Politecnico di Torino

guarda come dondolo

not object, just experience

Relatore
Claudio Germak

Correlatori
Stefano Gabbatore
Luciana Restuccia

Candidato
Mattia Bissi

Politecnico di Torino

Guarda come dondolo

Not object, just experience

Politecnico di Torino
Dipartimento di Architettura e Design
Design e Comunicazione
A.A. 2025/2026

Sessione di Laurea Febbraio 2026

Relatore
Claudio Germak

Correlatori
Stefano Gabbatore Luciana Restuccia

Candidato
Mattia Bissi

Introduzione 02-03

La seduta esperienziale 06-63

1.1 Una tassonomia delle sedute
1.2 Il paradigma esperienziale
1.3 Sedersi: tra esperienzialità e design
1.4 Il fare esperienziale: la seduta autoprodotta

Ottimizzazione strutturale 64-149

2.1 La statica della seduta
2.2 Ottimizzazione strutturale tradizionale
2.3 Il generative design: definizione e fondamenti
2.4 La seduta ottimizzata

Sviluppo progettuale 150-201

3.1 Il concept
3.2 Le linee guida
3.3 La seduta base
3.4 I materiali
3.5 La serie esperienziale
3.6 Ottimizzazione
3.7 Prototipazione
3.8 Conclusioni

Bibliografia / Iconografia 202-215

“A chair is a chair, is a chair, is a chair... but a seat does not necessarily have to be a chair.”

Eero Aarnio

Introduzione

In un’epoca satura di oggetti d’ogni tipo, in cui tutti i prodotti si assomigliano e funzionano allo stesso modo, la differenziazione non passa più attraverso la ricerca di nuovi linguaggi formali, né dal forzato tentativo di introdurre funzioni inedite, spesso superflue.
Ciò che oggi davvero distingue un prodotto non è il manufatto in quanto tale, ma l’esperienza che a esso si associa. In tal senso, l’esperienza non è da intendere come necessariamente relegata a oggetti complessi o tecnologicamente avanzati, ma può emergere anche nei prodotti più semplici, in quelli della quotidianità, e perfino nei più statici e passivi.
A partire da questa riflessione e con l’obiettivo di indagarne le possibilità esperienziali, si è scelto di sviluppare il percorso di tesi attorno a un prodotto a tutti noi vicino, oggetto nei secoli di innumerevoli rivisitazioni, simbolo dell’abitare e tradizionalmente legato all’idea di riposo: la sedia.

Il progetto di tesi si configura dapprima come percorso di ricerca, indagando la sedia, e in generale la seduta, nella sua accezione più tradizionale, strutturando una tassonomia e proseguendo nelle ragioni economiche, sociali e tecnologiche che hanno favorito la diffusione delle principali tipologie.
La lente si sposta, quindi, sulla seduta concepita come strumento esperienziale, dove il manufatto, prima statico e passivo, grazie ad alcuni accorgimenti, consente un’interazione partecipativa e dinamica. Interazione che, soprattutto quando introduce dinamismo, comporta l’inevitabile insorgere di sollecitazioni aggiuntive, che esulano dalle classiche condizioni di esercizio di una sedia tradizionale.
In quest’ottica, la seconda parte della ricerca affronta il tema dell’ottimizzazione strutturale: dapprima in senso tradizionale, e poi approfondendo le logiche e le potenzialità del generative design come strumento di supporto alla progettazione.
Il percorso converge, infine, in un esito progettuale che concerne lo sviluppo di una serie di sedute esperienziali in un’ottica di autoproduzione e riuso, logiche nelle quali l’esperienzialità trova la più immediata concretizzazione

La seduta esperienziale

1.

1.1 Una tassonomia delle sedute
1.2 Il paradigma esperienziale
1.3 Sedersi: tra esperienzialità e design
1.4 Il fare esperienziale: la seduta autoprodotta

1.1

Una tassonomia delle sedute

Nella seguente sezione si propone una tassonomia delle principali tipologie di sedute basata su criteri di natura statica, tra cui: le modalità di distribuzione dei carichi, le soluzioni strutturali adottate e la conformazione della base d'appoggio.
Tale approccio permette di articolare una classificazione delle sedute in quattro principali categorie: la sedia a quattro gambe, la cantilever, la sedia a slitta e la pedestal.

La sedia a quattro gambe

La sedia a quattro punti d'appoggio rappresenta senz'ombra di dubbio la tipologia statica di seduta più diffusa. Da un punto di vista strutturale si compone: di un sedile, generalmente piano, di quattro montanti verticali indipendenti, di uno schienale e, in alcuni casi, anche di braccioli.
Le gambe costituiscono l'elemento che, più di ogni altro, varia nella configurazione: possono essere perfettamente dritte oppure sensibilmente inclinate verso l'esterno, possono essere connesse direttamente al sedile oppure tramite traversi orizzontali, assicurando una distribuzione più uniforme del peso.
A seconda del singolo modello, anche l'inclinazione dello schienale può variare, rispondendo a specifici criteri di comfort ed ergonomia. In virtù della sua ampia diffusione, che ha dato origine ad una vasta gamma di varianti, si propone di seguito un'analisi dettagliata delle categorie formali storicamente più rilevanti.





Figura 1.1 ↖
Gio Ponti e suo figlio Giulio con due sedie Superleggera.

Figura 1.2 ↙
Bambino che dimostra la leggerezza della Superleggera.

Chiavarina

Concepita nel 1807 dall'ebanista Giuseppe Gaetano Descalzi su commissione del presidente della società economica di Chiavari, il marchese Stefano Rivarola, la chiavarina si rifà alle sedute tradizionali della classe aristocratica francese, ma spoglie del tipico apparato decorativo dello Stile Impero.

Alleggerita, sia nello stile che nella struttura, con listelli di sezioni ridotte, lo scheletro era originariamente realizzato in legno di noce, oppio, faggio, frassino o ciliegio selvatico; mentre la seduta era ottenuta mediante un intreccio di fili di salice palustre, orditi direttamente sul telaio e annodati secondo il sistema ideato dallo stesso Descalzi, formando trame a quadri, a spighe o a lische di pesce, talvolta decorate con inserti in lana [1].

Ogni componente della sedia è dimensionato in funzione delle specifiche sollecitazioni a cui è sottoposto, conferendole non solo una notevole robustezza, ma anche estrema leggerezza.

La chiavarina, progressivamente soppiantata dall'avvento delle sedute di produzione industriale, fu fonte d'ispirazione per la Superleggera (o 699) di Gio Ponti, progettata per Cassina ed entrata in produzione a partire dal 1957: un anno determinante per l'ascesa economica italiana, segnato, tra l'altro, dal lancio della FIAT 500 e dalla nascita del Carosello.

Con un peso totale di appena 1.700 grammi, ben 500 in meno rispetto ai prototipi, la sedia presentava una struttura in legno di frassino con gambe di sezione triangolare di appena 18mm; la seduta era realizzata in canna d'India, intrecciata su un telaio in faggio, mentre lo schienale, curvato nella parte superiore, offriva, nel complesso, una buona ergonomia. Si racconta che prima dell'inizio della produzione vi furono dubbi riguardo la sua resistenza al normale impiego.

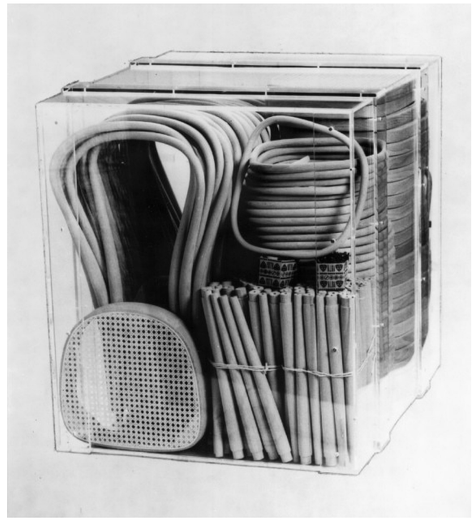
Dunque, Ponti salì tre piani di scale e lasciò cadere la sedia da un balcone, resistendo perfettamente all'impatto.
"Questa sedia è leggera, costa poco (sulle cinquemila lire), è fortissima, e se andate dai Cassina vi daranno spettacoli emozionanti di lanci di queste sedie che ricadono dopo voli vertiginosi, in alto ed in lungo, rimbalzando e non rompendosi mai (nessuno fabbrica a quel prezzo sedie forti come i figli Cassina, questi straordinari pezzi d'uomini famosi ormai in tutto il mondo per la passione con la quale fanno le loro sedie e poltrone ed eseguono con esse giochi acrobatici ed esercizi di forza per dimostrarne l'imbattibile solidità: entrare nella loro fabbrica è pericoloso perché le sedie volano continuamente in questi incredibili collaudi)", raccontò con ironia il designer milanese nel descrivere il suo rapporto di collaborazione con Cassina [2, 3].





Figura 1.3 ↗
Donna che pesa una Superleggera.

Figura 1.4 ↘
Donna che dondola su una Superleggera.



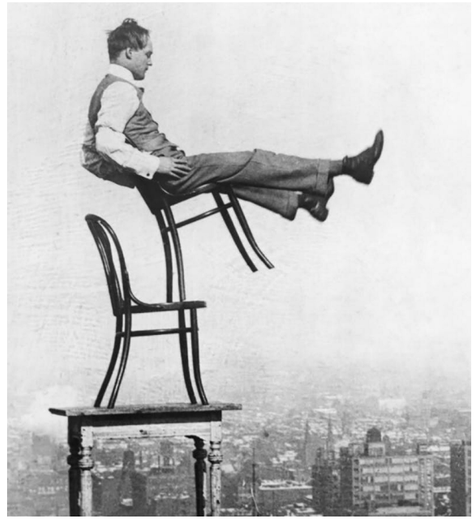


Figura 1.5 ↖
No. 14 imballata per il trasporto

Figura 1.6 ↙
Equilibrista su due No. 14.

Thonet

Sebbene con il termine Thonet si faccia riferimento all'ampia serie di arredi prodotta dall'omonima azienda produttrice, nell'uso comune, esso è spesso impiegato per indicare uno specifico modello, particolarmente diffuso: la cosiddetta No. 14.
Grazie al metodo di curvatura del legno a vapore messo appunto e brevettato nel corso della prima metà del XIX secolo dall'ebanista tedesco Michael Thonet, fu possibile realizzare una seduta leggera, economica e adatta ad essere prodotta in serie.
Prodotta a partire dal 1859, la No.14 è il frutto di oltre trent'anni di sperimentazioni condotte attraverso lo sviluppo di numerosi altri modelli. Un percorso che permise di mettere a punto la tecnica della curvatura del legno massello a vapore, riducendo tempo e manodopera necessari, rispetto al classico incollaggio di fasci; una tecnica già ampiamente impiegata nella produzione delle Windsor inglesi che, solo con Thonet, raggiunse il massimo della precisione.

Inizialmente acquistabile per soli tre scellini austriaci, la stessa cifra che poteva servire ad acquistare tre dozzine di uova, si caratterizza per le gambe e lo schienale realizzati in faggio, curvato, e per il sedile circolare in rafia intrecciata: un totale di soli sei elementi in legno, dieci viti e due dadi, che ne agevolavano stoccaggio e trasporto: "Al suo apice, la No. 14 raggiunse una media di vendita di 230.000 unità all'anno e fu distribuita in tutto il mondo. Un risultato importante, reso possibile non solo dal richiamo che esercitò sulle masse, ma anche dal contemporaneo sviluppo del trasporto ferroviario e marittimo determinato dai progressi della macchina a vapore" [4].
Ad oggi, la No. 14 è oggetto di numerose riedizioni e rivisitazioni da parte di molte aziende, che spesso la reinterpretano sia da un punto di vista formale, sia costruttivo, affiancando alle più fedeli versioni in legno curvato e sedile intrecciato varianti realizzate in tubolare d'acciaio e sedile in plastica.

Windsor

Verso l'inizio del XVIII secolo le residenze di campagna della nobiltà e dell'aristocrazia inglese iniziarono a distaccarsi progressivamente dal formalismo che aveva caratterizzato il secolo precedente. I giardini per primi assunsero un carattere più informale, diventando spazi dedicati al tè e alle piacevoli attività di svago.
Fu in questo contesto che le ingombranti sedute della tradizione furono gradualmente rimpiazzate da soluzioni più maneggevoli, pensate per favorire la convivialità e la socializzazione.

Originariamente in verde per meglio fondersi con la vegetazione circostante, le Windsor si distinguevano per la solida seduta a forma di sella, ricavata da un unico blocco di legno massello, con le gambe mortasate al di sotto di essa e i fusi incassati a formare il caratteristico schienale a pettine; a differenza di altre sedie, le gambe posteriori non presentavano continuità né visiva né strutturale con lo schienale.

Mentre la seduta era spesso realizzata in olmo, le gambe, lo schienale e, se presenti, i braccioli, erano invece solitamente in frassino, ciliegio, faggio, noce o tasso. Inoltre, in funzione delle caratteristiche formali dello schienale, possono essere individuate diverse varianti della Windsor, tra cui la comb-back, bow-back, gothic-back e low-back [5].





Figura 1.7 ↗
Sedia Windsor low-back.

Figura 1.8 ↘
Sedia Windsor comb-back.





Ladderback

Le sedie ladderback, anche note come Slatback, devono il proprio nome alla peculiare configurazione dello schienale, generalmente costituito da due alti montanti verticali, tra i quali si sviluppa una serie regolare di doghe o fusi orizzontali che richiamano visivamente i pioli di una scala.

Le doghe, in genere da due a sei, erano realizzate in legni duri come frassino, faggio o quercia e fissate al telaio tramite giunzione a mortasa e tenone; il sedile era tendenzialmente in canne intrecciate e, a completare, potevano talvolta essere presenti anche i braccioli. Sebbene si ritenga abbiano avuto origine nell'Europa medievale, fu solo con la Riforma protestante che conobbero una più ampia diffusione, poiché dotate di un'essenzialità stilistica perfettamente in linea con l'austerità promossa dai primi protestanti. Lo stesso successo fu riscontrato anche tra i coloni americani, che nelle aree rurali, impiegavano le ladderback come sedute da tavolo.

Emblematica è la seduta realizzata da Mackintosh nel 1903 per la Hill House, in cui, oltre ai tratti distintivi del suo linguaggio formale, il concetto di ladderback è portato all'estremo, estendendo le doghe orizzontali sino alle gambe posteriori [6].

Figura 1.9 ↖
Sedie per la Hill House,
Charles Rennie Mackintosh.

Figura 1.10 ↙
Sedia per la miss Cranston's willow tea rooms, Charles Rennie Mackintosh.

Klismos

Klismos, dal greco klínō ("inclinare"), il termine che nell'antica Grecia evocava il riposo, il rilassamento. Dal V secolo a.C., fu adottato per designare una specifica tipologia di seduta, in legno, dalle gambe "a sciabola", curve e affusolate, che estendendosi al di fuori del perimetro del sedile, conferivano stabilità allo schienale concavo, pensato per avvolgere chi vi si accomodava.

Nessuna Klismos originale è giunta fino ai giorni d'oggi, ma la sua popolarità è ampiamente attestata da bassorilievi, sculture e raffigurazioni pittoriche dell'epoca, che ne resero possibile la riscoperta durante la seconda fase del Neoclassicismo occidentale, grazie agli scavi di Pompei ed Ercolano, dando vita ad un vero e proprio revival greco.

Nella seconda metà del XX secolo il designer T.H. Robsjohn-Gibbings, collaborò con gli ebanisti greci Susane Eleftherios Saridis per la realizzazione della linea di arredo "Klismos", ispirata alla tradizione ellenica.
Più recentemente, anche Antonio Citterio ha proposto una sua reinterpretazione dell'antica seduta greca, per Knoll; una versione più leggera e dinamica, in rovere e cordoncino di cotone, sufficientemente robusta per superare i severi test richiesti dal mercato americano [7-9].





Figura 1.11 ↗
Statua di Orfeo seduto su una sedia Klismos.

Figura 1.12 ↘
Sedia Klismos di T.H. Robsjohn-Gibbings.





Sedia ad angolo

Le sedie ad angolo, anche dette angolari, identificano una specifica tipologia di sedute a quattro punti d'appoggio caratterizzate dalla distintiva conformazione dello schienale, che non si sviluppa lungo un solo lato del sedile, ma si estende a formare una L o una C su due lati adiacenti, rendendola particolarmente adatta agli angoli dei salotti.

Comparvero per la prima volta nell'Inghilterra di inizio XVIII secolo con il nome di sedie "roundabout", o "elbow", erano spesso realizzate in legni pregiati come mogano, noce o quercia, accuratamente intagliati e decorati dai maestri ebanisti. Con il trascorrere del tempo la popolarità delle sedute ad angolo andò progressivamente diminuendo, riservandole per lo più a nicchie o a specifici sistemi di arredo.

Recente reinterpretazione della sedia angolare fu ad opera degli architetti Piero Sartogo e Nathalie Grenon che, per il Toscana Restaurant di New York, realizzarono la serie di arredo Tuscana (1986), che comprendeva poltroncine in legno e cuoio contraddistinte dalla peculiare conformazione a gomito dello schienale [10, 11].

Figura 1.13 ↖
Tre sedie ad angolo per il Toscana Restaurant di New York, Piero Sartogo e Nathalie Grenon.

Figura 1.14 ↙
Due sedie ad angolo per il Toscana Restaurant di New York, Piero Sartogo e Nathalie Grenon.

Monobloc

Le diffusissime sedute monobloc devono il loro successo ad una forma estremamente essenziale, priva di sottosquadri, che pur apparendo semplice, cela in realtà una significativa complessità progettuale.
Tale peculiarità non solo ne consente la realizzazione in un unico blocco di materiale, ma elimina anche la necessità di assemblare e giuntare diversi componenti, come invece avviene nelle sedie tradizionali.

I primi tentativi di realizzazione di sedute monopezzo risalgono agli anni '20 del secolo scorso, con sperimentazioni condotte attraverso tecniche di pressatura della lamiera e di curvatura del legno laminato. Fu solo, però, con l'avvento delle materie plastiche che le possibilità di successo divennero realmente concrete e consentirono al designer canadese D.C. Simpson di mettere a punto, nel 1946, un primo prototipo di monobloc che, tuttavia, ancora non si prestava ad una vera produzione di massa.
Si dovette attendere sino alla metà degli anni '60 per vedere realizzato un secondo modello, la Bofinger BA1171, questa volta ad opera del designer Helmut Bätzner che ne permise la produzione tramite stampaggio a compressione di poliestere rinforzato con fibra di vetro.

Nei decenni successivi furono innumerevoli le sperimentazioni condotte nell'ambito della seduta monopezzo che portarono alla realizzazione di modelli come la Selene di Vico Magistretti per Artemide (1969), la Fauteuil 300 (1972) del designer francese Henry Massonnet e la Resin Garden Chair (1983) del gruppo Grosfillex, quest'ultima prodotta a costi talmente contenuti da renderla accessibile sul mercato a prezzi altrettanto convenienti [12, 13].





Figura 1.15 ↗
BA1171, Helmut Bätzner, Bofinger.

Figura 1.16 ↘
Selene, Vico Magistretti, Artemide.





Figura 1.17 ↖
Elisabeth (Lis) Volger su una B3 di Marcel Breuer.

Figura 1.18 ↙
OMSTAK, Rodney Kinsman, OMK.

Sedia a slitta

Sebbene sia spesso e impropriamente associata alla cantilever, la seduta a slitta presenta in realtà caratteristiche formali che la differenziano nettamente dai ben più noti modelli a sbalzo, rendendone necessaria la collocazione in una categoria definita e a sé stante.

Le sedie a slitta sono contraddistinte dalla tipica configurazione delle gambe, costituite da due profili continui e paralleli che sostengono la seduta e continuano senza interruzioni a terra, offrendo due sole superfici d'appoggio.

Le origini della seduta possono essere rintracciate, nelle sperimentazioni condotte da Marcel Breuer con i modelli B3 (1925-27), B6 (1926-27), B25 (1928-29) e B35 (1928-29), così come nella "Hopmi" (1932) di Gerrit Rietveld, tutti realizzati impiegando tubolari metallici curvati.
Nel 1972 il designer britannico Rodney Kinsman disegna per OMK la OMKSTAK, inizialmente prodotta dall'azienda italiana Bieffeplast e tutt'oggi realizzata direttamente dalla stessa OMK.
La seduta si configura come vera e propria icona High-Tech: un telaio in tubolare metallico continuo a sostenere due scocche, entrambe in lamiera stampata, per sedile e schienale; entrambe caratterizzate da una serie di fori circolari traforati e dai bordi ripiegati, soluzione che oltre a garantire maggiore sicurezza, permette di alleggerire e contemporaneamente irrigidire l'intera struttura [14, 15].
Con una diversa configurazione del telaio si presenta invece la seduta Sled (1966), disegnata da Ward Bennett per Herman Miller, che si distingue per il profilo ad X, realizzato in tubolare d'acciaio saldato [16, 17].

Cantilever

La sedia cantilever, detta anche a sbalzo o pensilina, ben si distingue da qualunque altra seduta per via della specifica configurazione strutturale, che ne determina un comportamento statico unico nel suo genere.
Non più supportata dalla presenza di quattro solide gambe, la cantilever consente a chi vi si accomoda di beneficiare di una leggera oscillazione, grazie alla struttura a sbalzo del sedile, che privato delle gambe posteriori è sorretto unicamente da un telaio continuo, spesso un tubolare d'acciaio curvato, il quale, proseguendo sino a sorreggere lo schienale, si chiude a formare una sorta di S [18].

Il primo ad indagare la potenziale realizzazione di una seduta a sbalzo, fu l'architetto olandese Mart Stam, che ne presentò una prima versione al Weissenhof di Stoccarda, nel 1927. Nello stesso anno anche Mies van der Rohe ne firmò una propria interpretazione, il modello MR20 (successivamente prodotto da Thonet come S 533 L), riconoscibile per l'ampio raggio di curvatura del tubolare; ne realizzò, inoltre, una variante dotata di braccioli, anch'essi costituiti da un unico tubolare metallico, il quale, partendo dalle gambe, si estendeva proseguendo dietro lo schienale [19].

Alla distanza di un solo anno, il designer ungherese Marcel Breuer diede vita alla B32, con cui perfezionò il comportamento a sbalzo grazie all'introduzione di un tubolare di sezione maggiorata.

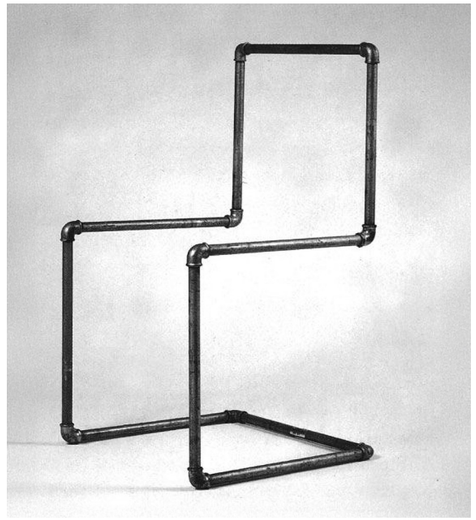




Figura 1.19 ↗
Prototipo di cantilever, Mart Stam.

Figura 1.20 ↘
MR20, Ludwig Mies van der Rohe, Thonet.



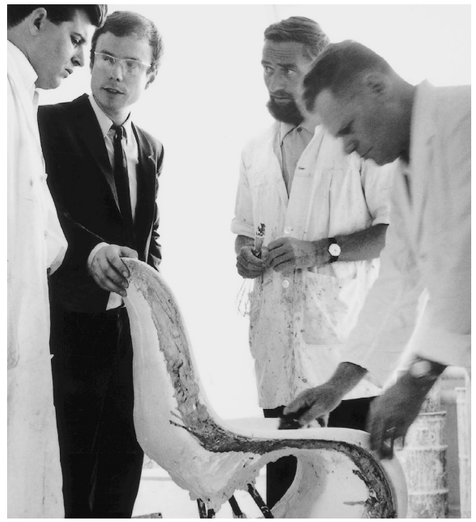


Figura 1.21 ↖
Cesca, Marcel Breuer, Gavina.

Figura 1.22 ↙
Prototipo Panton Chair, Verner Panton, Vitra.

Tuttavia, a causa della forte somiglianza tra la sedia di Breuer e i precedenti modelli di Stam e Mies van der Rohe, la B32 fu al centro di numerose controversie legali. All'ungherese fu negata la possibilità di rivendicare la paternità della B32 a causa dell'azione intrapresa da Anton Lorenz. Il designer e imprenditore tedesco aveva, infatti, rilevato la società Standard-Möbel, incorporando successivamente la Thonet; acquisizione che gli permise di ottenere il diritto esclusivo di produzione tutte le sedie rettilinee con solo due gambe, inclusa la B32.
Per questo motivo, il nome di Stam sostituì quello di Breuer nei cataloghi Thonet, mentre nelle varie riviste e pubblicazione continuava ad essere riconosciuta come opera di Breuer.

Nei primi anni Sessanta, l'azienda italiana Gavina acquisì i diritti del progetto, riconoscendo nuovamente Breuer come autore; da allora la sedia prese il nome di "Cesca", in omaggio alla figlia del designer ungherese, Francesca.

Infine, nel 1968, il brevetto della cantilever passò nelle mani di Knoll, azienda che ne è tutt'oggi proprietaria [20].
Solo qualche decennio più tardi il concetto di sedia a sbalzo fu portato all'estremo, con la collaborazione tra Verner Panton e Vitra che riuscirono nell'impresa di realizzare la prima cantilever prodotta in un unico blocco tramite processi di stampaggio ad iniezione: la Panton Chair (1967) [19].

Pedestal

Come le precedenti sedute, anche le sedie pedestal si contraddistinguono per lo specifico assetto delle gambe, che in questo caso assume la minima delle configurazioni, poggiando su un punto solo.

Sedile e schienale sono sorretti da un'unica colonna centrale che prosegue fino a giungersi alla solida base, generalmente un ampio disco che ripartisce uniformemente il carico, conferendo stabilità all'intera seduta.

È la tipica struttura delle sedie da ufficio, o girevoli, che, generalmente, terminano in una base a cinque raggi dotati di ruote, per agevolarne lo spostamento. L'origine delle sedie pedestal si colloca nella seconda metà del Novecento con la celebre collezione Tulip, disegnata da Eero Saarinen per Knoll, che ne detenne il brevetto per diciassette anni.

L'idea di una seduta a piede unico, che accompagnava Saarinen fin dai suoi studi giovanili, trovò dunque concretizzazione in poltroncine e sedie (1956-57) caratterizzate da un aspetto estremamente organico e dall'evidente uniformità cromatica, conferita dal bianco. Tale linearità non trovò, tuttavia, altrettanta corrispondenza nei materiali: l'ampia base d'appoggio circolare era, ed è tutt'oggi, realizzata in alluminio, mentre la scocca di sedile e schienale in fibra di vetro [21].





Figura 1.23 ↗
Florence Knoll e Eero Saarinen con prototipo Tulip.

Figura 1.24 ↘
Knoll, Advertisement di Massimo Vignelli per Tulip, 1969.

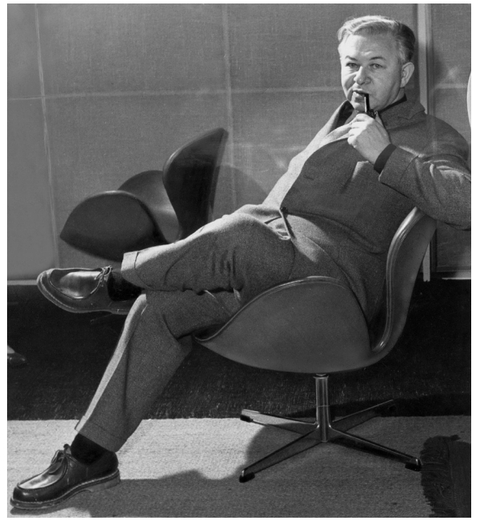




Figura 1.25 ↖
Arne Jacobsen sulla Swan Chair.

Figura 1.26 ↙
Tulip Midi, Pierre Paulin, Artifort.

L'intento di Saarinen era anche quello di alleviare una delle sue più grandi preoccupazioni: il disordine.
"Le gambe di sedie e tavoli creano spesso un mondo brutto, confuso e inquietante. Volevo liberare l'ambiente da queste gambe", commentò Saarinen [21].

Negli stessi anni anche Arne Jacobsen sperimentò il punto d'appoggio singolo, con la Egg Chair (1958) e la Swan Chair (1958), entrambe girevoli e dotate di una solida base metallica a 4 razze [22].
Anche il designer francese Pierre Paulin firmò alcune sedute pedestal tra cui: la Tulip F545 (1960), la Tulip F550 (1960) e la Tulip Midi (1960), tutte prodotte da Artifort e disponibili sia nella versione a base discoidale che a, 4 razze [23-25].

Sgabello

Lo sgabello è, da un punto di vista statico e strutturale, la seduta più elementare: sostanzialmente una sedia priva di schienale, braccioli e di una specifica configurazione delle gambe; caratteristica che gli consente di rientrare in ciascuna delle quattro categorie statiche precedentemente descritte, dalla pedestal sino alla cantilever.

Più tra tutte, è forse la seduta che ha attraversato il maggior numero di trasformazioni stilistiche, probabilmente proprio a causa delle sue antichissime radici, che ne attestano l'impiego fin dai tempi dell'antico Egitto.

Strutturalmente essenziale, lo sgabello deve la sua massima espressione formale alle gambe, solitamente tre o quattro, solidamente connesse al sedile, e storicamente di forma taurina, leonina o, perfino, antropomorfa.

Trovò posto anche tra le mura di Versailles, nella Francia del XVII secolo, in una versione pieghevole, detta "pliant", per le mogli dei duchi e le dame, mentre era imbottito per i membri della nobiltà, il cosiddetto "tabouret de grace" [26].



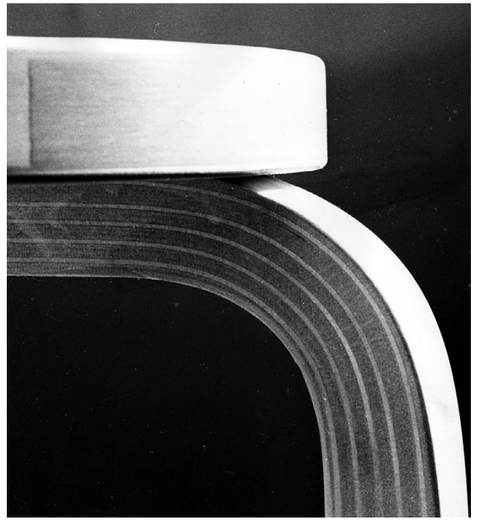


Figura 1.27 ↗
Sgabello 60, Alavar Aalto, Artek.

Figura 1.28 ↘
Dettaglio sgabello 60, Alvar Aalto, Artek.





Iconico è, certamente, il modello realizzato da Alvar Aalto per la biblioteca di Viipuri, lo sgabello 60 (1933), prodotto da Artek. Linee essenziali e tre gambe curvate a sostegno di una seduta circolare in legno di betulla, ad enfatizzarne l'origine finlandese [27].

Ironica, ma al tempo stesso funzionale, è invece la seduta realizzata da Achille e Pier Giacomo Castiglioni, che nel 1957 presentarono, in collaborazione con Zanotta, la Sella.
Concepita come "sgabello per telefono", si presentava come una vera e propria sella, montata su di un tubolare d'acciaio, a sua volta sostenuto da una calotta semisferica, che ne consentiva il moto ondulatorio [28].

Nella stessa mostra, i fratelli Castiglioni presentarono anche lo sgabello Mezzadro, entrato in produzione solo nel 1970 e caratterizzato dall'iconico sedile metallico molleggiato [29].

Figura 1.29 ↖
Sella, Achille e Pier Giacomo Castiglioni, Zanotta.

Figura 1.30 ↙
Mezzadro, Achille e Pier Giacomo Castiglioni, Zanotta.

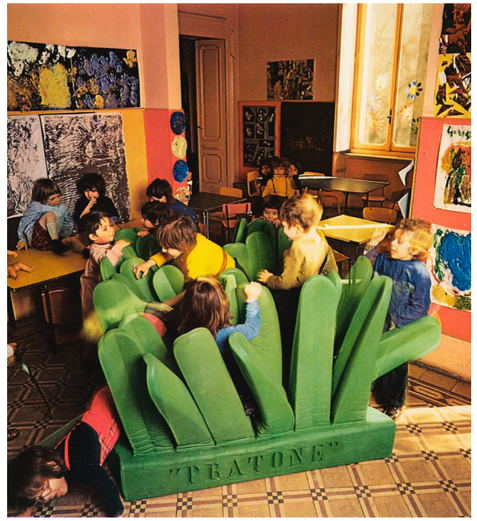
1.2

Il paradigma esperienziale

Per decenni, l'ambito del progetto è stato dominato quasi esclusivamente dal binomio forma-funzione, principio teorizzato alla fine del XIX secolo dall'architetto Louis Sullivan. Il celebre assioma "form follows function" sosteneva infatti una diretta dipendenza della configurazione formale di un manufatto dalla funzione a cui era destinato. Tale visione, successivamente adottata e consolidata dalla scuola del Bauhaus, divenne il principale parametro di valutazione della prestazione di un prodotto, dove il "buon progetto" era quello strettamente funzionale, in senso utilitarista, e la forma altro non era che conseguenza diretta della funzione stessa [30].

Tuttavia, nella prospettiva contemporanea, tale approccio, seppur valido, non è più del tutto sufficiente, poiché ancora troppo distante dalla più attuale concezione umanocentrica del prodotto. Con l'avvento dei concetti di Human-Centered Design (HCD) e User Experience (UX), l'attenzione, così come la percezione del valore, si è progressivamente spostata dalla funzionalità e dall'aspetto estetico, alla qualità dell'esperienza d'uso. In tal senso, l'esperienzialità non si contrappone al consolidato dualismo forma-funzione, configurandosi piuttosto come ulteriore elemento di progettazione, riflessione e valutazione.





La diffusione del concetto di User Experience si deve in gran parte a Donald Norman, psicologo e ingegnere statunitense, nonché co-fondatore della Nielsen Norman Group.

L'International Organization for Standardization (ISO) definisce l'esperienza come "l'insieme di percezioni e risposte dell'utente, derivanti dall'uso previsto e/o non previsto di un prodotto, sistema o servizio", che comprende "le emozioni, le convinzioni, le preferenze, le percezioni, le risposte fisiche e psicologiche, i comportamenti e i risultati che si manifestano prima, durante e dopo l'utilizzo del prodotto".

Dalla definizione ISO è possibile dedurre come l'esperienzialità sia, in realtà, ampia e profondamente user-dependent: la percezione di un manufatto, così come la reazione emotiva scaturita dall'interazione con esso è tutt'altro che univoca ed è difficilmente prevedibile e razionalizzabile. Questo non solo incrementa significativamente la complessità progettuale, ma rende imprescindibile l'adozione di un approccio che accentra la persona sin dalle prime fasi del processo progettuale [31-32].

Figura 1.31 ↖
Superonda, Archizoom.

Figura 1.32 ↙
Pratone, G. Ceretti, P. Derossi, R. Rosso, Gufram.

Donald Norman

In continuità con il tema dell'esperienza Norman introduce, inoltre, il concetto di Emotional Design, che sviluppa in una delle sue opere più celebri: "Emotional design: Why We Love (or Hate) Everyday Things".

Norman sostiene che il sistema emotivo si articoli in tre livelli ben distinti ma interconnessi, che influenzano mutuamente la nostra percezione dell'intorno: il livello viscerale, il livello comportamentale e il livello riflessivo.

Il **livello viscerale** riguarda la prima impressione ed è responsabile della risposta più istintiva alla vista di un oggetto; esso coinvolge aspetti prevalentemente formali, come colori, forme e stili. Ad esempio, un orologio a pendolo non offre certamente funzionalità superiori rispetto a un comune orologio da parete, ma l'insieme dei sentimenti radicati, soggettivi e inconsci consente di attribuire ai due un valore nettamente diverso agli occhi dell'utente.

Il **livello comportamentale** concerne l'esperienza d'uso del prodotto, nonché la facilità d'interazione con l'utente. La progettazione comportamentale si preoccupa di come gli utenti svolgono le proprie attività, quanto velocemente, con che precisione e con quanti errori. Ne è un esempio il piacere derivante dalla facilità di digitare sulla tastiera di un computer o la difficoltà di digitare su un piccolo dispositivo touch.

Il **livello riflessivo** si riferisce alla profonda connessione emotiva che l'utente sviluppa nel tempo con il prodotto; riguarda i processi di attribuzione di significato, la memoria e le riflessioni personali legati all'esperienza d'uso. Per esempio, l'Apple Watch, pur presentando al momento del lancio innumerevoli criticità di funzionamento e usabilità, riscosse comunque un notevole successo grazie al forte valore simbolico e identitario attribuitogli dagli utenti, dimostrando come il livello riflessivo possa compensare anche quello comportamentale: gli utenti sono disposti a tollerare problematiche di funzionamento, anche significative, in quanto convinti di poterne trarre benefici di altro tipo [33].

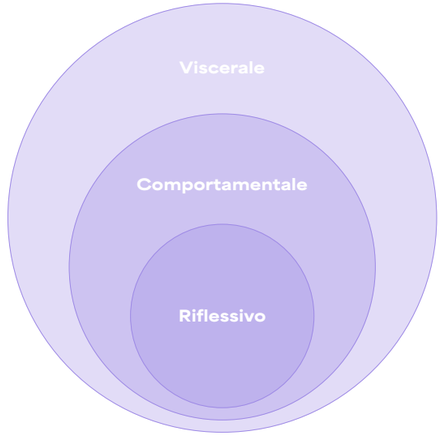


Figura 1.33 ↑
I tre livelli dell'Emotional Design, Donald Norman.

Figura 1.34 →
Modello di Pine e Gilmore.

Pine e Gilmore

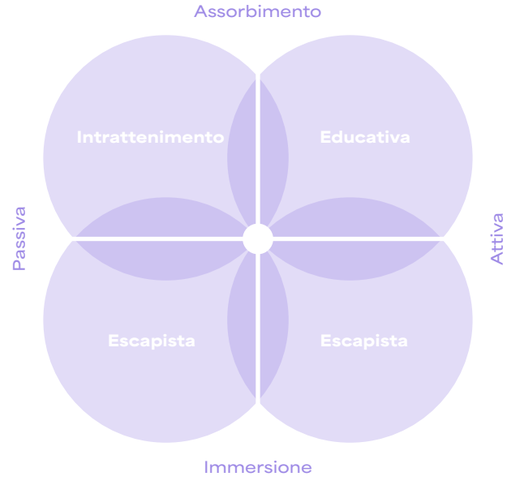
Se Norman indaga l'esperienza con la lente dei processi cognitivi, individuandone gli aspetti percettivi, emozionali e comportamentali, Pine e Gilmore ne propongono una lettura orientata al mercato, in cui l'esperienza può diventare leva di differenziazione anche nei contesti economici più saturi.
Gli studiosi Joseph Pine e James H. Gilmore introducono il concetto di economia delle esperienze già nel 1998, con la pubblicazione di "Welcome to the experience economy". Sebbene, in economia, l'esperienza sia spesso ricondotta al servizio, i due autori ne propongono una concezione alternativa, identificandola come offerta economica autonoma: l'esperienza diventa così l'ultimo stadio della progressione del valore economico, seguendo materie prime, beni e servizi.

Pine & Gilmore propongono inoltre una classificazione delle esperienze che si sviluppa lungo due assi. Il primo riguarda la partecipazione, e si estende dalla partecipazione passiva, in cui l'utente non esercita una diretta influenza sull'esperienza, alla partecipazione attiva, in cui l'utente contribuisce in modo determinate alla costruzione dell'esperienza stessa. Il secondo descrive invece il tipo di connessione che si instaura tra utente ed esperienza e si muove da assorbimento, in cui l'utente recepisce l'esperienza dall'esterno, ad immersione, in cui l'utente si sente parte integrante dell'esperienza ed è in essa totalmente inserito.

In funzione dei due assi è quindi possibile individuare quattro diverse tipologie di esperienza:

- **di intrattenimento** (assorbimento e partecipazione passiva), in cui gli utenti assorbono passivamente ciò che accade, come nel caso di un programma televisivo;
- **educativa** (assorbimento e partecipazione attiva), che tende a coinvolgere maggiormente l'utente, seppur mantenendone le distanze, come avviene quando si assiste ad una lezione;
- **estetica** (immersione e partecipazione passiva), che prevede la totale immersione dell'utente nell'esperienza, senza, però, che abbia effetto su di essa, come avviene durante la visita ad una galleria d'arte.
- **escapista** (immersione e partecipazione attiva), caratterizzata da un totale coinvolgimento dell'utente, che contribuisce partecipando attivamente all'esperienza, come recitare in un'opera teatrale o suonare in un'orchestra;

In generale, le esperienze più significative non si collocano all'interno di una singola categoria esperienziale, ma integrano aspetti riconducibili a tutte e quattro. Proprio per questo un progetto orientato all'esperienza dovrebbe muoversi all'interno dello spazio di intersezione tra le diverse dimensioni, il cosiddetto "sweet point" [34].



1.3

Sedersi: tra esperienzialità e design

La presente sezione è dedicata allo studio della seduta nella sua dimensione esperienziale, evidenziandone le modalità di interazione che consentono di coinvolgere l'individuo sia sul piano fisico, sia su quello cognitivo.

L'analisi parte dall'individuazione di specifiche leve, concepite non solo con l'obiettivo di dare ordine a tali principi, ma anche di orientare l'indagine tra i diversi casi studio.

Nonostante, infatti, la natura assai variabile e soggettiva dell'esperienza, è comunque possibile individuare una serie di pratiche ricorrenti che concorrono all'emergere del delight (del piacere).
Sono state individuate un totale di dieci leve: ossimoro, sensorialità, movimento, postura, trasformazione, equilibrio, costruzione, personalizzazione, citazione e significato; tuttavia, proprio quest'ultima non è stata utilizzata come fattore di valutazione, dal momento che tutti i casi selezionati, in quanto spinte rielaborazioni della seduta standard, risultano portatori di forti valori simbolici e culturali.

Pertanto, il significato non può essere inteso come parametro di valutazione, quanto piuttosto come una costante che accomuna il progetto della seduta esperienziale.
Il delight, al contrario, non è univocamente posizionato in ogni prodotto, ma tende a spostarsi, in funzione delle leve attivate dal manufatto, posizionandosi dinamicamente tra livello viscerale, comportamentale e riflessivo.

Ciascun caso studio è catalogato in base a una o più leve, di cui in viola è evidenziata quella prevalente, ed è inoltre valutato secondo due parametri, che ne descrivono il tipo di esperienzia: il grado di coinvolgimento dell'utente, passivo o attivo, e la natura, emozionale o funzionale. Tali parametri consentono quindi di elaborare una mappa di posizionamento dei diversi casi studi, utile per il loro confronto.

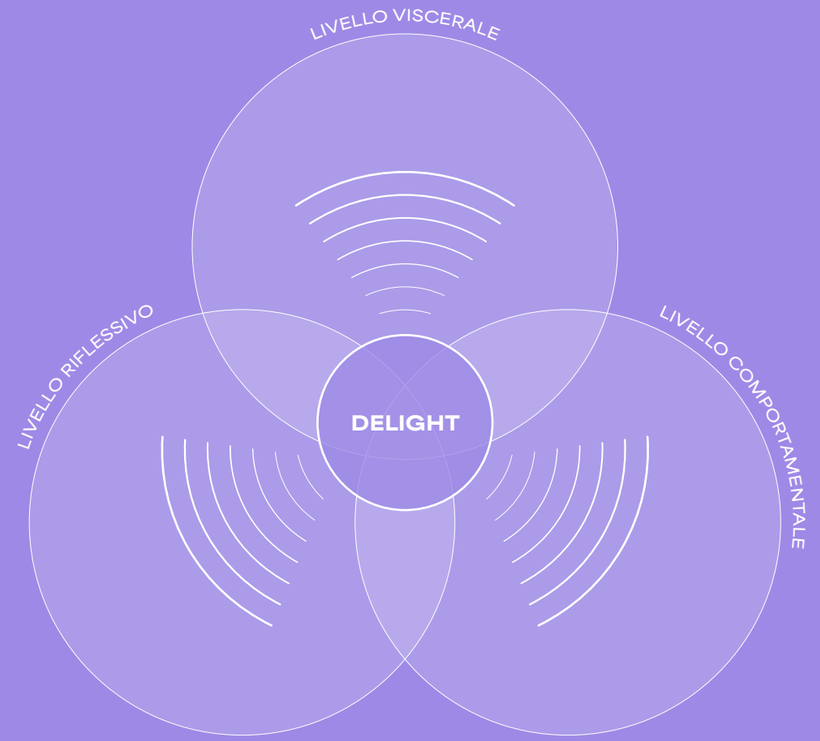
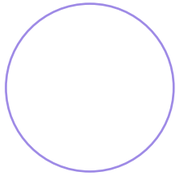


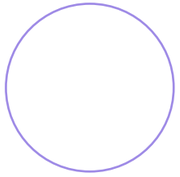
Figura 1.35
Rielaborazione dei tre livelli dell'Emotional Design, Donald Norman.

Le leve dell'esperienzialità



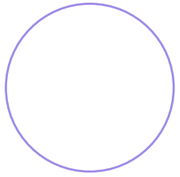
Ossimoro

Introduzione di contrasti percettivi, sensoriali e formali che stimolano nell'utente curiosità e sorpresa, costringendolo alla messa in discussione delle proprie convinzioni.



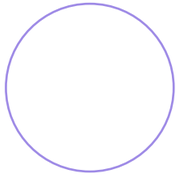
Sensorialità

riguarda la capacità del manufatto di stimolare i sensi dell'utente, vista, tatto, udito e talvolta anche gusto e olfatto, attraverso forme, proporzioni, texture, materiali, funzioni, interazioni...



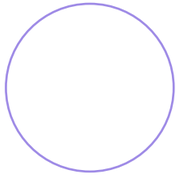
Movimento

Riguarda il modo in cui il corpo e il prodotto interagiscono e si muovono nello spazio. Il movimento può essere volontario, se messo in atto dall'utente, o imposto, se guidato dal prodotto.



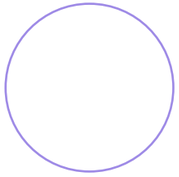
Postura

Propria della seduta, riguarda il modo in cui il corpo della persona entra in relazione con essa; può essere più o meno imposta e dipende fortemente dalle caratteristiche formali e costruttive della seduta stessa.



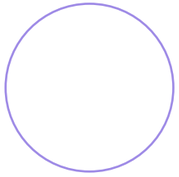
Trasformazione

Fa riferimento alla capacità del prodotto di cambiare, in modo più o meno reversibile, modificandosi nella configurazione e/o nella funzione, a seconda delle esigenze del singolo.



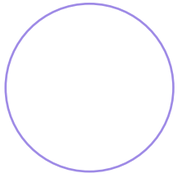
Equilibrio

Riguarda la percezione e la gestione della stabilità, sia del proprio corpo, sia del prodotto, innescando nell'utente meccanismi di attenzione e coordinazione.



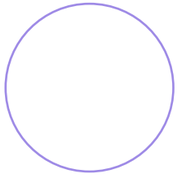
Costruzione

Fa riferimento a pratiche di produzione, assemblaggio ocompletamento del prodotto, attraverso cui l'utente prende parte alla sua configurazione.



Personalizzazione

Concerne la possibilità, da parte dell'utente, di adattare il manufatto ai propri gusti, bisogni e preferenze, realizzando un'esperienza quanto più possibile originale e unica.



Citazione

Rimando a elementi culturali e simbolici, più o meno espliciti, capace di stimolare nell'utente associazioni mentali e di arricchire l'oggetto di significato.



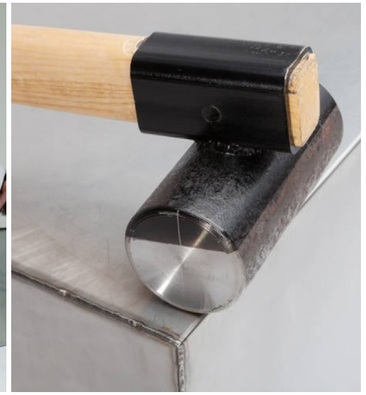
Significato

Riguarda il sistema di valori sociali, culturali e simbolici che il manufatto incorpora e comunica attraverso le proprie qualità formali, funzioni e/o modalità d'interazione.

Do Hit-Chair

Marijn van der Poll / Droog Design / 2000





(Costruzione)

(Personalizzazione)

Passivo — Attivo

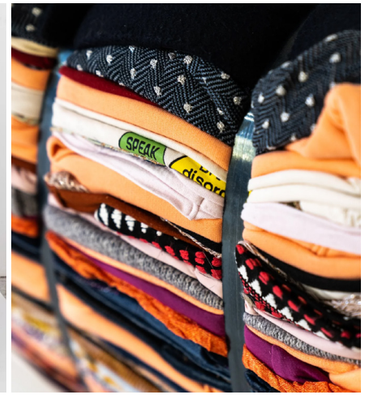
Funzionale — Emozionale

Un semplice cubo di metallo modellato grazie alla forza impressa dall'utente, che ne definisce la forma battendolo con un martello.

Rag chair

Tejo Remy / Droog Design / 1991





(Costruzione)

(Personalizzazione)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una serie di cinghie permettono di comprimere e mettere in forma i capi di abbigliamento più disparati, realizzando sedile e schienale attraverso la loro stratificazione.

Saddle seat

Masahiko Ito / 2018





(Citazione)

(Postura)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una sedia con sedile a forma di sella che invita a essere cavalcata, sperimentando posture multiple.

Tree trunk bench

Jurgen Bey / Droog Design / 1998



(Citazione) (Costruzione)

(Sensorialità tattile)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una serie di schienali in bronzo permettono di trasformare il tronco di un albero caduto in un vero e proprio arredo, richiamando il contatto con la natura e la gestualità spontanea del sedersi dove capita.

Machimoto

Giorgetto Giugiaro / Italdesign / 1986



(Citazione)

(Postura)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Un'auto scoperta dotata di sei selle da moto, capace di restituire la sensazione della guida motociclistica pur essendo su una vettura.

Pratone

G. Ceretti, P. Derossi, R. Rosso / Gufram / 1971



(Citazione)

(Postura)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una serie di steli in poliuretano schiumato riprendono i ciuffi d'erba di un prato, permettendo molteplici modalità di seduta.

Trotter

Rogier Martens / Magis / 2014



(Citazione)

(Movimento)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una sedia dall'aspetto di una cariola, la cui ruota e i manici ne permettono l'agevole spostamento.

Canvas

YOY / 2013



(Citazione)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

L'immagine di una poltrona riportata sulla tela di un quadro cela, in realtà, una vera e propria seduta.

Schaukel-Fauteuil No. 1

Thonet / 1860





(Equilibrio)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Le slitte inferiori curvate introducono un movimento oscillatorio, che permette all'utente di dondolare in modo più o meno controllato.

Sella

Achille e Pier Giacomo Castiglioni / Zanotta / 1957





(Equilibrio)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Un sedile a forma di sella da bicicletta poggia su una calotta semisferica, costringendo l'utente al costante controllo dell'equilibrio; favorisce l'appoggiarsi, piuttosto che il sedersi.

Swing

Denis Santachiara / Domodinamica / 1990





(Equilibrio)

(Ossimoro)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una poltrona dotata di un fondo semisferico che introduce un certo grado di instabilità, permettendo all'utente di controllarne il bilanciamento.

Spun

Thomas Heatherwick / Magis / 2010





(Equilibrio)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una seduta a forma di trottola che permette di ruotare, costringendo l'utente alla continua ricerca dell'equilibrio.

Monarchy

Yiannis Ghikas / 2009



(Equilibrio)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

La doppia slitta curvata permette allo sgabello Monarchy di inclinarsi in direzioni multiple, stimolando l'equilibrio di chi vi si siede.

Variable

Peter Opsvik / Varier / 1979





(Equilibrio)

(Postura)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una sedia ergonomica a dondolo con appoggio per le ginocchia, che costringe la colonna vertebrale in una posizione eretta, migliorando postura e circolazione.

Bubble Suspended Armchair

Eero Aarnio / Adelta / 1968



(Equilibrio)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una poltrona sospesa che accoglie l'utente all'interno di una sfera trasparente, introducendo un lieve movimento oscillatorio.

Tip Ton RE

Edward Barber & Jay Osgerby / Vitra / 2020



(Equilibrio)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

La lieve curvatura della parte anteriore della slitta permette all'utente di dondolare in completa sicurezza durante l'utilizzo al tavolo.

Villette chair

Philippe Starck / 1984





(Movimento)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Seduta rotante che permette a chi vi si siede di osservare il panorama a 360 gradi, ruotando sul proprio asse.

Come a Little Bit Closer Bench

Nina Farkache / Droog Design / 2001



(Movimento)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una serie di sedili discoidali sono liberi di scivolare su un letto di biglie di vetro, permettendo agli utenti di avvicinarsi o allontanarsi tra loro.

Modified social benches

Jeppe Hein / 2005



(Trasformazione)

(Movimento)

Passivo — Attivo

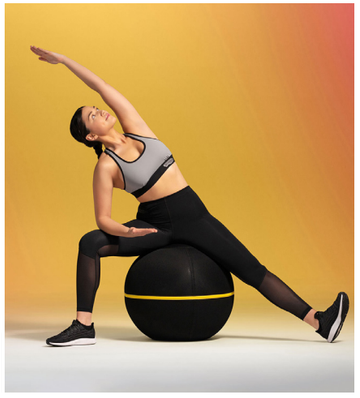
Funzionale — Emozionale

Serie di panchine pubbliche che reinterpretano l'arredo urbano in chiave ironica e giocosa, grazie all'introduzione di curve, dislivelli e scivoli.

Wellness ball

Technogym / 2013





(Trasformazione)

(Equilibrio)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una seduta sferica capace di stimolare una postura attiva e che, all'occorrenza, può trasformarsi in una palla per l'esercizio fisico.

Tripp Trapp

Peter Opsvik / Stokke / 1972





(Trasformazione)

(Personalizzazione)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una seduta che cresce con il bambino, accompagnandolo nelle diverse fasi della crescita grazie alla possibilità di adattarsi a diverse funzioni.

Multichair

Joe Colombo / B-Line / 1970



(Trasformazione)

(Personalizzazione)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Grazie alla possibilità di essere rimodulata, modificandone la disposizione dei moduli, la seduta permette usi e posture assai differenti.

Terra!

Studio Nucleo / Nforniture / 2000



(Sensorialità tattile)

(Costruzione)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Attraverso il montaggio di un telaio in cartone sagomato, TERRA! rende possibile la realizzazione di una seduta in continuità con il terreno, permettendo a chi vi siede di entrare in contatto diretto con il manto erboso.

Erbi

Stilfibra / 2023



(Sensorialità olfattiva)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

La scocca della sedia è composta da residui di fibra vegetale che mantengono intatto il proprio profumo naturale ed è disponibile in quattro versioni: caffè, camomilla, vinaccia, miscanto.

Panchina gigante

Chris Bangle / 2010



(Sensorialità visiva)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una panchina sovradimensionata le cui proporzioni alterano il rapporto con il corpo e la percezione dell'utente.

Sugar chair

Pieter Brenner / 2011





(Sensorialità gustativa)

Passivo — Attivo

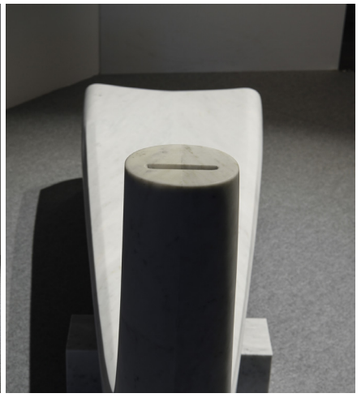
Funzionale — Emozionale

Seduta realizzata interamente in zucchero che l'utente può leccare e rimodellare durante l'utilizzo.

Panca Play

Denis Santachiara / 2016





(Sensorialità sonora)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una panchina sonora in marmo capace di amplificare il suono riprodotto da uno smartphone inserito nell'apposita fessura.

Mies

Archizoom / Poltronova / 1969



(Ossimoro)

Passivo — Attivo

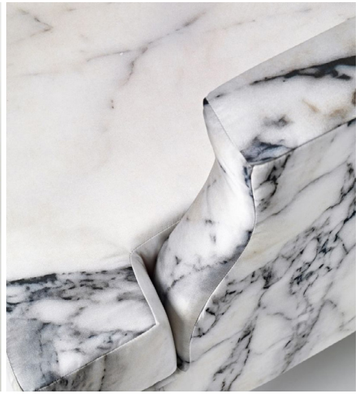
Funzionale — Emozionale

Una seduta dall'aspetto duro e rigido, che cela in realtà un sedile in gomma morbido e accogliente, capace di mettere in contrasto percezione visiva e tattile.

Soft marble

Maurizio Galante / Cerruti Baleri / 2012





(Ossimoro)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una poltrona dall'aspetto marmoreo cela in realtà una morbida struttura in poliuretano, mettendo in discussione la percezione visiva dell'utente.

Height hacks

Lynn Gong / 2023



(Personalizzazione)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una serie di sedute che permettono all'utente di modificarne l'altezza grazie all'aggiunta di elementi esterni aggiuntivi.

Sacco

P. Gatti, C. Paolini, F. Teodoro / Zanotta / 1968





(Postura)

(Sensorialità tattile)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una seduta imbottita di palline di polistirolo espanso la cui forma si adatta alla postura assunta dall'utente.

Singer

Bruno Munari / Zanotta / 1945



(Postura)

Passivo — Attivo

Funzionale — Emozionale

Una sedia ostile, che costringe l'utente ad una postura scomoda e deliberatamente priva di comfort.

Le leve dell'esperienzialità



Ossimoro

Introduzione di contrasti percettivi, sensoriali e formali che stimolano nell'utente curiosità e sorpresa, costringendolo alla messa in discussione delle proprie convinzioni.



Sensorialità

riguarda la capacità del manufatto di stimolare i sensi dell'utente, vista, tatto, udito e talvolta anche gusto e olfatto, attraverso forme, proporzioni, texture, materiali, funzioni, interazioni...



Movimento

Riguarda il modo in cui il corpo e il prodotto interagiscono e si muovono nello spazio. Il movimento può essere volontario, se messo in atto dall'utente, o imposto, se guidato dal prodotto.



Postura

Propria della seduta, riguarda il modo in cui il corpo della persona entra in relazione con essa; può essere più o meno imposta e dipende fortemente dalle caratteristiche formali e costruttive della seduta stessa.



Trasformazione

Fa riferimento alla capacità del prodotto di cambiare, in modo più o meno reversibile, modificandosi nella configurazione e/o nella funzione, a seconda delle esigenze del singolo.



Equilibrio

Riguarda la percezione e la gestione della stabilità, sia del proprio corpo, sia del prodotto, innescando nell'utente meccanismi di attenzione e coordinazione.



Costruzione

Fa riferimento a pratiche di produzione, assemblaggio ocompletamento del prodotto, attraverso cui l'utente prende parte alla sua configurazione.



Personalizzazione

Concerne la possibilità, da parte dell'utente, di adattare il manufatto ai propri gusti, bisogni e preferenze, realizzando un'esperienza quanto più possibile originale e unica.



Citazione

Rimando a elementi culturali e simbolici, più o meno espliciti, capace di stimolare nell'utente associazioni mentali e di arricchire l'oggetto di significato.

Significato

Riguarda il sistema di valori sociali, culturali e simbolici che il manufatto incorpora e comunica attraverso le proprie qualità formali, funzioni e/o modalità d'interazione.

Mappa di posizionamento dei casi studio

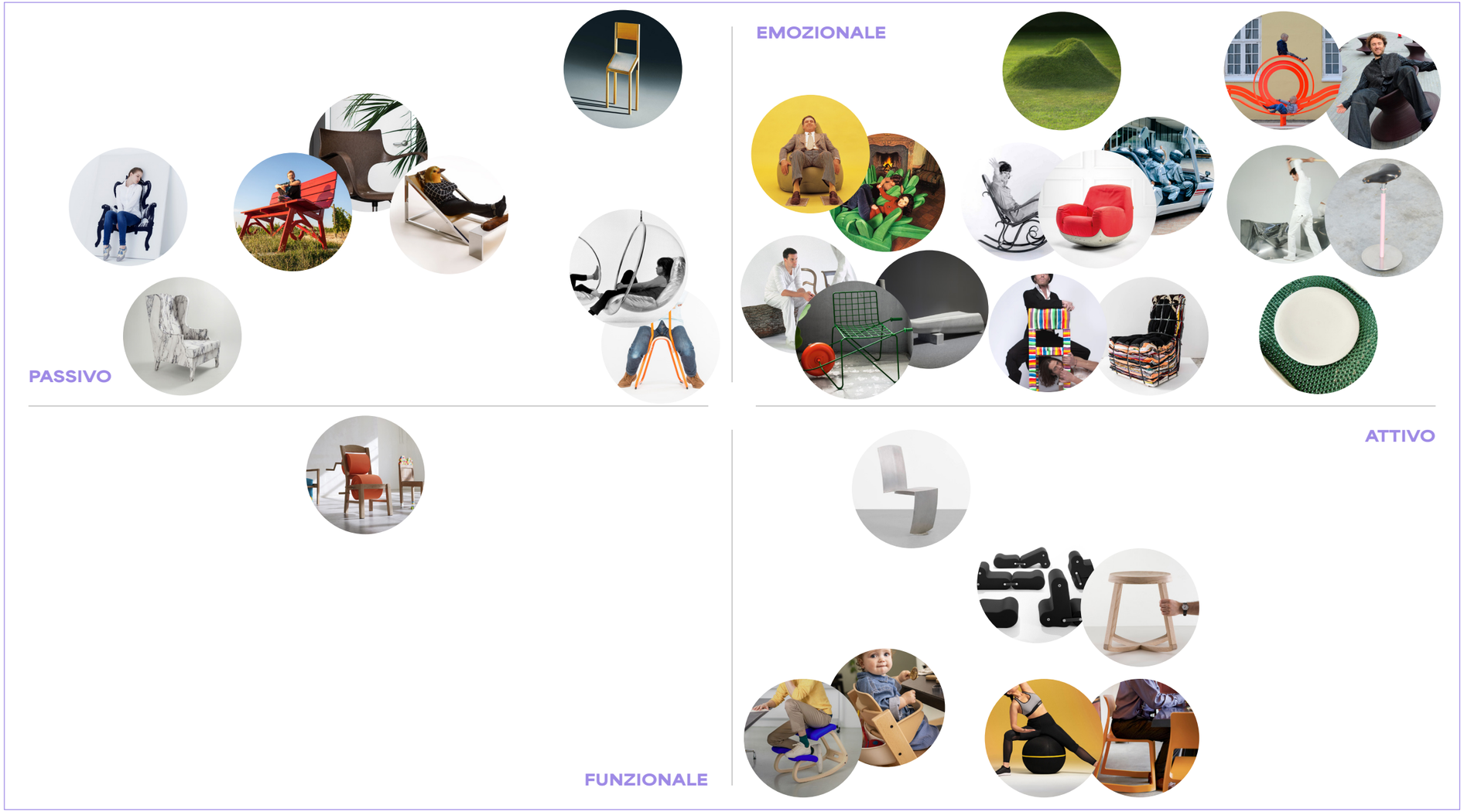


Figura 1.36
Posizionamento dei casi studio in funzione di passivo/attivo e funzionale/emozionale.

1.3

Il fare esperienziale: la seduta autoprodotta

Tra le leve che contribuiscono a definire l'esperienzialità di un prodotto, la leva della costruzione spicca per sua possibilità di estendere l'esperienza anche oltre la fase di utilizzo dell'oggetto.
La massima espressione del concetto di costruzione si realizza nell'autoproduzione, o produzione autonoma, pratica che libera l'utilizzatore dal ruolo di utente passivo, rendendolo parte attiva del processo di fabbricazione del prodotto.
Il fare assume così un valore fortemente esperienziale, trasformandosi in un processo partecipativo e dinamico che consente di instaurare una relazione più profonda con l'oggetto realizzato.

La seguente sezione intende, dunque, approfondire lo svilupparsi delle pratiche di autoproduzione attraverso la lente della seduta, che assume così il ruolo di file rouge.
L'obiettivo primario della ricerca non consiste tanto nell'analizzare come il progetto della sedia sia evoluto in senso assoluto, quanto piuttosto nell'utilizzarla come guida per un'analisi più ampia del concetto di autoproduzione, ripercorrendone la storia attraverso il lavoro di quattro progettisti.



Figura 1.37
Dettaglio di una mano che inserisce una vite nel legno.

Gerrit Rietveld

Nella figura di Gerrit Rietveld (1888-1964), riconosciuto tra i più grandi maestri del Novecento, coesistono due identità, che, seppur distinte, hanno reciprocamente contribuito ad arricchirsi: quella dell'artigiano e quella dell'architetto. Formatosi nel laboratorio del padre, dove ebbe l'opportunità di maturare una profonda padronanza delle tecniche della falegnameria e del rapporto con la materia, aderì agli ideali del Movimento neoplastico già nel 1919, anno in cui terminò anche la sua formazione in architettura.

Fu infatti ad opera dello stesso Rietveld l'ideazione della sedia rosso-blu, l'oggetto che, più tra tutti, meglio incarna la ricerca neoplastica. La seduta rappresentò per lui un'occasione non solo per tradurre in forma concreta i principi cardine del manifesto De Stijl, ma anche di messa in pratica dell'esperienza maturata nel campo della progettazione, prima nella falegnameria di famiglia e poi nella propria bottega di arredi.

Al di là della lettura in chiave neoplastica, è soprattutto la struttura formale della seduta ad offrire interessanti spunti progettuali, ridotta all'essenziale in favore di un'inizialmente prevista produzione industriale.

Il progetto prevedeva l'impiego di due lastre di compensato e un certo numero di listelli in faggio, di sezione quadrata o rettangolare, per la realizzazione di quattro gambe, due braccioli, nove doghe, un sedile e uno schienale.
La profonda conoscenza delle tecniche di lavorazione del legno gli permise l'introduzione di sofisticate soluzioni progettuali, come l'impiego del nodo cartesiano, più comunemente noto come "giunto Rietveld", che rese possibile la connessione delle doghe orizzontali alle gambe verticali, attraverso l'utilizzo di tasselli nascosti; metodo che gli consentì di realizzare giunzioni ortogonali apparentemente impossibili.

Nel 1934, in reazione alla profonda crisi economica, Rietveld ideò una famiglia di mobili auto-assemblabili, realizzati con semplici assi di legno di abete, simili a quelle delle casse da imballaggio, e poche viti, senza giunzioni, incastri o colla: la Crate Furniture.

Sebbene la collezione sia stata fortemente criticata per il suo aspetto ruvido e non rifinito, dovuto all'assenza della maestria artigianale, è in realtà da considerarsi come un valido tentativo di progettazione democratica e consapevole, che permise di fornire mobili economicamente accessibili, in un momento di grande necessità, ad un'utenza, per la prima volta, coinvolta attivamente all'interno del processo di produzione [19, 30, 35, 36].



Figura 1.38 ↖
Poltroncina Crate, Gerrit Rietveld.



Figura 1.39 ↙
Sedia Crate, Gerrit Rietveld.

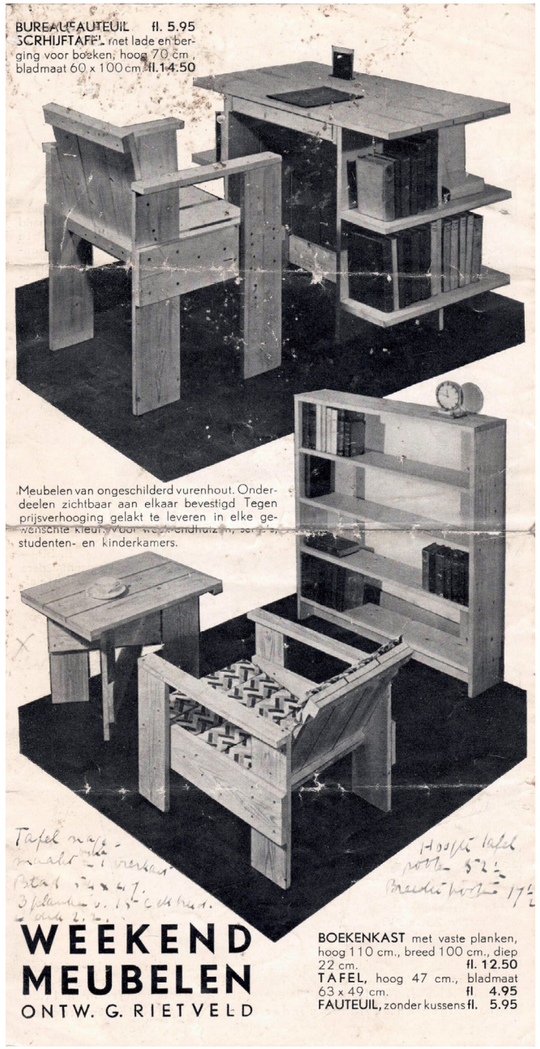


Figura 1.40 →
Catalogo weekend meubelene (Crate Furniture).

Enzo Mari

Quando ci si riferisce al progetto come atto d'impegno politico e sociale è impossibile non menzionare la figura di Enzo Mari (1932-2020).
Di formazione artistica, in un'Italia ormai pervasa dal crescente consolidarsi della produzione industriale, la visione progettuale di Mari fu tra le poche che riuscirono nell'intento di fondere sinergicamente i principi dell'artigianato con quelli della democrazia, attraverso progetti accessibili e profondamente intrisi di significato.

In opposizione alla concezione elitaria del buon design, la volontà di Mari fu quella di realizzare oggetti capaci di instaurare una profonda connessione con i propri utenti,

da qui la ricerca orientata al tema della consapevolezza dei ruoli nel processo progettuale, nel quale l'utente è spesso coinvolto come parte integrante della catena, così che possa meglio comprenderne le ragioni fondanti. Tale approccio trovò espressione in una serie di oggetti capaci di rompere la linearità tipica del prodotto industriale.
Nel 1971, ad esempio, realizzò per Castelli la Sedia Box, una seduta auto-assemblabile venduta in kit, in cui le scocche in plastica di sedile e schienale facevano da contenitore per i tubolari metallici delle gambe, delegando al fruitore l'ultimo step del processo di produzione: l'assemblaggio.

Alcuni anni dopo, progettò, per Danese, Samos (1973): una serie di porcellane pensate per essere realizzate a mano dagli operai, una forma di sinestesia che liberava gli addetti alla produzione dalla ripetitività della catena seriale, permettendo loro di riacquisire la gestualità tipica dell'artigiano.
Così facendo, gli operai diventarono veri e propri co-progettisti, rivoluzionando, ancora una volta la consequenzialità del processo industriale.

Tuttavia, in un'ottica di produzione fai-da-te, il progetto più significativo, nonché anticipatore delle logiche dell'open design, è la "Proposta per un'autoprogettazione" (1974). Di per sé non un vero e proprio prodotto, quanto piuttosto un progetto, un insieme di disegni e istruzioni per realizzare in autonomia una serie di mobili. Mari riunì all'interno dell'opera ben 19 modelli d'arredo pensati per essere facilmente realizzabili servendosi delle più semplici regole della falegnameria, di attrezzi elementari come chiodi e martello, e di materiali di facile reperibilità.
Tra questi anche progetti dedicati al sedersi: una panca e tre modelli di sedia, la "R", la "Q" e la "P"; quest'ultima realizzata impiegando soltanto cinque formati di tavolette in legno, per un totale di 13 pezzi.
L'intento di Enzo Mari non fu affatto scontato: conferì alla persona comune il potere di sottrarsi alle logiche industriali e del mercato, offrendole non solo la possibilità di seguire gli schemi da lui proposti, ma soprattutto di reinterpretarli, combinandoli liberamente in configurazioni inedite, espressione intellettuale di chi le realizza [19, 37].

A questo proposito, nel 2009, nove progettisti (Phyllida Barlow, Broussard/Seilles, Martino Gamper, Graham Hudson, Keung Caputo, Lucas Maassen, Joe Pipal) sono stati invitati a partecipare alla mostra "autoprogettazione revisited", con l'incarico di rispondere al manuale di Enzo Mari, ciascuno con il proprio set di istruzioni [38].



Figura 1.41 ←
Enzo Mari e i modelli di arredo contenuti in "Proposta per un'autoprogettazione".



Figura 1.42 ↗
Arredi contenuti in "Proposta per un'autoprogettazione".

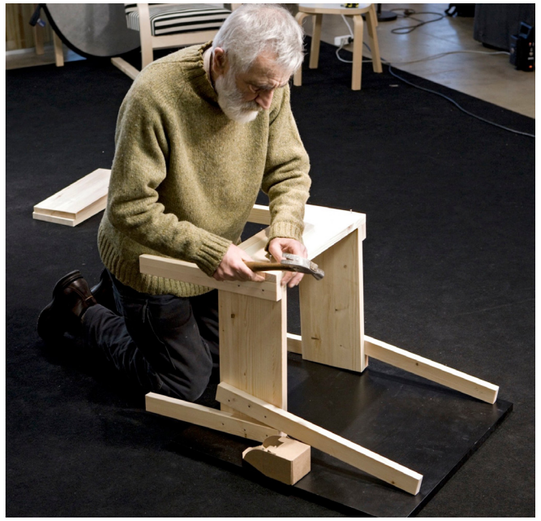


Figura 1.43 ↘
Enzo Mari e la sedia P.

Droog Design

Era l'aprile del 1993 quando il collettivo olandese Droog Design fece la sua prima e irriverente apparizione al Fuorisalone di Milano, debuttando con una mostra di pezzi autoprodotti. Fondato dal designer Gijs Bakker e dalla storica del design Renny Remakers, il gruppo Droog (dall'olandese "secco", "asciutto", "diretto"), emerse come reazione all'opulenza stilistica e produttiva del decennio precedente, alla quale contrappose un approccio asciutto, essenziale nelle forme come nei materiali, portatore di un'ironia spesso dissacrante.

La maggior parte dei loro oggetti celebra l'ingegno, la povertà, elevandoli a manifesto di un linguaggio inedito, di un'estetica nuova, critica e attenta alle all'ora crescenti questioni sociali e ambientali.

Centrale è il tema del recupero, della responsabilità, dell'attenzione al ciclo di vita delle cose, a cui danno una seconda chance.
Ne sono un esempio la cassettiera Chest of Drawers - You Can't Lay Down Your Memories e la poltrona Rag Chair.
Ideate da Tejo Remy nel 1991, nascono dall'assemblaggio di objects trouvés: la prima si compone di venti cassetti, di forme e dimensioni diverse, tra loro impilati e tenuti insieme da una cinghia; la seconda è realizzata a partire da una pila di stracci e vestiti colorati bloccati da fasce in acciaio e disposti su una base in legno.
Entrambe fanno della dinamicità compositiva il proprio principio fondante, non sono strutture fisse, bensì offrono all'utente la possibilità di variarne la composizione, integrando, per esempio, i propri oggetti dimessi.

Al salone del mobile 2000 presentarono la collezione Do Create, una serie di oggetti solo parzialmente finiti, il cui completamento e acquisizione di significato dipendevano strettamente dall'intervento dell'utilizzatore.
Tra questi: Do Scratch, una lampada completamente nera che emette luce solo quando graffiata, Do Frame, un nastro adesivo in vinile per incorniciare qualunque cosa, entrambe di Marti Guixé, e Do Hit, di Marijn Van der Poll, una poltrona, o meglio, un cubo d'acciaio che l'utilizzatore poteva scolpire a martellate, plasmandolo a suo piacere, attività presentata ironicamente come pratica per ridurre lo stress [39-40].



Figura 1.44 ↖
Do Hit chair, Marijn Van der Poll.

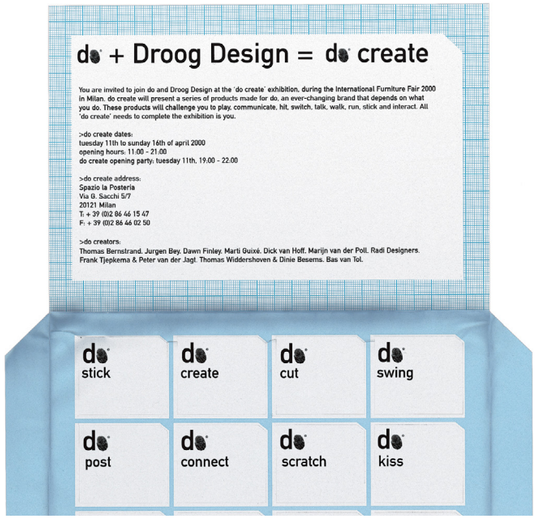


Figura 1.45 ↗
Invito alla "Do Create" exhibition.



Figura 1.46 ↓
Rag chair, Tejo Remy.

Curro Claret

Nella figura di Curro Claret (1968) responsabilità e progetto si fondono in un atto d'impegno ambientale, economico e sociale. Designer e, per certi versi, attivista catalano, dopo alcuni impieghi nell'ambito del design industriale, intraprese nel 1998 la carriera da freelance, che ha dedicato interamente a fare dell'etica il leitmotiv delle sue creazioni.

Il progetto di Claret invita a riflettere, stimola incertezza, dialoga perfino con i più fragili dei contesti; pone l'utente in una posizione privilegiata: non più semplice fruitore, ma parte integrante e attiva del prodotto.

Le creazioni, essenziali nei materiali ma ricche nel significato, si presentano spesso come incomplete, in forma di supporto, piuttosto che di prodotto: è all'utente che spetta il compito di ultimarle.
Tra queste: Frutero malla (1999), un portafrutta in tondino d'acciaio pensato per il riutilizzo delle reti delle arance, Mesa migas (2003), un sistema antispreco per tagliare il pane e nutrire gli uccellini, una serie di vasi fatti con il catrame raccolto sulle spiagge della Galizia dopo l'incidente della petroliera Prestige (2006) e la collezione Shoelaces (2015), una serie di lampade realizzate con lacci da scarpe da persone a rischio di esclusione sociale.

Tuttavia, il suo vero capolavoro è per molti la Pieza T300 (2010), un giunto, un triangolo in lamiera piegato e forato che fa da supporto ad una quantità, potenzialmente, infinita di oggetti autoprodotti, da sgabelli a panchine, da lampade ad appendiabiti.

Particolarmente variegate sono soprattutto le sedute, per le quali il designer realizzò un ulteriore supporto, a ferro di cavallo, per il fissaggio dello schienale.

Nel 2014 la galleria Vinçon di Barcellona ospitò la collezione More than this, curata dallo stesso Claret, con protagonista una serie di sedute assemblate da persone comuni.
Tra queste spiccavano: una sedia in legno decorata dalle bruciature di un ferro da stiro, una sedia da skater con schienale e sedile fatti di tavole rotte, una sedia realizzata con un ceppo d'albero carbonizzato, salvato da una foresta in fiamme, e un'altra ricoperta di finte borse firmate, trovate nelle bancarelle dei venditori ambulanti di Barcellona [41-43].





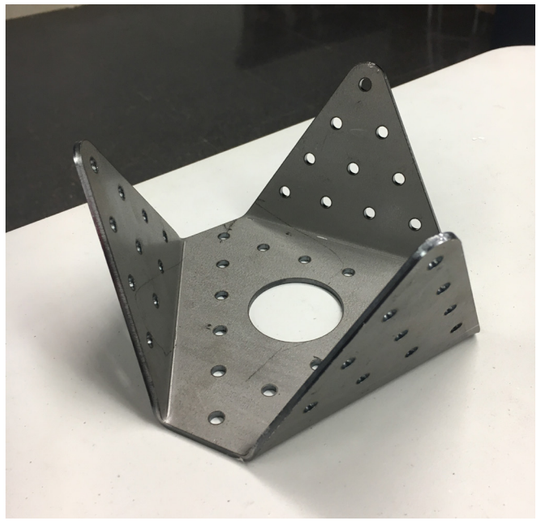


Figura 1.47 ↑
Sgabelli realizzati con la Pieza T300.

Figura 1.48 ↓
Pieza T300.

Figura 1.49 ↗
Sgabello realizzato con la Pieza T300.

L'introduzione di interazioni partecipative e dinamiche comporta l'inevitabile insorgere di sollecitazioni aggiuntive, che esulano dalle classiche condizioni di esercizio della sedia tradizionale.
Tali sollecitazioni diventano ancora più critiche in un contesto di autoproduzione, dove l'accesso a materiali e tecniche di produzione avanzati è fortemente limitato.

Il capitolo successivo intende pertanto approfondire il comportamento statico della seduta tradizionale, al fine di comprenderne i principi fondamentali, e successivamente fornire una serie di strumenti per la progettazione di componenti strutturalmente efficienti, capaci di garantire prestazioni adeguate anche mediante l'impiego di materiali dalle limitate proprietà meccaniche.

Ottimizzazione strutturale

2.1 La statica della seduta
2.2 Ottimizzazione strutturale tradizionale
2.3 Il generative design: definizione e fondamenti
2.4 La seduta ottimizzata

2.

2.1

La statica della seduta

La seguente sezione è dedicata all'analisi statica delle quattro categorie di sedute precedentemente individuate, con l'obiettivo di fornire uno strumento di riferimento a supporto della progettazione.

Per ciascuna tipologia di seduta sono stati inizialmente esaminati due diversi casi di carico, rappresentativi delle principali condizioni di utilizzo: nel primo, la persona è seduta in posizione normale; nel secondo, invece, l'utilizzatore si colloca nella parte anteriore del sedile. Tra gli otto casi complessivamente considerati, si sono quindi selezionati quelli ritenuti maggiormente significativi, sia in termini di postura più frequentemente assunta, sia in termini di criticità dal punto di vista statico. Le configurazioni selezionate sono infine state oggetto dell'analisi statica.

Inoltre, al fine di analizzare le condizioni limite di utilizzo delle sedie, si assume come riferimento antropometrico una persona rappresentativa del novantacinquesimo percentile maschile della popolazione.
Secondo i dati ufficiali del National Center for Health Statistics (NCHS), elaborati sulla base del National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES), ad esso corrispondono un peso di 131,8 kg e un'altezza pari a 187,2 cm [44].
Per la ripartizione del peso nelle diverse parti anatomiche del corpo umano si è, invece, fatto riferimento al modello antropometrico riportato in tabella 1.

Determinazione del baricentro della sedia

- **Scomposizione della sedia nei principali componenti e individuazione dei rispettivi baricentri**
  La sedia è scomposta in figure elementari; a ciascuna parte è associata una forza peso applicata nel rispettivo baricentro. La risultante delle forze peso rappresenta la forza peso complessiva della sedia, applicata nel baricentro globale.
- **Costruzione del poligono delle forze**
  Le forze peso dei singoli componenti sono riportate in successione, secondo la regola "punta-coda", al fine di ottenere la risultante del sistema.
- **Costruzione del diagramma polare**
  Costruzione grafica (ausiliaria alla costruzione grafica del poligono delle forze) ottenuta introducendo un polo arbitrario da cui tracciare i raggi proiettanti che lo congiungono a ciascun vertice del poligono delle forze.
- **Costruzione del poligono funicolare**
  Costruzione grafica che permette di individuare la retta d'azione della risultante di un sistema di forze generiche complanari. A partire da un punto arbitrario p_0, si tracciano le rette parallele ai raggi proiettanti del diagramma polare precedentemente costruito, realizzando una spezzata che interseca in successione le corrispettive rette d'azione delle forze secondo l'ordine di costruzione adottato nel poligono delle forze.
- **Individuazione della retta d'azione della risultante**
  La retta d'azione della risultante è individuata come la retta, parallela alla risultante del poligono delle forze, passante per l'intersezione tra il primo e l'ultimo segmento del poligono funicolare.

Valutazione della stabilità della sedia

- **Definizione dell'impronta della base d'appoggio**
  Area definita in vista dall'alto attraverso l'inviluppo convesso dei punti di contatto con il suolo.
- **Identificazione dell'asse di ribaltamento**
  L'asse debole è individuato come il più vicino al baricentro ed è l'asse per il quale il ribaltamento si verifica più facilmente.
- **Individuazione della forza orizzontale limite**
  La forza orizzontale limite ad una certa altezza è determinata attraverso la regola del parallelogramma e imponendo che la retta d'azione della risultante tra la forza peso dell'oggetto e la forza minima incognita passi per il passi per il punto limite, cioè la rappresentazione puntuale dell'asse debole individuato nella vista laterale parallela all'asse stesso.
- **Valutazione delle condizioni di scorrimento/ribaltamento**
  La possibilità di scorrimento orizzontale o ribaltamento è valutata confrontando la forza limite orizzontale applicata con la massima forza di attrito statico $Fa = \mu P$, assumendo $\mu = 1$ per simulare il contatto tra piedini in gomma e suolo.

Determinazione del baricentro della persona seduta

Il baricentro della persona è determinato applicando il medesimo metodo grafico utilizzato per la sedia, scomponendo il figurino ergonomico nelle principali parti anatomiche e sommando i contributi delle rispettive forze peso.

Determinazione della retta d'azione di persona e sedia

La forza peso totale è ottenuta come risultante di forze parallele concordi (peso della persona e peso della sedia). La retta d'azione è determinata mediante l'introduzione di una coppia di forze ausiliarie e la costruzione grafica delle risultanti, al fine di individuare il punto di concorrenza ove passerà la retta d'azione della forza peso totale.

Valutazione della stabilità di persona e sedia

La stabilità è verificata controllando che la retta d'azione della risultante complessiva sia interna all'impronta della base d'appoggio e che non si verifichi scorrimento/ribaltamento.

Determinazione delle reazioni vincolari della sedia occupata dalla persona

- **Tracciamento delle rette d'azione**
  Le rette d'azione, verticali, passanti per i vincoli della sedia e per il baricentro della persona.
- **Costruzione del diagramma polare**
  Secondo il metodo precedentemente descritto, mediante la scelta di un polo arbitrario e il tracciamento dei raggi proiettanti che lo congiungono ai vertici della forza peso della persona.
- **Costruzione del poligono funicolare**
  Secondo il metodo precedentemente descritto, assumendo come punto iniziale un punto individuato sulla retta d'azione di uno dei vincoli della sedia e come punto finale un punto individuato sulla retta d'azione dell'altro vincolo della sedia.
- **Tracciamento della congiungente P_0-P_2**
  La retta che congiunge il punto iniziale e il punto finale del poligono funicolare.
- **Identificazione delle reazioni vincolari nel poligono delle forze**
  Riportando il segmento P_0-P_2 nel diagramma polare è possibile individuare un terzo punto nel poligono delle forze, che determina la ripartizione delle reazioni vincolari nei punti di vincolo della sedia.

Determinazione delle azioni interne alla sedia

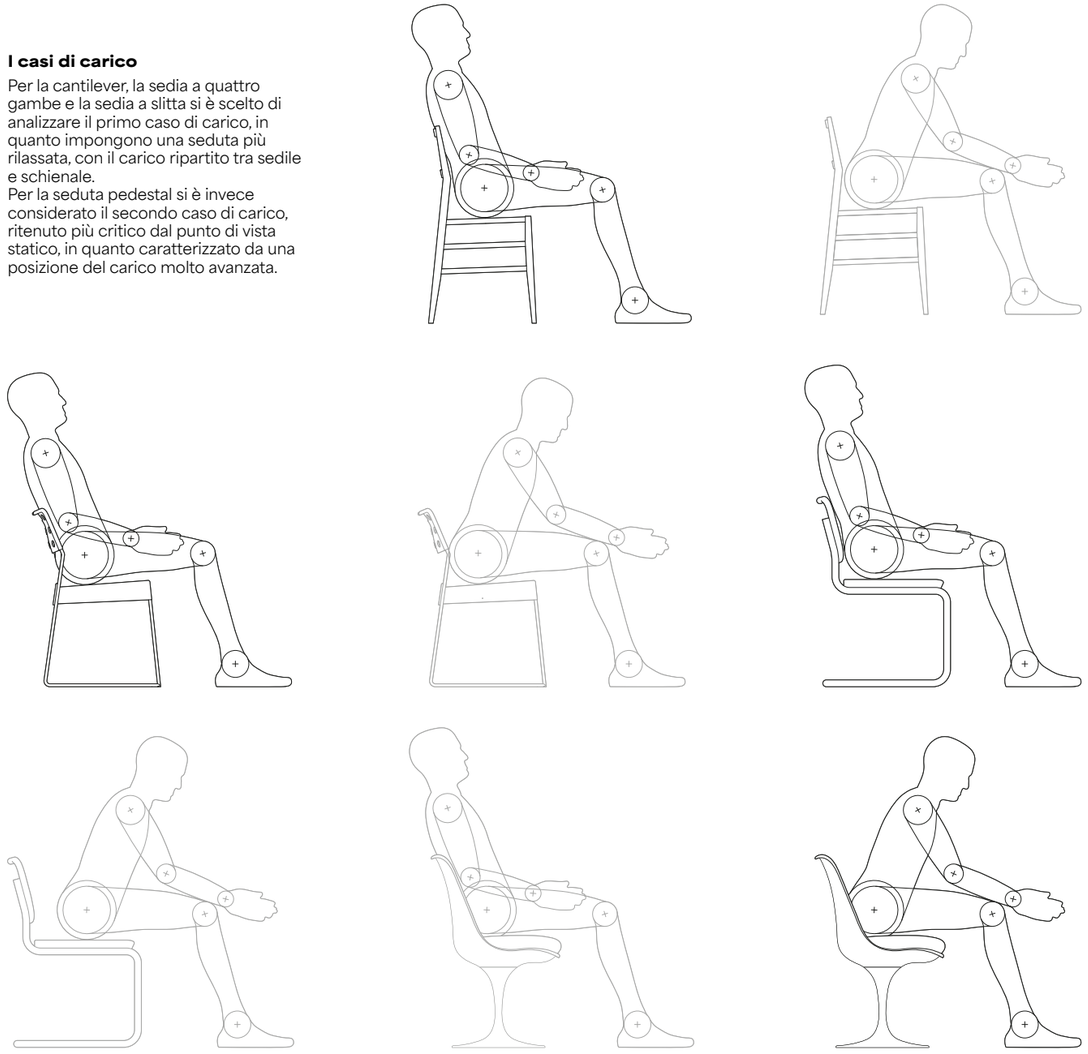
A partire dalle reazioni vincolari e dai carichi applicati si valutano: lo sforzo normale, lo sforzo di taglio e il momento flettente.

Segmento	Massa relativa (%)
Testa e collo	8,1
Braccia	5,6
Avambracci	3,2
Mani	1,2
Torace	21,6
Addome	13,9
Bacino	14,2
Cosce	20
Gambe	9,3
Piedi	2,9

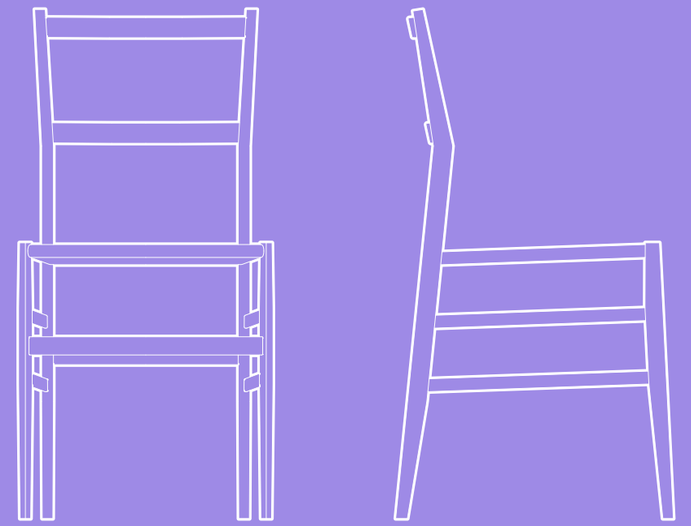
Tabella 1
Distribuzione percentuale della massa corporea [45].

I casi di carico

Per la cantilever, la sedia a quattro gambe e la sedia a slitta si è scelto di analizzare il primo caso di carico, in quanto impongono una seduta più rilassata, con il carico ripartito tra sedile e schienale.
Per la seduta pedestal si è invece considerato il secondo caso di carico, ritenuto più critico dal punto di vista statico, in quanto caratterizzato da una posizione del carico molto avanzata.

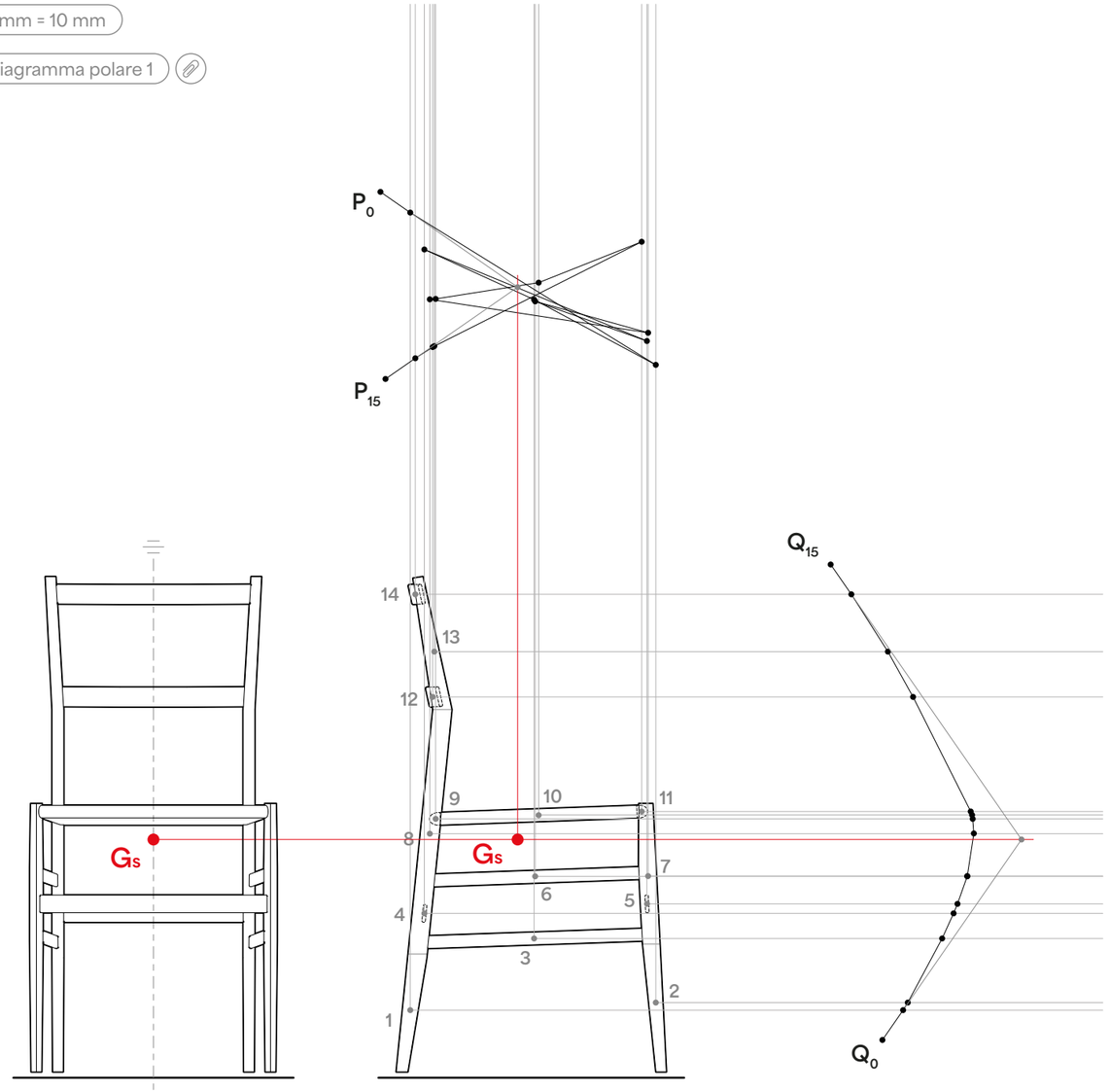


Superleggera 699 / Gio Ponti / Cassina



1 mm = 10 mm

Diagramma polare 1



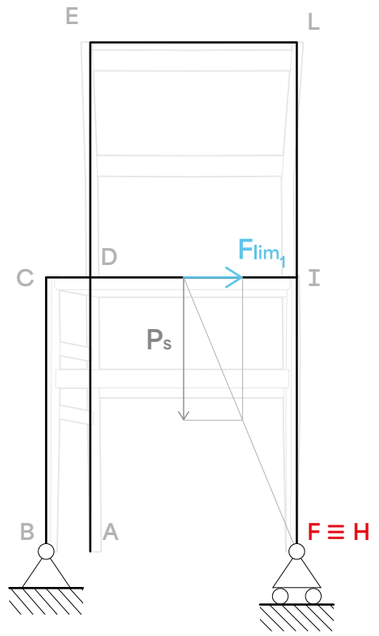
VISTA FRONTALE

VISTA LATERALE

1 mm = 10 mm

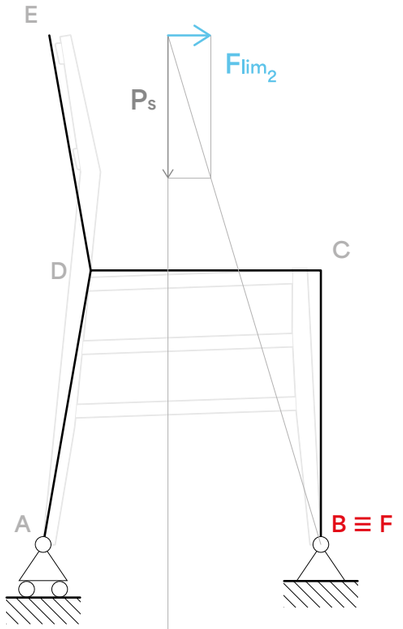
1 mm = 0,5 N

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse FH



VISTA AUSILIARIA A-A

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse BF



VISTA LATERALE

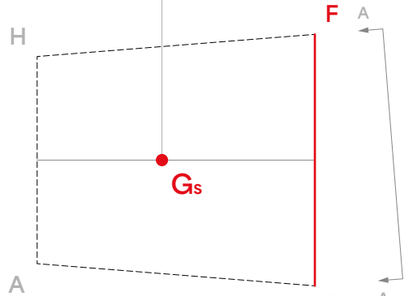
μ = 1

Ps = 11,6 N

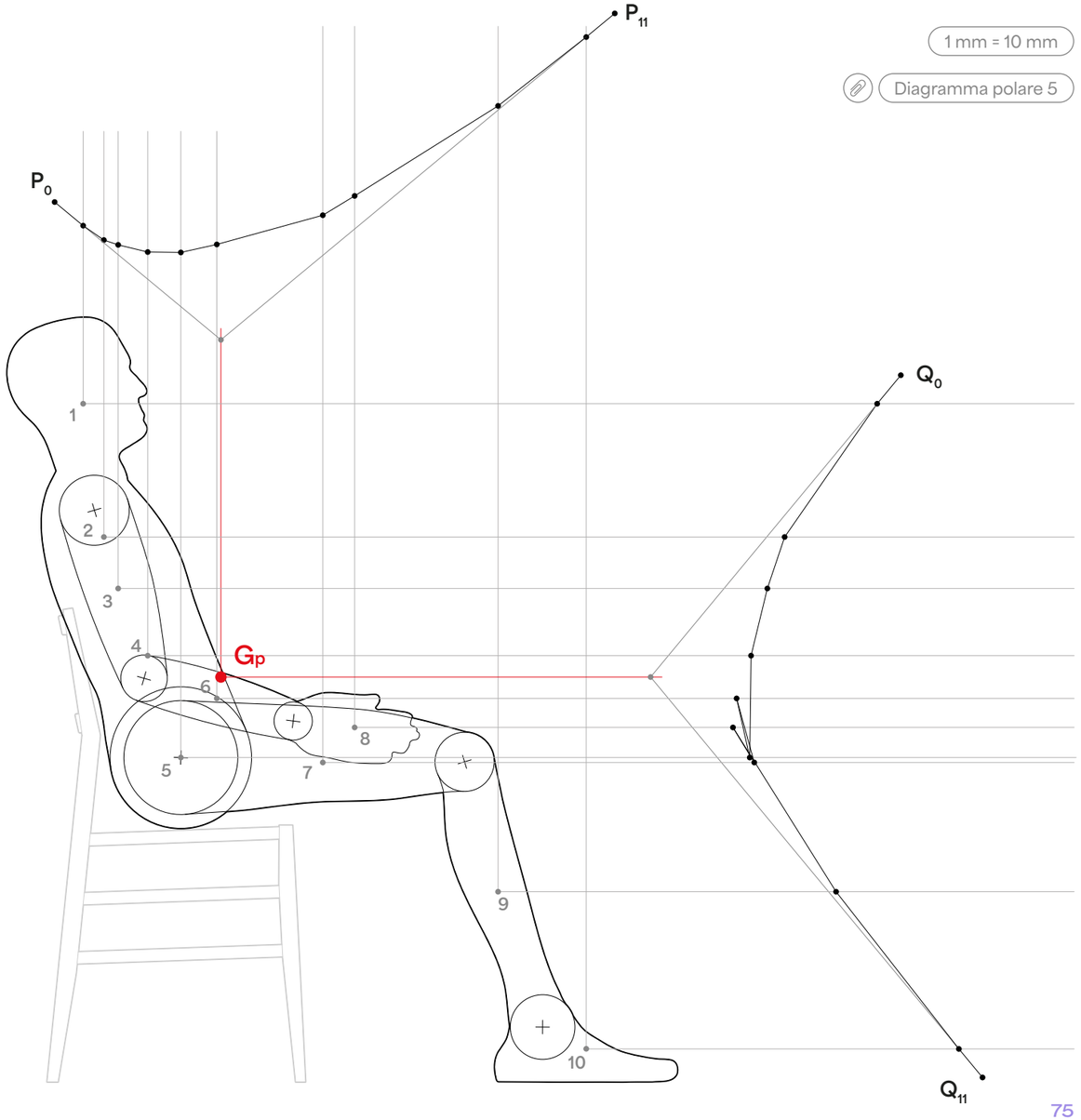
$Flim_1$ = 19,2 N < μ · 4,8 N → il corpo si ribalta

$Flim_2$ = 14,0 N < μ · 3,5 N → il corpo si ribalta

La valutazione del ribaltamento è stata effettuata in funzione di due condizioni di carico: nel primo caso un forza laterale applicata all'altezza del sedile, per verificarne il ribaltamento attorno all'asse FH; nel secondo caso una forza applicata all'estremo dello schienale per valutarne il ribaltamento in avanti, attorno all'asse BF.

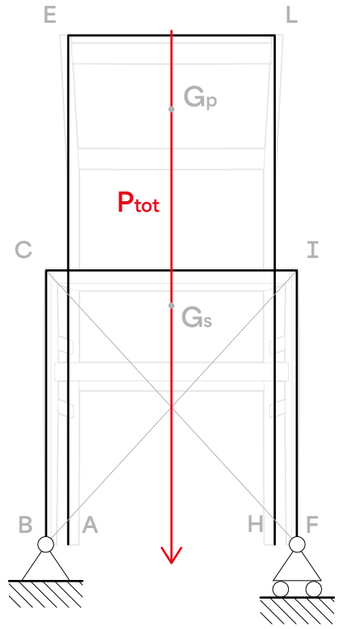


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

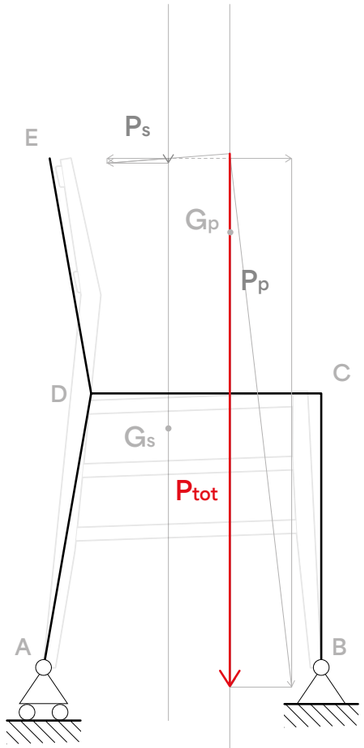

1 mm = 10 mm
Diagramma polare 5
P0
P11
Q0
Q11
Gp
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1 mm = 10 mm

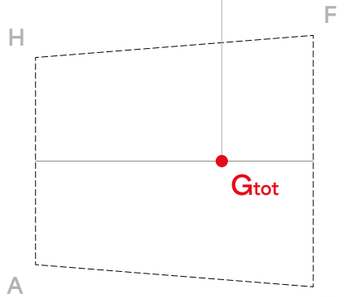
1 mm = 15 N



VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

μ = 1

Ps = 11,6 N

Pp = 1293 N

Ptot = 1304,6

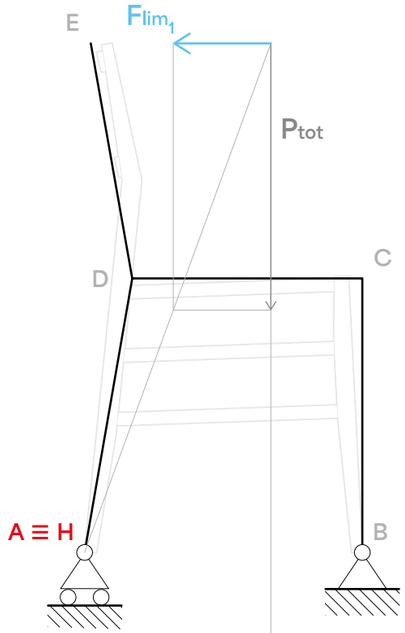
F_{lim_1} = 477,4 N < μ · 1304,6 N → il corpo si ribalta

F_{lim_2} = 234,4 N < μ · 1304,6 N → il corpo si ribalta

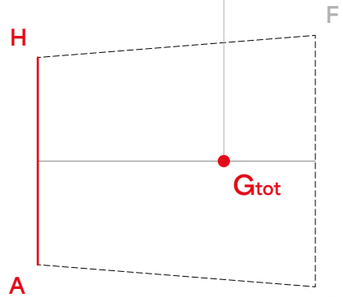
1 mm = 10 mm

1 mm = 30 N

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse AH

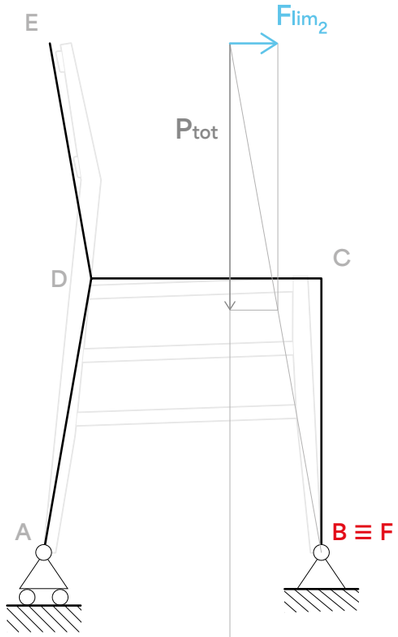


VISTA LATERALE

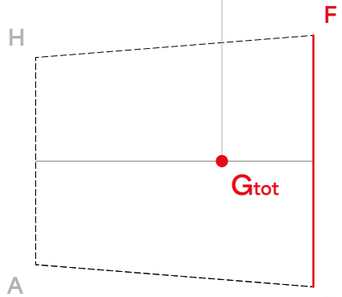


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

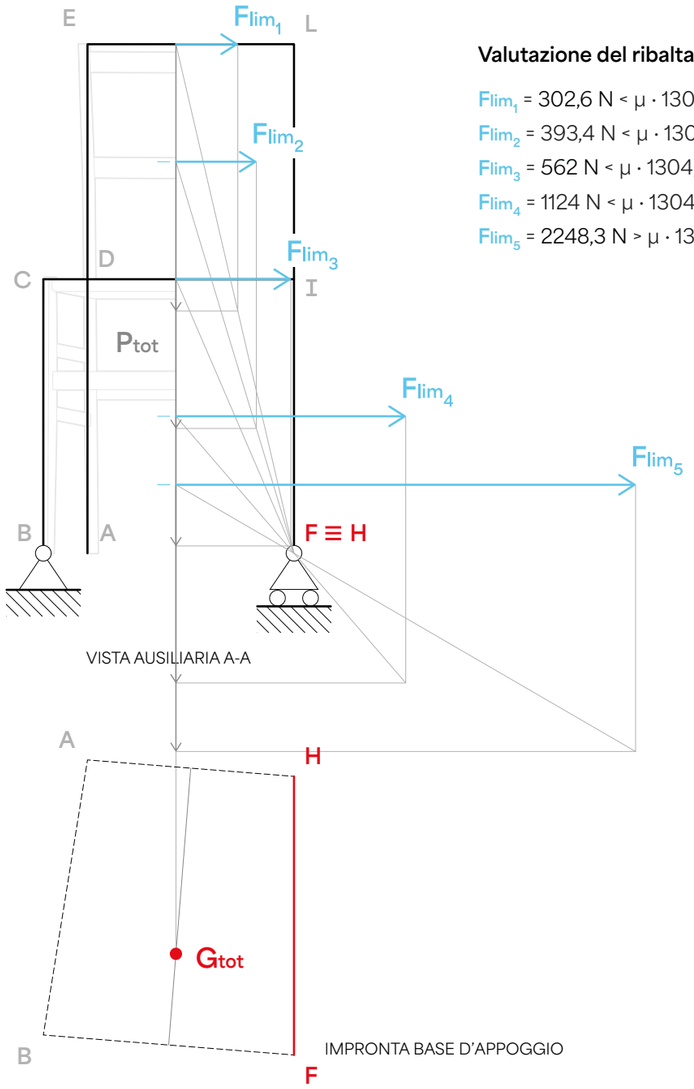
Valutazione del ribaltamento attorno all'asse BF



VISTA LATERALE

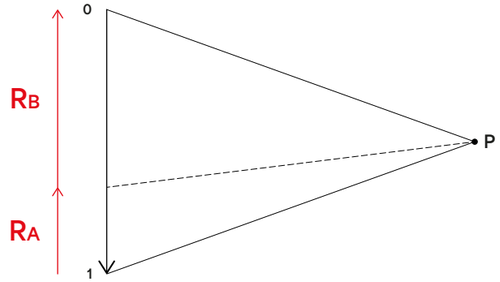


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO



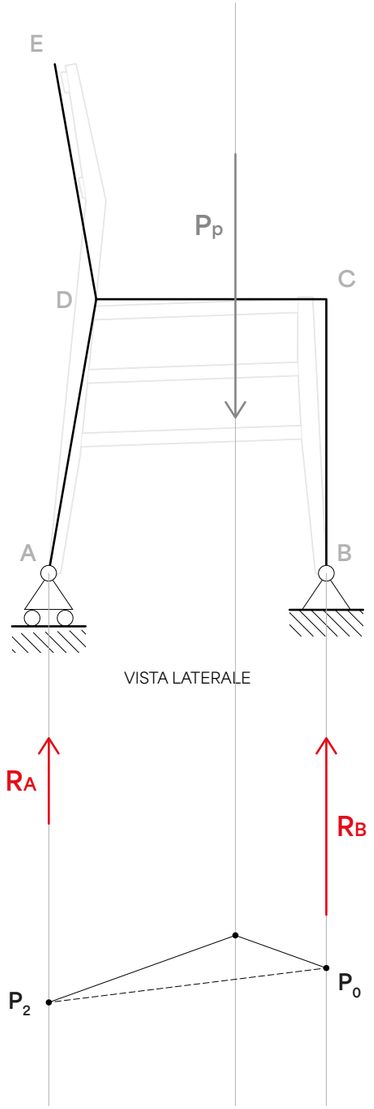
Valutazione del ribaltamento attorno all'asse FH

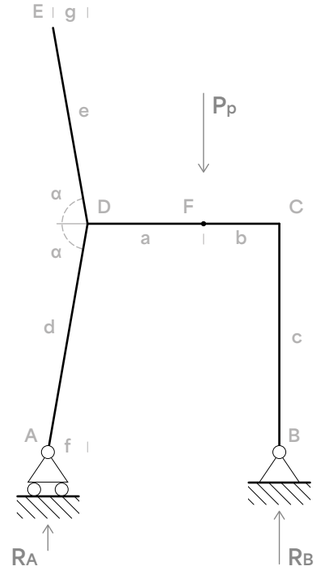
F_{lim_1} = 302,6 N < μ · 1304,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_2} = 393,4 N < μ · 1304,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_3} = 562 N < μ · 1304,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_4} = 1124 N < μ · 1304,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_5} = 2248,3 N > μ · 1304,6 N → il corpo trasla



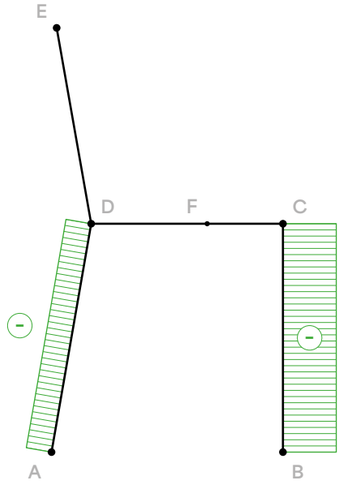
P_p = 1293 N

R_A = 423,6 N
R_B = 869,4 N





SFORZO
NORMALE

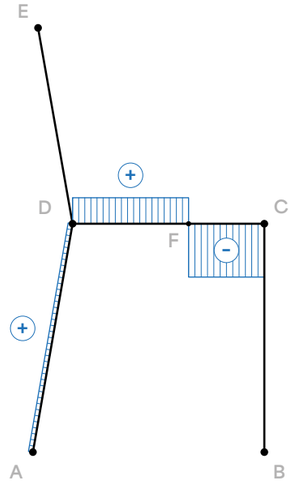


α = 80° | **a** = 0,227 m | **b** = 0,148 m | **c** = 0,45 m
d = 0,45 m | **e** = 0,39 m | **f** = 0,077 m | **g** = 0,068 m

Pp = 1293 N | **RA** = 423,6 N | **RB** = 869,4 N

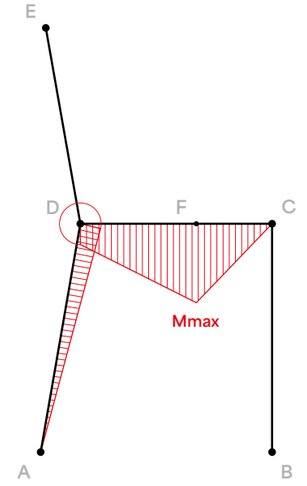
NDA = RA (sinα) = 417,2 N
NCB = RB = 869,4 N

TAGLIO



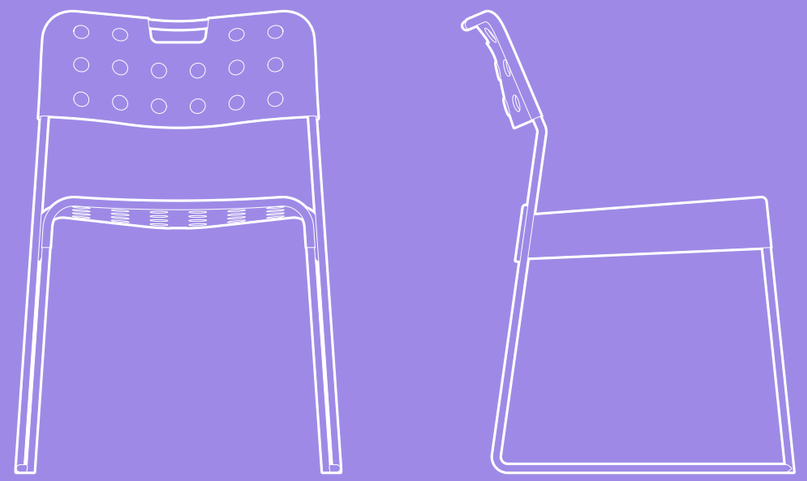
TA = RA (cosα) = 73,6 N
TD = RA = (Pp · a) / (a + b) = 423,6 N
TC = RB = (Pp · b) / (a + b) = 869,4 N

MOMENTO



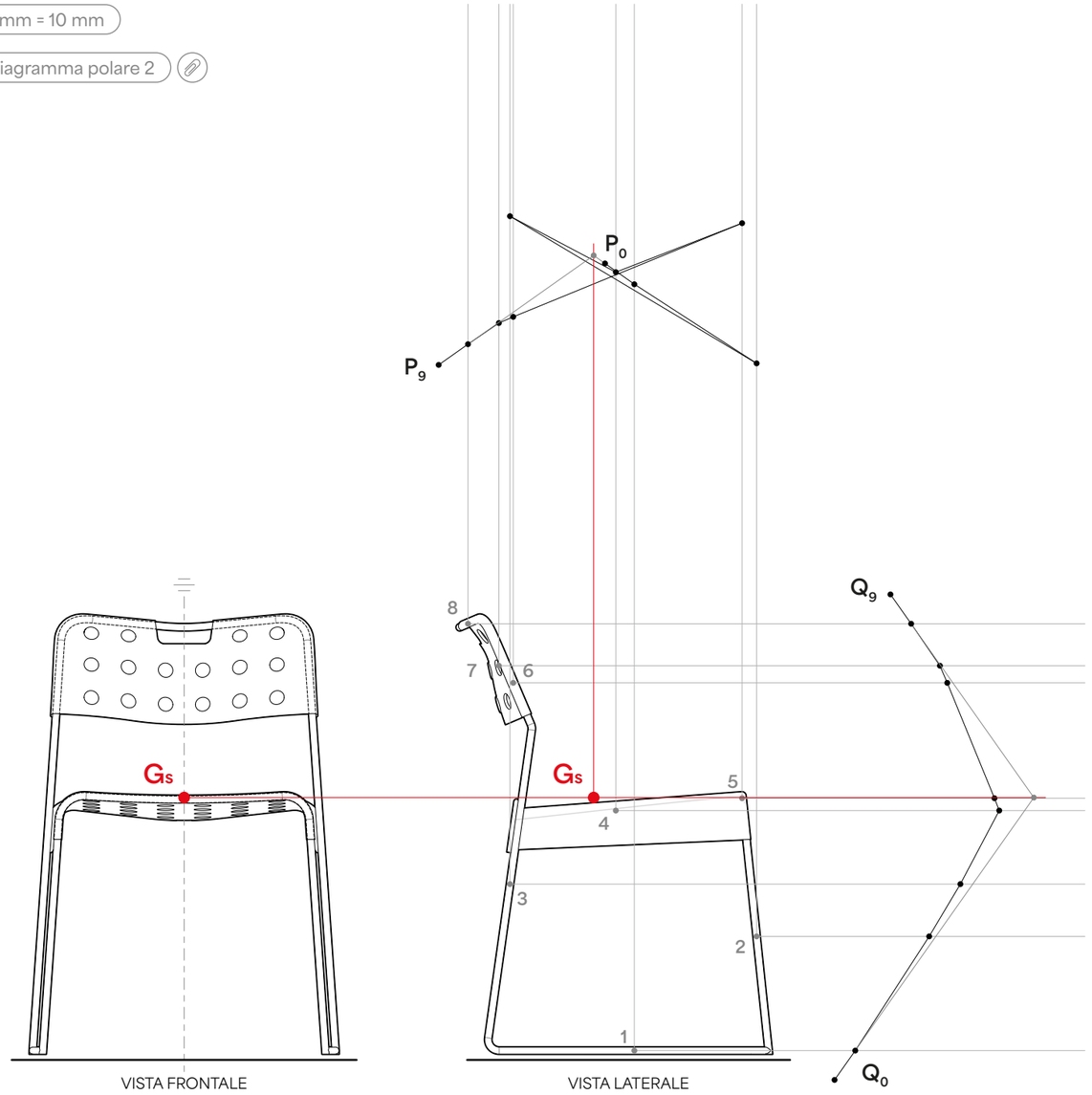
MF = RA · (f + a) = 128,8 Nm
MD = RA · f = 33,9 Nm

Omstak / Rodney Kinsman / OMK



1 mm = 10 mm

Diagramma polare 2



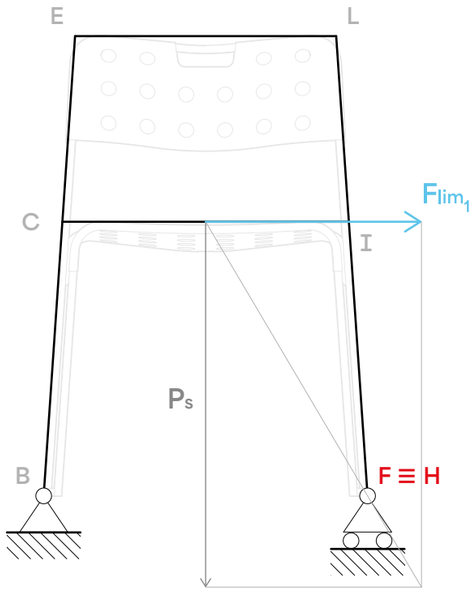
VISTA FRONTALE

VISTA LATERALE

1 mm = 10 mm

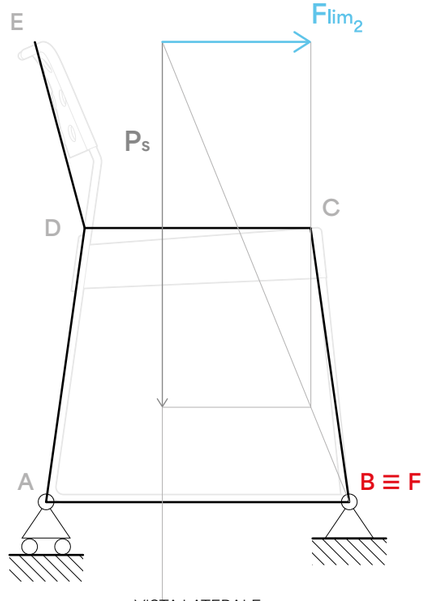
1 mm = 1 N

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse FH



VISTA FRONTALE

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse BF



VISTA LATERALE

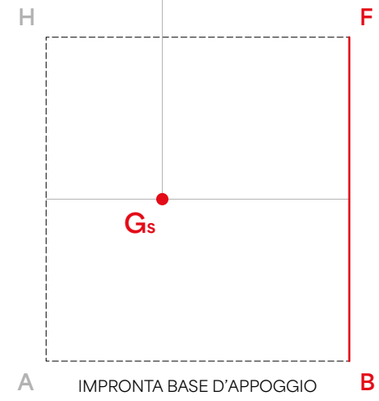
μ = 1

PS = 59,6 N

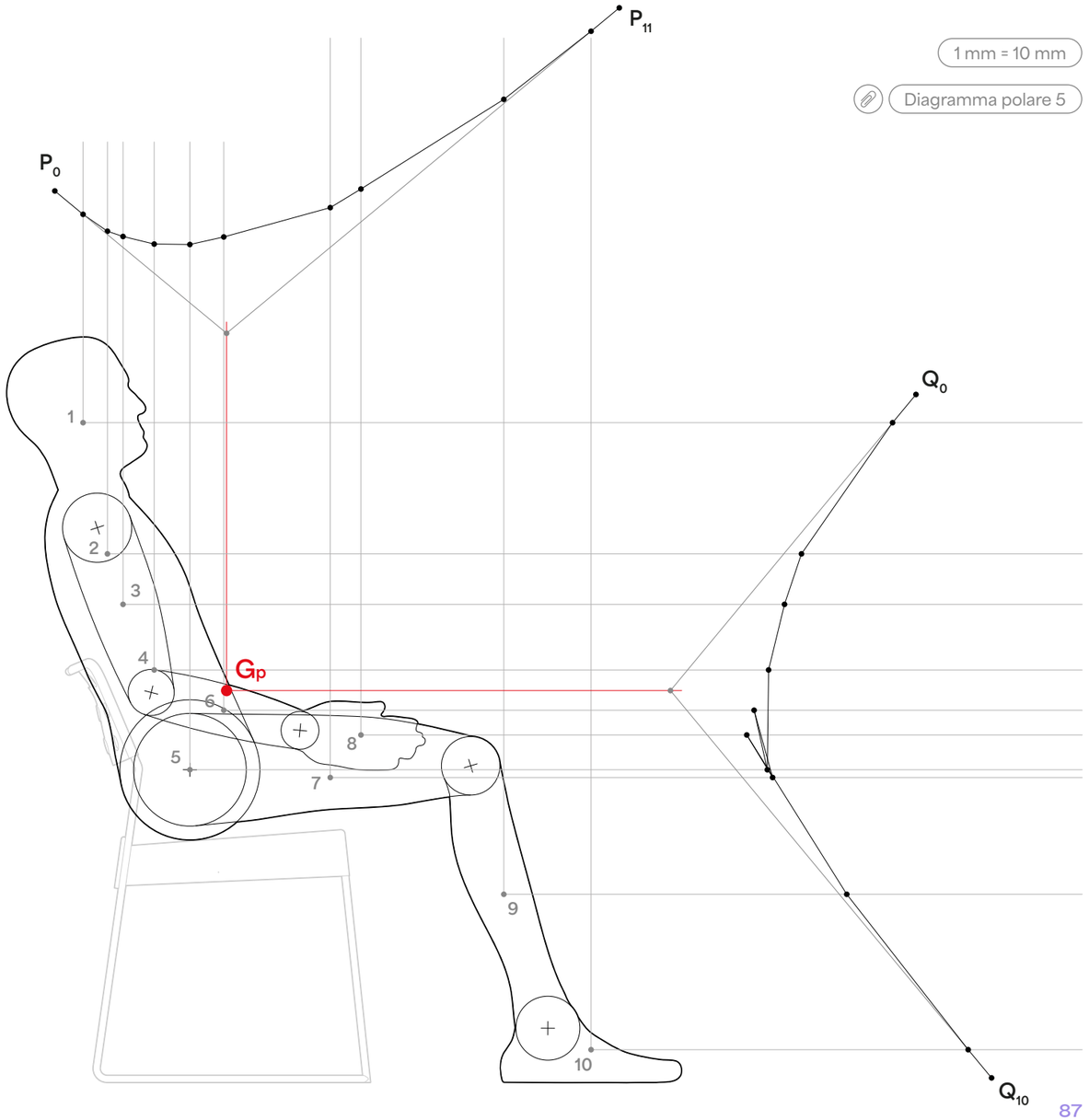
$Flim_1$ = 35,2 N < μ · 59,6 N → il corpo si ribalta

$Flim_2$ = 24,2 N < μ · 59,6 N → il corpo si ribalta

La valutazione del ribaltamento è stata effettuata in funzione di due condizioni di carico: nel primo caso un forza laterale applicata all'altezza del sedile, per verificarne il ribaltamento attorno all'asse FH; nel secondo caso una forza applicata all'estremo dello schienale per valutarne il ribaltamento in avanti, attorno all'asse BF.

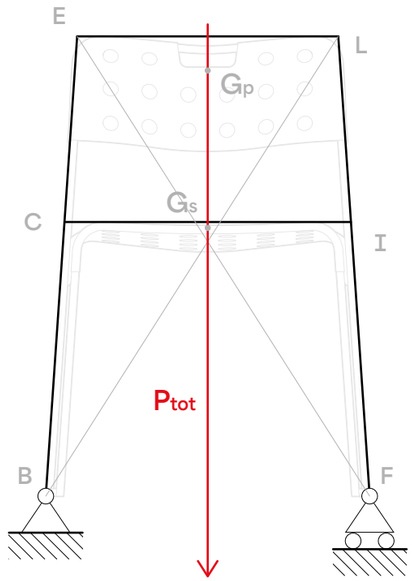


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

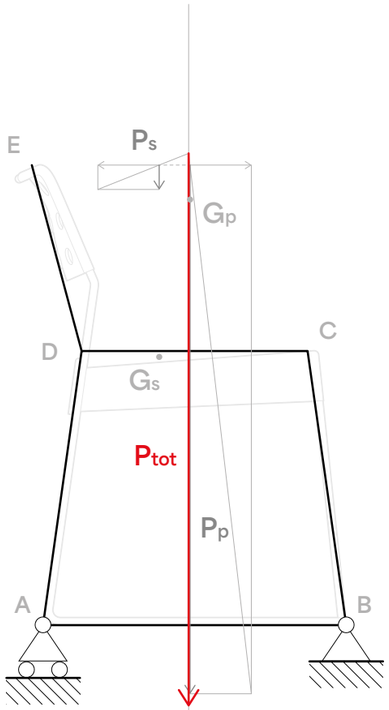

1 mm = 10 mm
Diagramma polare 5
P0
P11
Q0
Q10
Gp
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1 mm = 10 mm

1 mm = 15 N



VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

μ = 1

Ps = 59,6 N

Pp = 1293 N

Ptot = 1352,6

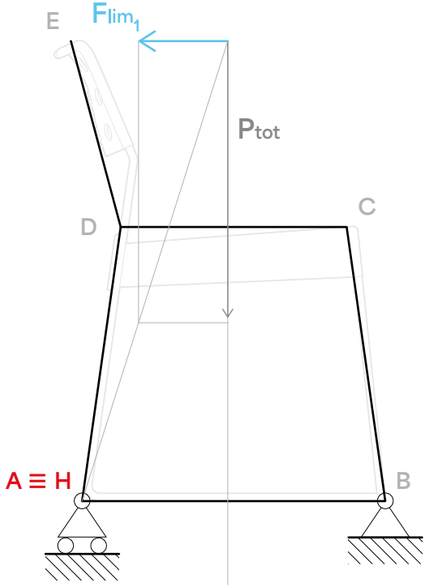
$Flim_1$ = 436,4 N < μ · 1352,6 N → il corpo si ribalta

$Flim_2$ = 463,6 N < μ · 1352,6 N → il corpo si ribalta

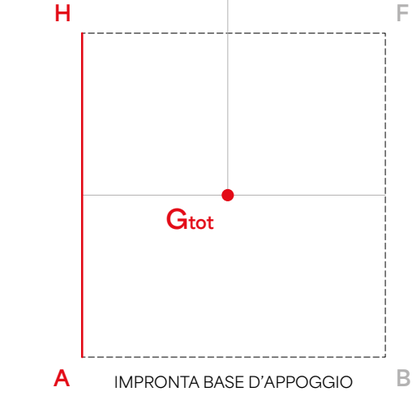
1 mm = 10 mm

1 mm = 30 N

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse FH

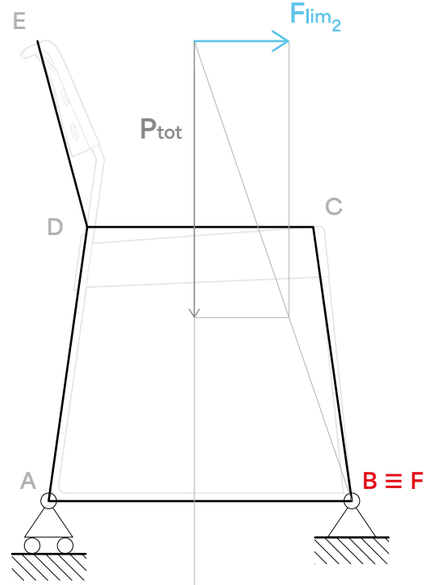


VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse BF



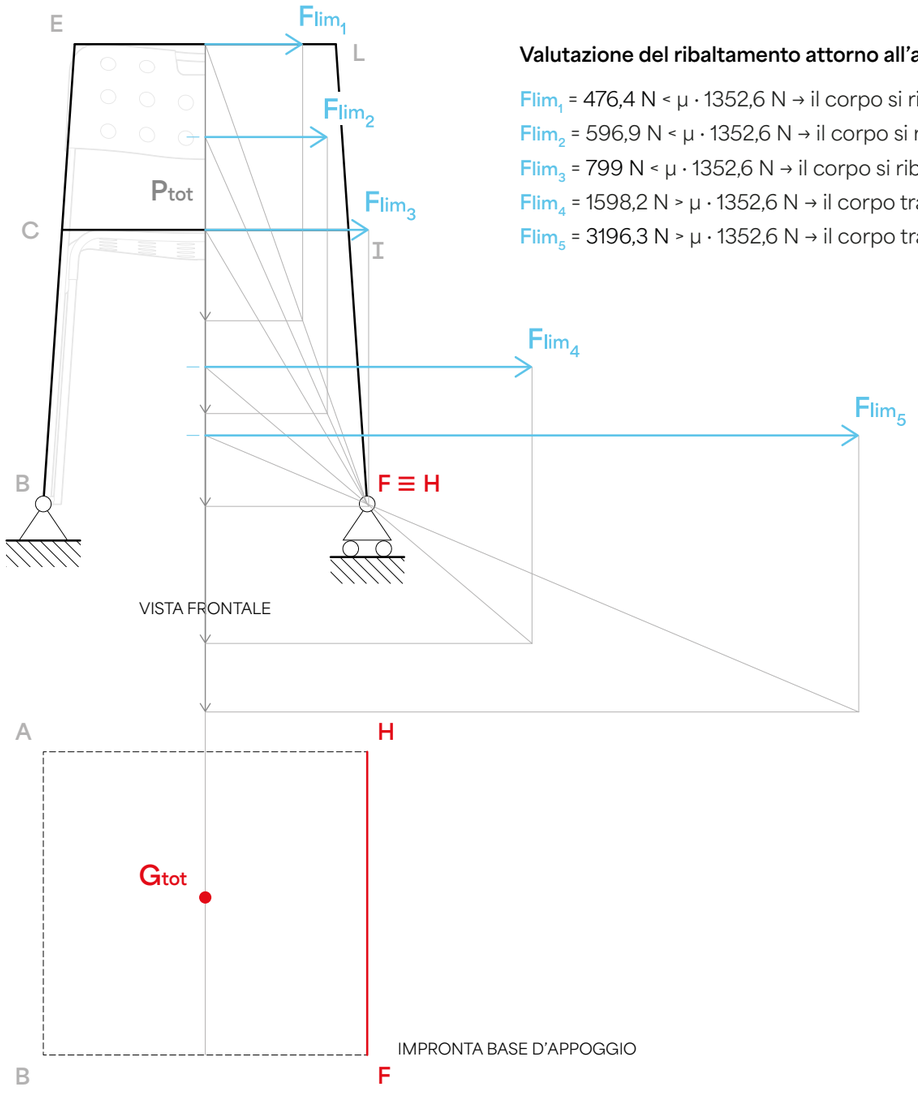
VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

1 mm = 10 mm

1 mm = 30 N



Valutazione del ribaltamento attorno all'asse FH

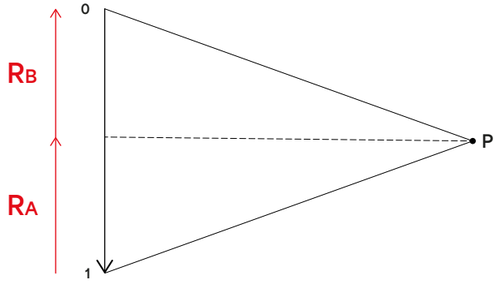
$Flim_1$ = 476,4 N < μ · 1352,6 N → il corpo si ribalta

$Flim_2$ = 596,9 N < μ · 1352,6 N → il corpo si ribalta

$Flim_3$ = 799 N < μ · 1352,6 N → il corpo si ribalta

$Flim_4$ = 1598,2 N > μ · 1352,6 N → il corpo trasla

$Flim_5$ = 3196,3 N > μ · 1352,6 N → il corpo trasla



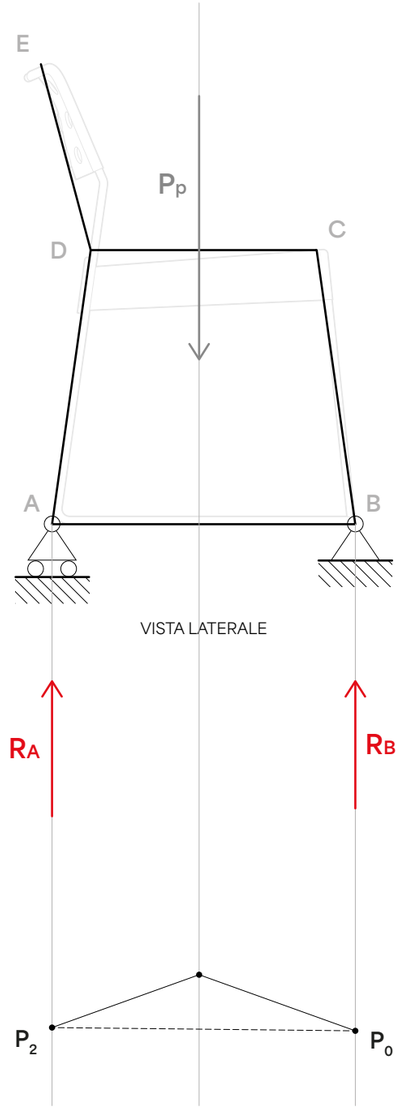
Pp = 1293 N

RA = 665,9 N

RB = 627,1 N

1 mm = 10 mm

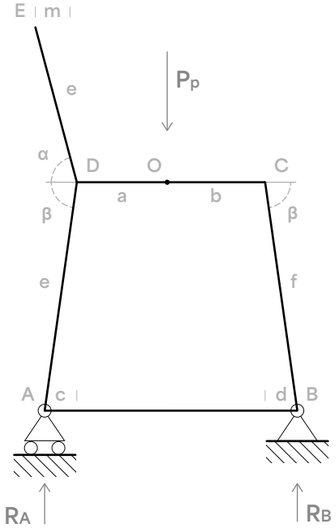
1 mm = 30 N



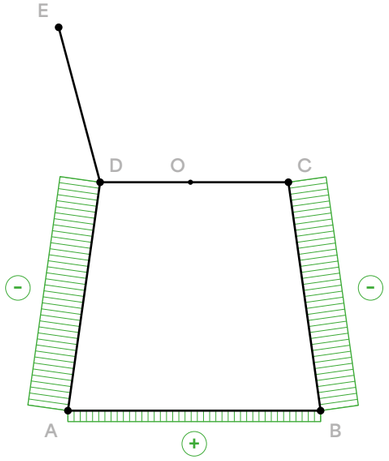
1 mm = 12 mm | 1 mm = 100 N | 1 mm = 10 Nm

Poligono delle forze equilibrato

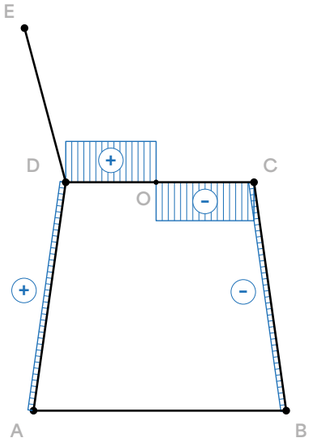
N | T | M



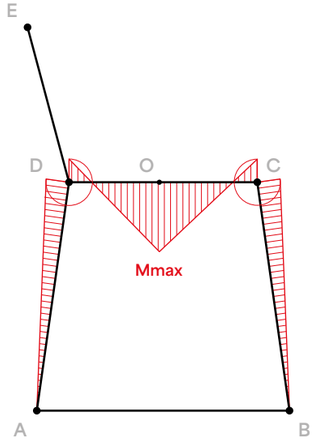
SFORZO
NORMALE



TAGLIO



MOMENTO



α = 75° | **β** = 82° | **a** = 0,17 m | **b** = 0,19 m **c** = **d** = 0,06 m
e = 0,45 m | **f** = 0,45 m | **g** = 0,31 m **m** = 0,081 m

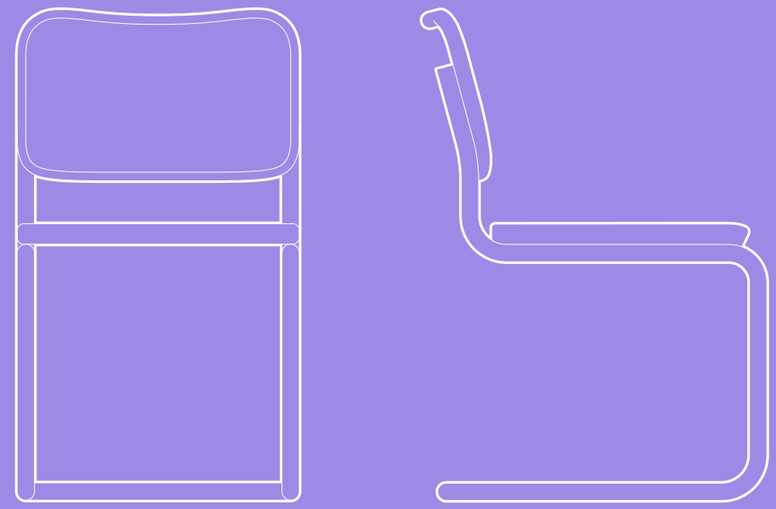
P_p = 1293 N | R_A = 665,9 N | R_B = 627,1 N

$N_{DA} = R_A (\sin\beta) = 659{,}4$ N
$N_{CB} = R_B (\sin\beta) = 621$ N
$N_{AB} = 90{,}9$ N + 87,7 N = 178,6 N

$T_C = R_B = 627{,}1$ N
$T_D = R_A = 665{,}9$ N
$T_A = R_A (\cos\beta) = 92{,}7$ N
$T_B = R_B (\cos\beta) = 87{,}3$ N

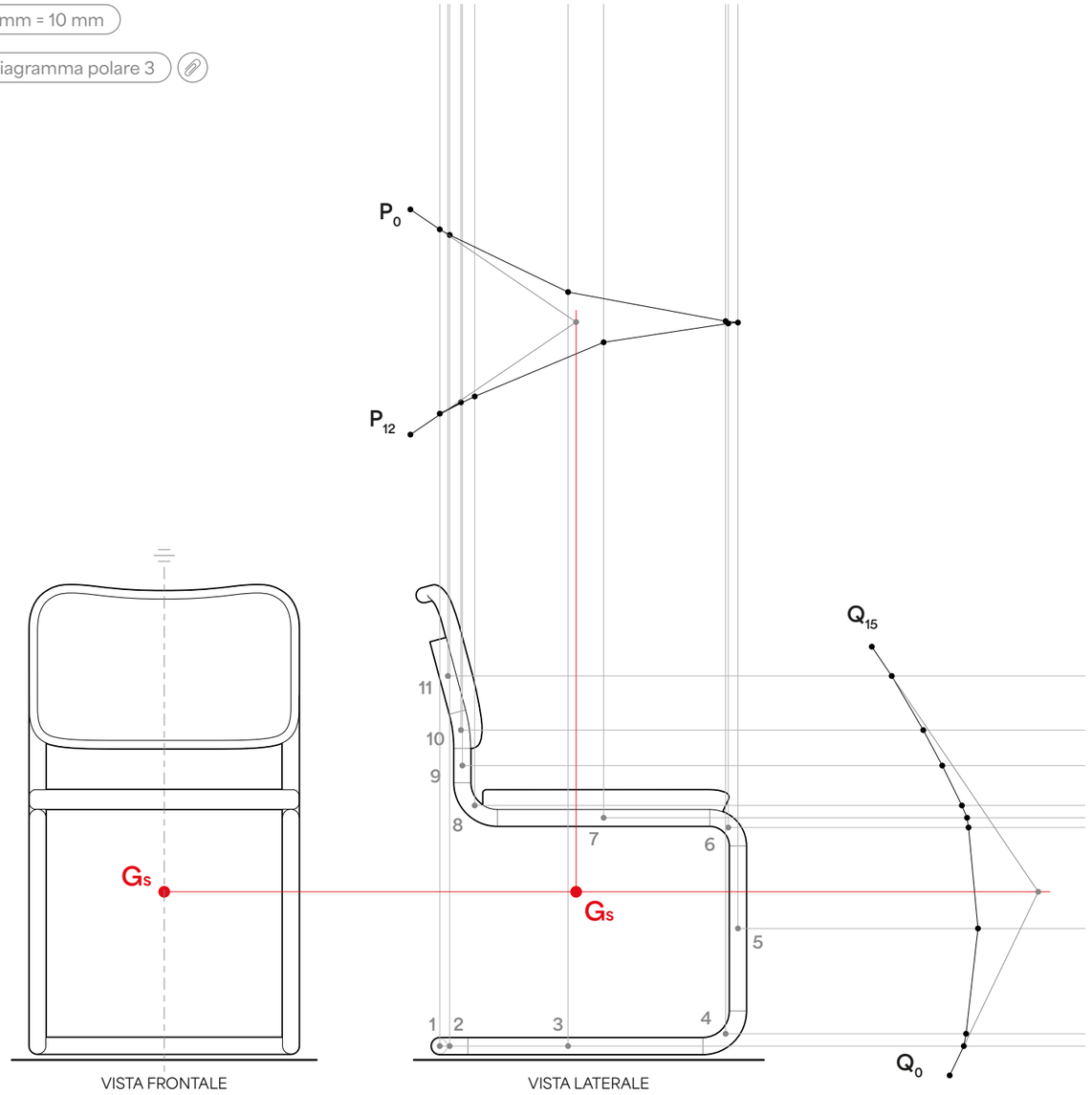
$M_O = R_A \cdot a = 113{,}2$ Nm
$M_D = R_A \cdot c = 37{,}6$ Nm
$M_C = R_B \cdot d = 37{,}6$ Nm

B32 Cesca / Marcel Breuer / Knoll



1 mm = 10 mm

Diagramma polare 3



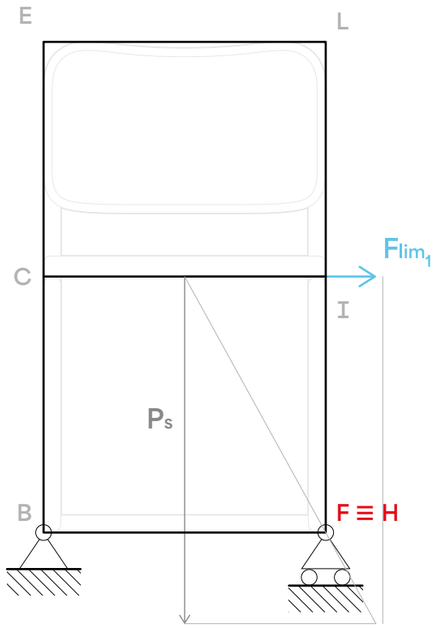
VISTA FRONTALE

VISTA LATERALE

1 mm = 10 mm

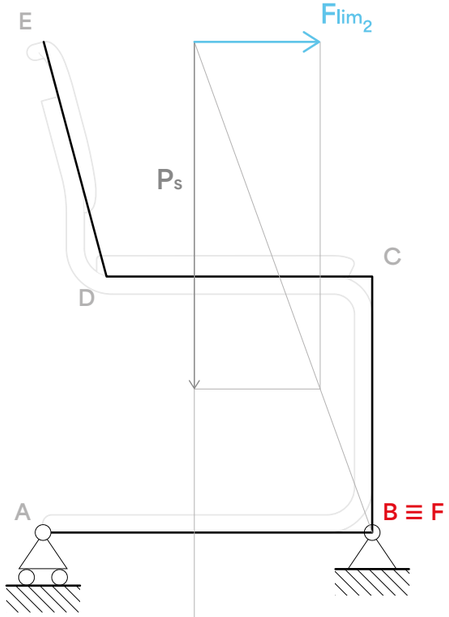
1 mm = 1 N

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse FH



VISTA FRONTALE

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse BF



VISTA LATERALE

μ = 1

PS = 56,6 N

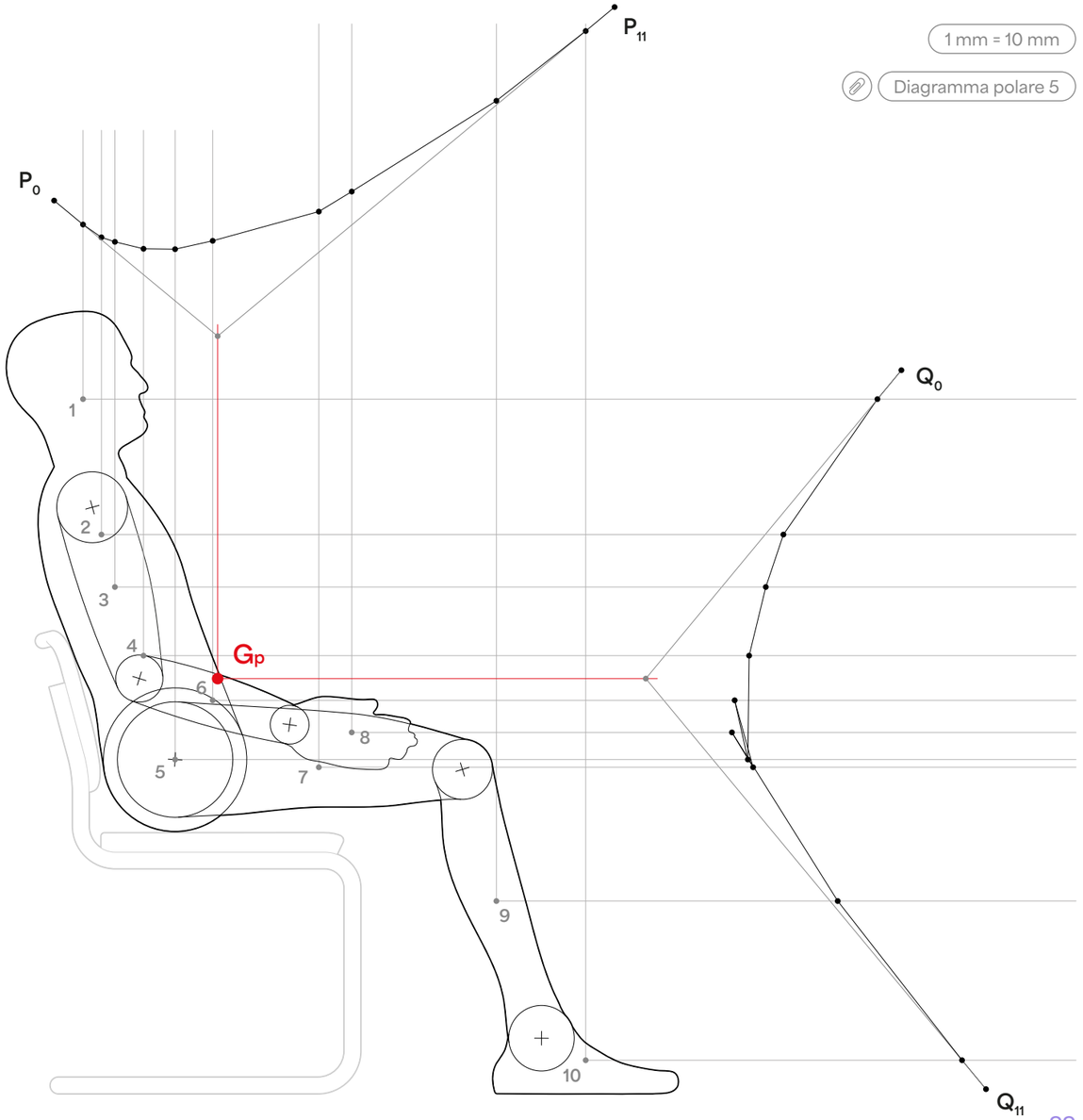
$Flim_1$ = 31,2 N < μ · 56,6 N → il corpo si ribalta

$Flim_2$ = 20,5 N < μ · 56,6 N → il corpo si ribalta

La valutazione del ribaltamento è stata effettuata in funzione di due condizioni di carico: nel primo caso un forza laterale applicata all'altezza del sedile, per verificarne il ribaltamento attorno all'asse FH; nel secondo caso una forza applicata all'estremo dello schienale per valutarne il ribaltamento in avanti, attorno all'asse BF.

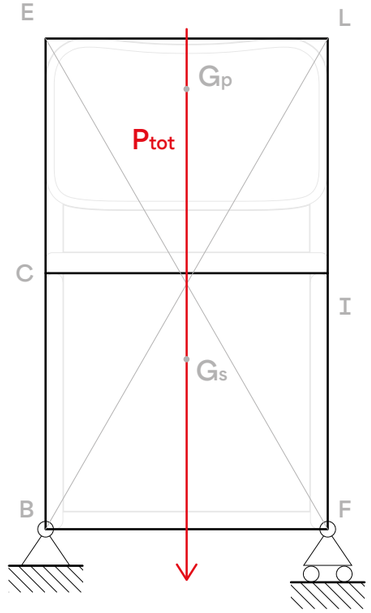


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

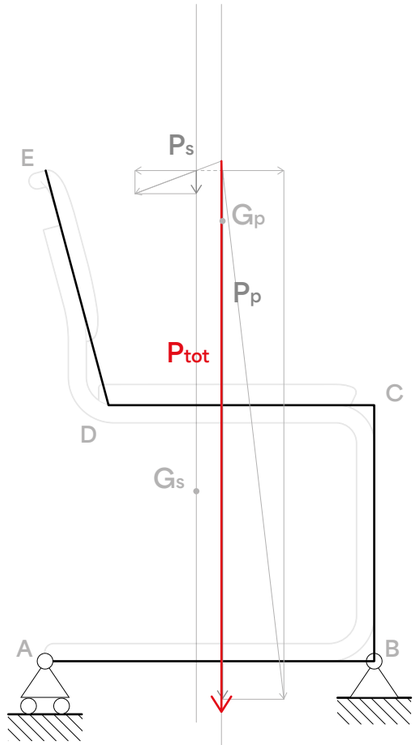

1 mm = 10 mm
Diagramma polare 5
P0
P11
Q0
Q11
Gp
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1 mm = 10 mm

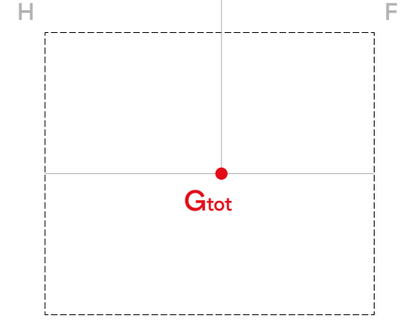
1 mm = 15 N



VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

μ = 1

Ps = 56,6 N

Pp = 1293 N

Ptot = 1349,6

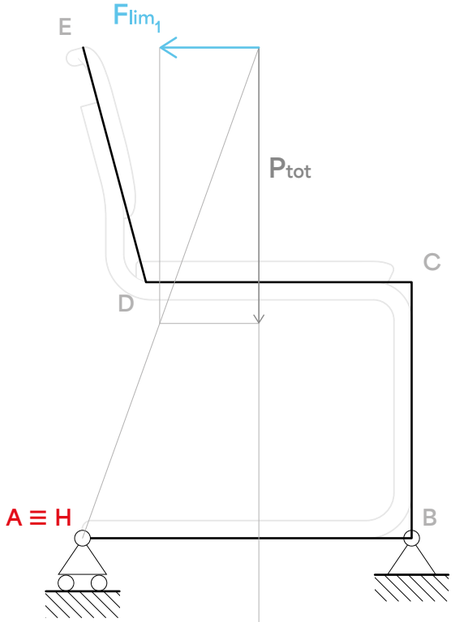
F_{lim_1} = 485,1 N < μ · 1349,6 N → il corpo si ribalta

F_{lim_2} = 420,6 N < μ · 1349,6 N → il corpo si ribalta

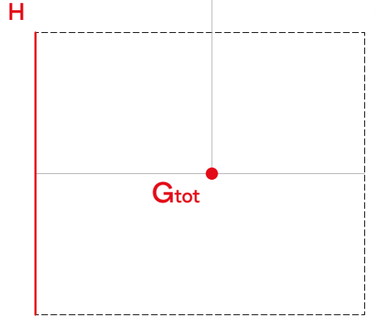
1 mm = 10 mm

1 mm = 30 N

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse AH

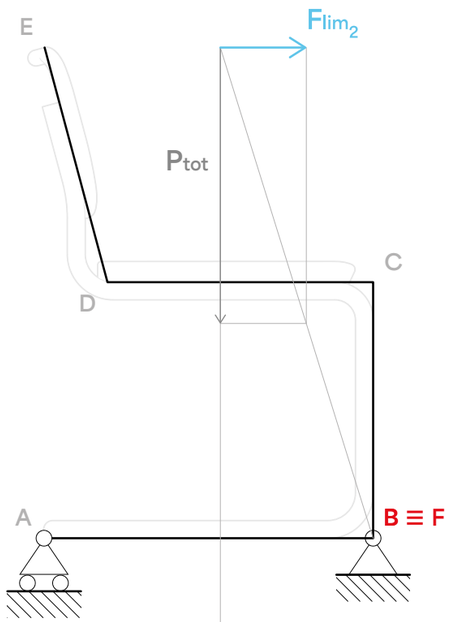


VISTA LATERALE

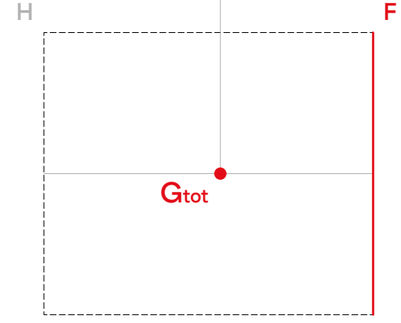


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

Valutazione del ribaltamento attorno all'asse BF

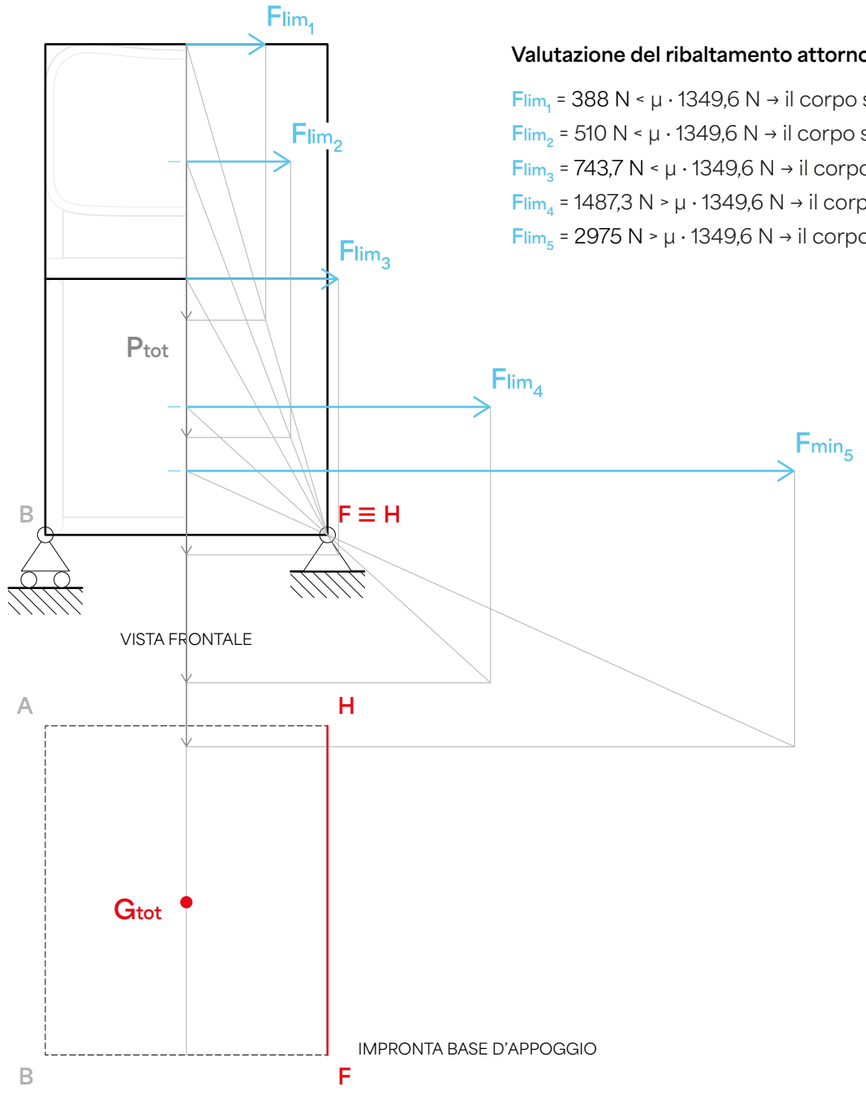


VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

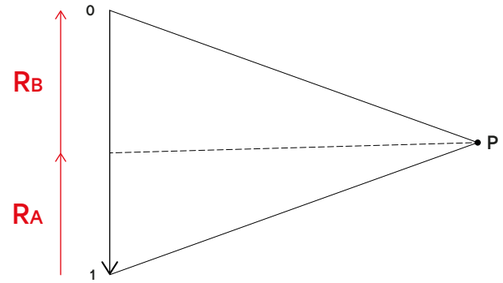
1 mm = 10 mm | 1 mm = 30 N



Valutazione del ribaltamento attorno all'asse FH

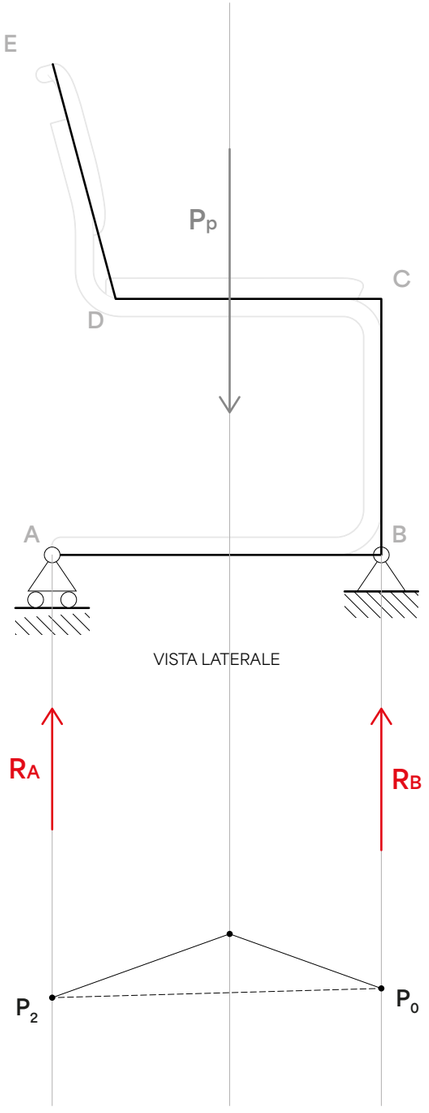
F_{lim_1} = 388 N < μ · 1349,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_2} = 510 N < μ · 1349,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_3} = 743,7 N < μ · 1349,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_4} = 1487,3 N > μ · 1349,6 N → il corpo trasla
F_{lim_5} = 2975 N > μ · 1349,6 N → il corpo trasla

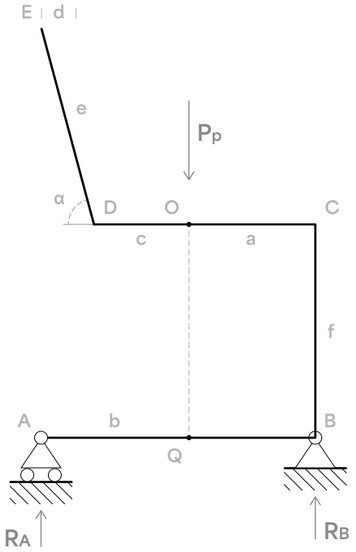
1 mm = 10 mm | 1 mm = 30 N



P_p = 1293 N

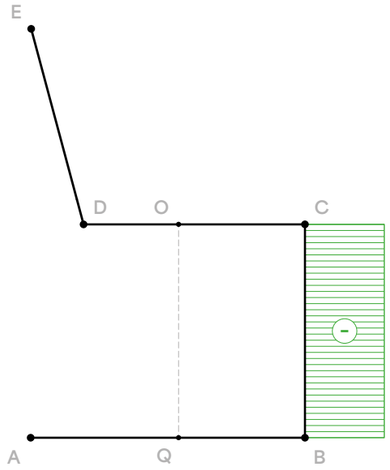
R_A = 595,9 N
R_B = 697,1 N





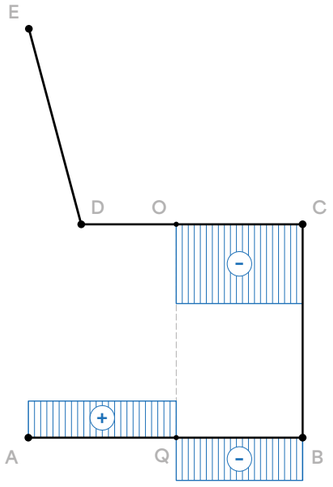
α = 75° | **a** = 0,247 m | **b** = 0,289 m | **d** = 0,068 m
f = 0,42 m | **c** = 0,186 m | **e** = 0,33 m
Pp = 1293 N | **RA** = 595,9 N | **RB** = 697,1 N

SFORZO NORMALE



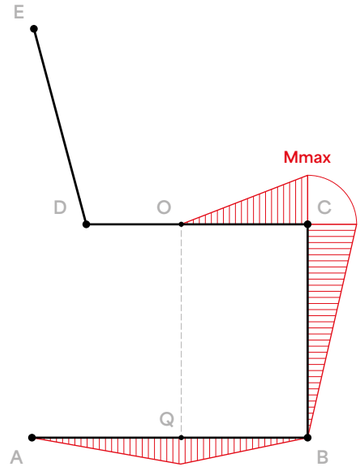
NCB = Pp = 1293 N

TAGLIO



TO = Pp = -1293 N
TB = RB = (Pp · b) / (a + b) = 697,1 N
TA = RA = (Pp · a) / (a + b) = 595,9 N

MOMENTO



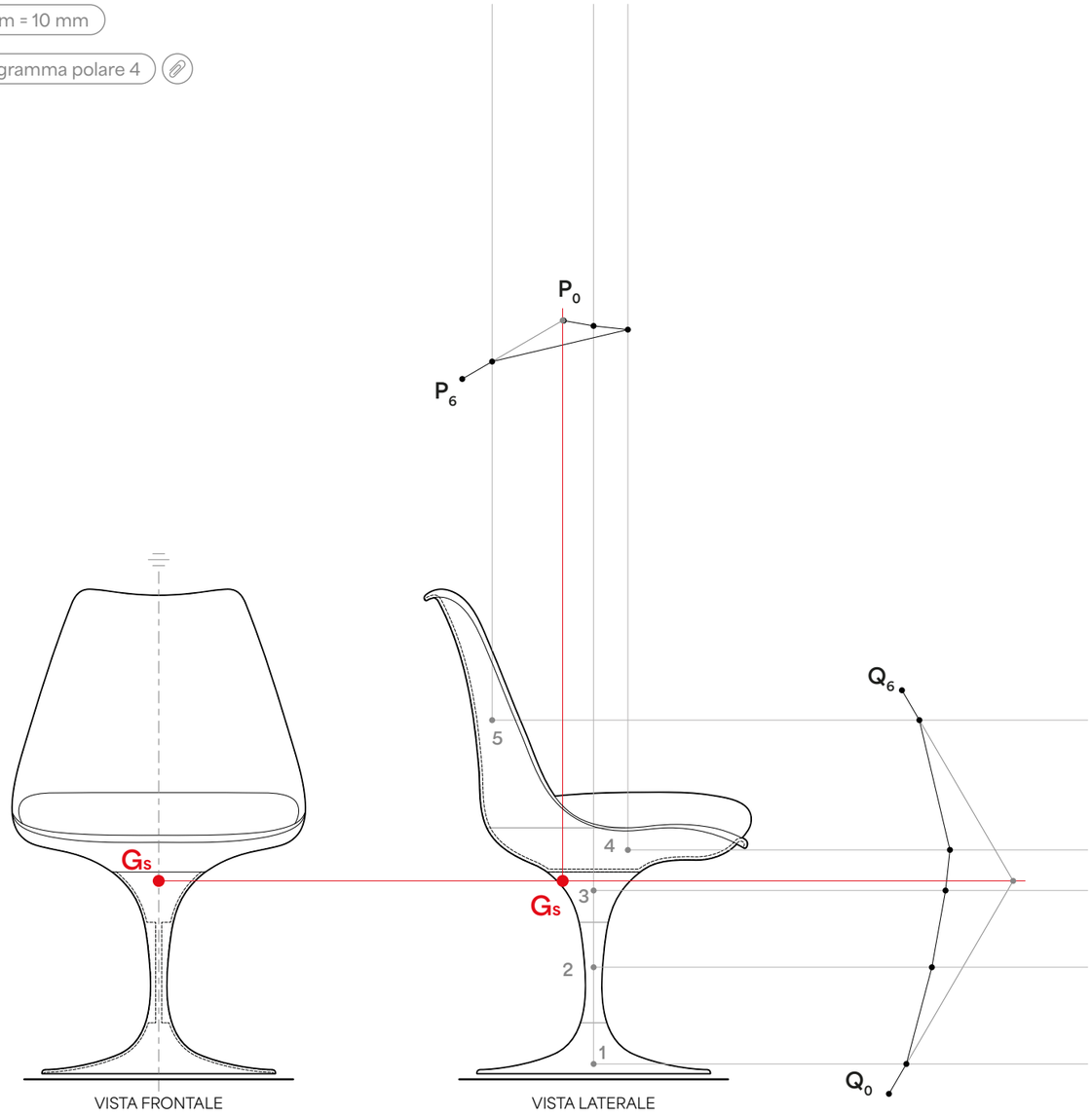
MC = Pp · a = 319,4 Nm
MQ = Pp · a · b / (b + a) = 172,2 Nm

Tulip / Eero Saarinen / Knoll



1 mm = 10 mm

Diagramma polare 4



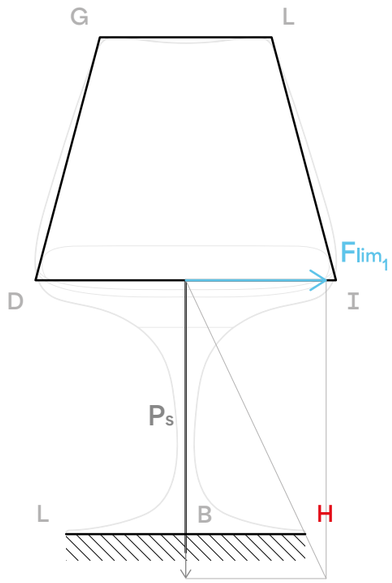
VISTA FRONTALE

VISTA LATERALE

1 mm = 10 mm

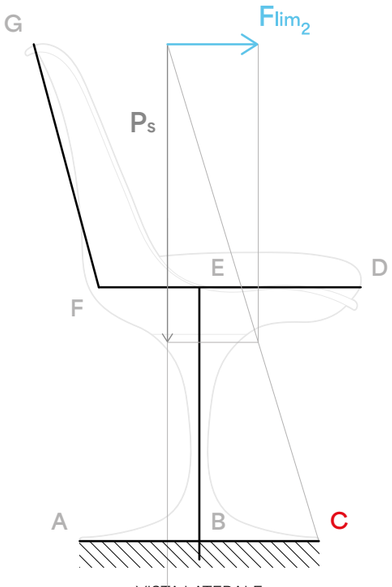
1 mm = 1 N

Valutazione del ribaltamento attorno a H



VISTA FRONTALE

Valutazione del ribaltamento attorno a C



VISTA LATERALE

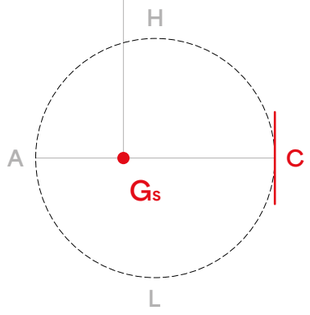
μ = 1

PS = 48,6 N

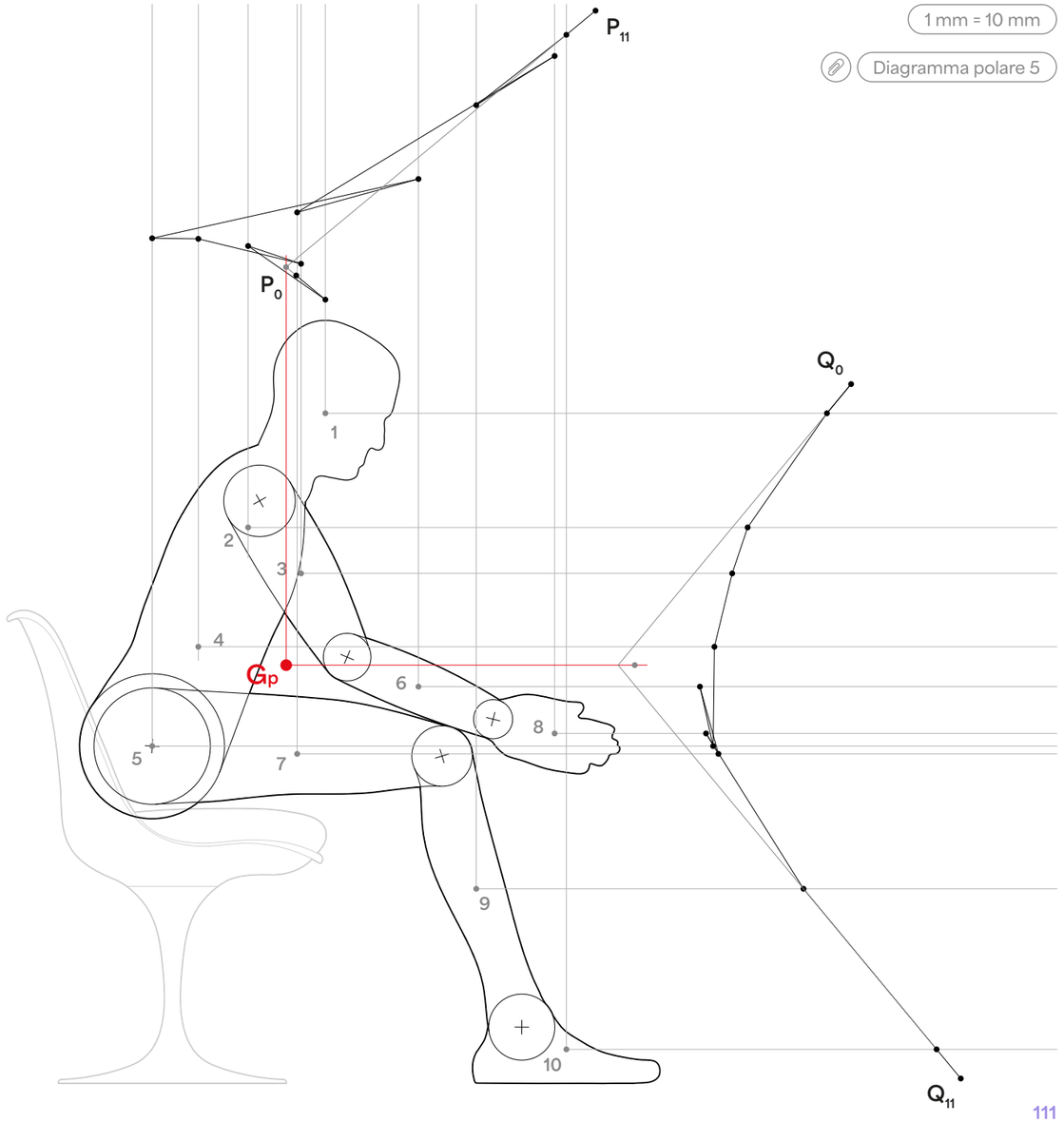
$Flim_1$ = 23,0 N < μ · 48,6 N → il corpo si ribalta

$Flim_2$ = 14,8 N < μ · 48,6 N → il corpo si ribalta

La valutazione del ribaltamento è stata effettuata in funzione di due condizioni di carico: nel primo caso un forza laterale applicata all'altezza del sedile, per verificarne il ribaltamento attorno a H; nel secondo caso una forza applicata all'estremo dello schienale per valutarne il ribaltamento in avanti, attorno a C.

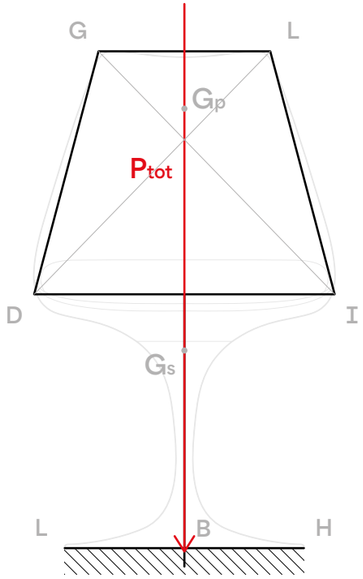


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

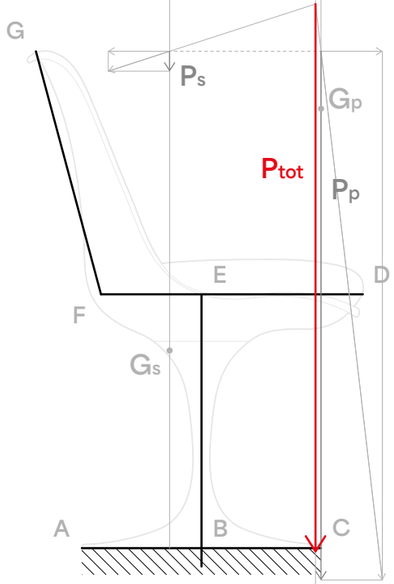

1 mm = 10 mm
Diagramma polare 5
P11
P0
Q0
Q11
Gp
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1 mm = 10 mm

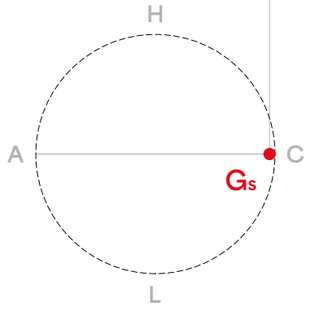
1 mm = 15 N



VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

μ = 1

Ps = 48,6 N

Pp = 1293 N

Ptot = 1341,6

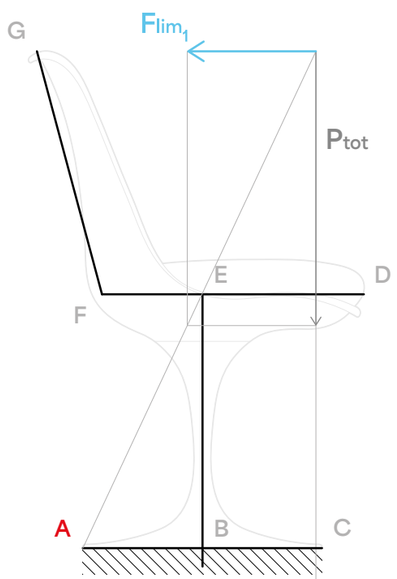
F_{lim_1} = 629,3 N < μ · 1341,6 N → il corpo si ribalta

F_{lim_2} = 14,8 N < μ · 1341,6 N → il corpo si ribalta

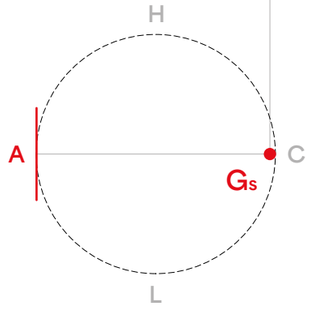
1 mm = 10 mm

1 mm = 30 N

Valutazione del ribaltamento attorno a A

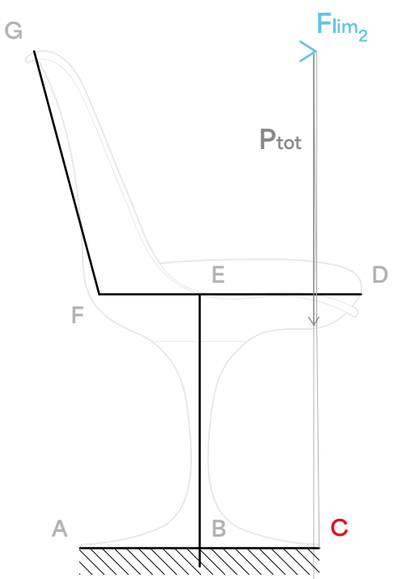


VISTA LATERALE

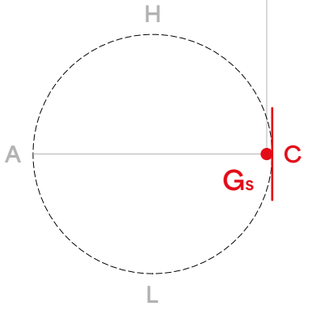


IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

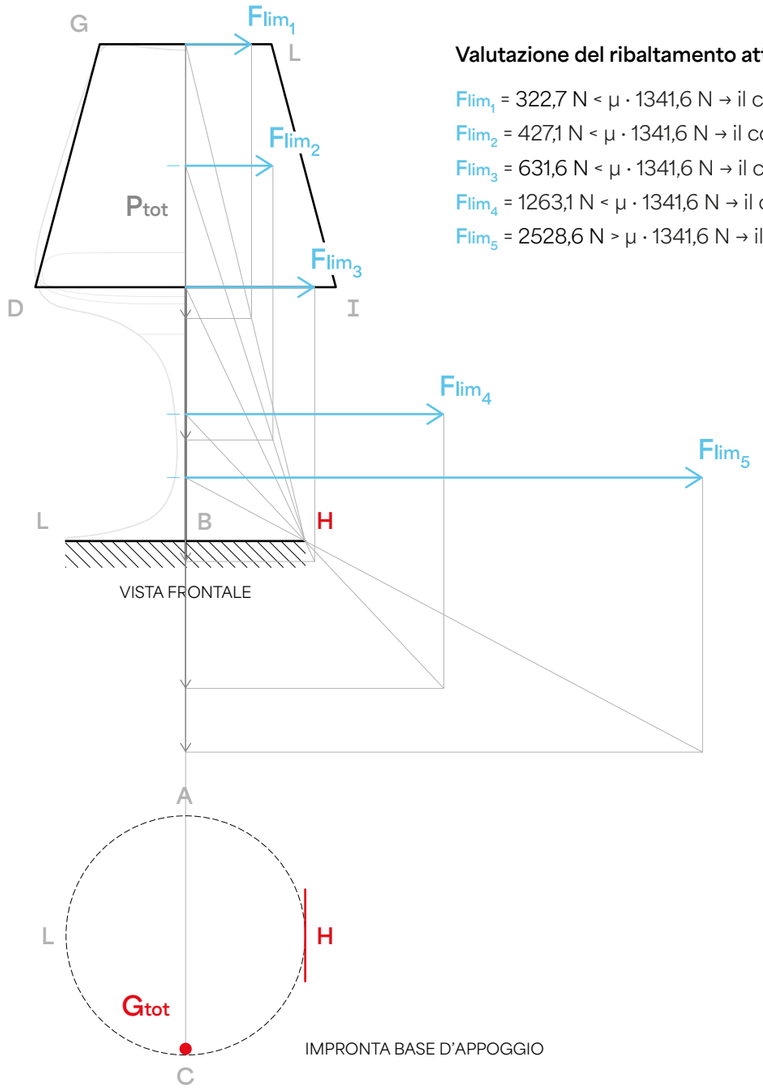
Valutazione del ribaltamento attorno a C



VISTA LATERALE



IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

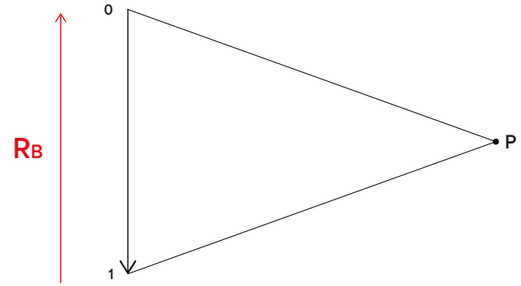


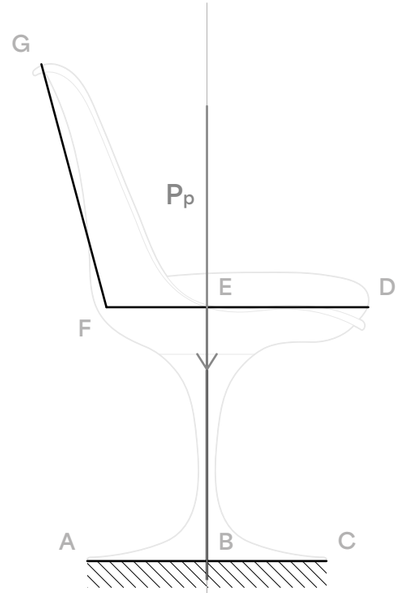
VISTA FRONTALE

IMPRONTA BASE D'APPOGGIO

Valutazione del ribaltamento attorno a H

F_{lim_1} = 322,7 N < μ · 1341,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_2} = 427,1 N < μ · 1341,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_3} = 631,6 N < μ · 1341,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_4} = 1263,1 N < μ · 1341,6 N → il corpo si ribalta
F_{lim_5} = 2528,6 N > μ · 1341,6 N → il corpo trasla





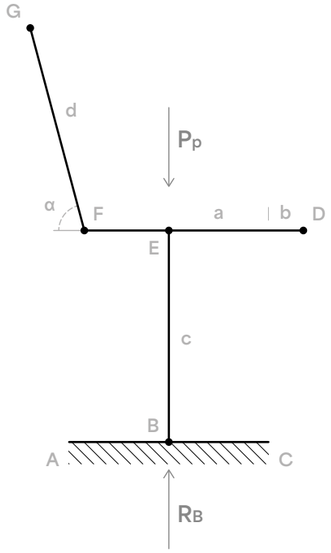
VISTA LATERALE



P_p = 1293 N

R_B = 1293 N

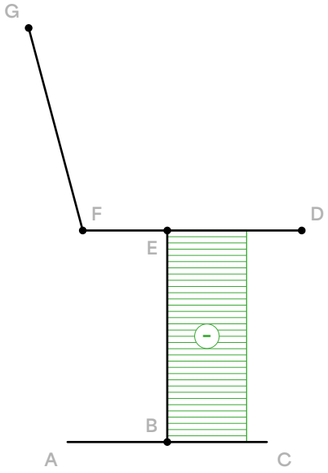
Al fine dello studio del presente telaio come sistema isostatico, d'ora in avanti si assume che la forza applicata sia allineata al vincolo.



α = 75° | **a** = 0,195 m | **b** = 0,07 m
c = 0,41 m | **d** = 0,41 m

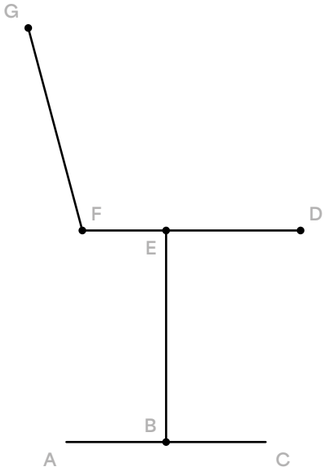
Pp = 1293 N | **RB** = 1293 N

SFORZO
NORMALE



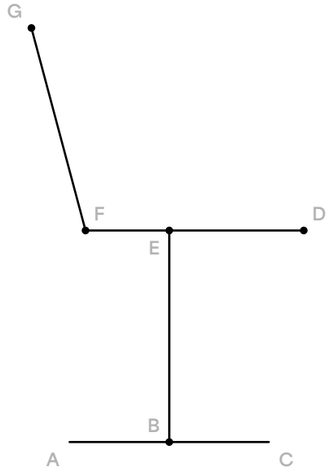
Pp = 1293 N
Nd = P = 1293 N

TAGLIO



NULLO

MOMENTO



NULLO

2.2

Ottimizzazione strutturale tradizionale

Sebbene l'introduzione dei moderni metodi di ottimizzazione, progettazione generativa e simulazione sia spesso presentata come un'importante svolta nel modo di concepire e sviluppare strutture altamente ottimizzate, va ugualmente sottolineato che ben prima della loro diffusione, architetti, ingegneri e progettisti erano già perfettamente in grado di realizzare configurazioni altrettanto efficienti, grazie al calcolo manuale, alla costruzione di modelli in scala e, soprattutto, all'osservazione delle strutture naturali.

Non a caso, gli esiti dei processi di ottimizzazione tendono spontaneamente ad assumere forme organiche, come ossature e ragnatele, quasi come fossero il prodotto di un meccanismo biologico.

Questo perché la natura stessa, nel corso di millenni di evoluzione, ha già perfezionato schemi notevolmente efficienti, capaci di ridurre al minimo l'uso di materiale. Oggi, l'estetica organica è divenuta un vero e proprio tratto distintivo dell'applicazione delle tecniche di ottimizzazione strutturale computazionale.
Dunque, i processi di ottimizzazione computer-aided non introducono concetti del tutto nuovi, ma si propone, piuttosto, come strumento di supporto alla progettazione, capace di automatizzare e velocizzare la ricerca delle soluzioni più efficienti.

A partire da queste considerazioni, nella raccolta che segue, saranno analizzate le principali configurazioni geometriche e i metodi di ottimizzazione strutturale propri della progettazione tradizionale, evidenziando come tali soluzioni contribuiscano a migliorare la distribuzione dei carichi, ridurre le concentrazioni di stress e, più in generale, incrementare l'efficienza complessiva delle strutture.



Strutture reticolari | **L'arco** | **Raccordi e smussi** | **Nervature** | **Alleggerimenti**

Strutture reticolari

Le strutture reticolari sono sistemi strutturali caratterizzati da un'elevata capacità portante, costituiti da insiemi di aste, generalmente in acciaio o in legno, connesse tra loro a formare specifici schemi geometrici.
Alla base delle diverse configurazioni vi sono due aspetti fondamentali: la geometria e la ripetitività.
La geometria determina la forma, nonché i rapporti tra i diversi elementi: le aste rappresentano i vertici, mentre i nodi costituiscono gli spigoli.
Dalla loro combinazione prende forma il modulo di base, un poliedro di varia complessità, regolare o irregolare, che può talvolta essere inscritto in solidi più semplici o derivare da intersezioni tra questi. La ripetitività regola invece il numero di moduli che si ripetono nello spazio, così come il ritmo e la frequenza.

Tali strutture possono essere costruite impiegando componenti prefabbricati, assemblati direttamente in cantiere, semplificando sia il processo di fabbricazione, grazie alla produzione in serie dei singoli elementi, sia l'eventuale espansione o modifica della struttura; il che garantisce molteplici possibilità progettuali.

Le strutture reticolari sono progettate affinché le aste lavorino prevalentemente a trazione o compressione, minimizzando le sollecitazioni di flessione e taglio.

Inoltre, la complessa maglia reticolare consente una distribuzione uniforme dei carichi, limitando il rischio di concentrazioni di stress in punti localizzati.

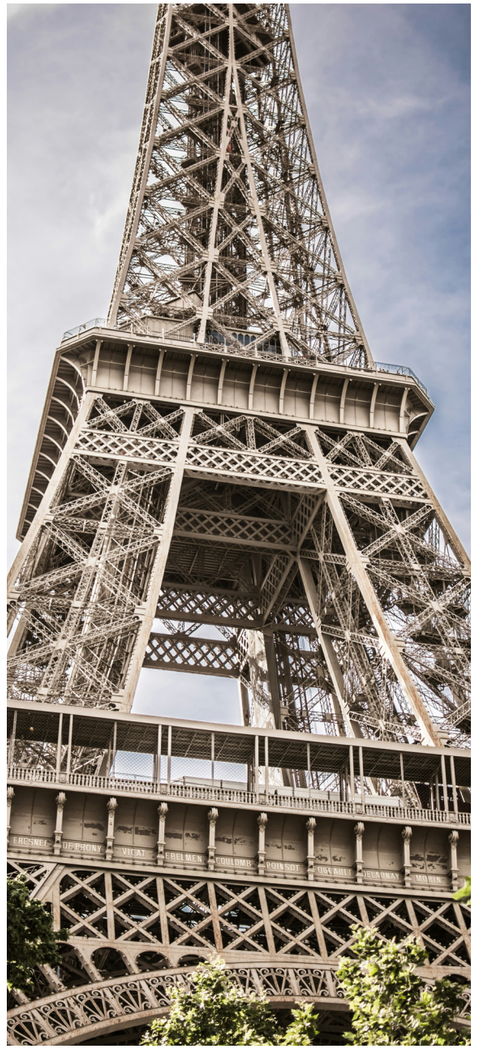
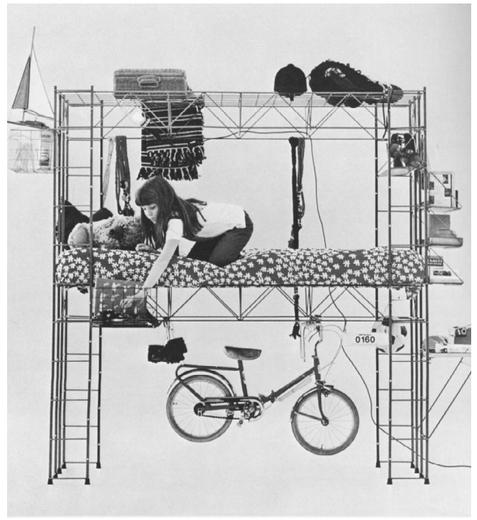


Figura 2.1 ↗
Torre Eiffel, Gustave Eiffel.



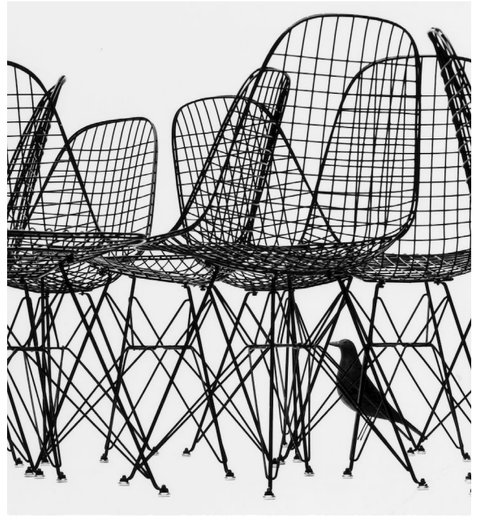


Figura 2.2 ↖
Abitacolo, Bruno Munari, Robots S.p.a..

Figura 2.3 ↙
Wire Chair, Charles & Ray Eames, Vitra.

Caratteristiche che, combinate all'elevata leggerezza, conferiscono loro una buona resistenza anche alle sollecitazioni dinamiche, come nel caso di eventi sismici, poiché agiscono proporzionalmente alla massa della struttura.
I reticoli, soprattutto se realizzati in acciaio o in leghe resistenti alla corrosione, si distinguono per la notevole durabilità e per le ridotte esigenze di manutenzione, facilitando il riconoscimento e l'accesso ai singoli componenti in caso di intervento [46].

Le elevate prestazioni meccaniche, unite alla leggerezza, ne hanno favorito l'impiego soprattutto in ambito architettonico, come dimostrano la Torre Eiffel (1889) di Gustav Eiffel e la Biosfera di Montreal (1967) di Richard Buckminster Fuller, ma sono ampiamente diffuse anche nel campo del prodotto industriale, ne sono un esempio l'Abitacolo (1971) di Bruno Munari per Robots S.p.a. e la Wire Chair (1951) di Charles & Ray Eames per Vitra.

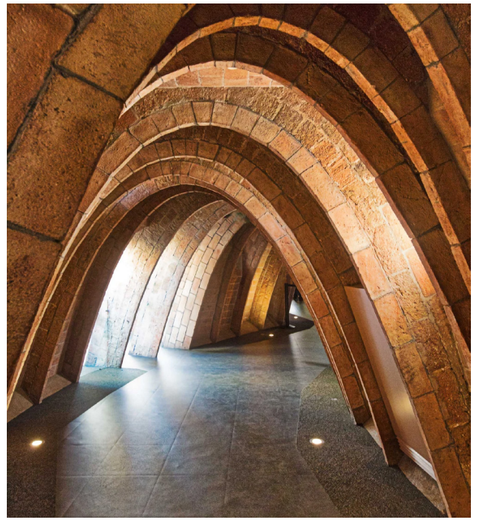
L'arco

L'arco, in architettura, è una configurazione strutturale curva in grado di distribuire uniformemente i carichi attorno ad un'apertura, deviandoli, lungo il proprio profilo, verso gli appoggi laterali.
La forma dell'arco è appositamente studiata affinché lavori esclusivamente a compressione; è autoportante, estremamente stabile ed efficiente.
Seppur con un funzionamento statico differente, l'arco svolge la stessa funzione portante dell'architrave.

Quando un peso verticale, incluso il peso dell'arco stesso, agisce sulla struttura, la sollecitazione non è trasferita verticalmente come in una trave, ma è convogliata lungo la sua curvatura e scaricata sulle fondamenta, che a loro volta devono essere sufficientemente robuste per sostenerla.

Al tempo stesso, però, l'arco genera anche una spinta orizzontale verso l'esterno, che è, a sua volta, contenuta dalle pareti laterali. Tale spinta varia in funzione della freccia, ovvero l'altezza dell'arco: quanto più è basso e piatto, tanto maggiore sarà la spinta orizzontale esercitata a dover essere contrastata.

Questo non solo permette loro di coprire luci maggiori senza l'impiego di supporti intermedi, ma, soprattutto, di sostenere carichi significativamente più elevati rispetto, ad esempio, alle architravi dei sistemi trilitici.
Tuttavia, la costruzione degli archi, soprattutto in campo edilizio, risulta notevolmente più complessa, richiedendo l'impiego di centine temporanee a sostegno della struttura.



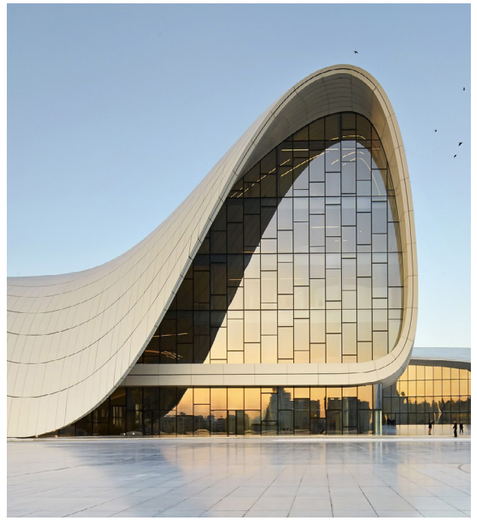


Figura 2.4 ↗
Casa Milà, Antoni Gaudí.

Figura 2.5 ↘
Heydar Aliyev Center, Zaha Hadid.

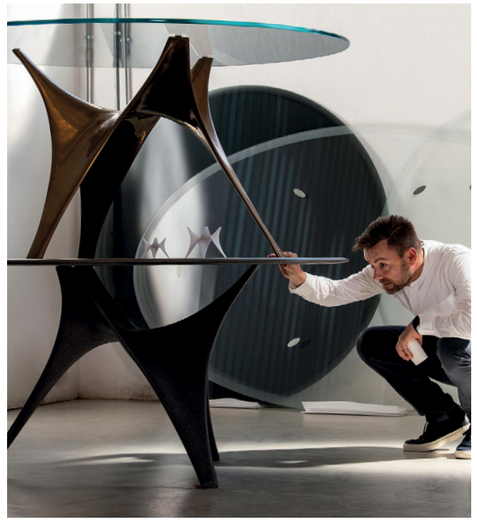




Figura 2.6 ↖
Arc Table, Mike Holland, Molteni.

Figura 2.7 ↙
Gateway Arc, Eero Saarinen, Hannskarl Bandel.

Gli archi possono assumere molteplici configurazioni, ciascuna delle quali determina anche differenti comportamenti statici; tra le più comuni: l'arco triangolare, l'arco a tutto sesto, l'arco a sesto ribassato, l'arco a sesto acuto, l'arco rampante, l'arco inflesso, l'arco a ferro di cavallo, l'arco polilobato, l'arco tudor e l'arco di catenaria [47].
Quest'ultimo, sebbene possa ricordare una comune parabola, deve in realtà la sua forma alla curva naturalmente assunta da una catena sospesa tra due punti sotto il solo effetto del proprio peso.
La configurazione a catenaria, più tra tutte, garantisce una distribuzione dei carichi altamente efficiente, poiché le forze si distribuiscono uniformemente lungo tutta la linea dell'arco senza generare spinte laterali significative. Proprio per questo, a differenza di altri, l'arco di catenaria non necessita di contrafforti o elementi di supporto [48].

Raccordi e smussi

In fase di progettazione, spigoli e angoli vivi sono spesso fonte di molteplici criticità: non solo complicano i processi di produzione e assemblaggio, incidendo per di più sulla sicurezza del prodotto durante il suo utilizzo, ma soprattutto, costituiscono punti di concentrazione di stress, che possono compromettere in modo permanente l'integrità strutturale dell'intero pezzo.

Per far fronte a tali criticità, è quindi fondamentale ridurre al minimo la presenza di spigoli e angoli vivi, introducendo transizioni controllate tra le superfici, in grado di garantire una maggiore continuità geometrica. In tal senso, una tra le soluzioni più semplici e ampiamente diffuse consiste nel realizzare raccordi e smussi.
Raccordare significa essenzialmente arrotondare un angolo; dal punto di vista geometrico, il raccordo è definito da un raggio, che ne determina l'ampiezza, è tipicamente tangente alle superfici che collega e può essere applicato sia ad angoli interni, realizzando superfici concave, che ad angoli esterni, formando superfici convesse.
Anche lo smusso consente di realizzare una transizione tra due facce incidenti, ma a differenza del raccordo, si presenta come una superficie piana e inclinata, che taglia l'angolo originale.



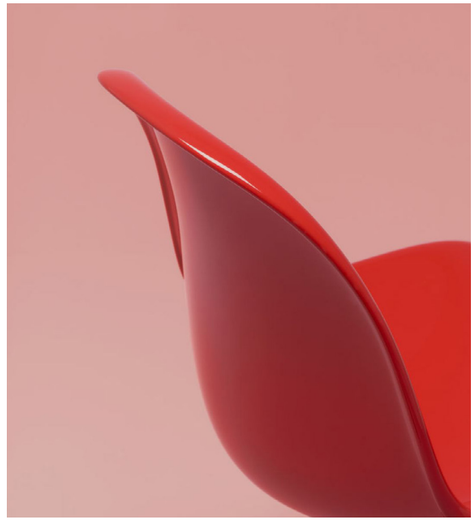


Figura 2.8 ↗
Profilo Panton Chair, Verner Panton, Vitra.

Figura 2.9 ↘
Schienale Panton Chair, Verner Panton, Vitra.





Figura 2.10 ↖
TWA Terminal, Eero Saarinen.

Figura 2.11 ↙
Tulip Armchair, Eero Saarinen.

Sebbene possa apparire una distinzione di poco conto, la scelta tra un raccordo e uno smusso influisce, in realtà, significativamente sulle caratteristiche del componente.

Infatti, poiché i raccordi forniscono una transizione morbida e curva, risultano particolarmente efficaci nel ridurre concentrazioni di stress, inducendo le linee di flusso a cambiare gradualmente direzione;

così facendo la sollecitazione è distribuita su un'area significativamente più ampia rispetto a quella di uno spigolo vivo.
Per questo motivo, il raggio del raccordo diventa un fattore determinante nella progettazione di strutture altamente efficienti: più è ampio, minore sarà la concentrazione di stress localizzata.
Allo stesso modo, anche gli smussi permettono di attenuare le concentrazioni di stress, creando però una transizione più netta rispetto ai raccordi: di conseguenza la sollecitazione tenderà a concentrarsi lungo le giunzioni tra lo smusso e le due superfici di partenza.

Dunque, rispetto ad un raccordo di pari dimensioni, uno smusso è di gran lunga meno efficace nel distribuire i carichi. In fase di progettazione di strutture ottimizzate, il principio del raccordo assume un ruolo essenziale sia nella realizzazione di transizioni graduali tra sezioni, sia nella definizione della geometria della sezione stessa [49].

Nervature

Il termine nervatura indica un elemento strutturale continuo, che sporge rispetto al profilo di una superficie, conferendogli elevata rigidità e incrementandone significativamente le prestazioni meccaniche, soprattutto a flessione e compressione, senza comportare un aumento rilevante di peso.

L'introduzione di nervature consente infatti di migliorare la capacità portante di una struttura senza dover ricorrere ad un inspessimento dell'intera sezione.

Queste sono spesso impiegate in ambito edilizio per l'irrigidimento di gusci sottili, con l'obiettivo di prevenire fenomeni di instabilità e ingobbamento.
A seconda delle esigenze strutturali, possono essere disposte lungo una sola direzione o in più direzioni incrociate [50].

Un esempio emblematico di tale impiego si ritrova certamente nelle opere di Pier Luigi Nervi, in cui le nervature assumono non solo una funzione strutturale, ma anche un valore espressivo e formale. Ne è un chiaro esempio il Palazzetto dello Sport di Roma (1957), dove Nervi realizza una cupola composta da un sistema di nervature incrociate, che si intrecciano a formare una maglia di rombi a lati curvilinei.
Le nervature trovano ampio impiego anche nei processi di stampaggio, rivestendo un ruolo fondamentale soprattutto nella progettazione di componenti in plastica.

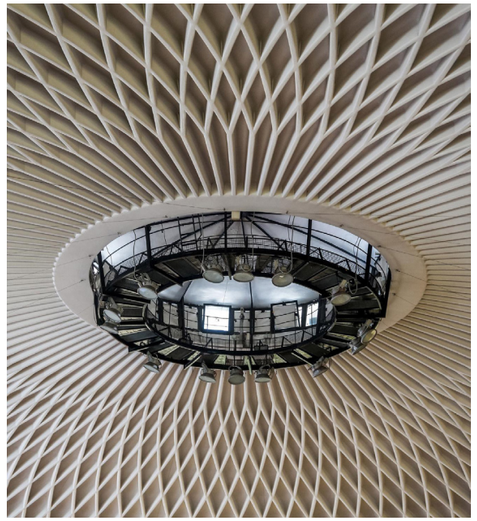




Figura 2.12 ↗
Palazzetto dello sport di Roma, Pier Luigi Nervi.

Figura 2.13 ↘
Palazzo del Lavoro, Pier Luigi Nervi.





Figura 2.14 ↖
C-Lite, Samsonite.

Figura 2.15 ↙
Villette chair, Philippe Starck.

Esse contribuiscono a prevenire deformazioni, rinforzando le pareti sottili e favorendo un raffreddamento più uniforme rispetto a pareti più spesse.
Permettono di ottimizzare l'uso del materiale, concentrandosi solo nelle aree critiche, e migliorano il flusso della plastica fusa all'interno dello stampo, assicurando riempimenti uniformi e riducendo la probabilità di difetti.
Inoltre, le nervature offrono supporto strutturale a elementi isolati, come punti di fissaggio, specialmente quando questi sono distanti dalle pareti laterali.

Nell'ambito del prodotto industriale esistono alcune linee guida per la progettazione di nervature efficienti:

- lo spessore delle nervature non dovrebbe superare il 60% dello spessore nominale della parete;
- per le nervature più spesse è possibile ricorrere al carotaggio, minimizzando la possibilità di errore;
- l'altezza della nervatura non dovrebbe eccedere tre volte il suo spessore;
- è preferibile impiegare più nervature di dimensioni ridotte piuttosto che una singola molto grande;
- dovrebbero essere tra loro distanziate di almeno due o tre volte lo spessore nominale della parete;
- i punti di intersezione tra nervature e pareti dovrebbero essere raccordati per limitare concentrazioni di stress critiche;
- dovrebbe essere applicato un minimo angolo di sformo per facilitare l'estrazione dallo stampo [51].

Alleggerimenti

Spesso, l'ottimizzazione della sola configurazione geometrica non garantisce necessariamente un miglioramento delle caratteristiche meccaniche di una struttura, soprattutto se vincolata da stringenti target di peso.
Per questo motivo, in casi specifici, è possibile intervenire anche sull'organizzazione interna del materiale, determinandone la distribuzione in funzione delle caratteristiche desiderate.
Un chiaro esempio di questo approccio è rappresentato dai cosiddetti pannelli sandwich, speciali materiali compositi capaci di coniugare eccellenti caratteristiche meccaniche e una notevole riduzione del peso.

In generale, i compositi rivestono un ruolo fondamentale nella progettazione di strutture altamente efficienti, favorendo la realizzazione di configurazioni estremamente leggere e, al tempo stesso, performanti.

Sono costituiti da due o più componenti che, pur preservando ciascuno la propria identità chimica, collaborano mutuamente al conferimento di proprietà molto superiori a quelle dei singoli elementi costituenti.

Questi comprendono una fase continua, detta matrice, e una fase fibrosa, detta rinforzo. La matrice è dedita al sostegno e protezione del rinforzo, mentre quest'ultimo assicura resistenza, sopportando buona parte delle sollecitazioni esterne.

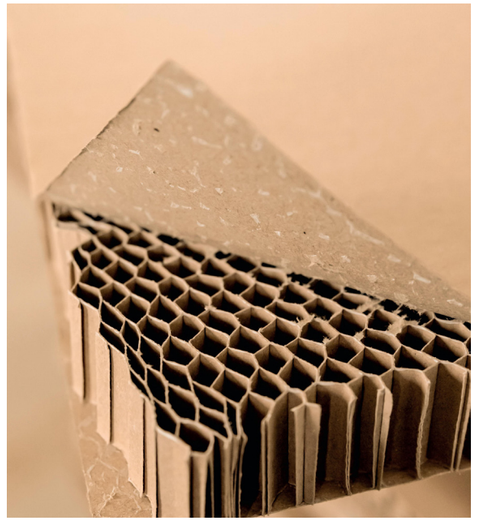




Figura 2.16 ↗
Pannello Reboard.

Figura 2.17 ↘
Pannello Panelite.





Figura 2.18 ↖
Infill FDM.

Figura 2.19 ↙
HEXR Helmet.

In funzione del rinforzo i materiali compositi possono essere distinti in tre principali categorie: compositi particellari, compositi fibrorinforzati e compositi strutturati.

A quest'ultima categoria appartengono i pannelli sandwich, i quali, a differenza degli altri compositi, non presentano un rinforzo disperso nella matrice, ma sono dotati di una vera e propria macrostruttura definita, organizzata secondo schemi geometrici altamente efficienti.
Da un punto di vista costruttivo, un pannello sandwich è costituito da un nucleo centrale, a bassa densità e poco resistente, detto core, e da due lamine, ad elevate prestazioni meccaniche, che racchiudono il core e sono dette pelli.
Tra i pannelli sandwich più ampiamente diffusi vi sono gli honeycomb, la cui denominazione deriva dalla specifica configurazione geometrica del core, costituito da celle cave a nido d'ape, tendenzialmente colonnari e di forma esagonale.
Come in tutti i pannelli sandwich, le pelli sopportano la maggior parte del carico, compresi gli sforzi trasversali di flessione, mentre il core alveolare contribuisce in modo significativo a contrastare le sollecitazioni perpendicolari alle pelli, assicurando al contempo un'elevata leggerezza [52].

Principi simili trovano applicazione anche nel campo della fabbricazione additiva, dove l'uso di strutture interne reticolari o alveolari permettono di ottimizzare i componenti in modo da ridurne il peso e i tempi di stampa, senza comprometterne le proprietà meccaniche.

2.3

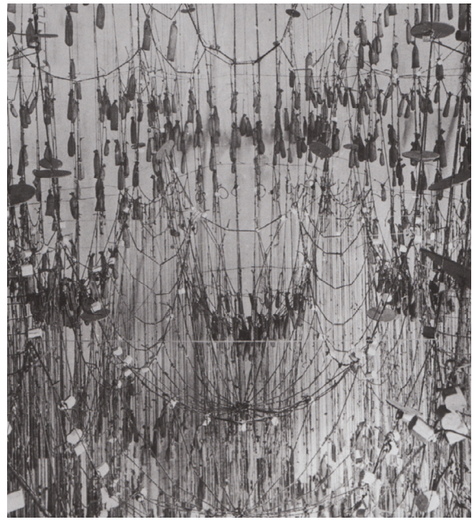
Il generative design: definizione e fondamenti

La ricerca dell'automazione

Nonostante il generative design sia strettamente connesso all'impiego di strumenti e software avanzati per l'elaborazione dei dati, le radici concettuali della progettazione generativa si radicano, in realtà, nelle esplorazioni progettuali della metà del XX secolo.
Nello specifico, tali sperimentazioni rientrano in quell'ambito di ricerca noto come form finding.

Il form finding fa riferimento ad una progettazione atta alla definizione di forme strutturalmente efficienti, in funzione dei carichi applicati e delle caratteristiche intrinseche del materiale stesso [53].

Anticipatore del form finding è Antoni Gaudí (1852-1926), che mediante lo studio di modelli sospesi, ispirati ai principi di Robert Hooke (1635-1703), introdusse l'utilizzo dell'arco di catenaria per integrare il processo progettuale strutturale all'interno di quello architettonico.
Per la prima volta, la verifica della stabilità non dipese dalla definizione della forma architettonica, ma furono forme strutturalmente stabili, come l'arco di catenaria, a costituire le basi per la generazione della forma stessa [54].



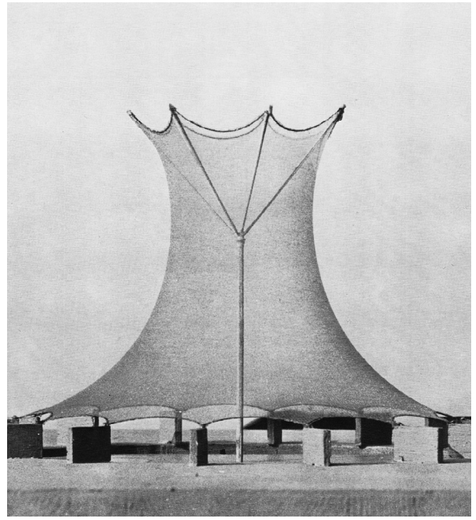


Figura 2.20 ↖
Modelli funicolari, Antoni Gaudí.

Figura 2.21 ↙
Modello di una torre di raffreddamento, Frei Otto.

Quello architettonico fu, senza dubbio, l'ambito di massima espressione delle sperimentazioni "analogiche" sul form finding, come dimostrano i lavori di Frei Otto (1925-2015), Heinz Isler (1926-2009) e Sergio Musmeci (1926-1981), che si confrontarono con la disciplina attraverso tre approcci ben distinti.

Otto approfondì lo studio della natura in quanto processo biologico caratterizzato da meccanismi di continuo adattamento, concentrandosi sulla sua diretta osservazione. Celebri furono i suoi studi condotti su: diatomee, radiolari, bolle, ossa e ragnatele; tuttavia, ancor più importanti, furono gli esperimenti realizzati sulle pellicole di sapone, i quali permisero di dimostrare il principio della superficie minima, secondo cui, la pellicola, soggetta a tensioni superficiali costanti, tende ad assumere una configurazione ottimale, minimizzando l'energia e garantendo una distribuzione efficiente del materiale.

D'altra parte, Isler dedicò il proprio intero lavoro allo studio approfondito di una specifica tipologia di struttura: il guscio in cemento armato. L'ingegnere svizzero adottò un approcciò alla progettazione fortemente sperimentale, ricorrendo a modelli pendenti e pneumatici che gli consentirono di esplorare numerose varianti formali durante la fase di concettualizzazione. Nelle sue attività di form finding Isler operava come un vero e proprio artigiano, le forme strutturali di partenza erano generate applicando principi fisici di base: la pressione dell'aria per la creazione di membrane pneumatiche o la forza di gravità per la definizione di superfici pendenti.

Anche i materiali impiegati erano altrettanto semplici: generalmente membrane in gomma sagomate e fissate a telai in legno oppure modelli in gesso. Furono, infatti, la semplicità, l'economicità e la velocità di realizzazione dei modelli, a rendere possibile per Isler la sperimentazione di numerose varianti progettuali, sviluppate in funzione dei vincoli strutturali e costruttivi.

Musmeci, a differenza di Otto e Isler, assunse una prospettiva più di natura analitica nell'analisi dei fenomeni fisici naturali, figlia della scuola italiana di ingegneria, distaccandosi dal più tradizionale approccio alla progettazione in cui l'analisi statica è subordinata alla definizione geometrica.
Per Musmeci la vera incognita progettuale era, in realtà, la forma, che non costituiva più una condizione di partenza del progetto, quanto piuttosto il risultato di uno studio strutturale.

Inoltre, mentre Otto e Isler utilizzavano i modelli come principale strumento di progettazione, finalizzati alla definizione della configurazione geometrica, Musmeci adottava un approccio opposto, impiegando modelli fisici unicamente come strumenti di verifica dei principi matematici alla base del progetto [53].

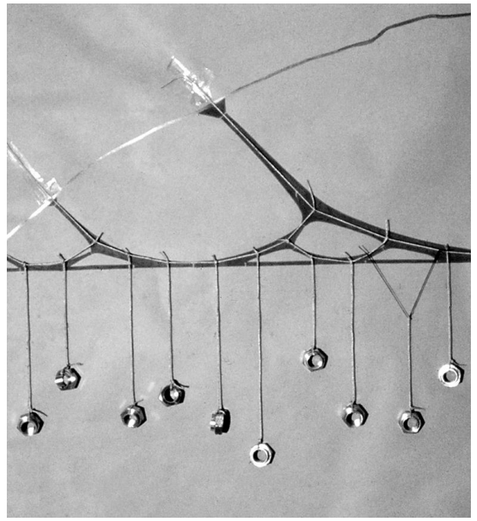




Figura 2.22 ↗
Modello del ponte sull'Astico, Sergio Musmeci.

Figura 2.23 ↘
Modello di guscio, Heinz Isler.

Il generative design

Nonostante l'assenza di una definizione universalmente riconosciuta che definisca in modo univoco il Generative design (GD), si è scelto di adottare la definizione proposta da Autodesk, in quanto ritenuta sufficientemente chiara e rappresentativa, oltre che autorevole. Secondo la casa sviluppatrice statunitense, il GD può essere definito come un approccio alla progettazione basato su algoritmi di intelligenza artificiale, in grado di confrontare autonomamente tutte le possibili permutazioni di una soluzione e generare rapidamente molteplici alternative, in funzione dei vincoli, dei carichi e degli obiettivi imposti dal progettista.

Gli strumenti di progettazione generativa, si servono di processi iterativi di ottimizzazione per indagare, in completa autonomia, lo spazio delle possibili soluzioni.

Tale approccio permette non solo di generare molteplici configurazioni geometriche in risposta al quesito progettuale, ma anche di ottenere soluzioni inedite, raffinate e pronte per la produzione [55, 56].

Costrain-driven design

L'impiego di un approccio generative-driven cambia totalmente il rapporto tra designer e progetto, inserendosi all'interno del processo progettuale secondo diversi gradi di integrazione e collaborazione con il "designer umano".Mentre, tali strumenti furono inizialmente concepiti per ottimizzare il componente nella fase finale della progettazione, i nuovi strumenti AI-powered consentono l'utilizzo del GD fin dalle prime fasi del progetto. In questo modo, il focus del progettista si sposta dalla forma alle specifiche: sono i requisiti a guidare la generazione delle soluzioni, svincolando inizialmente il designer dalla definizione dei volumi e delle superfici chiave.
È ciò che Saadi et al. definisce come Constrain-driven design.

Il GD ridefinisce, dunque, anche il concetto stesso di creatività, intesa come la capacità del designer di stabilire obiettivi, vincoli e parametri per orientare l'outcome progettuale [57].

In genere, l'impostazione del problema, da parte del designer, avviene considerando i seguenti parametri chiave:

- vincoli geometrici e geometrie di ostacolo, che comprendono le interfacce di connessione e tutte quelle aree che il nuovo componente non può occupare all'interno dell'assieme;
- carichi e sollecitazioni, specificando le regioni della geometria in cui agiscono;
- l'obiettivo che si vuole conseguire, come la minimizzazione o massimizzazione di una determinata caratteristica;
- il processo di produzione del componente;
- il materiale del componente [58].

Algoritmi genetici

Alla base di molti degli strumenti generativi vi sono algoritmi di ottimizzazione noti come Algoritmi Genetici (AG). Anche definiti, algoritmi evolutivi, in quanto fortemente ispirati dal processo evolutivo di selezione naturale, gli AG analizzano come “gli individui” più adatti di una “popolazione” di possibili soluzioni sono selezionati e contribuiscono alla trasmissione dei propri geni alle “generazioni future”. In altri termini, i geni rappresentano i parametri del modello, che possono essere espressi come valori o intervalli di valori.

Generalmente, gli algoritmi genetici si articolano in cinque fasi:

- **Inizializzazione**

  L’AG comincia con una popolazione iniziale, generata in maniera casuale, dalla quale prende avvio il processo di selezione.
  Ciascun individuo ad essa appartenente, con il proprio set di specifiche, nonché i propri geni, rappresenta la possibile soluzione al problema imposto; in questa fase, è fondamentale garantire un'adeguata variabilità all'interno della popolazione, al fine di favorire un'evoluzione efficace.

- **Valutazione**

  In questa fase entrano in gioco funzioni di fitness: meccanismi matematici che permettono di valutare quanto una determinata soluzione sia adatta a risolvere il problema posto o a conseguire l’obiettivo. Nei problemi di ottimizzazione multi-obiettivo, tale valutazione si basa su più funzioni di fitness concorrenti.

- **Selezione**

  Ad ogni iterazione, le soluzioni più promettenti, a cui è stato attribuito un punteggio di fitness più alto, sono selezionate per contribuire alla generazione successiva, al fine di preservare e trasmettere i tratti più vantaggiosi.

- **Crossover**

  La fase di crossover consiste nel combinare caratteristiche di due soluzioni genitrici per generare una coppia di nuove soluzioni simili, ma non identiche, agli individui di partenza.
  La nuova “prole”, dunque, sarà dotata di una combinazione delle caratteristiche di entrambi i “genitori”, proprio per questo, tendenzialmente, il punteggio medio di fitness della nuova popolazione sarà maggiore di quello della precedente.

- **Mutazione**

  Nella fase di mutazione intervengono meccanismi casuali di alterazione dei tratti della nuova popolazione, in modo che ogni individuo possa assumere nuove caratteristiche diverse da quelle che avrebbe potuto ereditare dai modelli precedenti.
  In termini tecnici, la mutazione contribuisce ad evitare che l’algoritmo si arresti su una soluzione, che seppur soddisfacente, non rappresenta necessariamente la miglior soluzione possibile all’interno dello spazio delle soluzioni [59].







Figura 2.24 ↑
Telaio di uno space lander in generative design, Autodesk e NASA’s Jet Propulsion Laboratory

Figura 2.25 ↓
Pinza monoblocco per Bugatti Chiron in generative design e stampa 3D, Bugatti.

Figura 2.26 ↓
Forcellone per bici elettrica LS-218 in generative design e stampa 3D, Autodesk.

Machine learning

Sebbene il termine Machine learning (ML) sia frequentemente associato al concetto di generative design, i due ambiti non sono in realtà intrinsecamente correlati, né tanto meno sovrapponibili sul piano concettuale [60]. È opportuno definire il concetto di Machine Learning come una branca dell'intelligenza artificiale focalizzata sullo sviluppo di modelli attraverso cui i computer possono apprendere dai dati, senza che questi siano stati esplicitamente programmati per specifiche funzioni, simulando l'apprendimento umano [61]. Il ML presuppone l'esistenza di una relazione matematica tra una combinazione di dati di input e di output, senza però conoscerla in anticipo. Difatti il ML si basa sul principio che tutti i dati complessi possano tra loro essere collegati mediante l'impiego di sistemi informatici. Assumendo che tali sistemi dispongano di un'adeguata capacità di calcolo, la precisione dell'output risulta direttamente dipendente dall'ampiezza dell'input fornito [62].

Alla luce di quanto premesso, il coinvolgimento di modelli di Machine Learning in processi generative-driven acquisisce particolare significato nell'operare con grandi quantità di dati. Tecnicamente il ML potrebbe essere impiegato in qualsiasi fase del processo generativo, ma risulta particolarmente determinante nella fase di inizializzazione, guidando la definizione della popolazione iniziale, che viene analizzata per identificare modelli di dati e costruire uno storico. Si presuppone, sostanzialmente, che input migliori dovrebbero portare a risultati migliori [60].

Ottimizzazione topologica

Sebbene i metodi di ottimizzazione topologica (OT) possano spesso generare risultati apparentemente simili a quelli prodotti attraverso il generative design, si tratta in realtà di due approcci ben distinti, le cui differenze saranno approfondite nel corso del capitolo. L'ottimizzazione topologica è un metodo di ottimizzazione strutturale che impiega modelli algoritmici per determinare la distribuzione ottimale del materiale all'interno di un dato dominio geometrico, in funzione di vincoli, carichi e obiettivi prestazionali.

L'OT è solo una delle tre principali categorie di ottimizzazione strutturale, insieme a quelle di forma e di dimensione.
L'ottimizzazione di forma agisce direttamente sui parametri che definiscono vertici, spigoli e facce della geometria di riferimento, mentre l'ottimizzazione di dimensione interviene sui valori relativi alla sezione dei singoli elementi strutturali.

Questi metodi, diversamente dall'ottimizzazione topologica, non aggiungono né rimuovono materiale dalla geometria di partenza, ma intervengono esclusivamente sui valori geometrici del modello parametrizzato [63].
L'obiettivo dei moderni metodi di OT è, dunque, quello di determinare e valutare la distribuzione ottimale del materiale all'interno di un dominio geometrico definito, generalmente per minimizzare o massimizzare uno specifico parametro; affinché, però, la soluzione ottenuta possa tradursi in una configurazione geometrica effettivamente realizzabile, è necessario l'impiego di strumenti CAD.

In quest'ottica, è possibile individuare una serie di fasi fondamentali:

- la determinazione del dominio di progetto, dei relativi vincoli e carichi;
- l'analisi agli elementi finiti (FEA), che permette di simulare e valutare il comportamento della struttura soggetta alle relative condizioni di vincolo e carico;
- la definizione della funzione obiettivo e il calcolo della sensibilità, un processo analitico volto a misurare l'influenza che minime modifiche delle variabili di progetto esercitano sulla funzione obiettivo;
- la modifica della geometria in conformità con i criteri di ottimizzazione;
- la discretizzazione della soluzione topologica ottimale, tendenzialmente orientata all'elaborazione di forme pronte per la produzione [64].

Spesso, tuttavia, un singolo problema strutturale può coinvolgere contemporaneamente più obiettivi; in questi casi è impossibile identificare un'unica soluzione ottimale, individuando bensì molteplici soluzioni alternative, frutto del compromesso tra i diversi criteri. Un esempio tipico è quello in cui occorre ridurre i costi di produzione di un componente senza, però, sacrificarne le prestazioni meccaniche.
Questo tipo di approccio è noto come ottimizzazione multi-obiettivo.

Esistono innumerevoli metodi di ottimizzazione topologica, ciascuno basato su algoritmi differenti; tra i più comunemente impiegati si annoverano: SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization), ESO (Evolutionary Structural Optimization) e LSM (Level Set Method), ai quali si aggiungono approcci di tipo combinato.

Molti dei principali software che implementano funzionalità di OT si basano, per lo più, su metodi SIMP; i quali, a partire dalla definizione di un dominio geometrico iniziale, permettono di operare ottimizzazioni a singolo o multi-obiettivo. Tuttavia, nel caso di ottimizzazioni multi-obiettivo, i diversi criteri devono necessariamente essere combinati in un'unica funzione, mediante l'introduzione di fattori di peso, che ne determinano l'influenza.

Ne consegue che, a differenza di quanto accade con approcci di tipo generativo, l'esplorazione dello spazio delle possibili soluzioni richiede l'esecuzione di diverse iterazioni da parte del progettista, che deve variarne i singoli parametri manualmente [63].

Design generativo, parametrico e algoritmico

Generative design (GD), parametric design (PD) e algorithmic design (AD) appartengono alla più ampia branca del computational Design (CD) e sono di frequente utilizzati come sinonimi, sebbene presentino sostanziali differenze. Per questo motivo, in questo paragrafo si intende analizzare brevemente la tassonomia del CD con l'obiettivo di evidenziarne le principali differenze.

Parametric design

Il PD è un approccio progettuale che permette di definire e rappresentare una geometria mediante l'impiego di parametri simbolici.
Sostanzialmente i componenti non sono più definiti da valori fissi che descrivono singole geometrie, quanto piuttosto da una sequenza di variabili che, come fossero una ricetta, ne descrivono e generano la forma.
Diretta conseguenza della sequenzialità delle variabili sono le relazioni geometriche associative: modificando parametri come dimensioni, angoli o distanze, l'intero componente si aggiorna, mantenendo così invariate le relazioni tra le geometrie.

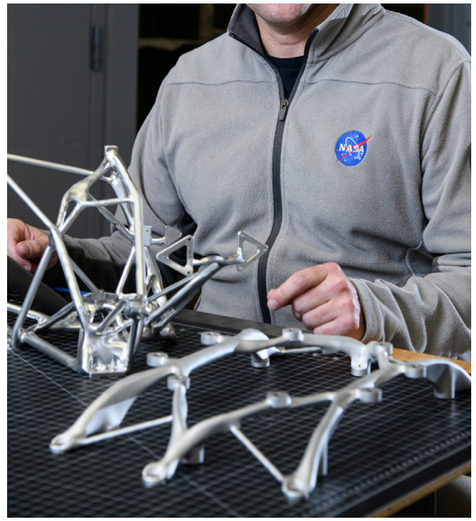
Esempi di applicazione di tale approccio si riscontrano soprattutto in ambito architettonico, come l'Hangzhou Olympic Sport Center di NBBJ Architects e il Qatar Integrated Railway Project di UNstudio.





Figura 2.27 ↗
Hangzhou Olympic Sport Center, NBBJ Architects.

Figura 2.28 ↘
Interni della Qatar Integrated Railway, UNstudio.



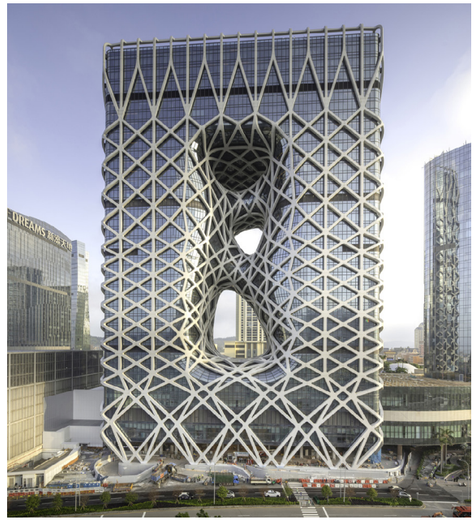


Figura 2.29 ↖
Componente realizzato in generative design, NASA.

Figura 2.30 ↙
Morpheus Hotel, Zaha Hadid Architects.

Generative design

Oltre alla definizione, già ampiamente discussa nei precedenti paragrafi, ciò che è importante sottolineare dell'approccio generative-based è l'estrema difficoltà nel prevedere gli output progettuali, in quanto non è possibile individuare una netta correlazione tra la geometria e l'algoritmo generativo. Ciò nonostante, questo costituisce anche uno dei punti di forza del GD che spesso consente di giungere a risultati totalmente inaspettati e difficilmente concepibili da un designer umano.

Algorithmic design

La definizione di AD si sovrappone parzialmente a quelle dei precedenti termini, rendendolo piuttosto difficile da distinguere, soprattutto dal GD. L'ampia diffusione del termine nella letteratura rende comunque importante provare a fornirne una definizione il più possibile chiara e dettagliata.
Pertanto, l'AD può essere definito come un paradigma progettuale che utilizza algoritmi per la generazione di modelli, similmente a quanto accade con il GD. Ciò che, però, davvero differenzia i due approcci è la tracciabilità del processo di generazione, che nell'AD consente al progettista di identificare con certezza quali parti dell'algoritmo definiscono quali geometrie. Dunque, per certi versi, come affermano Caetano et al., "l'algoritmo e la struttura del modello possono essere considerati isomorfi".

In conclusione, l'AD può considerarsi un sottoinsieme del GD, che si distingue per un controllo più preciso sul progetto e facilità di aggiornamento e modifica del codice. In architettura, si sono distinti per l'impiego di approcci algoritmici: Zaha Hadid con il Morpheus Hotel e Burry & Burry per il lavoro svolto sulla Sagrada Família [65].

Vantaggi del generative design

- **Possibilità di oltrepassare i limiti della creatività umana**
  Gli outcome della progettazione generativa si spingono ben oltre ciò che la mente umana può immaginare, liberandosi dei limiti temporali, culturali, psicologici ed esperienziali, che spesso inducono il progettista a privilegiare soluzioni consolidate o convenzionali.

- **Razionalizzazione del processo progettuale**
  Il GD consente di automatizzare molte delle attività manuali e ripetitive tipiche del percorso progettuale, permettendo al designer di dedicarsi agli aspetti più umani ed empatici del progetto, che richiedono tempo, ascolto e sensibilità.

- **Capacità di generare molteplici soluzioni progettuali**
  Gli strumenti di GD non si limitano alla definizione di un'unica soluzione progettuale, bensì generano un vasto ventaglio di opzioni che il progettista può selezionare in funzione dei criteri desiderati.

- **Riduzione del time-to-market**
  L'impiego del GD permette di accelerare in modo significativo la progettazione dei prodotti, abbattendo notevolmente i tempi di prototipazione fisica e, pertanto, di rilascio sul mercato.

- **Ottimizzazione e incremento prestazionale**
  Gli strumenti generativi permettono di ottimizzare le prestazioni dei componenti in funzione di specifici vincoli e parametri di progetto, come: performance, materiali, costi, tempi, vincoli geometrico-spaziali e modalità di produzione.

- **Maggiore attenzione alla sostenibilità**
  L'efficiente distribuzione della materia nei componenti, insieme all'ottimizzazione energetica, consente di ridurre notevolmente gli sprechi, contenendo significativamente l'impatto ambientale della produzione.

- **Integrazione funzionale massimizzata**
  Il GD permette di ridurre al minimo il numero di componenti di un assieme, preservandone le funzionalità, che talvolta possono essere integrate in un unico elemento.

- **Possibilità di sfruttare appieno il potenziale dell'additive manufacturing**
  Le geometrie risultanti dai processi di progettazione generativa sono tendenzialmente di natura non euclidea e, per questo, difficilmente compatibili con i metodi di produzione convenzionali. In questo contesto l'AM si configura come strumento indispensabile per la concretizzazione di tali soluzioni.

- **Scalabilità del processo progettuale**
  Gli strumenti di progettazione generativa possono essere applicati a progetti di scala e natura molto diversa, dai piccoli oggetti di produzione industriale alle grandi scale tipiche dell'ambito architettonico e infrastrutturale.

Svantaggi del generative design

- **Forte dipendenza dalla tecnologia**
  Essendo intrinsecamente legato a software e algoritmi, il GD condivide le vulnerabilità proprie dei sistemi digitali, come bug, malfunzionamenti e problemi di incompatibilità.

- **Controllo limitato del processo generativo**
  Poiché gran parte del processo di progettazione è affidata al software di GD, gli esiti progettuali possono talvolta discostarsi dalla visione originale del progettista.

- **Costi elevati**
  I software di progettazione generativa possono essere costosi e richiedere competenze tecniche altamente specializzate.

- **Necessità dell'intervento umano**
  Sebbene il GD automatizzi molti degli aspetti del processo di progettazione, si richiede comunque l'intervento umano per la valutazione e il perfezionamento degli outcome progettuali.

- **Mancanza di feedback tattile**
  Il GD, generalmente, si basa su simulazioni virtuali che difficilmente offrono al progettista la possibilità di ricevere un riscontro fisico e diretto del prodotto.

- **Forte impatto dei dati sul processo generativo**
  Gli outcome dei processi generativi dipendono fortemente dalla qualità dei dati forniti in input, che, qualora non fossero sufficientemente rappresentativi del problema reale, potrebbero generare risultati sbilanciati o incorretti.

- **Limiti cognitivi del progettista**
  In quanto tecnologia di recente sviluppo e in costante evoluzione, i software e gli strumenti di progettazione generativa costringono ingegneri e progettisti ad una continua formazione, ostacolando la possibilità di padroneggiarne appieno le potenzialità [66-68].

2.4

La seduta ottimizzata

Nella presente sezione si propone una raccolta dei principali casi studio di sedute sviluppate secondo logiche di ottimizzazione, con l'obiettivo di fornire una panoramica delle molteplici modalità di integrazione di tali processi all'interno del processo progettuale.

La selezione comprende esclusivamente esiti il cui grado di maturità abbia raggiunto almeno lo stadio di prototipazione, escludendo tutti i concept puramente teorici: solo la realizzazione di un prototipo fisico permette infatti di verificarne la conformità ai requisiti prestazionali che ne hanno guidato l'ottimizzazione e/o la generazione.





A.I. Family

Philipe Starck / Kartell / Autodesk /
2019 - 2025

Stampaggio ad iniezione / Tecnopolimero termoplastico riciclato

---

La collezione A.I. è frutto della stretta collaborazione tra Philippe Starck, Autodesk e Kartell.
Nata con l'intento di realizzare una famiglia di sedute impiegando la minor quantità possibile di risorse, trova una prima ed inedita concretizzazione al Salone del mobile 2019, con la presentazione della A.I. Chair.
Questa non solo rappresenta il primo prodotto di Kartell interamente concepito dall'intelligenza artificiale, ma anche la prima sedia ad essere realizzata in materiale completamente riciclato, un tecnopolimero termoplastico.

L'A.I. Chair segnò così il raggiungimento di un duplice traguardo, coniugando in un unico prodotto sostenibilità e fattibilità tecnica.
Per la prima volta, infatti, il processo di stampaggio ad iniezione è diventato vincolo della progettazione generativa, garantendo la riproducibilità su scala industriale dei risultati prodotti dall'algoritmo.
Di conseguenza, la seduta commercializzata risulta sostanzialmente identica a quanto elaborato dal computer, sebbene siano state necessarie alcune operazioni di levigatura della geometria, senza le quali il prodotto sarebbe risultato ancora troppo grezzo.
Con il trascorrere del tempo, il successo riscontrato dalla A.I. Chair di Starck ha aperto la strada verso la produzione di nuovi pezzi generative-driven firmati Kartell, tra questi: due sgabelli (A.I. Stool e Stool light), una poltrona da salotto (A.I. Lounge), una sedia pieghevole (A.I.O.R.I. Chair) e una versione più snella della sedia originale (A.I. Lite) [69].

Figura 2.31 ↖
A.I. Chair, Philipe Starck, Kartell.

Figura 2.32 ↙
A.I. Stool, Philipe Starck, Kartell.

Elbo chair

Arthur Harsuvanakit e Brittany Presten
Autodesk's generative design lab / 2016

Fresatura CNC / Noce massello

Ispirata alle iconiche sedute Round, di Hans Wegner e Lambda, dello studio Berkeley Mills, la sedia Elbo è frutto delle sperimentazioni condotte da Autodesk nell'ambito del design generativo.
Grazie all'impiego di Dreamcatcher, la piattaforma di ricerca proprietaria della casa sviluppatrice statunitense, si è resa possibile la realizzazione di una sedia a partire dalla mera definizione di vincoli e obiettivi prestazionali.

Una seduta a 18 pollici da terra e la possibilità di sostenere un peso di 300 libbre, queste furono alcune delle indicazioni che i designer fornirono al software di progettazione.
Realizzata interamente in legno di noce tramite processi di fresatura a controllo numerico, l'ultima versione della seduta Elbo ha permesso una significativa riduzione del quantitativo di materiale, che rispetto al modello di riferimento, è inferiore del 18%, mostrando al tempo stesso un generale miglioramento delle prestazioni meccaniche della struttura [70].

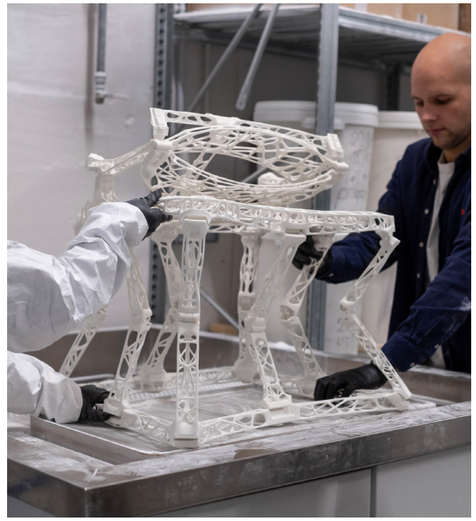




Figura 2.33 ↗
Elbo chair, Arthur Harsuvanakit e Brittany Presten, Autodesk's generative design lab.

Figura 2.34 ↘
Produzione Elbo chair.





Tamu e Ta. Tamu chair

Patrick Jouin / 2019 / 2025

Selective Laser Sintering / PA 2200

In collaborazione con Dassault Systèmes, Patrick Jouin ha l'opportunità di proseguire la sperimentazione da lui intrapresa già nel primo decennio degli anni Duemila, esplorando l'impiego di algoritmi di ottimizzazione topologica nell'ambito del sedersi.
Tale ricerca trova una prima concretizzazione nella sedia Tamu, presentata durante la Milano Design Week 2019: una seduta pieghevole munita di un sistema di cerniere che ne guida il compattamento.
Le sue forme spiccatamente organiche sembrano essere il frutto di un naturale meccanismo di sviluppo biologico, in realtà simulato attraverso l'impiego di algoritmi matematici, che hanno reso possibile il realizzarsi di geometrie estremamente complesse, altrimenti inconcepibili dal solo designer umano.

Sei anni più tardi, nel giugno del 2025, il designer francese rielabora nuovamente il concetto di seduta pieghevole, portandolo al suo estremo con il progetto Ta.Tamu. Con un peso complessivo di 3.9 kg, la sedia si compone di 23 elementi tra loro interconnessi, collegati attraverso 33 articolazioni, accuratamente progettate per garantire una complessiva stabilità e fluidità di movimento.
Determinante si è rivelata la progettazione millimetrica delle tolleranze di ciascun giunto: abbastanza strette da prevenire fusioni indesiderate durante la sinterizzazione, ma sufficienti a non ostacolarne il libero movimento.
Inoltre, l'elevata complessità geometrica di entrambi i progetti ha reso imprescindibile il ricorso alla fabbricazione additiva, nello specifico alla sinterizzazione di polveri poliammidiche (PA 2200) [71, 72].

Figura 2.35 ↖
Tamu chair, Patrick Jouin.

Figura 2.36 ↙
Produzione Ta. Tamu chair.

Bone chair

Joris Laarman / 2006

Fusione / Alluminio

Sebbene sia stata presentata ufficialmente nel dicembre del 2006, in occasione della mostra Smart Deco, le origini della Bone chair risalgono in realtà al 1998, quando Adam Opel GmbH, una filiale tedesca della General Motors, sviluppò un software di simulazione in grado di replicare l'evoluzione biologica degli organismi viventi.

L'algoritmo, che tanto affascinò il designer olandese Joris Laarman, operava in modo simile ai principi che guidano il rimodellamento osseo: così come le ossa aggiungono o rimuovono materiale in funzione delle diverse necessità biomeccaniche, anche il software eliminava le porzioni non necessarie di un componente, generando strutture dal perfetto rapporto tra prestazioni meccaniche e peso.
A differenza della Bone chaise longue, realizzata in resina poliuretanica, la Bone chair è interamente in alluminio. Tuttavia, il principale ostacolo, dal punto di vista produttivo, fu quello di realizzare la seduta in un unico pezzo, senza saldature o imperfezioni, sfida che quasi nessuna azienda accettò di affrontare.
Il progetto trovò così concretizzazione solo grazie a Phil Verdult, che realizzò complessi stampi in ceramica, ottenuti tramite fabbricazione additiva, in cui colare l'alluminio.

La Bone chair è oggi parte della collezione permanente del Museum of Modern Art di New York, del Rijksmuseum di Amsterdam, del Vitra Design Museum di Weil am Rhein, del Museum fur Kunst und Gewerbe di Amburgo e del Centraal Museum di Utrecht [73].





Figura 2.37 ↗
Bone chair, Joris Laarman.

Figura 2.38 ↘
Joris Laarman e la sua Bone chair.





Generico chair

Marco Hemmerling e Ulrich Nether / Stratasys / 2018

Fused Deposition Modeling / ABS

Ad opera dei designer tedeschi Marco Hemmerling e Ulrich Nether, il prototipo Generico chair rappresenta un esempio di approccio olistico alla progettazione, coniugando in un unico prodotto sia aspetti di carattere meccanico/strutturale sia fattori di tipo ergonomico.

La sedia, presentata per la prima volta durante la Milano Design Week 2014, pesa appena 2,2 kg ed è interamente realizzata in ABS tramite tecnologia FDM da Stratsys, azienda leader nella produzione di macchinari per la fabbricazione additiva.
A differenza della Bone chair di Joris Laarman, la Generico non è frutto del solo processo di ottimizzazione topologica, ma deriva da uno studio ben più ampio, che comprende anche un'analisi approfondita dell'esperienza utente: cambi di posizione, eventuali movimenti, comfort.
La forma finale della seduta è il risultato dell'impiego di diversi software: Solid Thinking Inspire (oggi Altair Inspire), per determinare la distribuzione ottimale del materiale, Rhinoceros e 3DS Max, per affinarne la geometria attraverso operazione di suddivisione della mesh, e ANSYS (V14) per verificarne e ottimizzarne le prestazioni strutturali in relazione a tre casi di carico: una forza di 1000 N applicata sul sedile, (simulando il peso di una persona seduta normalmente), una forza di 410 N applicata sullo schienale e una forza di 1000 N applicata sul bordo anteriore della seduta (simulando il peso di una persona che si sporge in avanti) [74].

Figura 2.39 ↖
Generico chair, Marco Hemmerling e Ulrich Nether.

Figura 2.40 ↙
Dettaglio Generico chair.

3D printed chair

Zaha Hadid Architects / Stratasys / 2016

PolyJet / PolyJet Vero

Data è uno sgabello la cui configurazione è determi-
Nel 2016 il Computation and Design research group (co|de) dello studio Zaha Hadid Architects intraprese una collaborazione con Stratasys e Altair Engineering, con l'obiettivo di indagare il potenziale dei processi di ottimizzazione topologica e di fabbricazione additiva multimateriale.

La sperimentazione si tradusse così in una seduta studiata per essere leggera ma strutturalmente efficiente; grazie all'impiego di HyperMesh™ e OptiStruct™ fu infatti possibile ridurne il peso di ben il 50% senza comprometterne le caratteristiche meccaniche. Il processo progettuale, secondo Altair, si è sviluppato attraverso quattro fasi in un workflow iterativo: la generazione del modello geometrico preliminare, il meshing e la definizione dei parametri di ottimizzazione attraverso l'impiego di un plug-in dedicato, l'ottimizzazione topologica e, infine, la discretizzazione e il re-meshing della nuova geometria.

Di altrettanta importanza si rivelò il contributo di Stratasys, che permise di concretizzare il modello ottimizzato. Ciò fu reso possibile dall'utilizzo della stampante Objet1000 Plus con tecnologia Polyjet: un processo di stampa 3D fotopolimerica a getto multimateriale che permise di combinare materiali con differenti gradi di colore e opacità in funzione delle diverse performance strutturali delle varie parti della sedia [75-76].





Figura 2.41 ↗
3D printed chair, Zaha Hadid Architects.

Figura 2.42 ↘
Campione di superficie 3D printed chair.





Figura 2.43 ↖
Dettaglio Data stool.

Figura 2.44 ↙
Data stool, Henri Canivez.

Data stool

Henri Canivez / 2018

Fused Deposition Modeling / PLA

Data è uno sgabello la cui configurazione è determinata delle misure antropometriche dell'utente per cui è realizzato, un'espressione concreta e unica dei dati, apparentemente intangibili, che ci circondano ogni giorno.

Progettato dal designer Henri Canivez in collaborazione con CNC Speedform, azienda olandese specializzata nella fabbricazione additiva, Data stool è il frutto di un algoritmo capace di generare strutture ottimizzate in risposta alla fisicità dell'utente.
Presentato alla Design Academy Graduation durante la Dutch Design Week, il progetto prevede un'inedita fase di acquisizione dei dati, grazie all'impiego di un apposito sgabello equipaggiato di sensori.

I valori registrati sono quindi elaborati dall'algoritmo che genera una microarchitettura interna allo sgabello, più densa nelle aree sottoposte a maggiori sollecitazioni e più leggera nelle zone meno sollecitate, dando origine ad una seduta su misura, totalmente personalizzata.
Sebbene la versione base sia realizzata in PLA, esiste anche una versione strutturalmente più avanzata che impiega materiali come nylon rinforzato con fibra di vetro e alluminio [77].

Sviluppo progettuale

3.1 Il concept
3.2 Le linee guida
3.3 La seduta base
3.4 I materiali
3.5 La serie esperienziale
3.6 Ottimizzazione
3.7 Prototipazione
3.8 Conclusioni

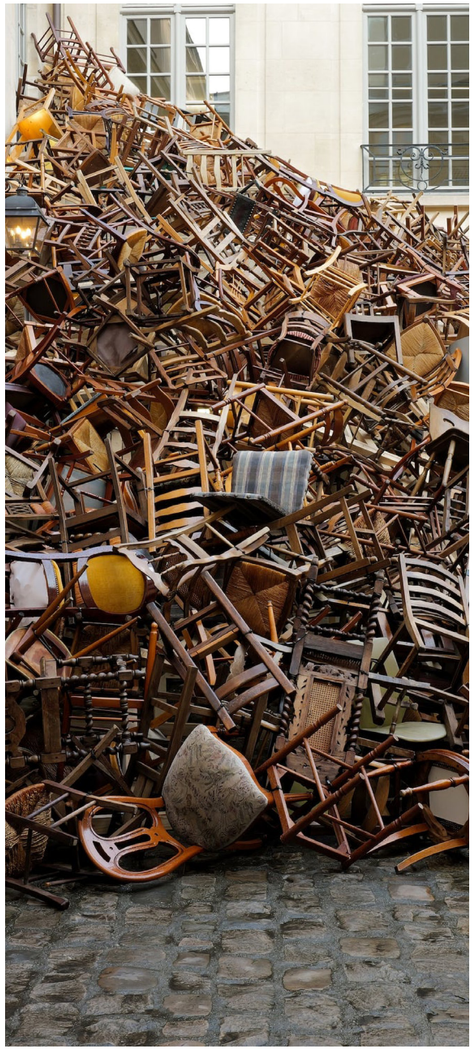
3.

3.1
Il concept

Il concept rappresenta il momento di sintesi del percorso di ricerca e analisi sviluppato nei capitoli precedenti, nel quale i contenuti discussi sono rielaborati per convergere in una proposta progettuale.
Sebbene l'esito più prevedibile di tale percorso avrebbe potuto consistere nella progettazione di una seduta esperienziale, si è scelto di orientare il progetto verso una soluzione differente, più in linea con le tematiche emerse in fase di analisi.

Il grado di esperienzialità di un prodotto, come già ampiamente evidenziato, è infatti fortemente soggettivo e aperto ad interpretazioni differenti da parte dell'utilizzatore, rendendo complesso e limitante lo sviluppo di un'unica soluzione.
Le stesse ragioni rendono inoltre difficile immaginare una sedia esperienziale concepita per la produzione in serie, favorendo piuttosto approcci basati sull'autoproduzione.
D'altro canto, la produzione autonoma di una seduta completa risulterebbe molto costosa e poco efficiente. Per queste ragioni, la proposta di concept consiste in

una serie di accessori, realizzabili in autoproduzione, che permettano di intervenire su sedie già esistenti con l'obiettivo di trasformarle in sedie esperienziali.



La scelta nasce anche da una riflessione sul mercato dell'arredo, che è oggi già ampiamente saturo di sedute, molte delle quali sono spesso abbandonate, danneggiate o, addirittura, destinate ad essere smaltite.
Intervenire su ciò che già esiste attraverso componenti aggiuntivi dà loro nuovo valore e ne estende il ciclo di vita; concezione che è, inoltre, perfettamente in linea con il dodicesimo goal dell'Agenda 2030, volto a raggiungere modelli di consumo e produzione responsabili [78].

"Il riuso non è semplicemente un'alternativa al riciclo, ma un passo precedente e più efficace nella gerarchia dei rifiuti: previene che un bene diventi rifiuto" [74]

Figura 3.1
Avalanche, Tadashi Kawamata.

3.2
Le linee guida

Da each ad all

Sebbene il progetto sia sviluppato in riferimento ad uno specifico modello di sedia, l'architettura del sistema deve garantirne l'adattabilità alle più svariate tipologie, ciascuna contraddistinta da aspetti formali e materici anche molto differenti.
In funzione di tale flessibilità, ogni componente deve essere concepito prevedendo la possibilità di modifica da parte dell'utente, così da consentirgli di adattare giunti e connessioni alle specifiche della singola seduta.
In quest'ottica, e al fine di ridurre al minimo la necessità di ulteriori interventi da parte dell'utilizzatore, è fondamentale prevedere una chiara scomposizione del sistema, distinguendo i componenti funzionali/esperienziali, da mantenere invariati, da quelli destinati alla giunzione e il fissaggio, che prevedono, invece, interventi di adattamento.

Semplicità costruttiva

L'assemblaggio dei componenti deve essere semplice e guidato, privilegiando l'impiego di elementi di connessione reversibili (viti, dadi e rondelle) e di semilavorati in legno, facilmente reperibili sul mercato e opportunamente selezionati in funzione delle caratteristiche formali della sedia.
Inoltre, il fissaggio del sistema non deve compromettere strutturalmente la seduta, favorendo interventi poco invasivi, che consentano, per quanto possibile, di preservarne l'integrità.
In generale, il sistema deve essere concepito per ridurre al minimo la necessità di attrezzatura specializzata e di competenze costruttive avanzate.

Ottimizzazione strutturale

Ogni componente del sistema deve essere progettato secondo criteri di ottimizzazione strutturale, al fine di garantire adeguate prestazioni meccaniche in tutte le condizioni di esercizio e, al tempo stesso, di limitare l'impiego di materiale.
L'ottimizzazione può essere attuata sia mediante l'applicazione dei principi classici della progettazione strutturale, sia servendosi degli strumenti di generative design e ottimizzazione topologica come supporto alla progettazione.

Esperienzialità

I sistemi devono essere progettati in conformità con i principi dell'esperienzialità precedentemente descritti, agendo su una o più delle leve individuate e coinvolgendo attivamente l'utente durante l'utilizzo della sedia. Nel contesto della seduta, tra le diverse leve, quella del movimento è certamente una delle più efficaci in quanto capace di liberare l'atto del sedersi dalla sua dimensione statica e passiva, per trasformarla in un'azione partecipativa e dinamica.

Modularità

I diversi sistemi devono essere concepiti secondo un approccio modulare che consenta di realizzare sedute esperienziali differenti a partire dagli stessi componenti. Questo permette non solo di ridurre significativamente il numero di elementi da produrre, ma anche di favorirne l'intercambiabilità, sia in caso di sostituzione per danneggiamento, sia qualora si desideri cambiare configurazione esperienziale.

Fabbricazione additiva

Ciascun componente deve essere concepito in funzione della produzione tramite fabbricazione additiva FDM e, dunque, compatibilmente ai volumi di costruzione relativamente ristretti dei sistemi di stampa domestici e/o disponibili all'interno dei fablab.
Essi devono sempre essere progettati con riferimento alla direzione di costruzione, così che i layer siano orientati in relazione alle sollecitazioni meccaniche cui i pezzi sono sottoposti durante la messa in esercizio.
Inoltre, in fase di preparazione alla stampa, è necessario rivolgere particolare attenzione alla scelta della percentuale e della tipologia di riempimento interno (infill), al fine di garantire non solo un'adeguata resistenza alle sollecitazioni, ma anche una significativa riduzione dei tempi di stampa, di peso del componente e di consumo di materiale.
Anche la scelta di quest'ultimo deve essere funzionale alla massimizzazione delle caratteristiche meccaniche del componente, privilegiando, tuttavia, quei materiali che, in fase di stampa, rilasciano la minore quantità di composti organici volatili (VOC).

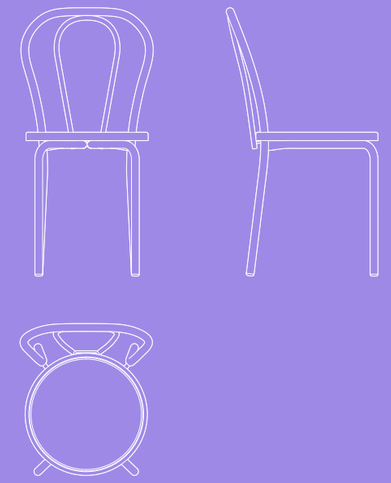
3.3

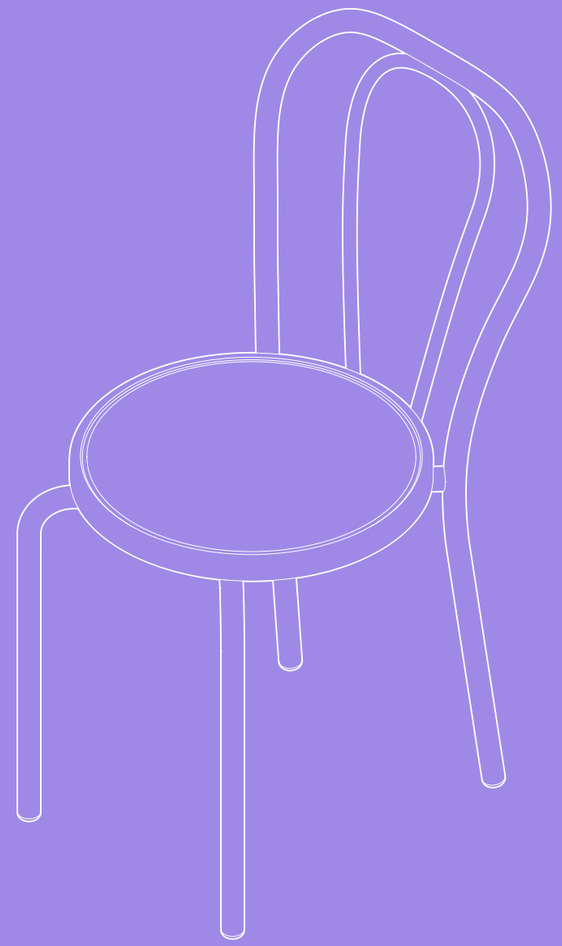
La seduta base

In conformità con quanto precedentemente delineato, lo sviluppo degli accessori deve necessariamente riferirsi a uno specifico modello di sedia, in quanto risulterebbe complesso e poco efficiente, da un punto di vista strutturale, sviluppare una serie universale adattabile a sedute con caratteristiche molto diverse.
Per questo motivo, la fase di progettazione dei componenti è stata preceduta dall'attenta scelta di un modello di riferimento, che consentisse ampi margini di manovra progettuale.
In seguito ad un'analisi del mercato dell'usato, volta ad individuare non solo i modelli presenti con più frequenza, ma anche i più adatti ad essere declinati in senso esperienziale, si è scelto di lavorare su una seduta assai diffusa, le cui linee riprendono quelle di un modello storico e di fondamentale importanza: la Thonet numero 14.

Da un punto di vista costruttivo, la sedia selezionata presenta una struttura piuttosto semplificata rispetto all'originale Thonet in faggio curvato.
Il telaio è interamente realizzato in tubolare d'acciaio, curvato e verniciato di nero, avente un di diametro di 25 mm e uno spessore di circa 1 mm.

Le gambe posteriori si estendono da terra fino a proseguire ininterrotte a formare l'arco dello schienale, mentre le anteriori si sviluppano sino a sorreggere il sedile, al di sotto del quale proseguono per congiungersi alle posteriori, alle quali sono saldate.
Il sedile è circolare e composto da tre elementi: un anello in tubolare d'acciaio, saldato alle gambe anteriori, un anello per il bloccaggio, in materiale plastico, e una membrana, anch'essa in plastica, caratterizzata da un pattern e una colorazione che richiama il classico intreccio dei sedili in paglia Thonet.





3.4
I materiali

In un'ottica di autoproduzione, la serie di accessori è stata progettata privilegiando l'impiego di materiali e semilavorati di facile reperibilità e lavorazione.
Con l'obiettivo di ridurre il numero di componenti differenti, si sono selezionati pochi elementi standard in grado di rispondere alla maggior parte dei requisiti progettuali.

Tra questi: il tondo in faggio, semilavorato assai diffuso nei negozi di hobbistica e fai-da-te. Il faggio si configura come un legno duro e robusto, resistente agli urti e all'usura derivante dall'utilizzo quotidiano; presenta un'elevata densità, una buona stabilità dimensionale e, nel complesso, una buona resistenza a trazione, flessione e torsione, consentendo al contempo la lavorazione mediante strumenti tradizionali [79].
Nello specifico, al fine di garantire una certa coerenza formale, si è scelto di utilizzare un tondo avente il medesimo diametro del telaio della sedia selezionata, pari a 25 mm.



Figura 3.2
Tondi in legno.

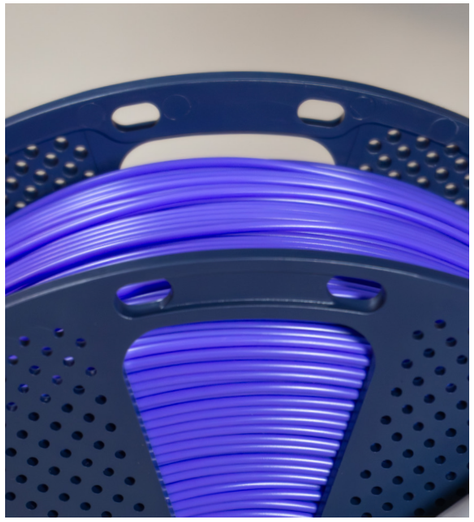


Figura 3.3
Bobina di PLA.

Per la realizzazione dei giunti e dei restanti componenti, si è invece scelto di ricorrere alla fabbricazione additiva a deposizione di filamento fuso (FDM), la più diffusa in ambito domestico, nei piccoli laboratori e nei fablab.
Sebbene i componenti prodotti in FDM presentino, generalmente, prestazioni strutturali limitate, fortemente dipendenti dall'orientamento dei layer e dal tipo di riempimento (infill), è comunque possibile ottenere prestazione soddisfacenti attraverso un'adeguata scelta del materiale.

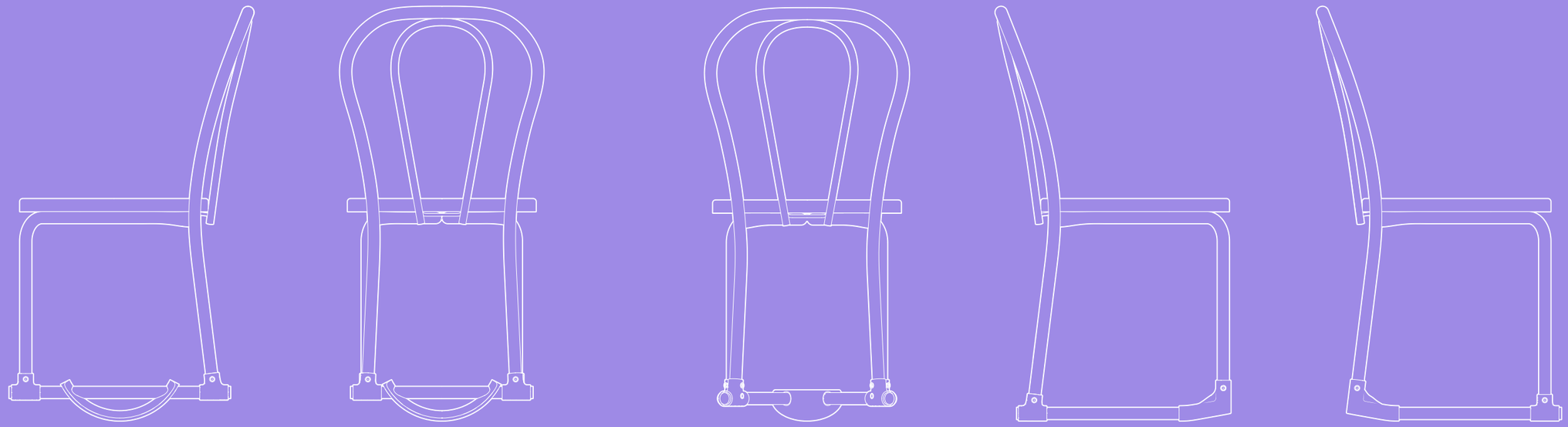
L'ABS, ad esempio, rientra tra i materiali, per stampa FDM, più performanti dal punto di vista meccanico; tuttavia, presenta criticità, non indifferenti, in termini di sicurezza, poiché in fase di stampa rilascia elevate quantità di gas organici volatili (VOC).
Per questo motivo, risulta estremamente tossico e poco si adatta ad essere impiegato in ambienti domestici o, in generale, in contesti in cui non si disponga delle adeguate attrezzature e sistemi di sicurezza [80].

Queste ragioni hanno quindi portato alla scelta di un materiale di più semplice gestione, accessibile e sicuro: il PLA.
Nello specifico, in funzione delle prestazioni richieste, si è scelta una particolare tipologia di PLA, prodotta da SUNLU e denominata PLA + 2.0. Con una densità di 1,23 g/mm3 un modulo di Young di 3.500 Mpa (1mm/min) e un modulo a flessione di 2240 MPa (2mm/min), il PLA di SUNLU si colloca attualmente tra i meccanicamente più performanti sul mercato [81].

Infine, per la giunzione e il fissaggio dei componenti, si è scelto di impiegare due diversi sistemi di collegamento: viti autofilettanti, per la realizzazione delle giunzioni con il tondo in legno, e sistemi vite-dado, per la giunzione dei giunti in PLA con il telaio della sedia.

3.5

La serie esperienziale



cavalca dondolo

per una vita da cowboy

durante la partita al bar

Per trasformare il sedersi in una lenta cavalcata, come fossi un cowboy. Per esultare al bar, dondolando con forza quando segna la tua squadra del cuore, senza rompere nessuno schienale. Cavalcadondolo è un dondolo cavalcabile, dotato di due slitte curvate che invitano a dondolare, avanti e indietro, continuando a muoversi, senza muoversi davvero.









Figura 3.4 ←
Cavalcadondolo.

Figura 3.5 ↗
Dettaglio slitte Cavalcadondolo.

Figura 3.6 ↙
Dettaglio giunto Cavalcadondolo.

cavalca pendolo

per guardare sotto il tavolo

per tenere il ritmo

Quando parte il tuo brano preferito e tieni il tempo come un metronomo. Cavalcapendolo è un dondolo ad oscillazione laterale perfetto per scandire il tempo, tenere il ritmo o, più semplicemente, tenersi occupati mentre la mente va altrove. L'ideale anche per controllare cosa succede sotto il tavolo senza doversi chinare troppo.

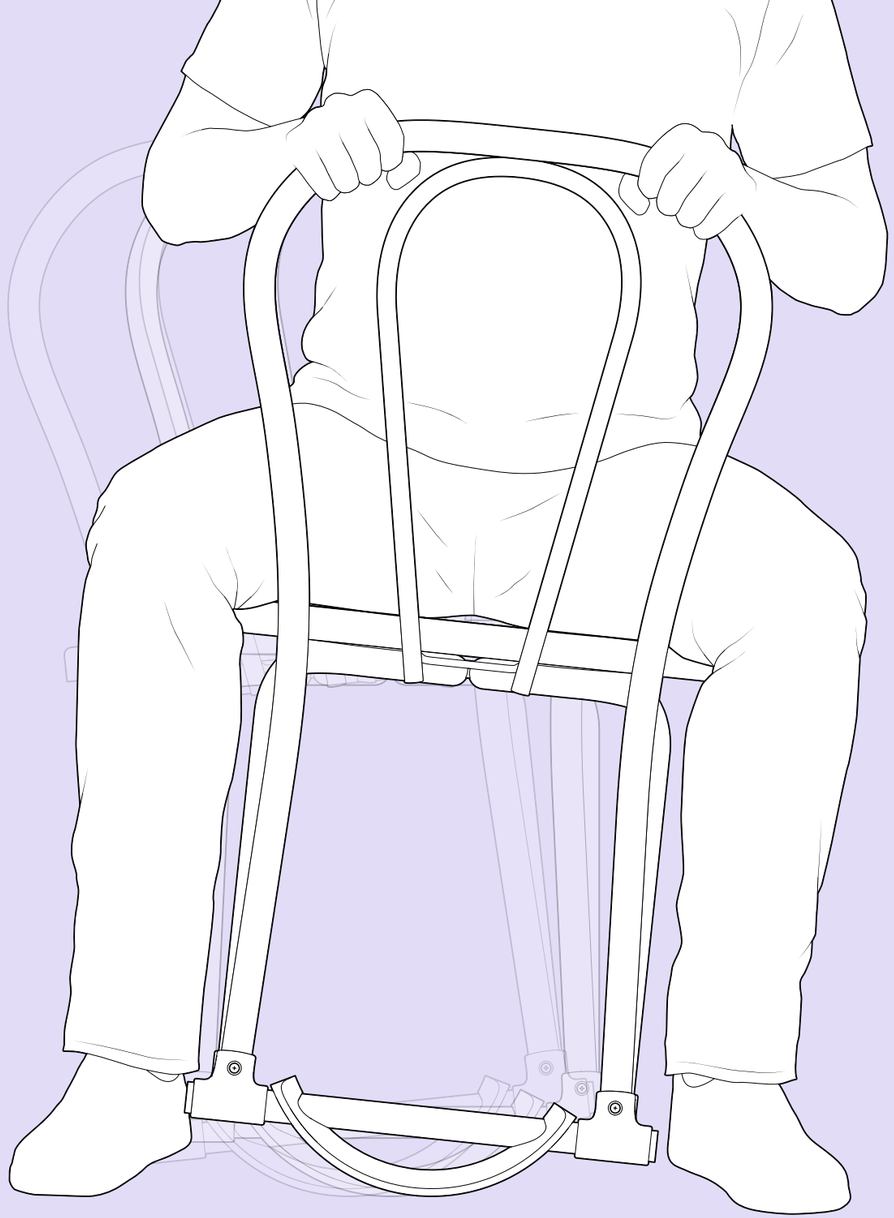






Figura 3.7 ←
Cavalcapendolo.

Figura 3.8 ↖
Dettaglio giunto a T Cavalcapendolo.

Figura 3.9 ↘
Dettaglio slitta Cavalcapendolo.



cavalcarodeo

per chi non sta mai fermo

per domare la situazione

L'idela per chi non conosce lo stare fermi, nemmeno quando si è seduti, Cavalcarodeo è una sedia cavalcabile che, grazie all'unico punto di appoggio a terra, invita il corpo alla ricerca di un equilibrio impossibile. Un piccolo rodeo per domare la noia e la monotonia quotidiana. Comoda anche alla scrivania per lavorare senza mai smettere di muoversi davvero.

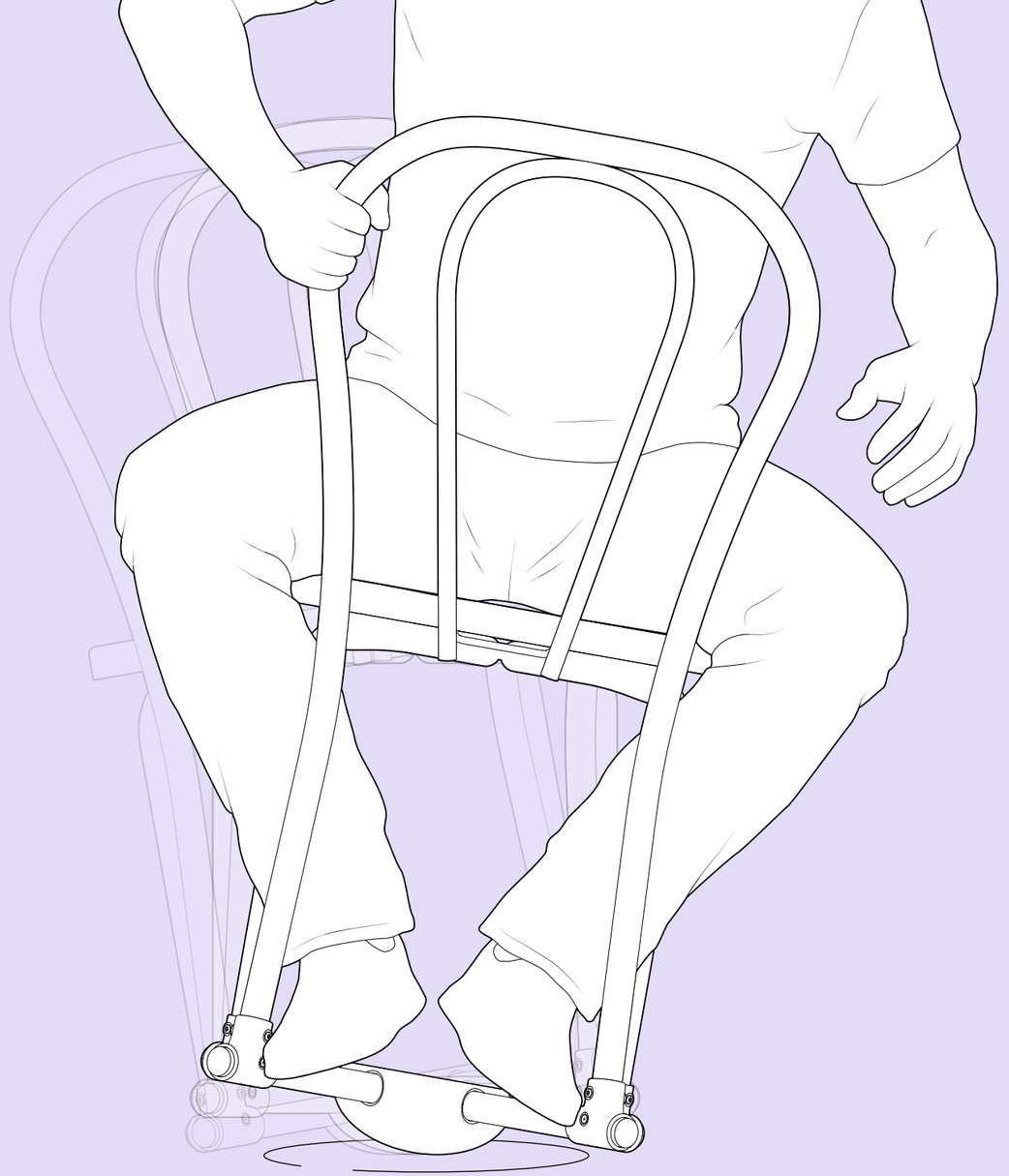








Figura 3.10 ←
Cavalcarodeo.

Figura 3.11 ↗
Dettaglio A, calotta Cavalcarodeo.

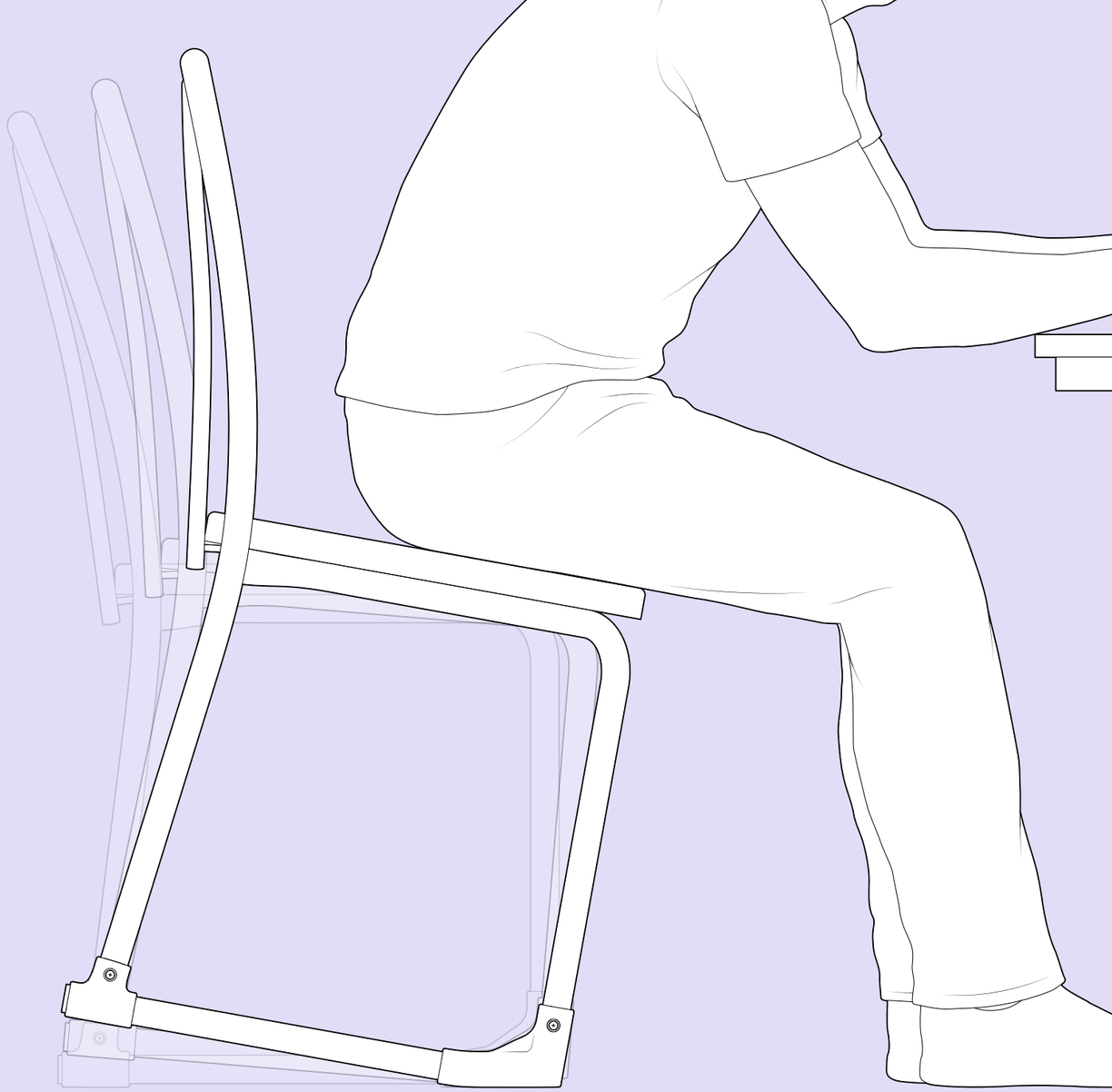
Figura 3.12 ↙
Dettaglio B, calotta Cavalcarodeo.

dondolo portami

durante le call noiose

farsi portare un po' più in là

Perfetto per dondolare durante l'ennesima call senza che nessuno se ne accorga, Portami è un dondolo ad oscillazione anteriore che, grazie alla lieve curvatura del giunto frontale, permette un movimento discreto e controllato. Un semplice rimedio per alleviare la tensione accumulata, scaricare lo stress e rendere meno faticosa la permanenza alla scrivania. E perché no, può tornare utile anche per allacciarsi le scarpe senza fatica.



dondolo portami

durante le call noiose

farsi portare un po' più in là

Perfetto per dondolare durante l'ennesima call senza che nessuno se ne accorga, Portami è un dondolo ad oscillazione anteriore che, grazie alla lieve curvatura del giunto frontale, permette un movimento discreto e controllato. Un semplice rimedio per alleviare la tensione accumulata, scaricare lo stress e rendere meno faticosa la permanenza alla scrivania. E perché no, può tornare utile anche per allacciarsi le scarpe senza fatica.









Figura 3.13 ←
Dondolo Portami.

Figura 3.14 ↙
Dettaglio A, giunto anteriore Dondolo Portami.

Figura 3.15 ↗
Dettaglio B, giunto anteriore Dondolo Portami.

dondolo cullami

durante le pause in ufficio

fidarsi un po' di più

Pensato per le pause che dovrebbero durare cinque minuti, ma poi durano mezz'ora, Cullami è un dondolo ad oscillazione posteriore che invita a lasciarsi andare, un po' come quell'amico che ti chiede di fidarti e ti lasci cadere all'indietro, sapendo che ti prenderà.Il giunto posteriore, lievemente curvato, accompagna il dondolio, fermandolo prima che sia davvero troppo tardi.

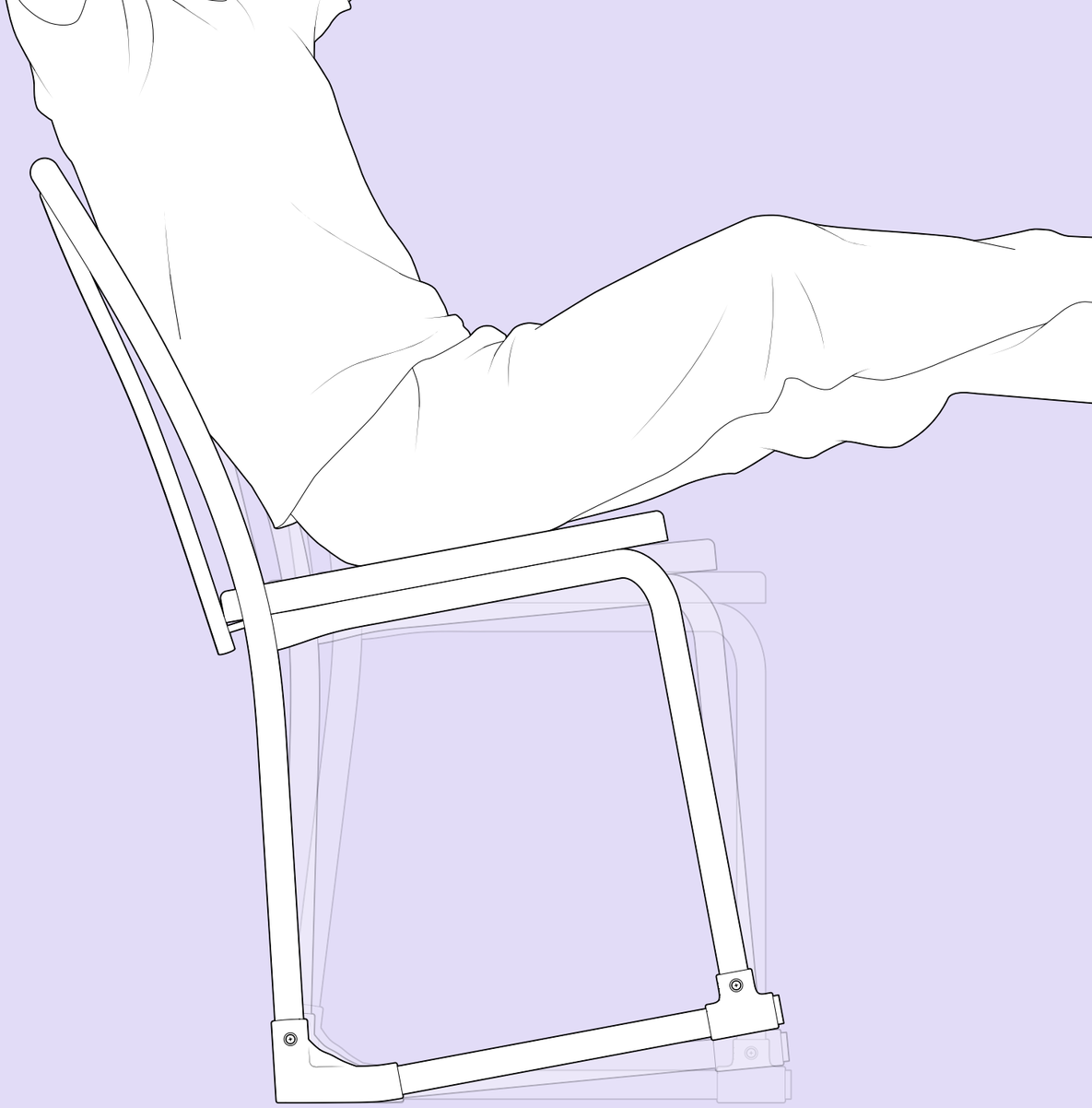






Figura 3.16 ←
Dondolo Cullami.

Figura 3.17 ↖
Dettaglio giunto posteriore Dondolo Cullami.

Figura 3.18 ↘
Dondoli Cullami e Portami.





Figura 3.19
Cavalcadondolo, Cavalcapendolo, Cavalcarodeo.



Figura 3.20
Dondolo Portami e Dondolo Cullami.

Mappa di posizionamento dei modelli esperienziali

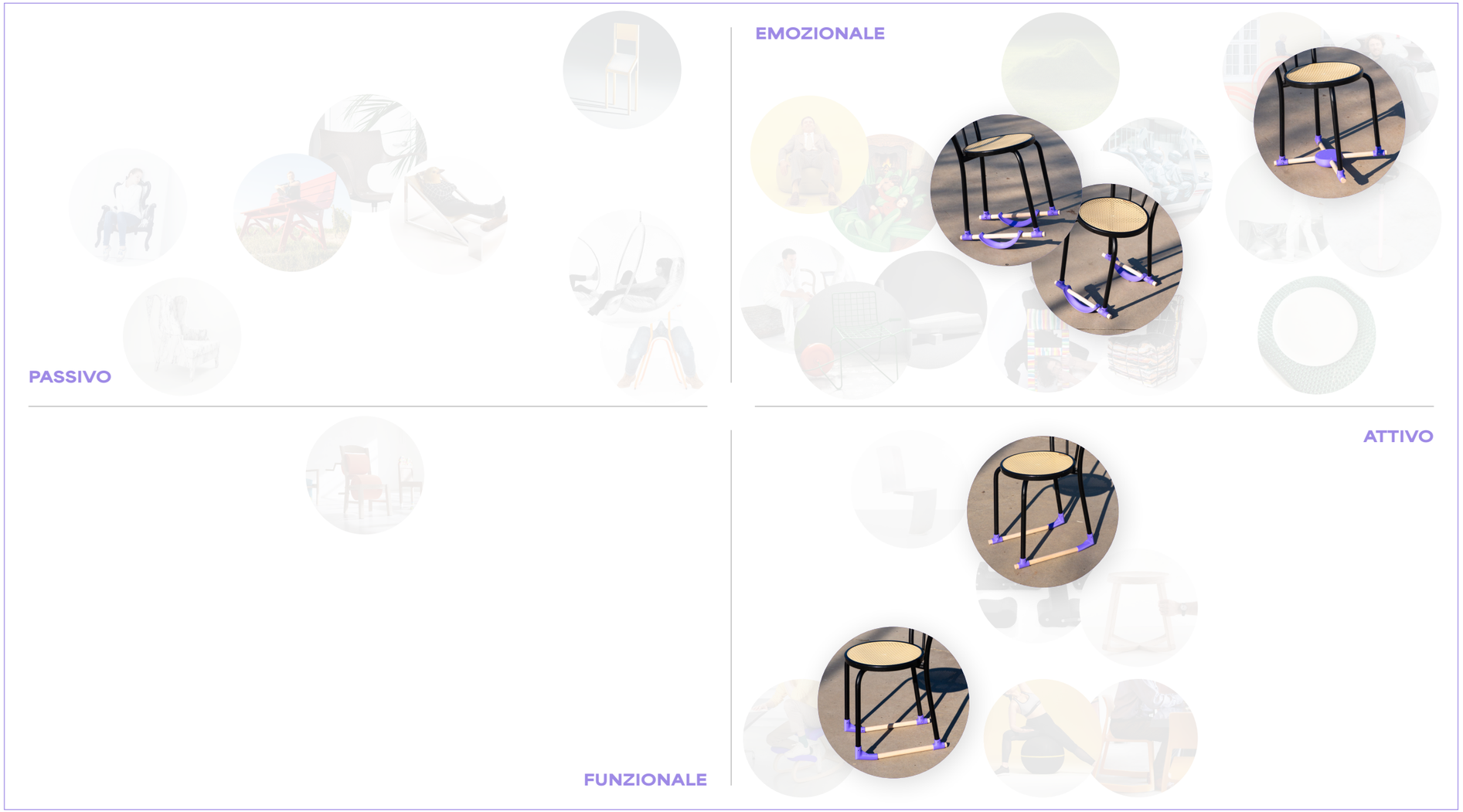


Figura 3.21
Posizionamento dei modelli esperienziale in funzione di passivo/attivo e funzionale/emozionale

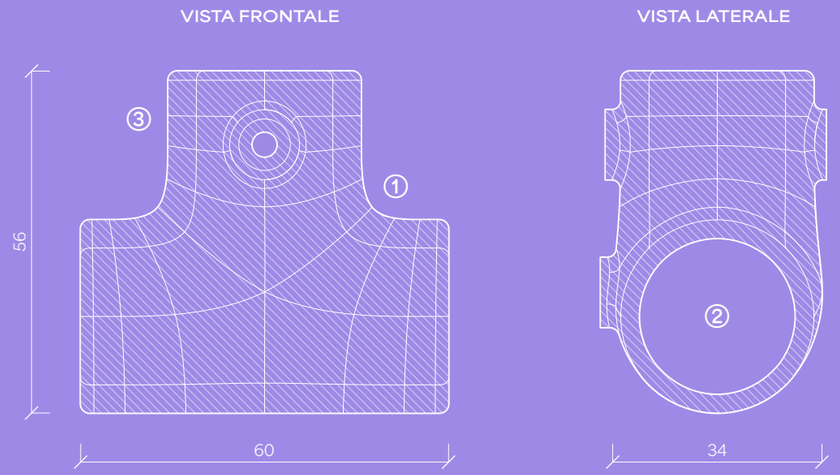
3.6
Ottimizzazione

La realizzazione di giunti e componenti strutturali tramite stampa FDM introduce una notevole complessità progettuale. Sebbene la fabbricazione additiva consenta infatti un'elevata libertà nelle forme, essa presenta logiche e vincoli molto diversi dai processi produttivi tradizionali.
La sola deposizione dei layer, per esempio, rende il comportamento meccanico dei componenti fortemente dipendente dalla direzione di stampa, rendendo fondamentale disporre, fin dalle prime fasi progettuali, di un quadro chiaro, e il più possibile realistico, delle sollecitazioni a cui ciascun elemento sarà sottoposto durante l'esercizio.

A tali criticità si aggiungono inoltre i limiti meccanici del materiale utilizzato.
Nonostante sia stato scelto con particolare accuratezza un PLA dotato di caratteristiche meccaniche superiori al PLA standard (PLA+ 2.0. di SUNLU), esso presenta comunque proprietà nettamente inferiori rispetto ai termoplastici comunemente impiegati nei processi di stampaggio tradizionali, soprattutto in termini di tenacità e resistenza a trazione e flessione.

Per tali ragioni ciascun componente è stato progettato adottando specifici accorgimenti volti a garantirne prestazione meccaniche adeguate, limitando al contempo l'uso di materiale, al fine di contenere i tempi di stampa e il consumo di risorse complessivo.

Giunti a T



Scala 1:1
Quote in mm

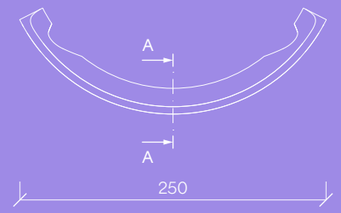
① Il giunto presenta una geometria estremamente raccordata, caratterizzata da cambi di direzione e transizioni tra superfici graduali, che consentono di limitare la concentrazione di sollecitazioni in aree puntuali e di contrastare l'insorgere e la propagazione di cricche che ne potrebbero compromettere l'integrità strutturale.

② Sebbene, da un punto di vista costruttivo, sarebbe stato sufficiente l'impiego di giunti a L, in quanto sempre collocati alle estremità dei tondi in legno, l'utilizzo di giunti a T permette al tondo di attraversare completamente il giunto, svolgendo una funzione di rinforzo strutturale.

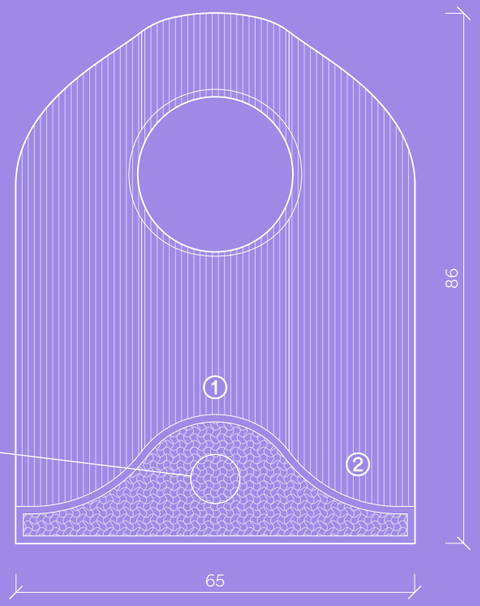
③ In fase di stampa, il giunto è stato orientato in modo da ottenere giunzioni a 45°, così che i layer non siano paralleli alle principali sollecitazioni di taglio; tale configurazione non solo incrementa le prestazioni strutturali del componente, ma permette anche di ridurre la necessità di supporti e il rischio di deformazioni della geometria durante la stampa.

Slitte

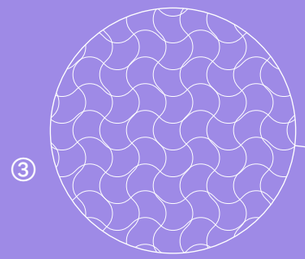
VISTA FRONTALE (1:5)



SEZIONE A-A (1:1)



DETTAGLIO (5:1)



Quote in mm

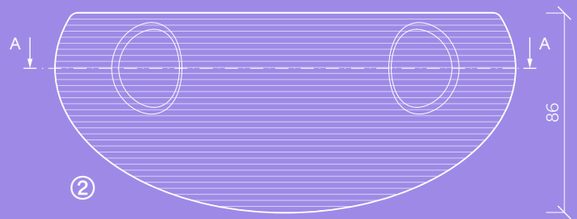
① Con l'obiettivo di irrigidire la struttura, senza aumentare significativamente l'intera sezione, è stata introdotta una nervatura centrale, chiaramente visibile nella sezione A-A. Questa soluzione permette di incrementare le prestazioni strutturali del componente, senza incidere in modo significativo sul peso, riducendo materiale e tempi di stampa.

② Anche nelle slitte, così come nei giunti a T, le superfici sono tra loro raccordate affinché non si verifichino concentrazioni di stress localizzate; di particolare criticità risulta soprattutto la transizione tra la nervatura centrale e le superfici adiacenti.

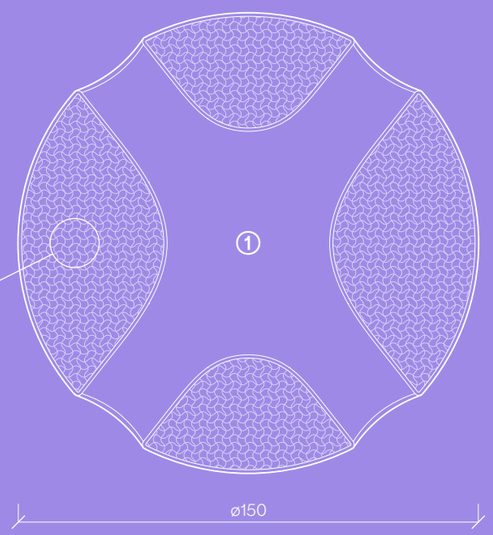
③ Il riempimento (sparse infill) selezionato in fase di preparazione alla stampa è di tipo giroidale, con una densità (sparse infill density) del 35%; tale configurazione permette non solo di ridurre notevolmente la quantità di materiale impiegato, ma anche di preservare le prestazioni meccaniche del componente, in quanto il pattern giroidale garantisce un'elevata resistenza in tutte le direzioni (X, Y, Z).

Calotta

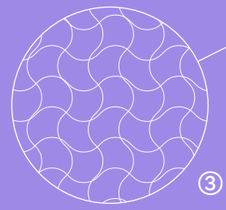
VISTA FRONTALE



SEZIONE A-A



DETTAGLIO (2:1)



Scala 1:2
Quote in mm

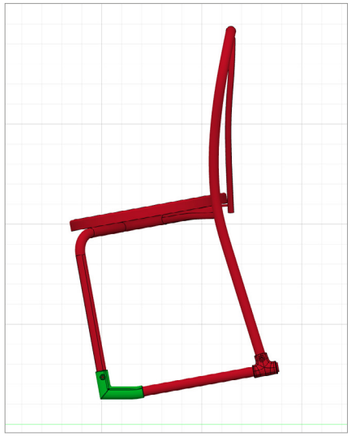
① Come visibile nella sezione A-A, la croce che si realizza all'interno della calotta, per l'alloggiamento dei tondi in legno, non presenta estremità chiuse, ma consente il contatto diretto tra i tondi stessi. In questo modo si evita la trasmissione diretta delle sollecitazioni al componente stampato, riducendo il carico sulla calotta.

② In fase di stampa il componente è stato orientato con la superficie piana rivolta verso il piatto della stampante. Questo non solo ha eliminato la necessità di supporti, ma ha anche permesso di ottenere giunzioni tra i layer perpendicolari alla direzione della sollecitazione principale.

③ Anche per la calotta è stato selezionato un riempimento (sparse infill) di tipo giroidale, con una densità (sparse infill density) del 20%; scelta che permette di contenere il consumo di materiale senza alterare le prestazioni meccaniche del componente.

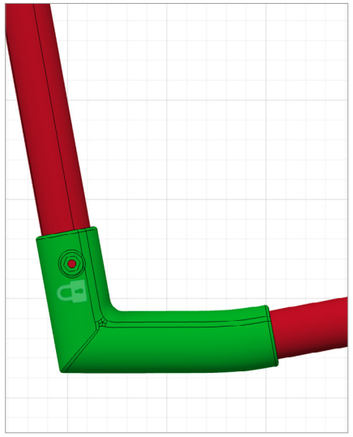
Dondolo anteriore

Impostazione dello studio generativo



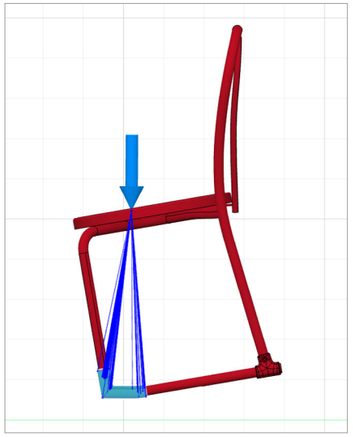
Ostacoli e mantenimento

Selezione delle geometrie che si vuole includere nella forma finale ottimizzata (evidenziate in verde) e dei corpi che si intende escludere (evidenziati in rosso), in cui il materiale non sarà posizionato durante la generazione dei risultati.



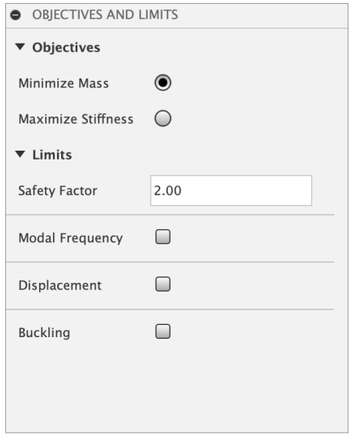
Vincoli strutturali

Per simulare le condizioni di esercizio del giunto, è stato imposto un vincolo strutturale di tipo fixed sulla superficie di interfaccia con la gamba della sedia, considerando uno scenario maggiormente critico in cui il giunto non è supportato dal tondo in legno, ad esempio in caso di possibile cedimento del giunto posteriore.



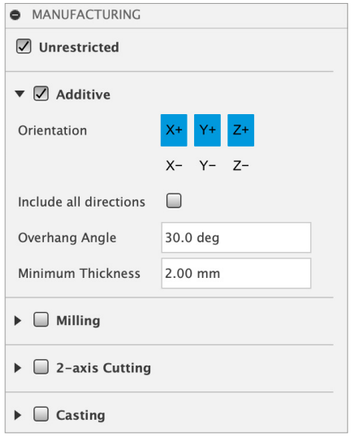
Carichi

Per simulare la forza esercitata dall'utente sul sedile è stata applicata una forza remota, un carico che consente di considerare gli effetti di una forza applicata in un punto dello spazio esterno al modello. L'intensità della forza è stata assunta pari alla metà della forza peso utilizzata nell'analisi statica (2.1), in quanto il carico è ripartito su due giunti.



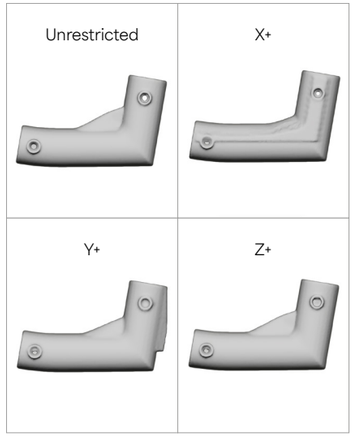
Obiettivi

Con lo scopo di minimizzare la quantità di materiale, e dunque ridurre i tempi di stampa, senza compromettere le prestazioni meccaniche del componente, è stata selezionata come obiettivo la minimizzazione della massa, con un fattore di sicurezza pari a 2.



Produzione e materiali

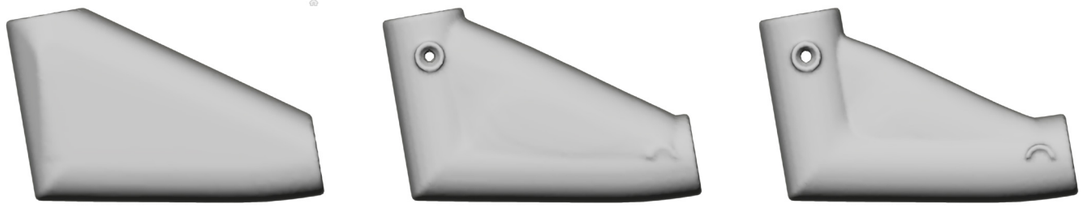
Per la generazione delle soluzioni si è scelto di esplorare quattro configurazioni: una unrestricted, e tre additive, con la direzione di costruzione orientata secondo gli assi X+, Y+ e Z+. Per il materiale è stato definito un modello con caratteristiche meccaniche simili a quelle del PLA+ 2.0 di SUNLU, con riferimento ai datasheet ufficiali.

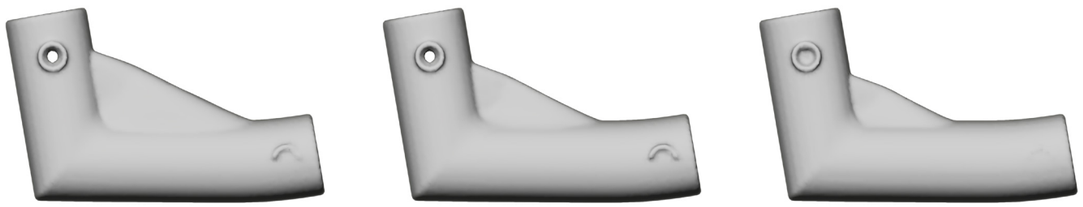


Risultati

Tutte e quatto le soluzioni soddisfano i requisiti dello studio, ma in funzione di una riduzione di materiale solo le configurazioni additive Z+ e Y+ sono realmente vantaggiose, mentre X+ non ha condotto ad un risultato accettabile. Considerata però la direzione di deposizione dei layer in fase di stampa, è stata infine scelta la soluzione additive Z+, in quanto evita l'allineamento dei layer alla direzione principale della sollecitazione.

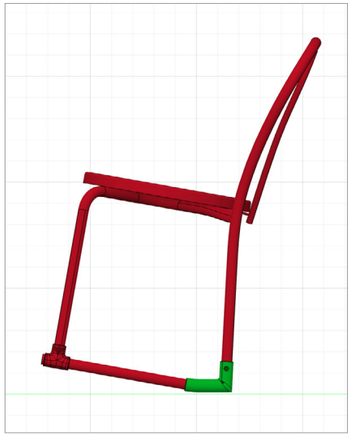
Iterazioni significative della soluzione selezionata (Z+)





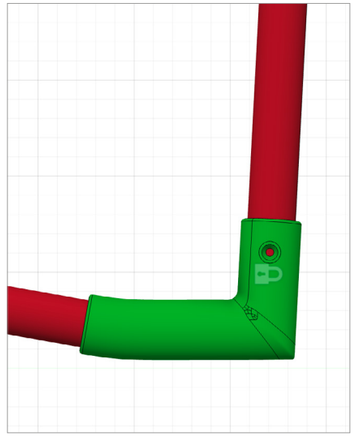
Dondolo posteriore

Impostazione dello studio generativo



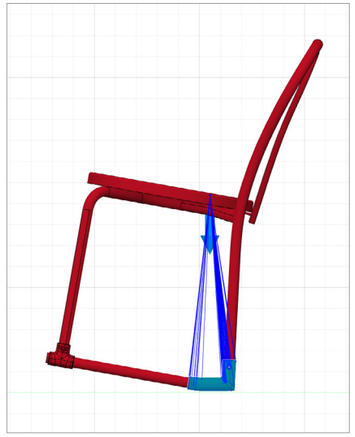
Ostacoli e mantenimento

Selezione delle geometrie che si vuole includere nella forma finale ottimizzata (evidenziate in verde) e dei corpi che si intende escludere (evidenziati in rosso), in cui il materiale non sarà posizionato durante la generazione dei risultati.



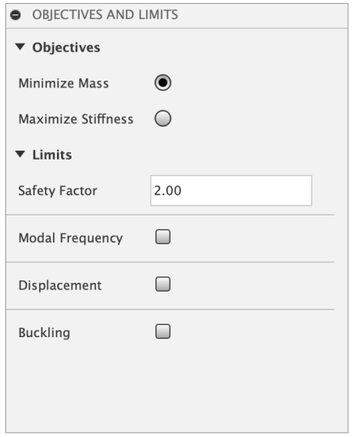
Vincoli strutturali

Per simulare le condizioni di esercizio del giunto, è stato imposto un vincolo strutturale di tipo fixed sulla superficie di interfaccia con la gamba della sedia, considerando uno scenario maggiormente critico in cui il giunto non è supportato dal tondo in legno, ad esempio in caso di possibile cedimento del giunto anteriore.



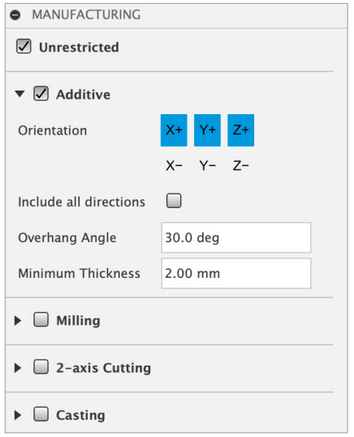
Carichi

Per simulare la forza esercitata dall'utente sul sedile è stata applicata una forza remota, un carico che consente di considerare gli effetti di una forza applicata in un punto dello spazio esterno al modello. L'intensità della forza è stata assunta pari alla metà della forza peso utilizzata nell'analisi statica (2.1), in quanto il carico è ripartito su due giunti.



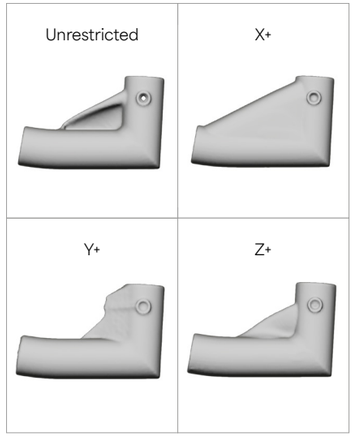
Obiettivi

Con lo scopo di minimizzare la quantità di materiale, e dunque ridurre i tempi di stampa, senza compromettere le prestazioni meccaniche del componente, è stata selezionata come obiettivo la minimizzazione della massa, con un fattore di sicurezza pari a 2.



Produzione e materiali

Per la generazione delle soluzioni si è scelto di esplorare quattro configurazioni: una unrestricted, e tre additive, con la direzione di costruzione orientata secondo gli assi X+, Y+ e Z+. Per il materiale è stato definito un modello con caratteristiche meccaniche simili a quelle del PLA+ 2.0 di SUNLU, con riferimento ai datasheet ufficiali.



Risultati

Tutte e quatto le soluzioni soddisfano i requisiti dello studio, ma in funzione di una riduzione di materiale solo le configurazioni unrestricted, additive Z+ e Y+ sono realmente vantaggiose. Considerata però la direzione di deposizione dei layer in fase di stampa, è stata infine scelta la soluzione additive Z+, in quanto evita l'allineamento dei layer alla direzione principale della sollecitazione.

Iterazioni significative della soluzione selezionata (Z+)













3.7
Prototipazione

Nel corso del processo di sviluppo progettuale, la prototipazione ha affiancato costantemente la progettazione di ciascun componente, consentendone non solo la verifica formale, ma anche la validazione strutturale, grazie alla possibilità di effettuare svariate prove di carico.
La realizzazione fisica di ciascun pezzo ha permesso di semplificare l'individuazione di eventuali criticità e la conseguente attuazione di interventi di modifica, in un processo che si è rivelato estremamente iterativo.
Per la prototipazione è stata utilizzata una Bambu Lab A1, tra le stampanti desktop più accessibili sul mercato. Essa si caratterizza per un volume di costruzione di 256x256x256 mm e una velocità di stampa fino a 500 mm/s.

Il processo di prototipazione si è sviluppato nell'arco di tre mesi, per un totale di 69 componenti stampati, 5 kg di PLA e 10 m di tondo in faggio utilizzato.



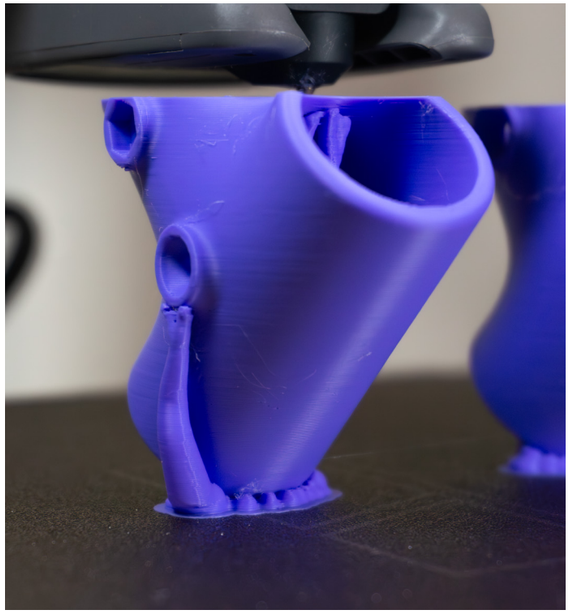
Figura 3.22
Giunto a T sul piatto della stampante 3D.

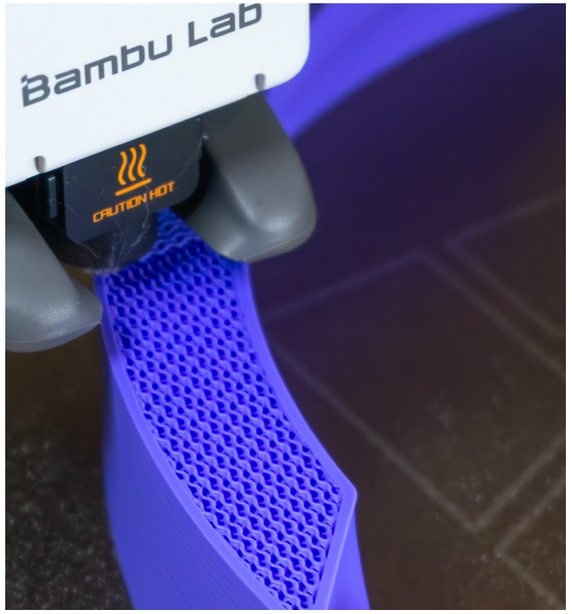


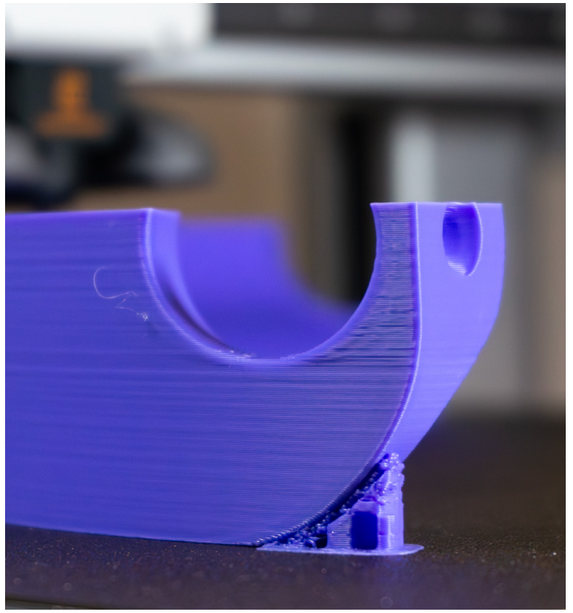
Figura 3.23 ↖
Dettaglio A, prototipazione giunto a T.

Figura 3.24 ↙
Dettaglio B, prototipazione giunto a T.

Figura 3.25 ↘
Dettaglio A, prototipazione slitta.









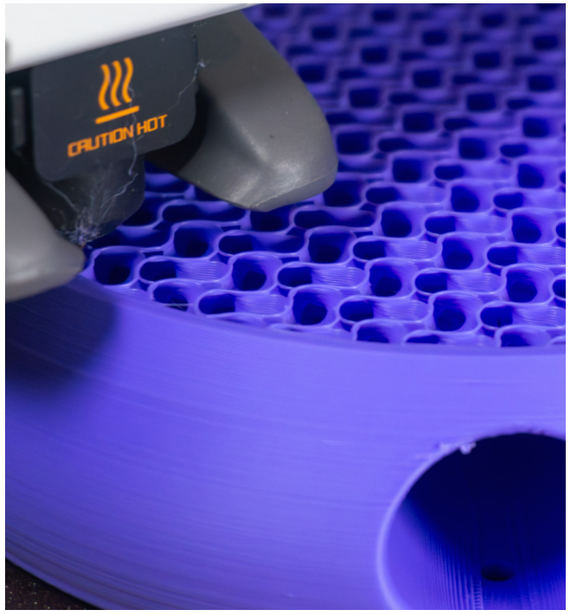


Figura 3.26 ↖
Dettaglio B, prototipazione slitta.

Figura 3.27 ↗
Dettaglio A, prototipazione calotta.

Figura 3.28 ↙
Dettaglio B, prototipazione calotta.

3.8
Conclusioni

“Guarda come dondolo” è un invito a riscoprire il piacere dell’esperienza d’uso di un prodotto: una spinta a spostare lo sguardo, per rivolgerlo oltre il mero manufatto fisico.
La ricerca sull’esperienzialità mette in luce come l’interazione con il prodotto assuma, oggi, un ruolo più rilevante rispetto ai soli aspetti tecnici e funzionali, soprattutto in un mercato in cui la differenziazione è spesso giocata su minime variazioni di forma e funzione.

L'adozione di un approccio alla progettazione orientato all’esperienzialità consente infatti di trasformare anche gli oggetti apparentemente più statici e passivi, come la seduta, in oggetti capaci di instaurare profonde relazioni con l’utente, sia sul piano fisico sia su quello cognitivo.
In questo caso il sedersi non è più soltanto riposo, ma un’azione capace di stimolare riflessioni, evocare percezioni e, perché no, semplicemente divertire.
Attraverso l’esplorazione e la messa a sistema di trentadue casi studio di sedute orientate all’esperienzialità, è stato possibile individuare approcci ricorrenti, sintetizzabili in dieci leve progettuali, che permettono di integrare e guidare l’esperienza nel prodotto.

La scelta di concentrare l’indagine sul tema della seduta si è rivelato assai stimolante, sia per il contrasto tra l’idea di interazione e un oggetto tradizionalmente legato al riposo, sia perché la sedia, nel corso della storia, è stata un terreno fertile di sperimentazioni, nonché espressione delle dinamiche sociali, economiche e tecnologiche del proprio tempo.

Lo studio del comportamento statico della seduta si è rivelato di fondamentale importanza: per intervenire consapevolmente sulla sedia, è stato infatti necessario comprenderne a pieno le logiche statiche e strutturali.
Solo una volta acquisite queste conoscenze è stato possibile orientare il progetto verso l’ottimizzazione delle prestazioni dei singoli componenti, aspetto che ha assunto particolare rilevanza soprattutto perché si è scelto di impiegare la fabbricazione additiva. Quest’ultima, specialmente nelle versioni più piccole, comporta infatti numerosi limiti nella realizzazione di componenti in grado di sostenere carichi elevati, come quelli generati dall’utente; limiti che però, come dimostra lo sviluppo progettuale, possono essere in parte superati se si adottano specifici accorgimenti.

Sebbene il generative design non rappresentasse il focus principale del progetto, esso si è rivelato uno strumento potenzialmente utile all’ottimizzazione strutturale. Va però considerato che, data la bassa complessità dei casi di carico impostati, gli outcome generati non si discostano significativamente dalle soluzioni convenzionali, non permettendo di esprimere a pieno le potenzialità della progettazione generativa.

Nonostante i prodotti sviluppati siano perfettamente funzionanti e abbiano raggiunto uno stadio di maturità tale da consentirne l’utilizzo, non sono ancora pronti ad una possibile immissione sul mercato, né tradizionale né open source.
Gli sviluppi futuri dovranno infatti necessariamente includere prove di carico a fatica e test di stress prolungati, necessari a garantirne la sicurezza.
Allo stesso tempo, è importante sottolineare come il rapido e continuo sviluppo delle tecnologie di fabbricazione additiva e dei relativi materiali, permetterà di realizzare prodotti più performanti, economici e realizzabili in tempi minori, favorendo una probabile accelerazione nell’evoluzione del progetto.

Bibliografia

[1] La sedia di Chiavari [Internet]. amastanze.com.
URL: https://amatestanze.com/la-sedia-di-chiavari/
Data di accesso: 31/05/2025

[2] Superleggera - The Light Weight Champion | Short Reads [Internet]. mobeldesignmuseum.se.
URL: https://www.mobeldesignmuseum.se/news-design/superleggera---the-light-weight-champion?
Data di accesso: 21/10/2025

[3] Sedia Superleggera 699 Gio Ponti per Cassina: il design è light [Internet]. elledecor.com.
URL: https://www.elledecor.com/it/design/a29319898/sedia-superleggera-699-gio-ponti-cassina-storia/
Data di accesso: 21/10/2025

[4] Thonet No. 14: l'archetipo della sedia moderna - Domus [Internet]. domusweb.it.
URL: https://www.domusweb.it/it/design/gallery/2020/02/06/thonet-no-14-larchetipo-della-sedia-moderna.html
Data di accesso: 26/12/2025

[5] The Windsor Chair (full article) | Regional Furniture Society [Internet]. regionalfurnituresociety.com.
URL: https://regionalfurnituresociety.org/about-the-rfs/online-articles/the-windsor-chair/the-windsor-chair-full-article/
Data di accesso: 31/05/2025

[6] Antique Ladder Back Chairs: Classic Styles and Values | LoveToKnow [Internet]. lovetoknow.com.
URL: https://www.lovetoknow.com/home/antiques-collectibles/18th-century-ladderback
Data di accesso: 01/06/2025

[7] The History of the Klismos Chair (And Why We Should Care) | Amity Worrel [Internet]. amityworrel.com.
URL: https://amityworrel.com/2024/06/13/the-history-and-influence-of-the-klismos-chair-on-american-design-styles/
Data di accesso: 02/06/2025

[8] The Epitome Of Chair Design - The Klismos Chair | Gosling [Internet]. tgosling.com.
URL: https://www.tgosling.com/the-epitome-of-chair-design-the-klismos-chair/
Data di accesso: 02/06/2025

[9] The new Klismos collection designed by Antonio Citterio for Knoll | Domus [Internet]. domusweb.it.
URL: https://www.domusweb.it/en/design/gallery/2022/09/01/the-new-klismos-collection-designed-by-antonio-citterio-for-knoll.html
Data di accesso: 02/06/2025

[10] TWIG LTD [Internet]. twigltd.com.
URL: https://twigltd.com/blog/history-of-the-antique-corner-chair
Data di accesso: 18/06/2025

[11] Sedute Tuscana: Sartogo Architetti Associati [Internet]. sartogoarchitetti.it.
URL: http://www.sartogoarchitetti.it/index.php?/design/tuscana/
Data di accesso: 18/06/2025

[12] A brief history of the humble plastic chair | CNN [Internet]. edition.cnn.com.
URL: https://edition.cnn.com/style/article/history-of-plastic-chairs-karim-rashid/index.html
Data di accesso: 02/06/2025

[13] Storia sentimentale della Monobloc, la sedia di plastica immortale | Elle Decor [Internet]. elledecor.com.
URL: https://www.elledecor.com/it/design/a44467435/storia-della-monobloc-sedia-di-plastica-unico-stampo/
Data di accesso: 02/06/2025

[14] OMSTAK Stacking chair | The Furniture Makers' Company [Internet]. furnituremakers.org.uk.
URL: https://www.furnituremakers.org.uk/guild-mark-holder/omstak-stacking-chair/
Data di accesso: 21/10/205

[15] OMKSTAK Sedia By OMK [Internet]. archiproducts.com.
URL: https://www.archiproducts.com/it/prodotti/omk/sdia-a-slitta-in-acciaio-omkstak_304855?srsltid=AfmBOoqiDJhyxq0jDb5CACMCjs616mtnWaO0atuLIYWDOBjCqp4fnvIz
Data di accesso: 21/10/2025

[16] Fiell, C.; Fiell, P. 1000 Chairs. Colonia: Taschen; 2022.

[17] Sled - Lounge Chair - Herman Miller [Internet]. hermanmiller.com.
URL: https://www.hermanmiller.com/it_it/products/seating/lounge-seating/sled-chair/
Data di accesso: 03/06/2025

[18] Sedie cantilever. Sedie a sbalzo. | Blog di ArredaSì [Internet]. blog.arredasi.it
URL: https://blog.arredasi.it/sedie-cantilever-sedie-a-sbalzo/
Data di accesso: 17/06/2025

[19] Dardi, D.; Pasca, V. Manuale di storia del design. Milano: Silvana Editoriale; 2019.

[20] La storia travagliata della Cesca di Marcel Breuer [Internet]. elledecor.com.
URL: https://www.elledecor.com/it/design/a39773123/sedia-cesca-marcel-breuer/
Data di accesso: 20/10/2025

[21] Eero Saarinen. Tulip Armchair. (model 150). 1955-56 | MoMA [Internet]. moma.org.
URL: https://www.moma.org/collection/works/2565?
Data di accesso: 20/10/2025

[22] SwanTM [Internet]. fritzhansen.com.
URL: https://www.fritzhansen.com/en/categories/by-series/swan/swan-3320-full-upholstered?sku=3320-HAL103-SPAL_S48N-SSW-GSN-FS
Data di accesso: 18/06/2025

[23] Armchairs - Artifort [Internet]. artifort.com.
URL: https://www.artifort.com/Collection/Armchairs/Tulip-F545
Data di accesso: 18/06/2025

[24] Armchairs - Artifort [Internet]. artifort.com.
URL: https://www.artifort.com/Collection/Armchairs/Tulip-F550
Data di accesso: 18/06/2025

[25] Armchairs - Artifort [Internet]. artifort.com.
URL: https://www.artifort.com/Collection/Armchairs/Tulip-Midi
Data di accesso: 18/06/2025

[26] FusinaLab - Lo sgabello nella storia, da arredo a mezzo di comunicazione [Internet]. fusinalab.com.
URL: https://www.fusinalab.com/it/blog/1-MadeinFusina/11-lo_sgabello_nella_storia_da_arredo_a_mezzo_di_comunicazione.html
Data di accesso: 03/06/2025

[27] Stool 60 Stool by Alvar Aalto, Produced by Artek 1933 [Internet]. archiveofobjects.net.
URL: https://archiveofobjects.net/en/objects/stool-60-aalto/
Data di accesso: 03/06/2025

[28] Sgabello Sella | Zanotta [Internet]. zanotta.com.
https://www.zanotta.com/it/prodotti/complementi-d-arredo/sella
Data di accesso: 03/06/2025

[29] Sgabello Mezzadro | Zanotta [Internet]. zanotta.com.
URL: https://www.zanotta.com/it/prodotti/complementi-d-arredo/mezzadro
Data di accesso: 03/06/2025

[30] Dellapiana, E.; Montanari, G. Una storia dell'architettura contemporanea. Seconda Edizione. Novara: UTET; 2021.

[31] ISO 9241-210:2010(en) Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems [Internet]. iso.org.
URL: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:en
Data di accesso: 22/12/2025

[32] User experience: cos'è caratteristiche e ottimizzazione - Inside Marketing [Internet]. insidemarketing.it.
URL: https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/user-experience/
Data di accesso: 22/12/2025

[33] Norman's Three Levels of Design | xDF [Internet]. interaction-design.org.
URL: https://www.interaction-design.org/literature/article/norman-s-three-levels-of-design?srsltid=AfmBOopGi3D6FXULBsaDqOh7Xg_ub78ONB973MRrrzv17A0kxjjg5ZnL
Data di accesso: 22/12/2025

[34] Welcome to the Experience Economy [Internet]. hbr.com.
URL: https://hbr.org/1998/07/welcome-to-the-experience-economy
Data di accesso: 22/12/2025

[35] Gerrit Thomas Rietveld | Biografia | Designer | Cassina [Internet]. cassina.com.
URL: https://www.cassina.com/it/it/maestri/gerrit-thomas-rietveld.html
Data di accesso: 22/06/2025

[36] Gerrit Rietveld's Red and Blue Chair: Seeing Experiments in Space – Collections, Conservation, and Collaboration: A Compilation of Mellon Object-Centered Research Fellowship Papers [Internet]. link.mellonfellows.high.org.
URL: https://link.mellonfellows.high.org/essay/gerrit-rietvelds-red-and-blue-chair-seeing-experiments-in-space/
Data di accesso: 11/06/2025

[37] Enzo Mari Biography projects and works | Italian design at Casati Gallery [Internet]. casatigallery.com.
URL: https://www.casatigallery.com/designers/enzo-mari/
Data di accesso: 12/06/2025

[38] Autoprogettazione Revisited | Abitare [Internet]. abitare.it.
URL: https://www.abitare.it/en/events/2009/09/30/autoprogettazione-revisited-2/
Data di accesso: 09/09/2025

[39] Droog Design, trentenni e modernissimi | Triennale Milano [Internet]. triennale.org.
URL: https://triennale.org/magazine/droog-design-trentenni-modernissimi
Data di accesso: 11/09/2025

[40] MARTÍ GUIXÉ - PRODUCT | DO SCRATCH [Internet]. guixe.com.
URL: https://www.guixe.com/products/guixe_product_do_scratch.html
Data di accesso: 11/09/2025

[41] Curro Claret: il design è politico | Marco Sironi [Internet]. doppiozero.com.
URL: https://www.doppiozero.com/curro-claret-il-design-e-politico
Data di accesso: 12/09/2025

[42] Salvaged materials form chairs in Curro Claret's More Than This collection [Internet]. dezeen.com.
URL: https://www.dezeen.com/2014/06/13/more-than-this-chairs-curro-claret-barcelona/
Data di accesso: 12/09/2025

[43] Curro Claret - Product Designer [Internet]. curroclaret.com. 05 dicembre 2012.
URL: https://www.curroclaret.com/en/bio.html
Data di accesso: 12/09/2025

[44] Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Health Statistics. Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, August 2021–August 2023. 2025, serie 3, n. 50.

[45] Bruno, S.; Machado, J.; Soares, F.; Carvalho, V.; Matos, D.; Bezerra, K. The Conceptual Design of a Mechatronic System to Handle Bedridden Elderly Individuals. Sensors. 2016, 16 (5), articolo 725.

[46] Strutture reticolari: innovazione e stabilità per l'architettura moderna - BibLus [Internet]. biblus.acca.it.
URL: https://biblus.acca.it/strutture-reticolari-innovazione-e-stabilita-per-l-architettura-moderna/
Data di accesso: 01/10/2025

[47] Arches - Designing Buildings [Internet]. designingbuildings.co.uk.
URL: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Arches#Introduction
Data di accesso: 05/10/2025

[48] La matematica dei ponti - Prisma Magazine [Internet]. prismamagazine.it.
URL: https://www.prismamagazine.it/2024/03/12/la-matematica-dei-ponti/
Data di accesso: 05/10/2025

[49] Fillet vs Chamfer: A Comprehensive Technical Guide for Engineers [Internet]. wevolver.com. 30 maggio 2025
https://www.wevolver.com/article/fillet-vs-chamfer-a-comprehensive-technical-guide-for-engineers
Data di accesso: 04/10/2025

[50] Nervatura [Internet]. teknoring.com.
URL: https://www.teknoring.com/wikitecnica/costruzioni/nervatura/
Data di accesso: 13/10/2025

[51] Progettazione delle nervature per stampaggio a iniezione: elementi essenziali per una resistenza ottimale delle parti [Internet]. moldie.net.
URL: https://moldie.net/it/injection-molding-rib-design/
Data di accesso: 13/10/2025

[52] G. Malucelli. 08_Compositi & Plastiche fibrorinforzate. [Presentazione Power-Point]. 03NBYWT Design dell'esplorazione. Politecnico di Torino. 2024-2025.

[53] ARCH'IT files / Form-finding come metodo di design [Internet]. architettura.it.
URL: http://architettura.it/files/2004021003/index.htm
Data di accesso: 12/05/2025

[54] Huerta, S. Structural Design in the Work of Gaudí. Architectural Science Review. 2006, 49.4, 324-339.

[55] Fusion 360 Introduction to Generative Design | Autodesk University [Internet]. autodesk.com
URL: https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Fusion-360-Introduction-Generative-Design
Data di accesso: 28/09/2025

[56] Buonamici, F.; Carfagni, M.; Furferi, R.; Volpe, Y.; Governi, L. Generative Design: An Explorative Study. Computer-Aided Design & Applications. 2021, 18, 144-155.

[57] Saadi, J.I.; Yang, M.C. Generative Design: Reframing the Role of the Designer in Early-Stage- Design Process. Journal of Mechanical Design. 2023, 145

[58] What Is Generative Design? – Simply Explained [Internet]. All3dp.com.
URL: https://all3dp.com/2/generative-design-simply-explained/
Data di accesso: 23/04/2025

[59] Genetic Algorithms | Generative Design Primer [Internet]. Generativedesign.org.
URL: https://www.generativedesign.org/02-deeper-dive/02-04_genetic-algorithms
Data di accesso. 03/05/2025

[60] Machine Learning | Generative Design Primer [Internet]. Generativedesign.org.
URL: https://www.generativedesign.org/06-next-steps/06-01_machine-learning
Data di accesso: 04/05/2025

[61] Machine learning tutorial | GeeksforGeeks [Internet]. Geeksforgeeks.org.
URL: https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/
Data di accesso: 04/05/2025

[62] Cos'è il machine learning? Spiegazione del machine learning per le aziende - AWS [Internet]. aws.amazon.com.
URL: https://aws.amazon.com/it/what-is/machine-learning/
Data di accesso: 04/05/2025

[63] Vlah, D.; Žavbi, R.; Vukašinović, N. Evaluation of topology optimization and generative design tools as support for conceptual design. Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference. 2020, 1, 451–460

[64] Tang, T.; Wang, L.; Zhu, M.; Zhang, H.; Dong, J.; Yue, W.; Xia, H. Topology Optimization: A Review for Structural Designs Under Statics Problems. Materials. 2024, 17.

[65] Caetano, I.; Santos, L.; Leitão, A. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. 2020, 9, 287-300.

[66] What is Generative Design, its applications and its benefits? [Internet]. engineeringproductdesign.com.
URL: https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/generative-design/
Data di accesso: 17/05/2025

[67] A. Salmi. Fabbricazione additiva. La progettazione per la fabbricazione additiva. [Presentazione Power-Point]. 03NBZLH Design per l'industrializzazione. Politecnico di Torino. 2023-2024.

[68] Generative Design: Short Introduction [+Examples] [Internet]. bigrep.com.
URL: https://bigrep.com/posts/generative-design/
Data di accesso: 18/05/2025

[69] philippe starck on dematerialization, bionism and his A.I. chair for kartell [Internet]. designboom.com.
URL: https://www.designboom.com/design/philippe-starck-ai-chair-kartell-interview-11-10-2020/
Data di accesso: 15/09/2025

[70] So. Algorithms Are Designing Chairs Now | WIRED [Internet]. www.wired.com.
URL: https://www.wired.com/2016/10/elbo-chair-autodesk-algorithm/
Data di accesso: 03/06/2025

[71] Tamu by Patrick Jouin iD and Dassault Systèmes [Internet]. patrickjouin.com.
URL: https://www.patrickjouin.com/en/projects/tamu-1446.html
Data di accesso: 21/07/2025

[72] Ta.Tamu by Patrick Jouin iD & Dassault [Internet]. patrickjouin.com.
URL: Systèmeshttps://www.patrickjouin.com/en/projects/tatamu-1588.html
Data di accesso: 16/07/2025

[73] Bone Chair | Joris Laarman [Internet]. jorislaarman.com.
URL: https://www.jorislaarman.com/work/bone-chair/
Data di acesso: 18/09/2025

[74] Hemmerling, M.; Nether, U. Generico: A case study on performance-based design. Blucher Design Proceedings. 2014, 1(8), 126-128.

[75] Zaha Hadid Co|de & Stratasys [Internet]. altair.com.
URL: https://altair.com/customer-story/zaha-hadid-3d-printed-chair
Data di accesso: 21/09/2025

[76] Stratasys to Showcase Zaha Hadid's Visionary Parametrically Designed 3D Printed Chair Prototype - 3DPrint.com | Additive Manufacturing Business [Internet]. 3dprint.com
URL: https://3dprint.com/137157/stratasys-zaha-hadid-3dp-chair/
Data di accesso: 21/09/2025

[77] Henri Canivez's 3D Printed Data Stool Will Be Unique to You | 3DPrint.com | Additive Manufacturing Business [Internet]. 3dprint.com. 29 ottobre 2018.
URL: https://3dprint.com/228658/henri-canivezs-3d-printed-data-stool-will-be-unique-to-you/
Data di accesso: 20/09/2025

[78] Obiettivi dell'Agenda 2030 in Italia: il riuso come motore di sostenibilità - Publimedia Italia S.r.l. [Internet]. publimediaitalia.com.
URL: https://www.publimediaitalia.com/2025/07/18/obiettivi-dellagenda-2030-in-italia-il-riuso-come-motore-di-sostenibilita/
Data di accesso: 26/12/2025

[79] Legno di faggio: usi e caratteristiche - Favari Mobili [Internet]. favarimobili.it.
URL: https://www.favarimobili.it/legno-di-faggio-usi-e-caratteristiche/
Data di accesso: 05/01/2026

[80] Tutto quello che devi sapere sui fumi della stampa 3D - ELEGOO EU [Internet]. eu.elegoo.com.
URL: https://eu.elegoo.com/it-it/blogs/learn/tutto-quello-che-devi-sapere-sui-fumi-della-stampa-3d?srsltid=AfmBOoqsOgakZ62jkIH6-MyzQ7B9iU4gDWohKIrnpBvBnN_62qKV4t5i
Data di accesso: 05/01/2025

[81] SUNLU PLA+ 2.0, PLA Plus series 3D Printer Filaments - SUNLU Online Store [Internet]. sotre.sunlu.com.
URL: https://store.sunlu.com/it-it/products/moq-6kg-pla-2-0-upgraded-pla-pla-plus-3d-printer-filament-1kg
Data di accesso: 05/01/2026

Iconografia

Figura 1.1
Gio Ponti e suo figlio Giulio con due sedie Superleggera.
https://www.casatigallery.com/the-superleggera-chair-designed-by-gio-ponti/

Figura 1.2
Bambino che dimostra la leggerezza della Superleggera.
https://www.artebella.it/vintage-o-visionario-il-fascino-intramontabile-del-modernariato-nel-design-contemporaneo

Figura 1.3
Donna che pesa una Superleggera.
https://joseangelgonzalez.com/giorgio-casali/

Figura 1.4
Donna che dondola su una Superleggera.
https://www.ad-italia.it/article/italian-design-day-2024-programma-mondo/

Figura 1.5
No. 14 imballata per il trasporto
https://www.domusweb.it/it/design/gallery/2020/02/06/thonet-no-14-larchetipo-della-sedia-moderna.html

Figura 1.6
Equilibrista su due No. 14.
https://www.domusweb.it/it/design/gallery/2020/02/06/thonet-no-14-larchetipo-della-sedia-moderna.html

Figura 1.7
Sedia Windsor low-back.
https://americanantiqueart.com/product-category/americana-in-the-folk-tradition/windsor-chairs/

Figura 1.8
Sedia Windsor comb-back.
https://auctionet.com/en/2568705-an-oak-stickback-elbow-chair/images#image_1

Figura 1.9
Sedie per la Hill House, Charles Rennie Mackintosh.
https://www.jacksons.se/products/ladderback-chair-191118

Figura 1.10
Sedia per la miss Cranston's willow tea rooms, Charles Rennie Mackintosh.
https://www.lamodern.com/auctions/2024/07/design/171

Figura 1.11
Statua di Orfeo seduto su una sedia Klismos.
https://mediterraneoantico.it/articoli/news/torna-in-italia-lo-straordinario-gruppo-scultoreo-di-orfeo-e-le-sirene/

Figura 1.12
Sedia Klismos di T.H. Robsjohn-Gibbings.
https://www.thespacedetroit.com/the-space-detroit/klismos

Figura 1.13
Tre sedie ad angolo per il Toscana Restaurant di New York, Piero Sartogo e Nathalie Grenon.
http://www.sartogoarchitetti.it/index.php?/design/tuscana/

Figura 1.14
Due sedie ad angolo per il Toscana Restaurant di New York, Piero Sartogo e Nathalie Grenon.
http://www.sartogoarchitetti.it/index.php?/design/tuscana/

Figura 1.15
BA1171, Helmut Bätzner, Bofinger.
https://8hollandstreet.com/artworks/13995-helmut-batzner-bofinger-ba1171-chair-in-red/

Figura 1.16
Selene, Vico Magistretti, Artemide.
https://www.artsy.net/artwork/vico-magistretti-selene-chair

Figura 1.17
Elisabeth (Lis) Volger su una B3 di Marcel Breuer.
https://www.domusweb.it/en/architecture/2014/07/28/backstage_bauhaus.html

Figura 1.18
OMSTAK, Rodney Kinsman, OMK.
https://www.omk1965.com/product-page/omkstak-classic

Figura 1.19
Prototipo di cantilever, Mart Stam.
http://ilmiofilo.blogspot.com/2015/10/parliamo-di-design-mart-stam-e-la-sua.html

Figura 1.20
MR20, Ludwig Mies van der Rohe, Thonet.
https://shop.bauhaus-movement.com/mies-van-der-rohe-cantilever-chair-s-533-l/

Figura 1.21
Cesca, Marcel Breuer, Gavina.
https://www.studioitalia.co.nz/products/cesca-chair?srsltid=AfmBOop-XR3ZMg0U95axHObeK9FsnHJ38vS_37YAjqA5RZOcfT-1h0jS

Figura 1.22
Prototipo Panton Chair, Verner Panton, Vitra.
https://www.vitra.com/it-it/product/panton-chair-classic/1000

Figura 1.23
Florence Knoll e Eero Saarinen con prototipo Tulip.
https://www.nest.co.uk/design-icon-knoll-saarinen-tulip-chair?srsltid=AfmBOoqlqE_PuoyyKVjzueL6FixIbfnnJPEPHVfwpmEeB64gajOdI7EM

Figura 1.24
Knoll, Advertisement di Massimo Vignelli per Tulip, 1969.
https://www.archiproducts.com/it/notizie/storia-della-pubblicita-dell-arredo_89220

Figura 1.25
Arne Jacobsen sulla Swan Chair.
https://chairblog.eu/2023/02/03/arne-jacobsen-in-his-swan-chair/

Figura 1.26
Tulip Midi, Pierre Paulin, Artifort.
https://www.artifort.com/Collection/Chairs/Little-Tulip

Figura 1.27
Sgabello 60, Alavar Aalto, Artek.
https://www.ad-italia.it/gallery/sgabello-stool-60-alvar-aalto-artek-edizioni-speciali-mostra/

Figura 1.28
Dettaglio sgabello 60, Alvar Aalto, Artek.
https://webstorejapan.artek.fi/blogs/feature-stories/stool-60-receives-the-long-life-design-award-2019

Figura 1.29
Sella, Achille e Pier Giacomo Castiglioni, Zanotta.
https://www.dtimeshop.com/prodotto/sella-sgabello-zanotta/?srsltid=AfmBOoqj50eUJoRwgU9jcgkIPqN1HKeD8ANhkrYhVJOTqsixszpwMpx5

Figura 1.30
Mezzadro, Achille e Pier Giacomo Castiglioni, Zanotta.
https://designstreet.it/mezzadro-fratelli-castiglioni/

Figura 1.31
Superonda, Archizoom.
https://designstreet.it/divano-superonda-archizoom-poltronova/

Figura 1.32
Pratone, G. Ceretti, P. Derossi, R. Rosso, Gufram.
https://www.mohd.it/it/magazine/gufram-50-anni-pratone/

Figura 1.33
I tre livelli dell'Emotional Design, Donald Norman.
https://www.researchgate.net/figure/levels-of-emotional-design_fig3_259524711

Figura 1.34
Modello di Pine e Gilmore.
https://hbr.org/1998/07/welcome-to-the-experience-economy

Figura 1.35
Rielaborazione dei tre livelli dell'Emotional Design, Donald Norman.
https://medium.muz.li/the-art-of-emotion-normans-3-levels-of-emotional-design-88a1fb495b1d

Figura 1.36
Posizionamento dei casi studio in funzione di passivo/attivo e funzionale/emozionale.

Figura 1.37
Dettaglio di una mano che inserisce una vite nel legno.
https://www.freepik.com/free-photo/close-up-hand-holding-nail-wood_9756092.htm#fromView=search&page=2&position=37&uuid=9f1baece-aa03-4f6b-835e-c1d84a953e06&query=carpenter

Figura 1.38
Poltroncina Crate, Gerrit Rietveld.
https://modern-living.be/product/crate-chair-in-the-manner-of-gerrit-rietveld/

Figura 1.39
Sedia Crate, Gerrit Rietveld.
https://www.mutualart.com/Artwork/Crate-chair/AAD348FC6F1FEE0DED0CE5B07F293342

Figura 1.40
Catalogo weekend meubelene (Crate Furniture).
https://vandenbruinhorst.com/en/portfolio/gerrit-rietveld-krat-bureau-en/

Figura 1.41
Enzo Mari e i modelli di arredo contenuti in "Proposta per un'autoprogettazione".
https://www.esquire.com/it/cultura/arte-design/a34423072/enzo-mari-designer-morto/

Figura 1.42
Arredi contenuti in "Proposta per un'autoprogettazione".
https://ideat.fr/enzo-mari-une-expo-pour-rendre-hommage-au-plus-revolutionnaire-des-designers/

Figura 1.43
Enzo Mari e la sedia P.
https://shop.designmiami.com/blogs/news/open-book

Figura 1.44
Do Hit chair, Marijn Van der Poll.
https://www.droog.com/projects/do-hit-chair-by-marijn-van-der-poll/

Figura 1.45
Invito alla "Do Create" exhibition.
https://www.droog.com/projects/do-create-in-milan-2/

Figura 1.46
Rag chair, Tejo Remy.
https://www.droog.com/projects/rag-chair-by-tejo-remy/

Figura 1.47
Sgabelli realizzati con la Pieza T300.
https://lucapereiro.wordpress.com/2017/11/01/la-pieza-t300-_-un-taller-con-curro-claret/

Figura 1.48
Pieza T300.
https://lucapereiro.wordpress.com/2017/11/01/la-pieza-t300-_-un-taller-con-curro-claret/

Figura 1.49
Sgabello realizzato con la Pieza T300.
https://redovaleropfc.wordpress.com/2017/10/26/pieza-t300-taller-con-curro-claret/

Figura 2.1
Torre Eiffel, Gustave Eiffel.
https://www.parisinsidersguide.com/history-of-the-eiffel-tower-2.html

Figura 2.2
Abitacolo, Bruno Munari, Robots S.p.a..
https://www.centoventigrammi.it/il-negozio-altalene/munari-abitacolo-01/

Figura 2.3
Wire Chair, Charles & Ray Eames, Vitra.
https://www.vitra.com/it-it/product/wire-chair?srsltid=AfmBOook07M12H6_DBKOB5jDxWAFTT4TpOmmbwFKPhULQ1aAdKLvVwDb

Figura 2.4
Casa Milà, Antoni Gaudí.
https://www.mreamerimages.com/barcelona-port

Figura 2.5
Heydar Aliyev Center, Zaha Hadid.
https://archello.com/project/heydar-aliyev-center

Figura 2.6
Arc Table, Mike Holland, Molteni.
https://www.anitaliandesignstory.com/en/icons/arc-table

Figura 2.7
Gateway Arc, Eero Saarinen, Hannskarl Bandel.
https://paacademy.com/blog/gateway-arch-americas-gateway-to-the-west

Figura 2.8
Profilo Panton Chair, Verner Panton, Vitra.
https://www.einrichten-design.com/en_en/panton-chair-classic-chair-vitra.html

Figura 2.9
Schienale Panton Chair, Verner Panton, Vitra.
https://www.einrichten-design.com/en_en/panton-chair-classic-chair-vitra.html

Figura 2.10
TWA Terminal, Eero Saarinen.
https://sheyn.at/airportdesigns/

Figura 2.11
Tulip Armchair, Eero Saarinen.
https://www.1stdibs.com/it/designs/tulip-arm-chair/

Figura 2.12
Palazzetto dello sport di Roma, Pier Luigi Nervi.
https://divisare.com/projects/384547-pier-luigi-nervi-mi-chenxing-palazzetto-dello-sport

Figura 2.13
Palazzo del Lavoro, Pier Luigi Nervi.
http://www.stilemarete.it/articoli/item/64-mostra-nervi

Figura 2.14
C-Lite, Samsonite.
https://www.samsonite.it/c-lite-spinner-69cm--ivory-gold/122860-1173.html

Figura 2.15
Villette chair, Philippe Starck.
https://www.wright20.com/auctions/2013/09/living-contemporary/125

Figura 2.16
Pannello Reboard.
https://issuu.com/holboxbv/docs/instore13_en_03-07-2023_v1_sd-hr/s/27994427

Figura 2.17
Pannello Panelite.
https://materialdistrict.com/material/panelite/

Figura 2.18
Infill FDM.
https://www.hubs.com/knowledge-base/selecting-optimal-shell-and-infill-parameters-fdm-3d-printing/

Figura 2.19
HEXR Helmet.
https://www.01factory.it/sicuri-bici-con-caschi-personalizzati-stampati-3d/

Figura 2.20
Modelli funicolari, Antoni Gaudí.
https://atmosphericfront.wordpress.com/2011/10/30/gaudi-catenary-curves-and-other-sources-of-inspiration/

Figura 2.21
Modello di una torre di raffreddamento, Frei Otto.
https://www.archdaily.com/610531/frei-otto-and-the-importance-of-experimentation-in-architecture

Figura 2.22
Modello del ponte sull'Astico, Sergio Musmeci.
https://www.espazium.ch/de/aktuelles/stahlbeton-seifenblasen-und-modelle

Figura 2.23
Modello di guscio, Heinz Isler.
https://arch.ethz.ch/en/news-und-veranstaltungen/news-kanal/2024/08/heinz-isler-has-been-the-most-prolific-shell-builder-in-the-world.html

Figura 2.24
Telaio di uno space lander in generative design, Autodesk e NASA's Jet Propulsion Laboratory
https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/it/ai-the-other-designer-in-the-room/

Figura 2.25
Pinza monoblocco per Bugatti Chiron in generative design e stampa 3D, Bugatti.
https://newsroom.bugatti.com/de/pressemeldungen/weltpremiere-bremssattel-aus-dem-3d-drucker

Figura 2.26
Forcellone per bici elettrica LS-218 in generative design e stampa 3D, Autodesk.
https://blogs.autodesk.com/inthefold/generative-design-technology-makes-commercial-debut-fusion-360-ultimate/

Figura 2.27
Hangzhou Olympic Sport Center, NBBJ Architects.
https://www.nbbj.com/work/hangzhou-olympic-sports-center

Figura 2.28
Interni della Qatar Integrated Railway, UNstudio.
https://www.unstudio.com/projects/doha-metro/

Figura 2.29
Componente realizzato in generative design, NASA.
https://www.dezeen.com/2023/03/06/nasa-uses-ai-to-design-hardware-that-is-three-times-better-in-performance/

Figura 2.30
Morpheus Hotel, Zaha Hadid Architects.
https://www.archdaily.com/896433/morpheus-hotel-zaha-hadid-architects

Figura 2.31
A.I. Chair, Philipe Starck, Kartell.
https://www.dezeen.com/2019/04/11/ai-chair-philippe-starck-kartell-autodesk-artificial-intelligence-video/

Figura 2.32
A.I. Stool, Philipe Starck, Kartell.
https://www.starck.com/a-i-stool-kartell-p4379

Figura 2.33
Elbo chair, Arthur Harsuvanakit e Brittany Presten, Autodesk's generative design lab.
http://www.arthurharsuvanakit.com/new-page-1

Figura 2.34
Produzione Elbo chair.
https://ideat.fr/elbo-chair-et-lordinateur-cocrea-une-chaise/

Figura 2.35
Tamu chair, Patrick Jouin.
https://www.patrickjouin.com/en/projects/tamu-1446.html

Figura 2.36
Produzione Ta. Tamu chair.
https://www.patrickjouin.com/en/projects/tatamu-1588.html

Figura 2.37
Bone chair, Joris Laarman.
https://www.phillips.com/detail/joris-laarman/170203

Figura 2.38
Joris Laarman e la sua Bone chair.
https://materialdistrict.com/article/joris-laarman-parts-and-more/

Figura 2.39
Generico chair, Marco Hemmerling e Ulrich Nether.
https://www.yankodesign.com/2019/01/29/parametrically-designed-generico-chair-takes-on-your-weight-with-half-the-volume/

Figura 2.40
Dettaglio Generico chair.
https://www.yankodesign.com/2019/01/29/parametrically-designed-generico-chair-takes-on-your-weight-with-half-the-volume/

Figura 2.41
3D printed chair, Zaha Hadid Architects.
https://altair.com/customer-story/zaha-hadid-3d-printed-chair

Figura 2.42
Campione di superficie 3D printed chair.
https://altair.com/customer-story/zaha-hadid-3d-printed-chair

Figura 2.43
Dettaglio Data stool.
https://frameweb.com/article/if-we-hyper-personalize-furniture-does-that-mean-were-limiting-its-social-use

Figura 2.44
Data stool, Henri Canivez.
https://frameweb.com/article/if-we-hyper-personalize-furniture-does-that-mean-were-limiting-its-social-use

Figura 3.1
Avalanche, Tadashi Kawamata.
https://www.doverstreetmarketparis.com/pages/avalanche-by-tadashi-kawamata

Figura 3.2
Tondi in legno.
https://www.freepik.com/free-photo/bamboo-straws-top-view-background_11294488.htm

Figura 3.3
Bobina di PLA.

Figura 3.4
Cavalcadondolo.

Figura 3.5
Dettaglio slitte Cavalcadondolo.

Figura 3.6
Dettaglio giunto a T Cavalcadondolo.

Figura 3.7
Cavalcapendolo.

Figura 3.8
Dettaglio giunto Cavalcapendolo.

Figura 3.9
Dettaglio slitta Cavalcapendolo.

Figura 3.10
Cavalcarodeo.

Figura 3.11
Dettaglio A, calotta Cavalcarodeo.

Figura 3.12
Dettaglio B, calotta Cavalcarodeo.

Figura 3.13
Dondolo Portami.

Figura 3.14
Dettaglio A, giunto anteriore Dondolo Portami.

Figura 3.15
Dettaglio B, giunto anteriore Dondolo Portami.

Figura 3.16
Dondolo Cullami.

Figura 3.17
Dettaglio giunto posteriore Dondolo Cullami.

Figura 3.18
Dondoli Cullami e Portami.

Figura 3.19
Cavalcadondolo, Cavalcapendolo, Cavalcarodeo.

Figura 3.20
Dondolo Portami e Dondolo Cullami.

Figura 3.21
Posizionamento dei modelli esperienziale in funzione di passivo/attivo e funzionale/emozionale.

Figura 3.22
Prototipazione giunto a T.

Figura 3.23
Dettaglio A, prototipazione giunto a T.

Figura 3.24
Dettaglio B, prototipazione giunto a T.

Figura 3.25
Dettaglio A, prototipazione slitta.

Figura 3.26
Dettaglio B, prototipazione slitta.

Figura 3.27
Dettaglio A, prototipazione calotta.

Figura 3.28
Dettaglio B, prototipazione calotta.

Casi studio
Sedersi: tra esperienzialità e design

Do Hit-Chair / Marijn van der Poll / Droog Design / 2000
Sinistra: https://www.droog.com/projects/do-hit-chair-by-marijn-van-der-poll/
Destra: https://www.fels.world/collection/p/rag-chair-tejo-remy

Rag chair / Tejo Remy / Droog Design / 1991
Sinistra: https://www.fels.world/collection/p/rag-chair-tejo-remy
Destra: https://www.fels.world/collection/p/rag-chair-tejo-remy

Saddle seat / Masahiko Ito / 2018
Sinistra: https://www.dezeen.com/2018/07/20/masahiko-ito-kingston-school-art-school-chair-saddle-seat-furniture-design/
Destra: https://www.dezeen.com/2018/07/20/masahiko-ito-kingston-school-art-school-chair-saddle-seat-furniture-design/

Tree trunk bench / Jurgen Bey / Droog Design / 1998
https://www.droog.com/projects/tree-trunk-bench-by-jurgen-bey/#gallery-2

Machimoto / Giorgetto Giugiaro / Italdesign / 1986
https://www.italdesign.it/it/project/machimoto/

Pratone / G. Ceretti, P. Derossi, R. Rosso / Gufram / 1971
https://gufram.it/prodotti/pratone/

Trotter / Rogier Martens / Magis / 2014
https://www.dellachiara.it/shop/kids/trotter-sedia-per-bambini/?srsltid=AfmBOorqGQjeaL6up5TBKTI7CrQyPYAsmwGbBgHGyF9m1pZjzlpVhJrZ

Canvas / YOY / 2013
Sinistra: https://yoy-idea.jp/works/canvas/
Destra: https://yoy-idea.jp/works/canvas/

Schaukel-Fauteuil No. 1 / Thonet / 1860
Sinistra: https://www.dexigner.com/news/18475
Destra: https://www.dexigner.com/news/18475

Sella / Achille e Pier Giacomo Castiglioni / Zanotta / 1957
Sinistra: https://www.vintage-design-point.be/product/super-sella-stool-by-achille-et-pier-giacomo-castiglioni-for-zanotta/
Destra: https://www.vintage-design-point.be/product/super-sella-stool-by-achille-et-pier-giacomo-castiglioni-for-zanotta/

Swing / Denis Santachiara / Domodinamica / 1990
Sinistra: https://www.incanto.auction/it/asta-0211/santachiara-denis-denis-santachiara-poltrona-basculante-mod-swing-48826
Destra: https://www.incanto.auction/it/asta-0211/santachiara-denis-denis-santachiara-poltrona-basculante-mod-swing-48826

Spun / Thomas Heatherwick / Magis / 2010
Sinistra: https://hauslondon.com/products/spun-chair-magis-thomas-heatherwick?srsltid=AfmBOopF7xbPZJALL6iQ6-MhuSyqx_cZAnJCzkFrNMM6NSKOxYv3CwYL
Destra: https://hauslondon.com/products/spun-chair-magis-thomas-heatherwick?srsltid=AfmBOopF7xbPZJALL6iQ6-MhuSyqx_cZAnJCzkFrNMM6NSKOxYv3CwYL

Monarchy / Yiannis Ghikas / 2009
https://www.yiannisghikas.com/?ds-gallery=monarchy

Variable / Peter Opsvik / Varier / 1979
Sinistra: https://cattelan.it/blog/la-migliore-sedia-ergonomica-e-variable-balans/
Destra: https://www.suardi.com/prodotto/variable/

Bubble Suspended Armchair / Eero Aarnio / Adelta / 1968
https://www.aarnioorginals.com/cdn/shop/files/Aarnio_Originals_Bubble_Product_2_1600x.jpg

Tip Ton RE / Edward Barber & Jay Osgerby / Vitra / 2020
https://www.vitra.com/it-it/product/details/tip-ton-re?srsltid=AfmBOoqeQXG0eK5MQKC6asWST7uZfFrgYyvA0aqXR6yRo8CJByNrQxve

Villette chair / Philippe Starck / 1984
https://www.wright20.com/auctions/2013/09/living-contemporary/125

Come a Little Bit Closer Bench / Nina Farkache / Droog Design / 2001
https://www.droog.com/projects/come-a-little-bit-closer-bench-by-nina-farkache/

Modified social benches / Jeppe Hein / 2005
https://www.jeppehein.net/fullscreen.php?name=Modified%20Social%20Benches%20for%20Lemvig&path=img_publics&id=255&index=0

Wellness ball / Technogym / 2013
Sinistra: https://likeceosk.click/product_details/117840811.html
Destra: https://www.technogym.com/it-IT/product/wellness-ball-active-sitting_A0001258.html

Tripp Trapp / Peter Opsvik / Stokke / 1972
Sinistra: https://www.stokke.com/ITA/it-it/seggioloni/tripp-trapp/1001.html
Destra: https://www.stokke.com/en-am/high-chairs/tripp-trapp/1001.html

Multichair / Joe Colombo / B-Line / 1970
https://www.b-line.it/multichair-by-joe-colombo-50-anni-di-attualita-senza-tempo/

Terra! / Studio Nucleo / Nforniture / 2000
https://www.castorina.com.au/stories/terra-chair-by-studio-nucleo

Erbi / Stilfibra / 2023
https://stilfibra.com

Panchina gigante / Chris Bangle / 2010
https://visitmondovi.it/panchine-giganti-bangle-paradosso/

Sugar chair / Pieter Brenner / 2011
Sinistra: http://www.sugarchair.com
Destra: http://www.sugarchair.com

Panca Play / Denis Santachiara / 2016
Sinistra: https://www.marmomac.com/portfolio/play-panca/
Destra: https://www.marmomac.com/portfolio/play-panca/

Mies / Archizoom / Poltronova / 1969
https://dnkey.it/brands/poltronova

Soft marble / Maurizio Galante / Cerruti Baleri / 2012
Sinistra: https://www.artsy.net/artwork/maurizio-galante-and-tal-lancman-louis-xv-goes-to-sparta-armchair
Destra: https://www.lahkn.shop/?path=page/ggitem&ggpid=328984

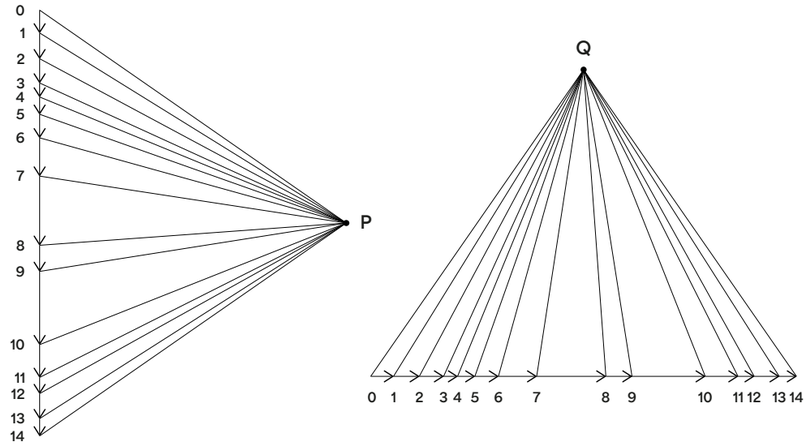
Height hacks / Lynn Gong / 2023
https://designanthologyuk.com/article/milan-design-week-2025-preview-part-2/

Sacco / P. Gatti, C. Paolini, F. Teodoro / Zanotta / 1968
Sinistra: https://www.moobilia.it/prodotto/sacco-zanotta/?srsltid=AfmBOop2GWu0Ouw7HXu5dnbYEUSXFA4WqAMsHxfcR1G9_Z72XLriO2e0
Destra: https://www.finestresullarte.info/opere-e-artisti/la-poltrona-sacco-sedile-piu-rivoluzionario-di-sempre

Singer / Bruno Munari / Zanotta / 1945
https://www.galeriajarouche.com/loja/cadeiras/singer/

Allegati

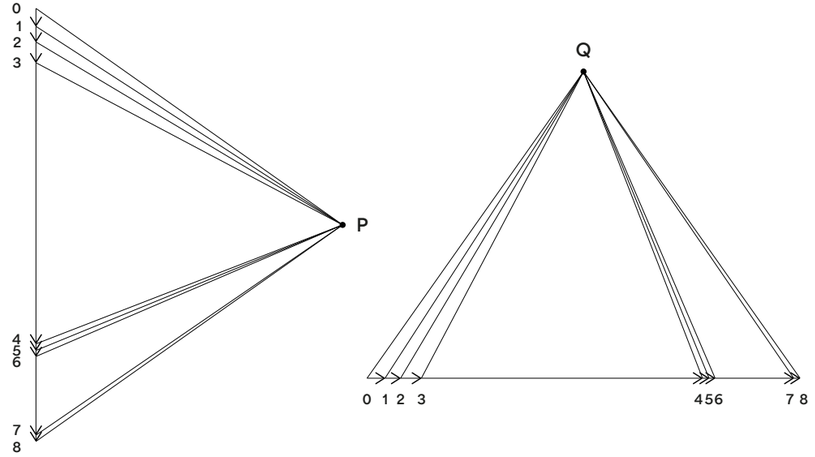
Diagramma polare 1 | 1 mm = 0,6 N



$\mathbf{V_1}$ = 41.594 mm³
$\mathbf{V_2}$ = 46.567 mm³
$\mathbf{V_3}$ = 43.744 mm³
$\mathbf{V_4}$ = 51.573 mm³
$\mathbf{V_5}$ = 63.288 mm³
$\mathbf{V_6}$ = 42.457 mm³
$\mathbf{V_7}$ = 68.524 mm³
$\mathbf{V_8}$ = 126.368 mm³
$\mathbf{V_9}$ = 87.620 mm³
$\mathbf{V_{10}}$ = 127.656 mm³
$\mathbf{V_{11}}$ = 109.124 mm³
$\mathbf{V_{12}}$ = 59.374 mm³
$\mathbf{V_{13}}$ = 45.542 mm³
$\mathbf{V_{14}}$ = 63.566 mm³
$\mathbf{d_{wa}}$ = 0,00076 g/mm³
$\mathbf{d_{wb}}$ = 0,00083 g/mm³

$\mathbf{F_1} = V_1 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}31\ N \cdot 2 = 0{,}62\ N$
$\mathbf{F_2} = V_2 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}35\ N \cdot 2 = 0{,}70\ N$
$\mathbf{F_3} = V_3 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}33\ N \cdot 2 = 0{,}66\ N$
$\mathbf{F_4} = V_4 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}38\ N$
$\mathbf{F_5} = V_5 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}47\ N$
$\mathbf{F_6} = V_6 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}32\ N \cdot 2 = 0{,}64\ N$
$\mathbf{F_7} = V_7 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}51\ N \cdot 2 = 1{,}02$
$\mathbf{F_8} = V_8 \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}94\ N \cdot 2 = 1{,}88$
$\mathbf{F_9} = V_9 \cdot d_{wb} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}71\ N$
$\mathbf{F_{10}} = V_{10} \cdot d_{wb} \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}04\ N \cdot 2 = 2{,}08\ N$
$\mathbf{F_{11}} = V_{11} \cdot d_{wb} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}89\ N$
$\mathbf{F_{12}} = V_{12} \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}44\ N$
$\mathbf{F_{13}} = V_{13} \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}34\ N \cdot 2 = 0{,}68\ N$
$\mathbf{F_{14}} = V_{14} \cdot d_{wa} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}47\ N$
$\mathbf{F_{tot}}$ = 11,64 N

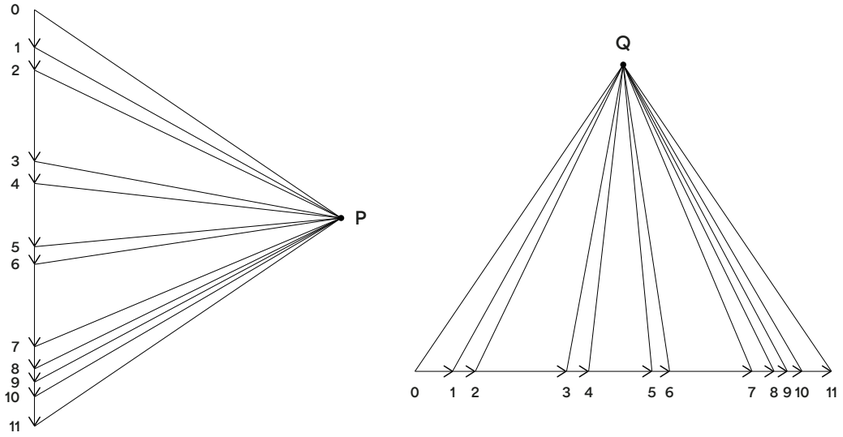
Diagramma polare 2 | 1 mm = 6 N



$\mathbf{V_1}$ = 16.038 mm³
$\mathbf{V_2}$ = 1.111 mm³
$\mathbf{V_3}$ = 13.975 mm³
$\mathbf{V_4}$ = 18.512 mm³
$\mathbf{V_5}$ = 499. 290 mm³
$\mathbf{V_6}$ = 2.132 mm³
$\mathbf{V_7}$ = 11.639 mm³
$\mathbf{V_8}$ = 343 mm³
$\mathbf{V_9}$ = 5.383 mm³
$\mathbf{V_{10}}$ = 139.773 mm³
$\mathbf{V_{11}}$ = 2.802 mm³
$\mathbf{V_{12}}$ = 11.217 mm³
$\mathbf{d_s}$ = 0,0078 g/mm³

$\mathbf{F_1} = V_1 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}22\ N \cdot 2 = 2{,}44\ N$
$\mathbf{F_2} = V_2 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}06\ N \cdot 2 = 2{,}12\ N$
$\mathbf{F_3} = V_3 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}41\ N \cdot 2 = 2{,}82\ N$
$\mathbf{F_4} = V_4 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 38{,}2\ N$
$\mathbf{F_5} = V_5 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}89\ N$
$\mathbf{F_6} = V_6 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}41\ N \cdot 2 = 0{,}82\ N$
$\mathbf{F_7} = V_7 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 10{,}69\ N$
$\mathbf{F_8} = V_8 \cdot d_s \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}85\ N$
$\mathbf{F_{tot}}$ = 59,57 N

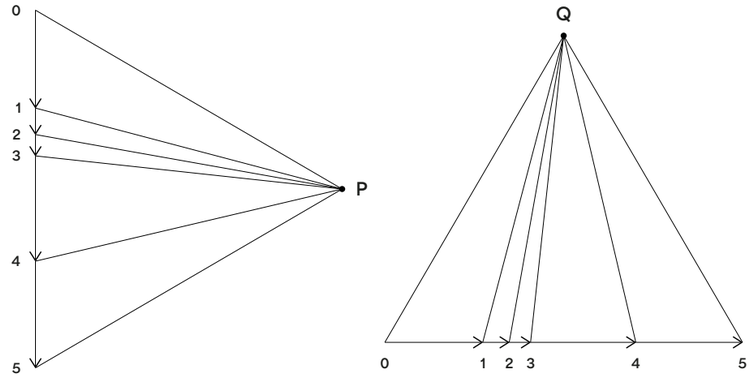
Diagramma polare 3 | 1 mm = 1,2 N



$\mathbf{V_1}$ = 67.818 mm³
$\mathbf{V_2}$ = 19.685 mm³
$\mathbf{V_3}$ = 80.901 mm³
$\mathbf{V_4}$ = 18.958 mm³
$\mathbf{V_5}$ = 56.814 mm³
$\mathbf{V_6}$ = 15.203 mm³
$\mathbf{V_7}$ = 73.107 mm³
$\mathbf{V_8}$ = 18.978 mm³
$\mathbf{V_9}$ = 11.831 mm³
$\mathbf{V_{10}}$ = 12.638 mm³
$\mathbf{V_{11}}$ = 25.701 mm³
$\mathbf{d_s}$ = 0,0078 g/mm³

$\mathbf{F_1} = V_1 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 5{,}2$ N
$\mathbf{F_2} = V_2 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}5$ N $\cdot 2 = 3{,}0$ N
$\mathbf{F_3} = V_3 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 6{,}2$ N $\cdot 2 = 12{,}4$ N
$\mathbf{F_4} = V_4 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}5$ N $\cdot 2 = 3{,}0$ N
$\mathbf{F_5} = V_5 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 4{,}3$ N $\cdot 2 = 8{,}6$ N
$\mathbf{F_6} = V_6 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}2$ N $\cdot 2 = 2{,}4$ N
$\mathbf{F_7} = V_7 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 5{,}6$ N $\cdot 2 = 11{,}2$ N
$\mathbf{F_8} = V_8 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}5$ N $\cdot 2 = 3{,}0$ N
$\mathbf{F_9} = V_9 \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 0{,}9$ N $\cdot 2 = 1{,}8$ N
$\mathbf{F_{10}} = V_{10} \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 1{,}0$ N $\cdot 2 = 2{,}0$ N
$\mathbf{F_{11}} = V_{11} \cdot d_{cs} \cdot 0{,}001 \cdot g = 2{,}0$ N $\cdot 2 = 4{,}0$ N
$\mathbf{F_{tot}}$ = 56,6 N

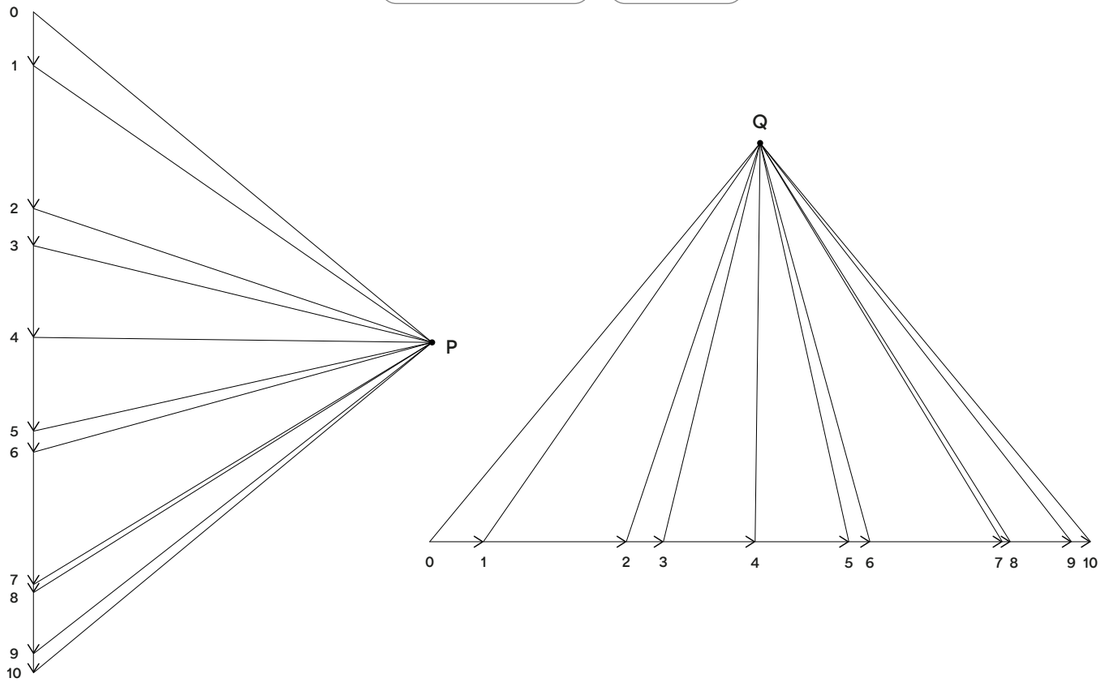
Diagramma polare 4 | 1 mm = 1,2 N



$\mathbf{V_1}$ = 502.160 mm³
$\mathbf{V_2}$ = 134.246 mm³
$\mathbf{V_3}$ = 109.683 mm³
$\mathbf{V_4}$ = 972.155 mm³
$\mathbf{V_5}$ = 985.167 mm³
$\mathbf{d_{al}}$ = 0,0027 g/mm³
$\mathbf{d_{grp}}$ = 0,0015 g/mm³

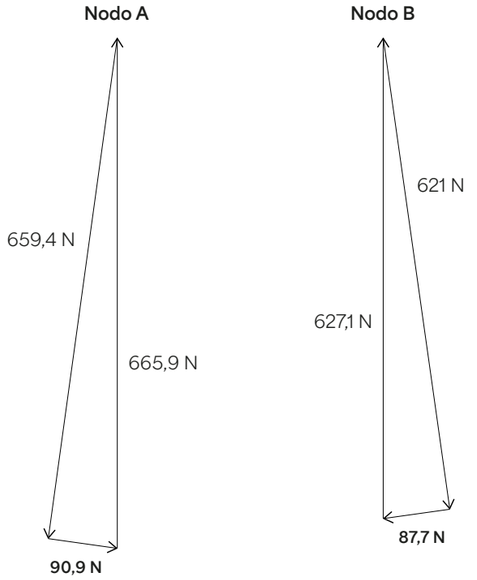
$\mathbf{F_1} = V_1 \cdot d_{al} \cdot 0{,}001 \cdot g = 13{,}3$ N
$\mathbf{F_2} = V_2 \cdot d_{al} \cdot 0{,}001 \cdot g = 3{,}6$ N
$\mathbf{F_3} = V_3 \cdot d_{al} \cdot 0{,}001 \cdot g = 2{,}9$ N
$\mathbf{F_4} = V_4 \cdot d_{gpr} \cdot 0{,}001 \cdot g = 14{,}3$ N
$\mathbf{F_5} = V_5 \cdot d_{gpr} \cdot 0{,}001 \cdot g = 14{,}5$ N
$\mathbf{F_{tot}}$ = 48,6 N

Diagramma polare 5 | 1 mm = 12 N



F_1 = 10,7 kg · g = 105 N
F_2 = 28,5 kg · g = 279,6 N
F_3 = 7,4 kg · g = 72,6 N
F_4 = 18,3 kg · g = 179,5 N
F_5 = 4,2 kg · g = 41,2 N
F_6 = 1,6 kg · g = 15,7 N
F_7 = 18,7 kg · g = 183,4 N
F_8 = 26,4 kg · g = 259 N
F_9 = 12,2 kg · g = 119,7 N
F_{10} = 3,8 kg · g = 37,3 N

Poligono delle forze equilibrato | 1 mm = 8 N



Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia più profonda gratitudine al mio relatore, il professor Germak, per la meticolosa attenzione con cui mi ha accompagnato durante l'intero percorso di tesi, per i preziosi consigli e per la costante cura del dettaglio.

Alla professoressa Restuccia, per avermi guidato con pazienza nell'approfondimento di tematiche che hanno contribuito ad arricchire non solo l'elaborato in sé, ma anche il mio percorso formativo.

Un sincero grazie anche a Stefano Gabbatore, per la costante disponibilità e il supporto dimostrati nel corso di questi mesi.

Un’interpretazione ironica ma allo stesso tempo consapevole della “sedia”, quand’anche fosse la più tradizionale, conduce ad una riflessione sulla durabilità dei prodotti, ossia su come un riuso intelligente può ridare vita ad un oggetto su cui non si sofferma più la nostra attenzione.
Attraverso il contributo del Design, inteso come attività creativa e tecnica, liberatoria ma anche consapevole dell’ergonomia e della sicurezza, la tesi affronta un tema di significato: l’oggetto esperienziale, dove con alcuni accorgimenti il vecchio manufatto, prima statico e passivo, rinasce in un’azione partecipativa e dinamica da parte dell’utente.

Claudio Germak