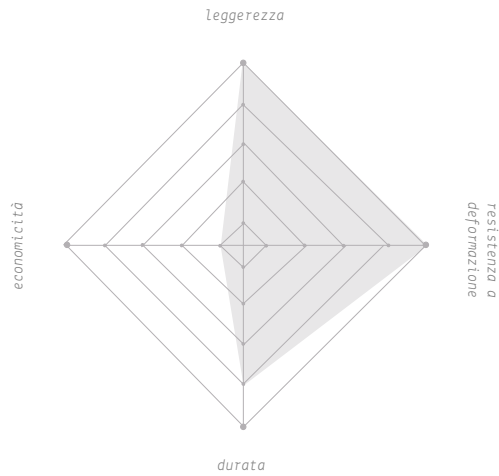
## Acciaio



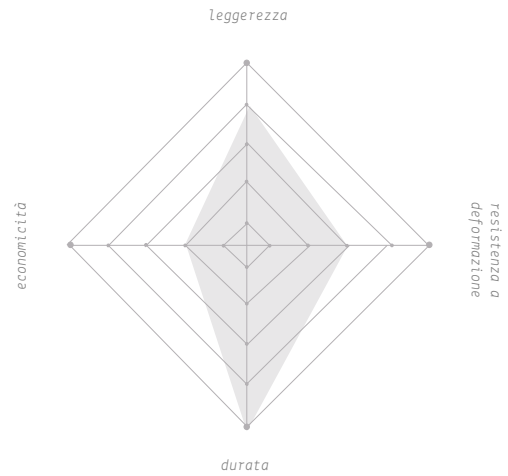
## Alluminio



## Carbonio



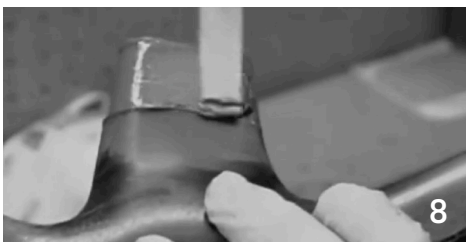
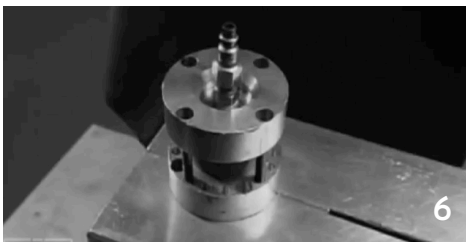
## Titanio





e, fatto di fondamentale importanza, all'orientamento di queste ultime, si possono determinare punto per punto le caratteristiche di resistenza ed elasticità. Se le fibre sono orientate tutte nella stessa direzione si aumenta la solidità del semilavorato (fig. 3). I diversi strati andranno poi a formare un reticolo (taglio degli strati: fig. 1). Il materiale viene poi compresso in autoclave e scaldato; la resina catalizza e si indurisce. Ogni pezzo viene fabbricato con uno stampo in alluminio composto dall'unione di due gusci che permettono di controllarne perfettamente l'interno prima dell'incollaggio. Dopo aver spruzzato la cavità dello stampo con un distaccante vi si pone all'interno la camera d'aria rivestita (fig. 2-4) e poi si monta una valvola per gonfiaggio (fig. 5-6). Lo stampo viene collocato in una pressa a calore e collegato ad un compressore (fig. 7). La camera d'aria, all'interno dello stampo, viene gonfiata, in questo modo modella le fibre secondo le cavità dello

stampo. Quando il pezzo viene estratto dallo stampo si passa alla rifinitura. Prima si rimuove ogni residuo del distaccante, poi la parte modellata sulle esatte misure in modo che combacino perfettamente con le altre. I tubi e le congiunzioni vengono assemblate pezzo a pezzo. Una volta verificato che tutti gli elementi combaciano, le parti vengono smontate. Le parti di contatto vengono spalmate di adesivo resistente (fig. 8). I pezzi vengono poi rimontati e messi in forno per far indurire la colla, i quali residui, poi, durante la fase di riassetto saranno la smerigliatura, in modo che la superficie del semilavorato sia perfettamente liscia per passare alla verniciatura, al sigillante ed alla vernice trasparente che protegge dai raggi ultravioletti e dai graffi. Le gambe e le congiunzioni in fibra di carbonio garantiranno la massima resistenza e rigidità con il minimo peso.



## fasi di lavorazione

Le immagini riprendono i momenti salienti della lavorazione delle fibre di carbonio.

165

FIG. 1: taglio degli strati di fibra di carbonio.

FIG. 2: camera d'aria.

FIG. 3: le fibre vengono orientate tutte nella stessa direzione per renderlo più solido.

FIG. 4: Inserimento della camera d'aria rivestita

FIG. 5: Montaggio della valvola di gonfiaggio

FIG. 6: Preparazione per collegare alla valvola di gonfiaggio il compressore per gonfiare la camera d'aria.

FIG. 7: Lo stampo viene collocato in una pressa a calore.

FIG. 8: Le parti di contatto vengono spalmate di adesivo resistente.

**Tecniche di giunzione:**

**Incollaggio:**

- . Capacità di trasferire elevati carichi
- . Minimizzazione delle concentrazioni di sforzo
- . Collega aderenti di diverso spessore
- . Non modifica composizione chimica e struttura degli aderenti
- . Adatto a materiali dissimili
- . Minimizza e previene fenomeni di corrosione galvanica
- . Smorza le vibrazioni
- . Migliora il comportamento a fatica
- . Conferisce elevata efficienza strutturale
- . Esecuzione semplice, veloce ed economica

**Processo di assemblaggio:**

La preparazione della superficie viene effettuata tramite irruvidimento e pulizia dei semilavorati. Dopo questa fase, avviene l'incollaggio. La scelta dell'adesivo è ricaduta sulla

Loctite 9466, un adesivo epossidica bicomponente (polimerizzazione a temperatura ambiente).

- . Tempo di lavoro: 60 min
- . Tempo di fissaggio: 180 min
- . Resistenza al taglio: 37 N/mm<sup>2</sup>
- . Resistenza a spelamento 8 N/mm<sup>2</sup>

# proprietà e valutazioni strutturali

In questa fase ho voluto, enfatizzare le quattro proprietà che mi hanno spinto alla definizione del mio progetto di tesi: far leggero, far resistente, instabilità visiva, stabilità effettiva, tensione. Questa fase, è fondamentale per la definizione dei prodotti e dei materiali e delle tecnologie che successivamente verranno scelte ed applicate.

In questa fase di tesi mi sono soffermata nuovamente sulle proprietà analizzate nel primo capitolo di questa tesi, rinforzando la loro importanza durante l'elaborazione del concept e del progetto. L'importanza che viene data a queste proprietà sarà, in seguito, la linea guida che mi porterà alla definizione del progetto. Requisiti e proprietà sono direttamente collegati tra loro e rappresentano una fase fondamentale del progetto. Inoltre, il mio scopo principale è quello di convalidare la tesi che i materiali utilizzati nell'ambito nautico sono quelli con proprietà meccaniche migliori e che

quindi soddisfano totalmente i requisiti da me proposti ed elaborati. Ho, così, selezionato i materiali utili alla definizione del mio progetto di tesi attuando il metodo di selezione per sintesi o analogie (ragionamenti induttivi).

In questo capitolo ho approfondito le proprietà fisiche (durabilità) e principalmente le proprietà meccaniche (rigidità, resistenza, tenacità, duttilità). Elencherò, di seguito i requisiti che dovranno soddisfare il mio progetto, e che rispondono ai requisiti posti all'inizio della mia tesi, confermate dalle citazioni di quattro personaggi influenti nel mondo del design:

Non deformabile - tensione (Bruno Munari)  
Resistente - far resistente (Gillo Dorfles)  
Durevole - stabilità effettiva (Franco Albini)  
Leggerezza - far leggero (Renzo Piano)



Renzo Piano

far leggero - leggero



Gillo Dorfles

far resistente - durevole



Franco Albini

stabilità effettiva - resistente



Bruno Munari

tensione - non deformabile

REQUISITI	SPECIFICHE	FENOMENO FISICO	PROPRIETÀ
non deformabile	non deve flettersi o rompersi quando è soggetto alla azione di forze esterne	deformabilità sotto sollecitazione	Modulo di Young (GPa)
leggero	non superare la massa massima	massa per unità di volume	densità ( $\text{kg/m}^3$ )
resistente alle cadute	non deve piegarsi o rompersi durante la caduta	tenacità e sollecitazione	tenacità (MPa)
durevole	deve resistere nel tempo (tot.anni)	-	-

### Rigidezza, non deformabilità (Modulo di Young)

Per la deformabilità bisogna tener conto:

- del tipo di sollecitazione
- geometria del pezzo
- materiale

Se il modulo di Young è basso si deforma, se il modulo di Young è alto, il pezzo non si deforma.

Dalla curva sforzo deformazione si ottengono queste grandezze:

- Modulo di elasticità (E)  $\longrightarrow$  rigidità
- Limite elastico  $\longrightarrow$  resistenza
- Sforzo di rottura (R)  $\longrightarrow$  tenacità
- Allungamento a rottura (E%)  $\longrightarrow$  duttilità

La rigidità evita la flessibilità, la resistenza la deformazione, la tenacità alla non rottura, e la duttilità alla variazione di forma.

- > modulo di elasticità
- < è la deformazione che subisce

### Leggerezza (densità)

La densità di un materiale è definita come peso per unità di volume. Il valore della densità corrisponde anche al suo peso specifico. Se la densità è bassa il materiale risulterà leggero, al contrario, se la densità è alta il materiale risulterà pesante.

### Resistenza (tenacità)

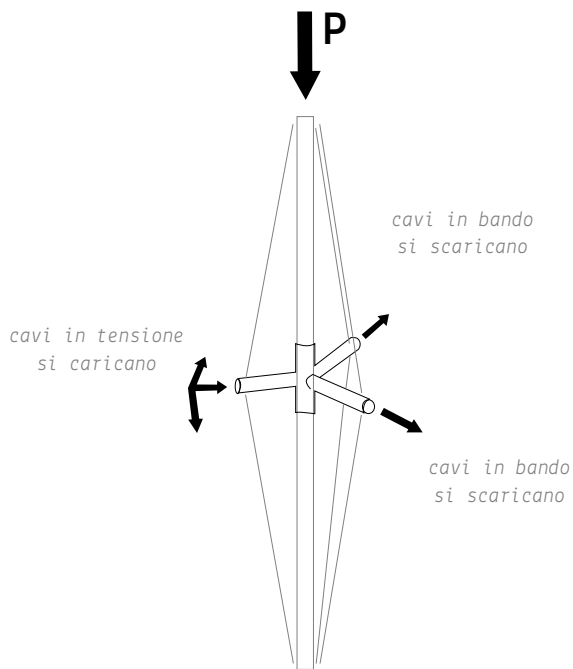
La tenacità è espressa secondo due diversi approcci:

- capacità di un materiale di assorbire energia di deformazione.
- maggiore o minore facilità di propagazione di un difetto o cricca.

La valutazione della tenacità di un materiale è la curva sforzo, deformazione. Un oggetto resiste alle cadute se ha elevata tenacità.

### Prestazione dei tiranti:

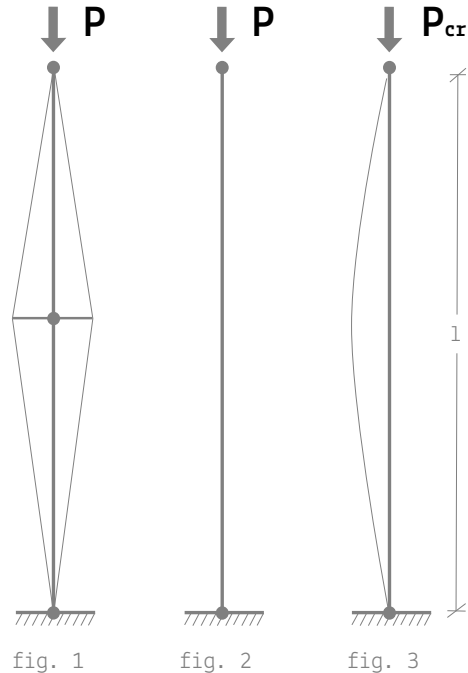
La prestazione dei tiranti è fondamentale per assicurare alla struttura il necessario equilibrio e resistenza delle le gambe nella struttura. Inoltre, fungono una rilevante funzione durante l'azione di compressione che la forza esercita sulla gamba: la forza spingendo sulla gamba, produce nel centro una flessione, il tondino tende a flettersi nel centro, questo non accade con l'ausilio della crocetta e dei tiranti ad esso collegati. Quando la forza preme sulla gamba, il tondino reagisce alla flessione grazie all'ausilio dei tiranti, i quali, però, non rimangono immuni alla forza esercitata: nella direzione nel quale il tondino si flette, i tiranti si caricano, cioè si tendono; nella direzione opposta, contrapponendosi alla tensione dei tiranti opposti, le sartie (tiranti) si scaricano, riprendendo il termine usato nella nautica, stanno in bando, rilasciando così la loro tensione.





Stabilità di aste compresse:

Per calcolare la stabilità della gamba soggetta ad un peso, ho dovuto sintetizzare la struttura con la rappresentazione di un'asta tenuta in compressione da una forza gravanti su di essa (*vedi disegno a fianco*). nella figura 1 è rappresentata la situazione reale dell'asta munita di crocette e tiranti, nella figura 2, viene sintetizzata l'intera struttura rappresentandola come un'asta compressa, nella figura 3 viene visualizzata la flessione a cui l'asta è soggetta sotto sforzo del carico applicato. Infatti, appoggiando un'esile bacchetta perpendicolarmente al pavimento e applicandole una forza in asse, essa tende a sbandare, cioè a perdere la capacità di trasportare la forza applicata al pavimento per effetto di una sua repentina flessione. Il fenomeno è tanto più evidente, quanto più l'asta è sottile. Se un'asta compressa non è sufficientemente rigida, la flessione provocata da una minima eccentricità dello



sforzo può essere amplificata e portare al suo cedimento per instabilità. La stabilità dell'asta dipende dal modulo elastico del materiale (la sua rigidità), dal momento d'inerzia e dalla lunghezza dell'asta. La soluzione dell'asta compressa semplifica di molto i miei calcoli. Le situazioni di equilibrio stabile e instabile sono caratterizzate dalle seguenti condizioni:

$P < P_{cr} \implies$  equilibrio stabile

$P > P_{cr} \implies$  equilibrio instabile

Per assicurarsi che un'asta compressa sia in condizioni di stabilità è necessario calcolare il valore del Punto critico ( $P_{cr}$ ), con cui eseguire la verifica della stabilità ( $P < P_{cr}$ ). Si dimostra che un'asta vincolata agli estremi con una cerniera ed un carrello, il valore del carico critico si esprime come:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

L'asta tenderà ad inflettersi nella direzione

di minor rigidità (e cioè nel centro). Inoltre, l'instabilità dell'asta è più facile quanto è maggiore ne è la sua lunghezza. Riassumendo l'instabilità è direttamente proporzionale alla lunghezza dell'asta che è soggetta ad una forza di compressione.

Dalla formula dello sforzo critico descritta precedentemente, si deduce che alcune alcuni elementi debbano essere noti, tra cui: il modulo elastico del materiale. La scelta del materiale è ricaduta sul carbonio per le sue qualità di elevata resistenza meccanica e la bassa densità, il suo modulo di elasticità ( $E$ ) è di 250 GPa, cioè 250000 Newton (N).

**E carbonio= 250 GPa = 250000 N**

Altro elemento noto è la lunghezza dell'asta, la mia scelta è ricaduta sulla gamma degli oggetti dell'arredo descritti nel capitolo precedente,

174

ho così deciso di prendere come lunghezza quella relativa alle gambe del tavolo, la decisione non è stata casuale, in quanto tra tutti gli oggetti immaginati, il tavolo è quello che ha l'h della gamba più alta e che (a differenza dell'apparecchio illuminante) è soggetto ad una forza di pressione.

**h gamba del tavolo = 75 cm**

Infine, altra grandezza utile per lo svolgimento della formula è il momento d'inerzia (I). In questo caso, dato che non è nota, bisogna risolvere questa formula:

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (R \text{ esterno}^4 - R \text{ interno}^4)$$

Di cui, dato che il tubo è di 6 mm di diametro ed è un tubo cavo e non pieno, le sue dimensioni per poter risolvere la formula sono:

**R esterno= 3mm = 0.3cm; R interno= 2 mm = 0.2cm**



*Tondino cavo  
diametro esterno 6 mm  
diametro interno 4 mm*



Calcoli strutturali: Stabilità asta compressa

Dati:

E carbonio = 250000 N  
 h gamba del tavolo = 75 cm  
 R esterno del tubo cavo = 0.3 cm  
 R interno del tubo cavo = 0.2 cm

Formule:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (R_{\text{esterno}}^4 - R_{\text{interno}}^4)$$

Nella formula del  $P_{cr}$  il valore di  $I$  (momento d'inerzia) è un'incognita. Quindi, inizialmente, risolvo la formula per trovare il momento d'inerzia.

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot (R_{\text{esterno}}^4 - R_{\text{interno}}^4)$$

$$I = \frac{3.14}{4} \cdot (0.3^4 - 0.2^4)$$

$$I = \frac{3.14}{4} \cdot (0.0081 - 0.0016)$$

$$I = \frac{3.14}{4} \cdot (0.0065)$$

$$I = 0.0051 \text{ cm}^4$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

$$P_{cr} = \frac{3.14^2 \cdot 250000 \cdot 0.0051}{75^2}$$

$$P_{cr} = \frac{9.859 \cdot 250000 \cdot 0.0051}{5625}$$

$$P_{cr} = \frac{12571}{5625}$$

$$P_{cr} = 2,234 \text{ N/mm}^2$$



**modello**



# tavole tecniche





# considerazioni finali

# sitografia

[www.google.com](http://www.google.com)  
[www.munart.org](http://www.munart.org)  
[www.paoloUlian.it](http://www.paoloUlian.it)  
[www.archiexpo.com](http://www.archiexpo.com)  
[www.nendo.jp](http://www.nendo.jp)  
[www.ted.com](http://www.ted.com)  
[www.flickr.com](http://www.flickr.com)  
[www.freiotto.com](http://www.freiotto.com)  
[www.archigram.net](http://www.archigram.net)  
[www.durbinolomazzi.it](http://www.durbinolomazzi.it)  
[www.kennethsnelson.net](http://www.kennethsnelson.net)  
[www.architetturaedesign.it](http://www.architetturaedesign.it)  
[www.v12design.com](http://www.v12design.com)  
[www.flos.it](http://www.flos.it)  
[www.lanzavecchia-wai.com](http://www.lanzavecchia-wai.com)  
[www.perininavi.it](http://www.perininavi.it)  
[www.velscaf.com](http://www.velscaf.com)  
[www.fdclubitalia.it](http://www.fdclubitalia.it)  
[www.cvkrig.it](http://www.cvkrig.it)  
[www.areonautica.net](http://www.areonautica.net)  
[www.yachtevela.com](http://www.yachtevela.com)  
[www.nautica.it](http://www.nautica.it)  
[www.maartenbaas.com](http://www.maartenbaas.com)

# bibliografia

Leicht Weit \_ Light Structures

*Jorg Schlaich \_ Rudolf Bergermann*

*Edited by: Annette Bogle, Ingerborg Flagge*

*Editore: Herausgeber*

New Tent Architecture

*Philip Drew*

*Editore: Thames and Hudson*

Lightweight Construction

Natural Design

*Frei Otto \_ complete works*

*Architektur museum tu munchen*

*Editore: Birkhauser*

La materia dell'invenzione:  
materiali e progetto

183

*Ezio Manzini*

*Arcadia Edizioni*

La forma e i materiali  
della trazione

*Catia Olivetti*

*Editore: Francoangeli*

Tensostrutture, tende e vele

*Ottagono, anno XV, n.57*

Costruzioni leggere per  
l'architettura

*Giovanardi*

# ringraziamenti

Ultima tappa.

**I ringraziamenti sono estesi a tutti i cinque anni universitari, al percorso completo. Un lungo viaggio di cui conserverò molti volti, voci, consigli, incontri, scelte, errori, che mi hanno accompagnato durante la crescita umana e professionale.**

Un grazie di cuore alla mia famiglia, senza la quale non avrei perseguito questo corso di studi, per aver sempre appoggiato ogni scelta senza ostacolarmi. Li ringrazio per il loro supporto in ogni mia scelta, e per aver creduto nelle mie capacità. A mia madre onnipresente, bastone e carota della mia vita. A mia nonna, premurosa e costante nel dimostrarmi il suo affetto.

Ringrazio il professor Giulio Ceppi, diretto e riflessivo in ogni suo commento.

Ringrazio Massimo Preti, per aver sempre creduto nei miei progetti, anche quando questi apparivano irrealizzabili e per avermi sempre aiutato nella loro realizzazione.

Ringrazio il professor Massimo Fioruzzi, persona disponibile ed aperta a scambi di riflessioni.

Ringrazio le professoresse Marta Rink e Barbara Previtali ed il professore Fabio Foscati, per la loro disponibilità a risolvere e provare la fattibilità del progetto in ambito strutturale e ingegneristico.