

Uno sguardo panoramico 1

In questo capitolo

- ci si avvicina in modo elementare e intuitivo ai problemi della Meccanica Strutturale;
- si danno alcuni cenni storici;
- si illustra il piano dei contenuti del testo.

1.1 L'istanza strutturale

Vogliamo iniziare il percorso di questo testo con uno sguardo panoramico al problema statico. Il primo approccio non può che essere intuitivo. I termini che qui useremo hanno significato rigoroso e definito, e in tal senso verranno introdotti e analizzati nel seguito; per ora fanno appello al senso comune che a tali termini dà significato corrente. Così ci permetteremo di parlare di *equilibrio*, di *vincoli*, di *cerniere*, di *archi*, di *funi*...

Vogliamo fin d'ora raccomandare al Lettore di tornare su queste prime pagine quando sarà giunto alla fine dello studio del testo. La fatica intellettuale che nel frattempo avrà fatto sarà una misura del divario fra comprensione intuitiva e acquisizione rigorosa di un concetto, di una procedura e, d'altronde, dell'aiuto indispensabile che intuito e ragionamento si danno l'un l'altro secondo due percorsi non mai separati, ma continuamente integrantisi e illuminantisi. Di un percorso unico e complesso in effetti si tratta. È il percorso delle conquiste scientifiche nel loro sviluppo storico. È il percorso che ciascuno di noi compie nell'acquisizione di conoscenza.

...Sembra opportuno conferire all'*istanza strutturale* la seguente formulazione: essendo assegnate determinate forze, che sono chiamate ad agire, nel caso più generale, in posizioni spaziali date per soddisfare a precise esigenze dell'uomo e della natura (contenimento di spazi entro volumi di forma e dimensioni stabilite, superamento di luci prefissate) reperire i *canali statici* che tali forze possono scaricare a terra, nel rispetto di altre esigenze, comodità e convenienze dell'uomo.

Così inizia il capitolo "Il rapporto forma-struttura" del bel libro *Principi statici e forme strutturali* di cui raccomandiamo la lettura (i riferimenti ai testi citati sono riportati nella Bibliografia al termine del volume).

La proposizione contiene la sostanza del *problema statico*.

Vediamo come, sulla base di tale proposizione, e sulla scorta di un semplicissimo esempio, si possano mettere a confronto diverse soluzioni strutturali valutandone l'efficacia e l'economia. Ciò condurrà spontaneamente a dare uno sguardo ai problemi della Statica individuandone i vari aspetti. Apparirà spontaneo tracciare parallelamente il percorso storico lungo il quale i problemi e le loro soluzioni son venuti delineandosi.

L'esempio, semplicissimo, consiste nel dover superare una luce l , assegnata che sia una forza verticale discendente (un carico) F .

1.2 Soluzioni a confronto

La soluzione operativamente più spontanea, certamente fra le più antiche adottate dall'uomo, appare quella di appoggiare un elemento rettilineo su due supporti A e B , qualora essi siano disponibili agli estremi della luce da superare (Figura 1.1).

Non altrettanto semplice e spontanea è tuttavia la comprensione del canale statico che a tale soluzione corrisponde. Quale percorso sceglie la forza F , verticale, lungo la trave orizzontale per andare a scaricarsi sugli appoggi estremi, assegnando loro il compito di reggere, ciascuno, un carico presumibilmente uguale a $F/2$?

La domanda, problematica per noi, che oggi ci accingiamo ad analizzare i problemi della Statica, ha rappresentato un assillo storico. Non solo di difficile soluzione, ma anche di non facile enunciazione. Basti pensare che la effettiva formulazione del problema è dovuta a Galileo.

Egli finalmente ne ha proposto una soluzione che, pur non priva di errori, proveniva da una formulazione corretta del problema: il problema della resistenza a flessione attraverso lo studio dei meccanismi di generazione di un sistema di forze interne. Anche se Galileo pensava (erroneamente) di poter spiegare tali meccanismi in base alle leggi dell'equilibrio, i suoi ragionamenti contengono riflessioni sulla deformazione della trave. Faticosamente prendeva forma in embrione la Statica dei continui deformabili.

Non elementare è infatti la comprensione, anche da un punto di vista intuitivo, del canale statico "scelto" dalla forza F nella soluzione strutturale di Figura 1.1.

Lasciamo per il momento in sospenso la questione, per venire a esaminare un'altra soluzione strutturale del nostro problema, quella rappresentata nella Figura 1.2.

Sembra spontaneo e ragionevole immaginare che in tal caso la forza trovi modo di incanalarsi lungo le aste AC e BC , che appaiono predisposte a riceverla, diciamo, con naturalezza o, per avvicinarsi a un linguaggio più appropriato, con uno stato di "sforzo" meno complesso che non nella precedente soluzione.

Simmetrica alla precedente è la soluzione proposta nella Figura 1.3 per la quale, come prima, i canali statici appaiono offerti dalle aste AC e BC ; a esse però ora viene chiesto uno sforzo di trazione anziché di compressione come nel caso precedente. Da un punto di vista costruttivo ciò può comportare alcuni vantaggi, per esempio nella scelta del materiale con cui realizzare la struttura. Il materiale, che nella precedente soluzione doveva immaginarsi solido e consistente, può ora pensarsi più leggero. Le aste possono essere più sottili; anche due funi, che resistono solo a trazione, potrebbero reggere il carico F . Nel caso precedente le aste funzionano da "punteri", in questo da "tiranti".

La forma delle soluzioni strutturali rappresentate nelle Figure 1.2, 1.3 sembra agevolare il cammino delle forze. Gli ancoraggi in A e in B , invece, devono assolvere a un compito meno semplice. Si intuisce che essi debbano non solo reggere metà del carico verticale, ma debbano anche provvedere a forze orizzontali. Nel caso di Figura 1.2 le "cerniere" A e B devono fornire forze di contenimento orizzontali che contrastino la tendenza della struttura ad aprirsi, nel caso di Figura 1.3 devono fornire due forze orizzontali volte verso l'esterno che contrastino la tendenza della struttura a chiudersi. Per entrambe le strutture semplici appoggi scorrevoli non basterebbero a garantire l'equilibrio.

Va però notato che questo tipo di considerazioni cambierebbe qualora la struttura non fosse snodata in C e fosse invece un sol corpo come nella Figura 1.4. In tal caso, la struttura, come la trave, può stare in equilibrio su semplici appoggi



Figura 1.1

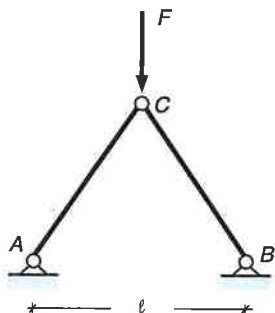


Figura 1.2

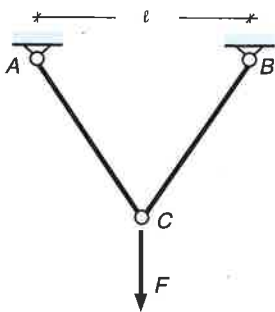


Figura 1.3

scorrevoli sui quali scaricare solo forze verticali equamente suddivise, per motivi di simmetria, e si complica l'individuazione dei canali statici.

Già queste semplici e intuitive considerazioni portano a vedere un'intima connessione fra *problema geometrico* e *problema statico*, e cioè fra la possibilità che la struttura ha (oppure non ha) di cambiare configurazione e il prodursi delle forze: sia delle forze interne che formano il canale statico, sia delle forze che, in conseguenza, i vincoli devono fornire alla struttura per garantire l'equilibrio.

Si può anche intuire che la libertà geometrica concessa dalla cerniera C allo spostamento relativo fra le due aste (Figura 1.2) ha un ruolo sostanzialmente diverso dalla libertà geometrica che ognuna delle due aste (o l'unico corpo di Figura 1.4) può avere a causa della deformabilità del materiale costituente, deformabilità che in misura più o meno elevata è propria di qualunque materiale. È proprio questa deformabilità che ci fornisce la chiave generale per la comprensione del cammino delle forze all'interno della struttura. *Deformabilità della struttura ed equilibrio tra forze sono fenomeni indissolubilmente legati fra loro.*

Alla luce dell'analisi di deformabilità, vediamo di riprendere l'esame della "trave" semplicemente appoggiata di Figura 1.1.

La configurazione che in effetti la trave assume, deformandosi sotto carico, è del tipo di Figura 1.5a. Le fibre superiori sono compresse, mentre sono tese quelle inferiori. All'interno della trave ogni sezione è soggetta a un sistema di forze del tipo di Figura 1.5b: normali alla sezione le forze che rendono conto della compressione e tensione delle fibre longitudinali; tangenti alla sezione le forze "taglianti" che rendono conto della tendenza allo scorrimento verticale che ciascun tronchetto avrebbe rispetto all'altro a causa della sollecitazione verticale esterna. È il risultato di questo complesso di forze che costituisce il canale statico della forza F all'interno della trave appoggiata raffigurato come nella Figura 15.c.

Qualora l'ancoraggio sia disponibile solo a un estremo A , è proponibile la soluzione della trave a mensola (Figura 1.6).*

È il problema storicamente noto come *problema di Galileo*. Molto nota è la bella raffigurazione (Figura 1.7) contenuta nei *Discorsi intorno a due nuove scienze*.

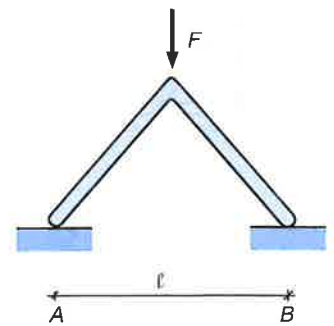


Figura 1.4

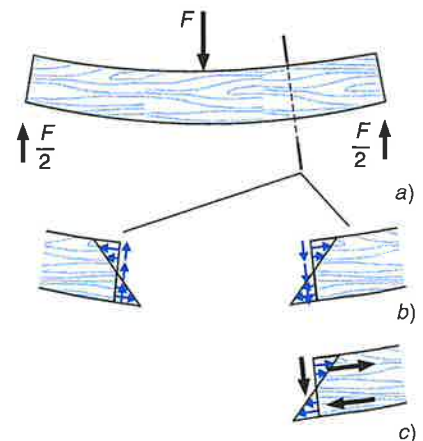


Figura 1.5

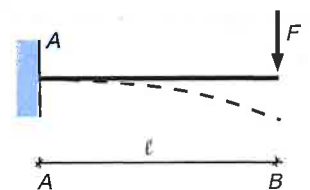


Figura 1.6

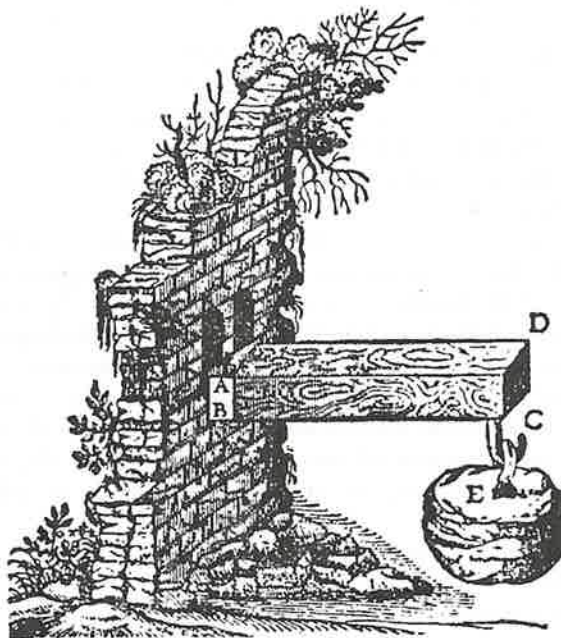


Figura 1.7

* Nel caso di un'unica forza ci interessa considerare la sua concentrazione all'estremo libero, che è la situazione di maggior cimento interno.

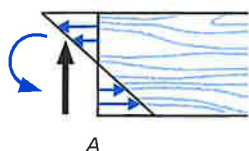


Figura 1.8

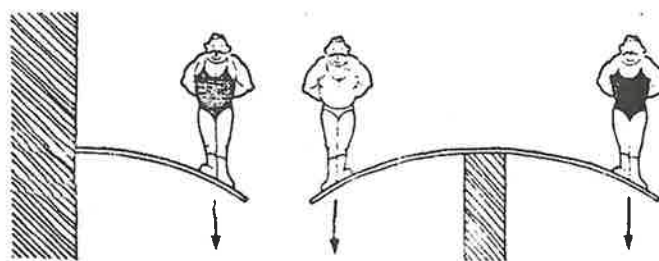


Figura 1.9

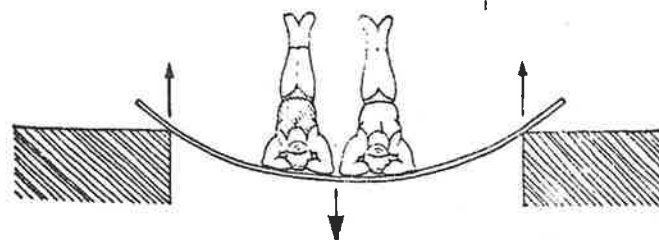


Figura 1.10

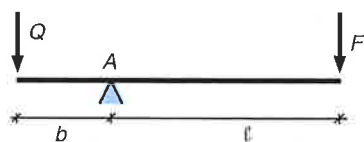


Figura 1.11

Per esso vale una discussione del tutto simile a quella svolta per la trave appoggiata. La trasmissione della forza F lungo la trave avviene grazie a un sistema di forze interne di trazione e di compressione (sono tese le fibre superiori, compresse quelle inferiori) assieme ad azioni taglianti (verticali). All'“incastro” estremo A , che ora (a differenza dell'appoggio) costringe la sezione in A a restare verticale, non si richiede pertanto un solo contributo verticale, ma anche un insieme di forze orizzontali analoghe a quelle interne, forze il cui contributo descriveremo come “momento” (indicato con freccia ricurva nella Figura 1.8).

La situazione all'incastro A è identica (e rovesciata) a quella di mezziera della trave appoggiata. La trave a mensola è, per così dire, la metà, rovesciata, di una trave appoggiata. Ciò è quanto vogliono suggerire le due buffe Figure 1.9 e 1.10 tratte dal libro *Strutture: ovvero, perché le cose stanno in piedi*, di cui pure si raccomanda la utilissima nonché divertente lettura.

Un momento a equilibrare la forza F può anche essere fornito da un contrappeso Q , qualora sia disponibile un braccio b a monte del punto A , secondo il principio della *leva* (Figura 1.11). Anche per tale soluzione il meccanismo di trasmissione si spiega con un insieme di forze interne, di tensione, di compressione, di forze taglianti.

Val la pena notare che il problema statico dell'equilibrio della leva era già noto agli antichi greci; a essi era nota l'entità Q del contrappeso che garantisce l'equilibrio: $Q = F l/b$. Ma dovevano trascorrere nove secoli perché il meccanismo di trasmissione delle forze lungo l'asta avesse un inizio di spiegazione!

Notiamo anche che il tener conto della deformabilità ha permesso una descrizione dettagliata della situazione interna della struttura. Ci siamo avvicinati a descrivere ciò che si chiama *stato di deformazione* e *stato di sforzo*. Si tratta di una descrizione punto per punto di ciò che accade all'interno della struttura sollecitata, il cui complesso dà luogo a ciò che, espressivamente, si è chiamato canale statico.

Quand'anche il canale statico sia facilmente identificabile, come si è visto nei casi rappresentati nelle Figure 1.2 e 1.3, esso in effetti nasce da uno stato di sforzo che la struttura sopporta punto per punto e che non può prescindere da considerazioni sulla deformabilità della struttura stessa in ogni suo singolo componente. Solo tali considerazioni, in effetti, consentono di definire lo stato di sforzo nelle aste AB e BC .

Il convivere, all'interno della struttura, di forze di trazione, di compressione e di taglio ha certamente costituito un ostacolo alla tecnica del costruire finché i più consueti materiali da costruzione sono stati la pietra e il legno; la pietra poco resistente a trazione e ad azioni taglianti e il legno, pur importante e pregiato materiale, di resistenza limitata.

Un superamento di questo ostacolo è consistito nell'adottare la soluzione ad arco, di cui la semplicissima struttura di Figura 1.2 rappresenta una rozza schematizzazione. L'arco resiste alle sollecitazioni esterne con uno stato di sforzo interno a prevalente carattere di compressione.

L'avvento della tecnologia basata sull'uso del ferro (ghisa dapprima e poi acciaio) come materiale da costruzione ha consentito di adottare un altro tipo di soluzione strutturale: la travatura reticolare. È costituita da un insieme di aste, collegate a cerniera e caricate solo ai nodi.

Due travature reticolari che risolvono il nostro semplicissimo problema sono rappresentati nella Figura 1.12. Il canale statico è costituito dagli elementi stessi delle travature, che si dicono "bielle".

Ciascuna di esse è chiamata a resistere o a sola trazione o a sola compressione. A questo vantaggio la travatura reticolare unisce quello di poter essere semplicemente appoggiata senza contenimento laterale, al pari della trave.

Si può dire che la travatura reticolare è una trave in cui si sono potuti separare i compiti delle fibre tese e di quelle compresse. Lo spessore della trave è stato svuotato e alleggerito, il che comporta evidenti vantaggi in termini di costo e di cimento della struttura, anche se tale alleggerimento non è privo di svantaggi in termini di stabilità della struttura.

Si noti peraltro il vantaggio dell'assenza di azioni taglianti in ogni asta; la necessaria azione tagliante globale della struttura è fornita dalle componenti verticali delle azioni assiali (compressione o trazione) delle aste inclinate.

Sia pur in modo elementare e intuitivo siamo venuti esaminando alcune fondamentali soluzioni strutturali del problema statico: la trave, l'arco, il meccanismo funicolare, la leva, la travatura reticolare.

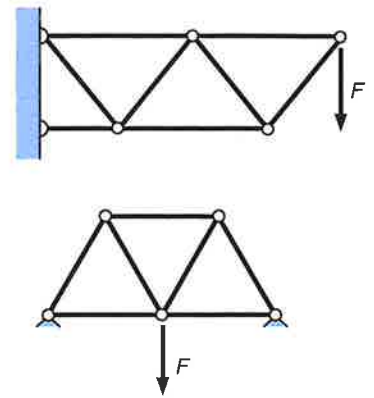


Figura 1.12

1.3 Equilibrio; stato di sforzo e di deformazione

Il problema statico si è imposto alla nostra attenzione nei suoi due aspetti essenziali. Note che siano le sollecitazioni esterne

- valutare *in che misura* esse giungano "a terra" attraverso ai vincoli che ancorano la struttura all'ambiente esterno;
- valutare *in che modo* esse percorrano la struttura sollecitando in essa uno stato di deformazione e di sforzo.

Chiameremo brevemente il primo *problema esterno* e il secondo *problema interno*. Già dalle cose dette i due problemi appaiono strettamente legati. A volte tuttavia i due problemi si possono risolvere in cascata; e per nostra fortuna ciò accade in numerosi e notevoli casi. Così d'altronde abbiamo constatato avvenire per i casi esaminati e così è accaduto storicamente, come si è voluto mettere in evidenza nel precedente paragrafo.

Il primo problema, quando sia risolvibile a prescindere dall'analisi dello stato di deformazione e di sforzo, si risolve in base a sole considerazioni di equilibrio. Tutti i problemi di questo genere si trovano spesso catalogati come *problemi iso-statici*. Tale definizione, pur non essendo del tutto precisa (come si vedrà nel corso del testo) è utile per indicare questa importante classe di problemi e per distinguerla dai *problemi iperstatici*, per cui il problema esterno non è risolvibile se non determinando anche lo stato di deformazione e di sforzo.

Del secondo problema, qualora la struttura sia composta da elementi monodimensionali (tipicamente travi e pilastri) risulta interessante in ogni caso (isostatico o no) mettere in evidenza alcuni aspetti globali. Precisamente, considerata una generica sezione retta dell'elemento di struttura e considerato tutto l'insieme di forze che attraverso a esso fluisce, se ne valutano la "risultante" e il "momento" (rispetto al baricentro della sezione).

Essi sono notevoli caratteristiche globali dello stato di sforzo interno che si dicono *azioni interne*. Solo in un secondo tempo ci si addentra a valutare stato di deformazione e di sforzo punto per punto.

1.4 Cenni storici

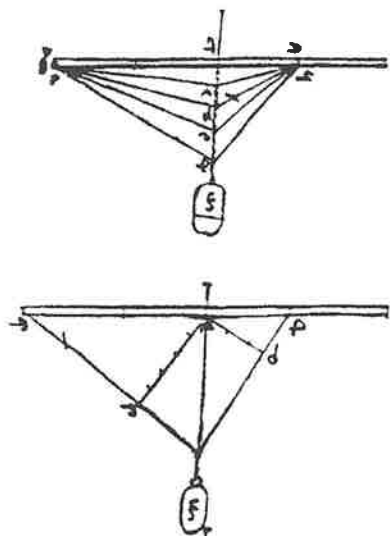


Figura 1.13

Il fatto che il problema esterno si possa in molti casi scorporare da quello interno e risolvere in base alle sole leggi dell'equilibrio è certamente il motivo per cui la sua soluzione ha preceduto di molti secoli quella del problema interno.

Non è tuttavia da credere che le leggi dell'equilibrio siano state di facile acquisizione. Consigliamo di ripercorrere il faticoso sviluppo storico della Meccanica Strutturale guidati dal bellissimo ed esaustivo testo di E. Benvenuto (vedi Bibliografia).

Diamone brevissimi cenni, con riferimento agli argomenti che verranno sviluppati nel testo.

Intanto lo stesso concetto di forza, a noi oggi così familiare (perlomeno nell'ambito delle comuni azioni fra corpi), è stato una faticosa conquista.

Solo nel Medioevo venne facendosi strada il concetto direzionale di forza e in effetti solo Leonardo chiari in termini di equilibrio che un peso, come forza verticale, può essere sorretto da coppie di forze diversamente inclinate (Figura 1.13).

Dice a questo proposito Benvenuto: "Per quanto una tale connessione (tra forza e direzione) a noi sembri ormai del tutto naturale, implicita nei dati dell'esperienza più comune, non deve stupire se essa si è affermata così tardivamente: il pensare la forza, e in particolare il peso, come *vettori* non appartiene alla *spiegazione* dei fatti, ma alla *costruzione di un modello* per interpretarli; di più, appartiene all'efficacia del *linguaggio formale* che riesce a rappresentarne nel modo più semplice la fenomenologia".

Non che al pensiero greco mancassero modelli interpretativi dei fatti naturali, ma erano soprattutto tesi a una spiegazione globale dell'essere e del divenire. Forse ciò ci aiuta a capire come mai la Statica abbia ricevuto, sì, dal pensiero greco importanti contributi, ma con riferimento più ai problemi del moto e del divenire che non a quelli propri dell'equilibrio.

È accaduto così che il contributo aristotelico alla Statica sia quasi un'anticipazione, in nuce, di quel che sarà il Principio dei lavori virtuali, Principio che riceverà la sua formulazione rigorosa solo con Giovanni Bernoulli nei primi anni del '700 e che studierà l'equilibrio saggiando per così dire uno spostamento ("virtuale", appunto) a partire dalla configurazione equilibrata.

Peraltro specifici fatti meccanici sono studiati dalla fisica aristotelica. Speciale attenzione è volta al comportamento della *bilancia* e della *leva*, le cui corrette condizioni di equilibrio appaiono nel trattato pseudo-aristotelico *Questioni meccaniche* (opera apocrifa), sia pur frammiste a considerazioni di questo tipo: "appare contraddittorio che un grosso peso sia mosso da una piccola forza... La ragione prima di tutto ciò sta nell'essenza del cerchio poiché ciò che avviene nel braccio di una bilancia si può ricondurre al cerchio; ciò che avviene nella leva si può ricondurre al braccio di una bilancia e quasi tutti gli altri moti delle macchine si possono ricondurre a quello della leva". Notevole è l'intendimento metodologico di voler ricondurre al comportamento di queste macchine semplici più com-

plessi fenomeni meccanici, fra i quali quello che oggi chiamiamo il problema della *trave inflessa*: come mai, ci si chiede, una verga di legno, quanto più è lunga, tanto più è debole? La risposta, che non va più in là di indicazioni qualitative, a un sistema di leve fa riferimento.

Ma il padre della Statica con il suo *Trattato sull'equilibrio dei piani o dei loro centri di gravità* è senz'altro Archimede. "È questa un'opera di chiara impostazione scientifica che già ben si distingue dagli analoghi testi aristotelici: mentre Aristotele iscrive la sua meccanica in una teoria fisica che tende ad abbracciare una visione globale del mondo, Archimede fa della Statica una scienza razionale autonoma, fondata su postulati di origine sperimentale e costruita su dimostrazioni matematiche rigorose, almeno intenzionalmente" (Benvenuto).

In particolare, della proporzionalità inversa fra pesi e bracci che governa l'equilibrio della leva Archimede dà una *dimostrazione*.

Ma dobbiamo arrivare al Medioevo per trovare significativi passi in avanti, forse incentivati dai problemi statici che dovevano essere affrontati dai costruttori delle grandi cattedrali gotiche.

Siamo (presumibilmente) nel XIII secolo quando Giordano Nemorario parla di "*gravitas secundum situm*", facendo faticosamente emergere il concetto di componente della forza peso secondo un piano inclinato.

Siamo alla fine del '500 quando Stevino esegue il suo esperimento sui piani inclinati e, con brillante ragionamento, trae la conclusione che pesi diversi possono farsi equilibrio grazie alla diversa inclinazione dei piani. È interessante seguire il filo del suo ragionamento: la catena appoggiata (Figura 1.14) *sta* in equilibrio (convincimento da osservazione diretta); *deve* continuare a stare in equilibrio qualora si tolga il tratto penzoloni, *in quanto* si toglie un contributo simmetrico ai due tratti di catena appoggiata.

La conclusione dovette sembrare di tale portata che nella bella iscrizione (Figura 1.15) del suo *Hypomnematum mathematicum* (1608) sta scritto "La meraviglia non è più meraviglia".

La demoltiplicazione di una forza grazie all'uso di catene o di funi occupa un posto di tutto rilievo nella storia della Meccanica. È ancora di Stevino la progettazione di sistemi di carrucole (Figura 1.16): la demoltiplicazione è tanto maggiore quanto maggiore è il numero delle carrucole; ogni fune avvolgendosi attorno a una carrucola come in figura ne sopporta il peso con una tensione uguale alla metà del peso sopportato.

Ma il meccanismo funicolare ha un altro, e primario, interesse nella concezione strutturale: la fune è *il canale statico stesso*. Abbiamo già visto che così accade nell'esempio di Figura 1.3, e così sempre accade. La fune, che è capace di resistere solo a trazione, si atteggia, in condizioni di equilibrio, secondo una linea che si dice *linea funicolare* in modo da incanalare lungo di essa, in ogni punto nella sua direzione, tutte le forze esterne che precedono (o che seguono) quel punto.

A ciò si deve la leggerezza delle strutture che di funi si compongono: di grande rilevanza i ponti sospesi e le tensostrutture.

A Giacomo Bernoulli si deve la formulazione (1697) della *catenaria* come linea funicolare del peso proprio.

Dalla linea catenaria all'*arco puro* come arco che resiste a pura compressione il passo è stato breve. La soluzione teorica si deve ancora, nel 1704, allo stesso Giacomo Bernoulli come soluzione al quesito: quale forma debba essere data a un arco sottile "i cui concetti premono l'uno sull'altro a causa del loro peso proprio, senza uso di legante". La catenaria stessa, rovesciata, resiste al peso proprio con solo sforzo di compressione, così come la catenaria vi resiste con solo sforzo di trazione. Conferma questo risultato, nel 1717, l'inglese Stirling, risolvendo per via grafica il problema dell'equilibrio di sfere di ugual peso mutuamente reagenti (Figura 1.17). Tale studio ebbe una notevole applicazione pratica nella verifica di stabilità della cupola di San Pietro in Roma eseguita dal Poleni (1685-1761).

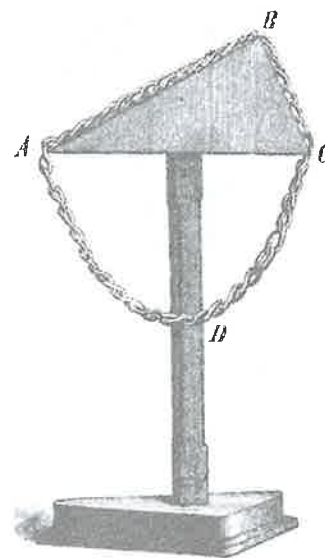


Figura 1.14

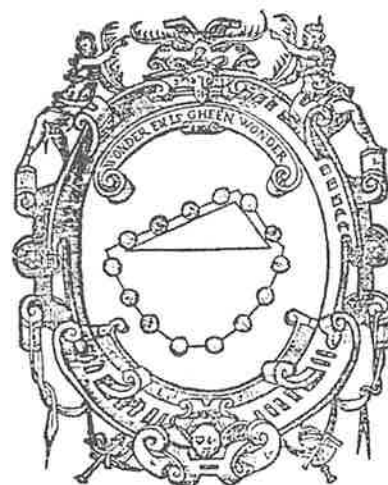


Figura 1.15

Una struttura funicolare ha forma adatta a equilibrare le forze esterne senza dover resistere a momenti e perciò può avere dimensioni trasversali minori della trave

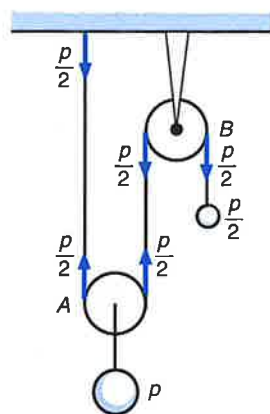


Figura 1.16

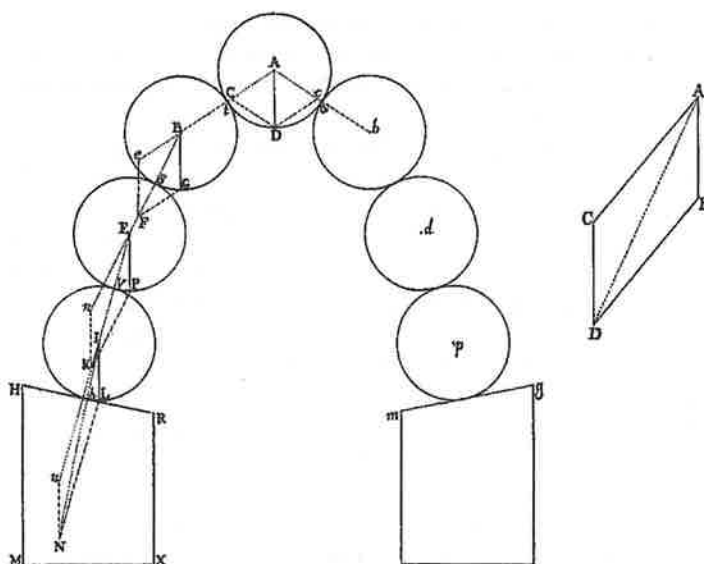


Figura 1.17

Si dicono *strutture funcolari* le strutture che materializzano il flusso stesso delle forze; basilari fra esse, appunto, la catenaria e l'arco puro. Tali strutture nel già citato testo *Principi statici e forme strutturali* vengono definite come *strutture che resistono per forma*; esse vengono distinte dalle *strutture che resistono per massa*, basilare fra queste la trave la cui dimensione trasversale deve essere sufficiente ad assicurare la resistenza ai momenti. Nel citato testo vastissima è la gamma di strutture dei due tipi analizzate; eleganti e di svariate forme e di grande interesse architettonico sono le strutture funcolari spaziali: *membrane e volte sottili*.

Durante il XVII secolo i fondamentali problemi dell'equilibrio sono venuti risolvendosi. Si associa generalmente ai nomi di Roberval (1602-1675) e di Varignon (1654-1722) la forma attuale delle *equazioni cardinali* della Statica come condizione necessaria all'equilibrio di ogni sistema materiale: risultante e momento delle forze agenti devono essere uguali a zero. Gli strumenti analitici che hanno permesso l'organizzazione della Statica come ancora oggi viene applicata sono stati il calcolo vettoriale, i sistemi lineari, le equazioni differenziali e, più tardi, il linguaggio matriciale e il calcolo variazionale. Oggi il generalizzato uso dell'elaboratore indispensabile per l'analisi e la progettazione di strutture complesse, ha dato grande sviluppo al metodo degli elementi finiti.

Per completare questo sia pur fugace cenno ai problemi della Statica non possiamo non segnalare due importantissimi argomenti che in anni più recenti si sono imposti all'analisi strutturale: l'*instabilità* e la *sicurezza*.

Già Eulero nel 1744 aveva messo in luce e studiato analiticamente, giungendo a soluzione rigorosa, il fenomeno di instabilità che si verifica quando un'asta sottile è caricata di punta (Figura 1.18). Quando il carico cresce oltre a una certa soglia detta *carico critico* l'asta "sbanda" su di una configurazione diversa. L'importantissimo risultato di Eulero rimase in effetti lì per molti anni a rivestire un interesse accademico piuttosto che pratico.

Ciò anche se moltissimi sono gli elementi snelli di una struttura esposti al pericolo di instabilità. Lo sono i puntoni di una travatura reticolare, lo è l'arco puro, lo sono anche le superfici sottili soggette a compressione. Doveva però affermarsi l'uso del ferro come materiale da costruzione perché elementi snelli venissero largamente usati nelle strutture. Forse troppo disinvoltamente e senza attenzione ai pericoli dell'instabilità se, come pare, i crolli furono numerosi nella seconda metà dell'800, nell'epoca cioè dell'entusiasmo per la nuova tecnologia.

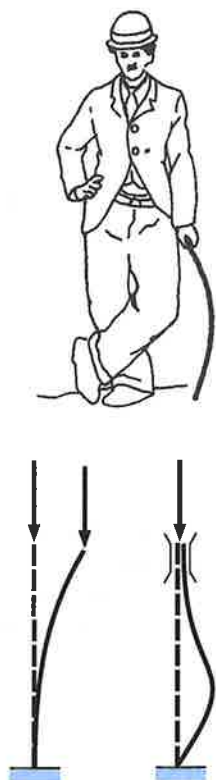


Figura 1.18

Probabilmente molti di questi crolli erano dovuti a voler privilegiare l'economia e la leggerezza della struttura, avendo fiducia nel solo criterio di resistenza del materiale.

Lo studio dell'instabilità ha oggi un posto ormai consolidato nella progettazione strutturale grazie all'opera di studiosi, fra i quali va ricordato Thimoschenko, che, nei primi anni del '900, hanno saputo elaborare il non facile argomento in modo da renderlo agevolmente applicabile dal progettista.

L'argomento della sicurezza ha avuto un iter per così dire opposto. Nella pratica operativa, dalla nascita del calcolo strutturale è stata consuetudine tenere qualche margine, di sicurezza appunto, fra i valori sperimentali della resistenza e i valori adottati in sede di progetto. Ma tale margine era piuttosto dovuto a generici criteri di prudenza, piuttosto che a precisi supporti teorici. Si deve a una elaborazione piuttosto recente la costituzione di un corpo teorico che sorregge i criteri di scelta di opportuni coefficienti di sicurezza. Esso si avvale, come è comprensibile, del calcolo delle probabilità.

1.5 Sviluppo degli argomenti nel testo

Gli argomenti adombrati in questo primo capitolo verranno sistematicamente svolti nel corso del testo. Innanzitutto, nel Capitolo 2, sono trattati i fondamenti della Meccanica: postulati, definizioni e leggi fondamentali. Sempre nel Capitolo 2 è trattata la Statica del punto materiale con qualche cenno anche alla Dinamica.

I Capitoli 3, 4, 5, che svolgono i temi fondamentali della Statica, non seguono l'ordine classicamente adottato. Ciò è dovuto all'intendimento, che si è voluto seguire, di guidare il Lettore ad affrontare i temi per difficoltà crescenti, facendo dapprima leva sull'intuito piuttosto che sulle deduzioni di un impianto rigoroso e facendo man mano constatare l'esigenza di un maggior rigore. Per questo nel Capitolo 3 si cominciano ad analizzare strutture isostatiche piane calcolando reazioni vincolari esterne e azioni interne, ma rimandando al Capitolo 4 l'analisi cinematica, che permette di definire rigorosamente l'isostaticità della struttura, od altre sue caratteristiche dovute alle condizioni di vincolo, e che permette inoltre di introdurre il Principio dei lavori virtuali, Principio che nel Capitolo 4 appunto viene presentato e applicato. Ci si limita inoltre, nei Capitoli 3 e 4, a trattare solo il caso di forze concentrate lasciando al Capitolo 5 di trattare il caso di forze distribuite, cosicché l'uso del calcolo infinitesimale viene implicato solo a partire dal Capitolo 5, il quale contiene le basi teoriche per analizzare i corpi deformabili; introduce il concetto di sforzo. Nel corso di questi capitoli viene trattato anche qualche caso in tre dimensioni.

Ogni capitolo contiene numerosi esempi, cosicché della teoria man mano esposta sia sempre visibile non solo l'interesse applicativo, ma anche, d'altronde, la schematizzazione che del problema reale occorre fare affinché esso possa essere risolto dal modello teorico.

A questo aspetto è dedicato tutto il Capitolo 6. Vi si prendono in considerazione strutture reali: un edificio per abitazione, una stazione ferroviaria (la stazione di Rogoredo, di Mangiarotti a Milano), una sedia (Red and Blue di Rietveld), un palazzetto dello sport (di Nervi, a Roma), il progetto del palazzo dei Soviet di Le Corbusier e il progetto di un teatro a Mannheim di Mies van der Rohe. Si commenta come uno schema isostatico possa render conto in prima approssimazione del comportamento reale e quanto di tale comportamento non possa venir colto.

Il Capitolo 7 affronta il problema della deformazione sia per strutture composte da elementi monodimensionali, sia per il continuo, presentando i casi di Saint-Venant e la linea elastica a partire, come storicamente avvenuto, dalla Statica delle funi. Si accenna al comportamento archi, membrane e volte sottili.

Il Capitolo 8 espone il metodo degli spostamenti e il metodo delle forze per l'analisi di strutture iperstatiche, sia reticolari sia a travi continue.

Il Capitolo 9 dà qualche informazione sui problemi della instabilità e della incertezza.

Alle Appendici sono demandati alcuni approfondimenti tecnici: calcolo vettoriale, nozioni di cinematica, di geometria delle aree e delle masse, dimensioni e unità di misura. Sono argomenti da non considerarsi secondari. Fanno parte del testo. Si è preferito scorporarli per agevolare lo svolgersi del ragionamento.

Seguono Problemi risolti, che si propongono di mettere in luce, oltre al procedimento di risoluzione, la schematizzazione del problema reale che li ispira e il commento dei risultati. Ciò nella speranza di aiutare lo studente a capire l'utilità della formalizzazione del problema fisico e non solo a polarizzare l'attenzione sulla procedura di risoluzione.

Infine vengono anche proposti alcuni problemi da svolgere.