

Progettazione Costruzioni Impianti

per il secondo biennio degli Istituti Tecnici indirizzo Costruzioni Ambiente Territorio

[Accedi ai materiali multimediali](#)

[Scuola secondaria di II grado](#)

[Progettazione Costruzioni Impianti](#)

[Stampa questa pagina](#)

OPERA PROPOSTA IN MODALITA' MISTA DI **TIPO B** e DIGITALE DI **TIPO C**

(D.M. 781 del 27.09.2013)

Questo **nuovo progetto** è adeguato alle rinnovate esigenze di insegnamento e studio **per la nuova disciplina Progettazione, Costruzioni e Impianti** per il secondo biennio e il quinto anno degli Istituti Tecnici Tecnologici indirizzo Costruzioni, Ambiente, Territorio.

Un'opera che nasce dalla vasta e lunga esperienza degli Autori e della Casa Editrice in tale ambito disciplinare.

Il corso è organizzato in 3 volumi, i primi due suddivisi in tomi.

La struttura dei volumi innova alcune caratteristiche ormai sperimentate con successo:

- organizzazione del testo in schede;
- esposizione della materia chiara e sintetica, con un ricco apparato di schemi illustrati;
- giusto livello di approfondimento dei temi esposti e considerevole ampiezza dell'informazione tecnico-professionale fornita.

Tutti gli argomenti previsti dalle Linee Guida sono trattati dettagliatamente e ampiamente corredati di illustrazioni che documentano e integrano l'esposizione.

SECONDO BIENNIO

Tomo 1A

Criteri di scelta dei materiali: proprietà, qualità e certificazione – Materiali per l'edilizia – Architettura sostenibile – Energie integrative – Barriere architettoniche – Impiantistica e risparmio energetico – Impianti domestici – Elementi costruttivi degli spazi interni – Caratteristiche degli ambienti domestici – Ambienti dell'alloggio e loro organizzazione – Progettazione degli ambienti interni.

Tomo 1B

Statica grafica – Geometria delle masse – Forze in equilibrio e vincoli – Travature reticolari – Resistenza dei materiali – Travi inflesse isostatiche – Sollecitazioni semplici – Sollecitazioni composte – Le deformazioni elastiche – Travi inflesse iperstatiche – Travi continue – Cenni sulle strutture a telaio – I carichi sulle costruzioni.

Il testo base presenta approfondimenti tecnici, normativi e storici e un glossario.

Particolare attenzione è stata riservata alle problematiche dell'architettura sostenibile, alla quale sono dedicate tre intere Unità, in special modo alle problematiche energetiche che stanno via via connotando i caratteri di nuove forme di architettura.

Ogni Unità si conclude con una sintesi e un ricco apparato di verifica.

Al termine di ogni tomo sono proposti numerosi esempi di progettazione per esercitarsi nelle pratiche del disegno tecnico e della risoluzione delle problematiche progettuali.

LE COSTRUZIONI - LA STATICA

1. Concetti generali

Tutto quanto c'è di costruito sulla terra può rientrare nel dominio delle «Costruzioni»; dalle forme più elementari ed antiche di capanne e di palafitte, ai più moderni edifici per l'abitazione, per l'industria, per lo sport.

Definendo genericamente come «costruzione» ogni insieme di corpi assemblati in modo tale da risultare idonei all'assolvimento di determinate funzioni, allora appartengono al dominio delle costruzioni sia le case, i ponti, le ferrovie, i canali, le strade, sia le macchine, le navi, gli aerei.

Appare dunque evidente la vastità di questo dominio con gli innumerevoli tipi che ad esso appartengono; tuttavia in questo corso, saranno esclusivo oggetto di studio quei tipi di costruzioni saldamente ancorati al terreno (civili, rurali, industriali, stradali, idrauliche). Non ci occuperemo quindi delle costruzioni meccaniche, navali e aeronautiche, cui sono dedicati specifici insegnamenti.

È però opportuno osservare che, nell'ambito degli argomenti trattati in questo primo volume, si potranno stabilire alcune idee, desunte da fatti sperimentali, alle quali sarà possibile ricondurre qualsiasi problema costruttivo.

Più precisamente, posto che una costruzione deve assolvere determinati compiti, diversi da costruzione a costruzione (si pensi ad esempio ai «perché» di una casa di abitazione e di uno stadio) resta comune il fatto che ognuna di esse deve, **in ogni caso**, garantire l'*incolumità* delle persone che ne fanno uso, in primo luogo, e, secondariamente, risultare realmente **efficace** rispetto all'uso che ne viene fatto.

Questi due concetti meritano una ulteriore chiarificazione perché definiscono la caratteristica essenziale che deve essere posseduta da qualsivoglia costruzione: la *funzionalità*.

Il primo concetto, quello della *incolumità* di chi ne fa uso è, in termini più precisi, il concetto della **sicurezza**.

Ogni costruzione deve avere un suo **grado di sicurezza**, deve cioè garantire che, *nelle normali condizioni di esercizio*, non abbiano a verificarsi crolli o distruzioni, parziali o totali, che pregiudichino la vita delle persone che la usano.

Se ora riflettiamo per un momento su quali siano le *condizioni di esercizio*, ci rendiamo conto che stiamo parlando delle **forze**, dei **pesi**, che una costruzione deve sopportare: *pesi propri*, dovuti alle masse delle parti che compongono la costruzione, e *pesi accidentali* come possono essere quelli prodotti dai veicoli che transitano su un ponte, dai mobili disposti in una camera, dalle persone che vi abitano, dal carico di neve sulla copertura e dalla spinta del vento sulle pareti esterne.

Possiamo dunque asserire che la costruzione deve essere in grado di sopportare i pesi delle parti di cui essa stessa è composta e delle persone o cose che su di essa andranno a gravare: in una parola possiamo dire che la costruzione deve resistere a queste azioni. Dovremo dunque *stabilire dei criteri per decidere se una costruzione è o meno in grado di resistere a quelle azioni per le quali essa è stata realizzata*.

Il secondo concetto, quello della **efficacia** è, in linea di principio, inclusivo del precedente poiché una costruzione non si potrà dire che è «efficace» se non è «sicura». Tuttavia è comunemente accettata una separazione dei concetti che attribuisce al secondo un diverso significato, che cercheremo di illustrare con un esempio.

Supponiamo di dover attraversare un fiumicello e che il nostro scopo sia di raggiungere l'altra riva senza bagnarci le scarpe. Dunque dobbiamo realizzare due scopi: 1) l'attraversamento, 2) tenere le scarpe asciutte.

Abbiamo a disposizione una tavoletta che sistemiamo su due massi situati ciascuno su una sponda del fiumicello e cominciamo la traversata; man mano che avanziamo vediamo la tavoletta incurvarsi sotto il nostro peso. Ad un certo punto, se la tavoletta non è sufficientemente robusta può darsi che si incurvi sino a raggiungere l'acqua e ad

immergervi, senza tuttavia rompersi. In questo caso è chiaro che – a meno di intervenire sulla tavoletta tentando di irrobustirla con altri pezzi che possiamo sperare di trovare in giro, oppure tentando di aumentare l'altezza dei massi sui quali essa è poggiata – noi abbiamo realizzato soltanto lo scopo dell'attraversamento ma non quello di tenere le scarpe asciutte. Il primo scopo chiama in causa evidentemente la resistenza della tavoletta; il secondo la sua deformazione nel senso che essa, pur resistendo al nostro peso, non garantisce l'attraversamento con scarpe asciutte.

Ciò significa che una costruzione, pur non raggiungendo il collasso definitivo, cioè il crollo, può non avere la capacità di assolvere le funzioni cui è destinata.

Il concetto della efficacia chiama appunto in causa le **deformazioni** delle costruzioni nel senso che esse *devono essere tali da non comprometterne il funzionamento*. Dovremo dunque anche in questo caso stabilire un **criterio** per decidere della efficacia di una costruzione.

Usando un linguaggio convenzionale ed universalmente accettato, parleremo d'ora in poi di **criterio di resistenza** e di **criterio di agibilità**: ad essi dovrà uniformarsi qualsivoglia costruzione.

Per poter procedere in questa nostra trattazione occorre ora chiarire in che modo questi criteri vanno posti e quali sono i fattori che vi intervengono.

In sintesi il problema della *resistenza* di una costruzione riguarda la determinazione delle forze interne (sollecitazioni) che si generano nella costruzione stessa per garantirne l'equilibrio sotto le forze applicate esternamente, i «pesi» di cui si è detto.

Analogamente il problema della *agibilità* riguarda la determinazione degli spostamenti che tutte le parti di una costruzione subiscono per effetto delle forze che agiscono su di essa.

Abbiamo così introdotto i primi termini e i concetti fondamentali, **forze** e **spostamenti**, sui quali è fondata la teoria delle costruzioni.

Per giudicare la funzionalità di una costruzione, adotteremo entrambi i criteri di resistenza e di agibilità, confrontando il comportamento della costruzione, espresso in termini di forze e di spostamenti, con i valori delle forze o degli spostamenti giudicati compatibili per tale costruzione.

2. Gli elementi strutturali e le strutture

Abbiamo chiarito all'inizio di questa introduzione quale è il significato del termine «costruzione» e quanto ampio ne sia il dominio; ora dobbiamo insistere sul fatto che della problematica delle costru-

zioni a noi interessa quel particolare aspetto che concerne la resistenza e la agibilità. Ciò ci fa subito operare una netta distinzione tra quelle parti, tutte appartenenti alla costruzione, che *hanno una funzione statica o di sostegno*, e le altre che tale funzione non hanno, in quanto sono sostenute dalle prime.

Pensiamo ad esempio alle parti che compongono un moderno edificio: i tramezzi, gli intonaci, i rivestimenti, i pavimenti; sono parti che noi percepiamo direttamente e che vengono usate per dividere lo spazio, gli ambienti, o per la loro rifinitura. Tali parti sono di regola eseguite quando della costruzione è stato realizzato quel complesso di opere che generalmente non percepiamo, e che ne costituiscono l'ossatura portante.

A questo complesso si dà il nome di **struttura**: essa comprende dunque quelle parti della costruzione che devono rispondere ai due requisiti fondamentali della resistenza e della agibilità.

D'ora in poi abbandoneremo il termine generico di costruzione e parleremo sempre di struttura come *insieme di corpi connessi tra loro in grado di trasferire le azioni esterne ai corpi circostanti o al terreno sul quale sorgono*.

Avremo poi occasione di parlare di strutture in muratura, in cemento armato, in acciaio, in legno, per specificare che la struttura di una determinata costruzione è realizzata impiegando mattoni o conci di pietra, ovvero con il cemento armato, con l'acciaio, con il legno.¹

Il dominio delle strutture è anch'esso amplissimo nel senso che qualsivoglia costruzione ha una

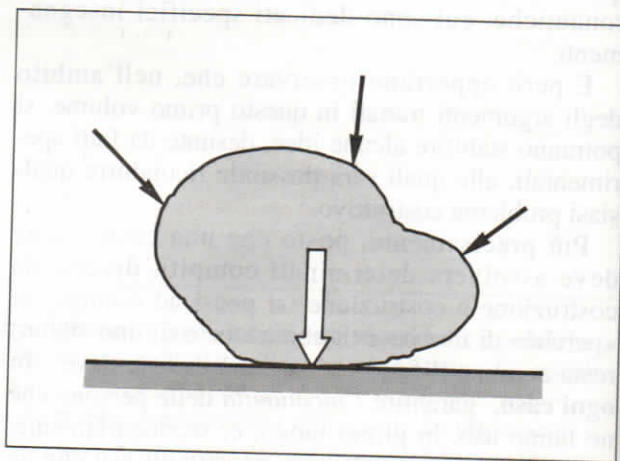


Fig. 1.1

¹ È interessante osservare che per le strutture murarie, cioè per quelle strutture realizzate con pietre da taglio o con mattoni, qualche volta la costruzione coincide con la struttura; è il caso delle cattedrali gotiche, ad esempio, nelle quali le pietre non hanno alcun rivestimento; oppure delle opere in cemento armato quando questo viene lasciato in vista.

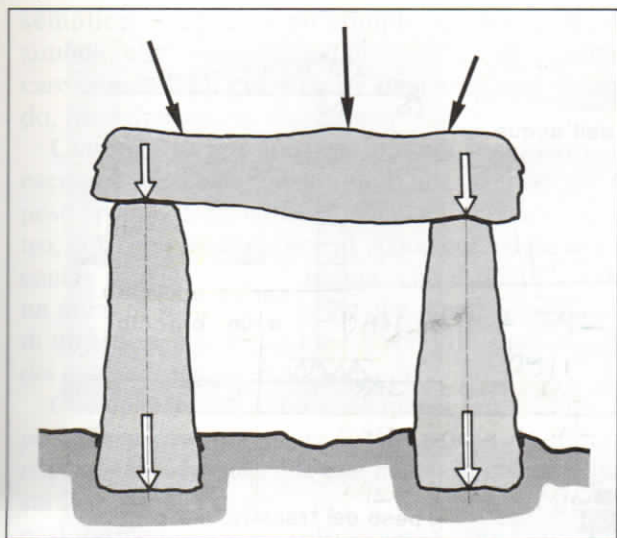


Fig. 1.2 - Esempio di sistema strutturale semplice: architrave su piedritti (trilite).

sua propria struttura; tuttavia noi dovremo occuparci soltanto di **strutture elementari**, cioè dei casi più semplici riconducibili a tipologie base.

L'esempio più semplice di struttura può essere rappresentato da un oggetto qualsiasi che sia appoggiato su un generico piano orizzontale (fig. 1.1). Le azioni che agiscono sul corpo vengono da questo trasmesse al piano sottostante che schematizza il suolo.²

In questo caso la struttura coincide con l'unico **elemento strutturale** che la costituisce.

Di **sistema strutturale** vero e proprio si deve invece parlare a proposito della costruzione illustrata in fig. 1.2, che, seppur rozza e primitiva, rappresenta un tipo fondamentale di struttura: quella costituita da due elementi verticali (detti *pedrilli*) che sostengono un elemento orizzontale (detto *architrave*).

Questa struttura, nota in architettura con il nome di *trilite*, risulta infatti composta da tre elementi strutturali connessi tra loro, cosicché le azioni esterne sono trasferite dall'architrave sui piedritti e da questi al suolo.

Approfondendo ulteriormente questa analisi per chiarire le idee sui termini che stiamo adoperando, consideriamo la struttura rappresentata nella fig. 1.3: si tratta di una incavallatura in legno per la copertura di un ambiente, appoggiata su pareti in muratura che spiccano dal terreno.

Notiamo che tale struttura è assai simile al precedente sistema architravato; notiamo tuttavia che l'elemento orizzontale, che in questo caso prende il

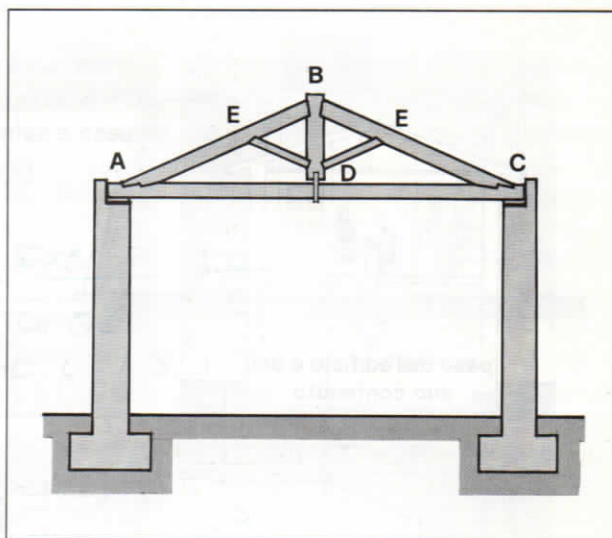


Fig. 1.3 - Esempio di sistema strutturale semplice: trave composta (capriata) su pareti in muratura.

nome di **capriata**, è a sua volta composto dai seguenti elementi strutturali semplici: *AB* e *BC* sono i **puntoni** e *AC* la **catena**, *BD* si chiama **monaco**, *DE* **saette**.

Un ulteriore esempio è illustrato in fig. 1.4; in essa si vede la struttura di un ponte nella quale distinguiamo i seguenti elementi strutturali: una *trave* orizzontale che sostiene direttamente la via di transito, un *arco* inferiore che sorregge la trave mediante una serie di elementi verticali, *pilastri* o *setti*, e trasmette i carichi agenti al suolo.

Abbiamo così chiarito cosa si debba intendere per **elemento strutturale** e cosa per **struttura**; è opportuno però riflettere sul fatto che questa distinzione è fatta per motivi di comodità perché, nella realtà dei fatti, anche il più semplice elemento strutturale, quale ad esempio un pilastro, può essere riguardato a sua volta come una struttura.

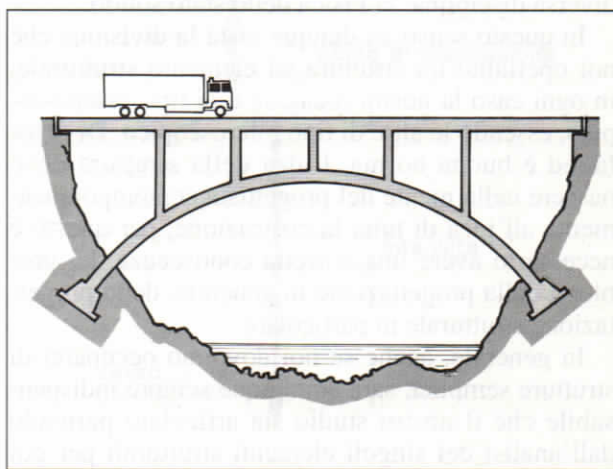


Fig. 1.4 - Esempio di sistema strutturale complesso: ponte ad arco a via superiore.

² Si pensi ai monumenti preistorici (4000-1000 a.c.) denominati *menhir* costituiti da massi isolati infissi nel terreno.

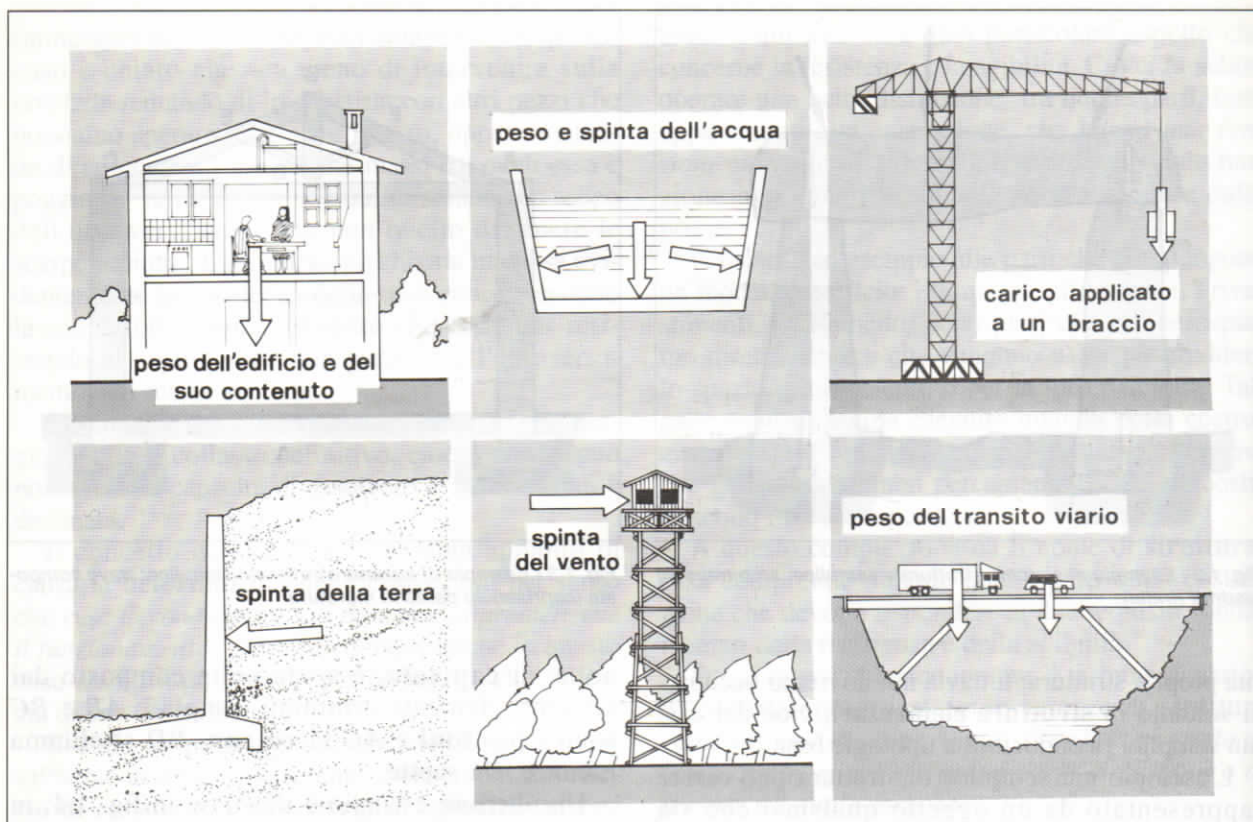


Fig. 1.5 - Esempi di azioni esterne applicate su strutture generiche.

Per convincercene è sufficiente pensare che se potessimo osservare con gli strumenti opportuni una parte piccolissima di quel pilastro, scopriremmo che essa è costituita da una struttura estremamente complessa fatta di atomi e molecole che interagiscono tra di loro secondo leggi estremamente difficili da descrivere e che richiedono specifiche competenze; a questa scala di osservazione i nostri strumenti di indagine perdono valore per cedere il passo ad altri che sono propri di una diversa disciplina: la Fisica dello stato solido.

In questo senso va dunque vista la divisione che noi operiamo tra struttura ed elemento strutturale; in ogni caso la nostra indagine è di tipo macroscopico, essendo le altre di tipo microscopico. Di regola, ed è buona norma, l'idea della struttura deve nascere nella mente del progettista contemporaneamente all'idea di tutta la costruzione; per questo è necessario avere una corretta conoscenza dei problemi della progettazione in generale, della progettazione strutturale in particolare.

In generale, anche se noi dovremo occuparci di strutture semplici, sarà comunque sempre indispensabile che il nostro studio sia articolato partendo dall'analisi dei singoli elementi strutturali per poi passare a quella dei sistemi composti da più elementi, ovvero alle strutture in senso lato pur rimanendo nell'ambito di tipologie elementari.

3. Le forze e gli spostamenti

Occorre ora compiere un ulteriore passo avanti, nella direzione che stiamo tracciando. Il peso, lo spostamento, la trave, la copertura, la fondazione, la struttura ecc. sono fatti concreti dei quali, come abbiamo detto, abbiamo esperienza continua; e come tali dobbiamo convenire che non esiste un solo peso, una sola struttura, una sola trave, ma che gli esempi ai quali possiamo riferirci sono, non solo innumerevoli, ma anche diversi per ciascuno di noi sulla base delle nostre stesse esperienze. Appare dunque chiaro che dovendo stabilire delle regole o, come suol dirsi, dovendo impostare una teoria – seppure elementare – delle costruzioni, noi dobbiamo ora sforzarci per capire che cosa i singoli fatti o fenomeni hanno in comune (tra di loro) per poterne estrarre idee e concetti, che abbiano un valore del tutto generale.

Sul significato di questa operazione non possiamo soffermarci molto perché esso ci porterebbe al di fuori dei limiti imposti a questa trattazione; tuttavia è opportuno rilevare che essa non è specifica del problema delle costruzioni, bensì comune a tutte le discipline che sono sorte dall'esame dei fenomeni naturali come la Fisica, la Chimica, ecc. In altre parole si può anche dire che noi dobbiamo cercare di rappresentare i fenomeni nel modo più

semplice, attraverso un complesso di regole, di simboli, che ci permettano di operare e di comunicare con facilità; per chiarire quanto stiamo dicendo, facciamo ancora degli esempi.

Ciascuno di noi potrebbe portare innumerevoli esempi di pesi che gravano su di una costruzione: il peso proprio di un edificio, noi che ci viviamo dentro, con mobili, libri, ecc., l'acqua contenuta in un canale d'irrigazione, il terreno che è trattenuto da un muro di sostegno, il vento che preme sulle pareti di un fabbricato. In figura 1.5 sono illustrati alcuni dei casi sopracitati ed altri ancora.

Che cosa hanno in comune questi fatti? Come li possiamo rappresentare? Alla prima domanda rispondiamo dicendo che essi hanno in comune una caratteristica: l'azione, nel senso che tutti questi pesi *agiscono* su una costruzione. Se poi pensiamo alla differenza che c'è tra l'azione del nostro peso, che è diretto verso il basso, e l'azione del vento, che è generalmente orizzontale (fig. 1.6), ci rendiamo conto che non sarebbe sufficiente specificare l'intensità di questi «pesi» per darne una informazione completa senza dire, contemporaneamente, in quale direzione essi agiscono.

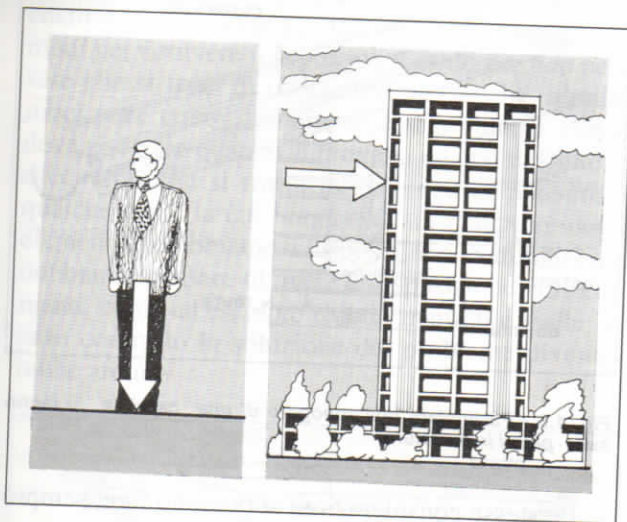


Fig. 1.6

Prendiamo in considerazione un ripiano appoggiato su cavalletti sul quale disponiamo una pila di libri uguali (fig. 1.7): tale peso, che agisce verso il basso secondo la direzione *verticale*, è commisurato al numero dei libri.

Possiamo rappresentare compiutamente questo peso mediante un *segmento orientato*, ossia un segmento di retta su cui si sia assegnato un verso di percorrenza – nel caso in esame dall'alto verso il basso – e che abbia una lunghezza corrispondente, in una scala prefissata, al peso complessivo dei libri. Il punto nel quale si conviene di applicare questo segmento orientato è il centro *A* del prisma che rappresenta la pila di libri.

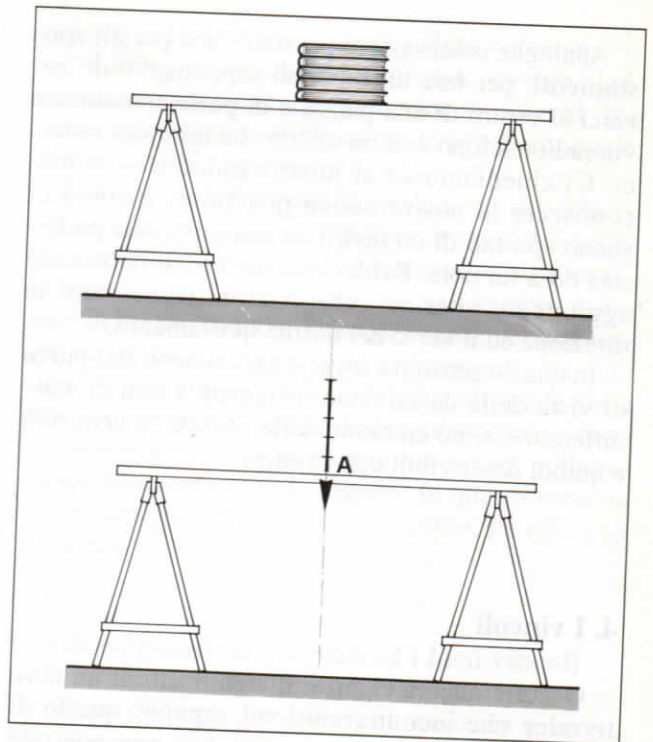


Fig. 1.7

Questi segmenti orientati si chiamano **vettori** e costituiscono gli enti geometrici con cui si rappresentano le **forze**. I vettori sono perciò caratterizzati da una lunghezza che ne indica l'*intensità*, da una freccia di azione che ne definisce la *direzione*, da una punta ad un estremo, che ne stabilisce il *verso* e da un *punto di applicazione* che individua il punto dell'elemento strutturale sul quale agisce la forza (fig. 1.8).

Le operazioni sui vettori saranno oggetto di un successivo capitolo.

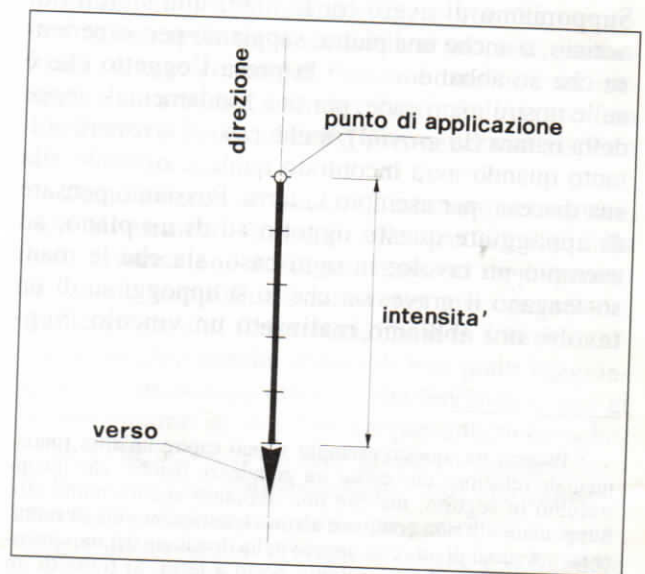


Fig. 1.8 - Il vettore come rappresentazione della forza.

Analoghe osservazioni possono farsi per gli **spostamenti**; per fare un esempio supponiamo di trovarci al centro di una piazza e di poter comunicare via radiotelefono con un amico che non può vederci. Ci chiediamo se al nostro amico è possibile conoscere la nostra nuova posizione, quando ci siamo spostati di un metro da una posizione prefissata ed a lui nota. Evidentemente no. È necessario aggiungere ulteriori informazioni riguardanti la direzione ed il verso del nostro spostamento.³

In questo senso tra forze e spostamenti dal punto di vista della descrizione matematica non ci sono differenze; sono entrambi delle *grandezze vettoriali* e quindi descrivibili con i vettori.

4. I vincoli

Occorre ancora chiarire il significato di un altro termine che incontreremo nel seguito: quello di **vincolo**. Ciò è necessario ora, pur non potendo entrare in una descrizione dettagliata, perché il concetto è utile per comprendere in che modo avviene il passaggio dall'elemento strutturale alla struttura e al collegamento di quest'ultima col terreno.

Se riflettiamo un momento sul fatto che la struttura risulta composta da elementi strutturali, dobbiamo ammettere che questa composizione, perché si realizzi, deve richiedere l'intervento di un nuovo elemento, appunto il «vincolo» che è il *dispositivo di collegamento tra gli elementi strutturali*.

Per chiarire bene questo concetto di fondamentale importanza nella teoria e nella pratica delle costruzioni facciamo ancora qualche esempio. Supponiamo di avere tra le mani una sferetta di acciaio, o anche una pietra; sappiamo per esperienza che se abbandoniamo la presa l'oggetto che è nelle nostre mani cade, per una fondamentale legge della natura (la *gravità*), e che esso si arresterà soltanto quando avrà incontrato qualche ostacolo alla sua discesa, per esempio la terra. Possiamo pensare di appoggiare questo oggetto su di un piano, ad esempio un tavolo; in ogni caso, sia che le mani sostengano il grave, sia che lo si appoggi su di un tavolo, noi abbiamo realizzato un vincolo. Sup-

³ Proprio da questo esempio si può capire un'altra fondamentale relazione che esiste tra grandezze fisiche, che incontreremo in seguito, ma che non abbiamo ancora nominato. Supponiamo di non compiere alcuno spostamento ma di ruotare su noi stessi di un certo angolo nella direzione del movimento delle lancette di un orologio posto a terra. Si tratta di un nuovo tipo di spostamento a cui corrisponde, nel campo delle forze, una grandezza alla quale si dà il nome di «momento».

poniamo ancora di voler sospendere con un chiodo un peso ad un muro: dobbiamo realizzare un vincolo.

Questi sono esempi elementari tratti dalla esperienza quotidiana; naturalmente nel campo delle costruzioni le cose sono un poco più complicate ma sostanzialmente il discorso è lo stesso. L'operazione che compie il muratore quando appoggia una trave di legno, ad esempio la capriata già vista nel § 2, sui muri per poter chiudere e isolare con una copertura un semplice vano è esattamente la stessa: qui la trave è l'elemento pesante che trova il contrasto nel muro che lo sostiene (fig. 1.9).

In questo caso il vincolo andrà realizzato per impedire oltre che la caduta della copertura, anche il deterioramento della trave che la sostiene, deterioramento che quasi sempre è prodotto da infiltrazioni di acqua; e ciò si ottiene come si suol dire «apparecchiando» quella parte del muro sulla quale andrà a poggiare la trave.

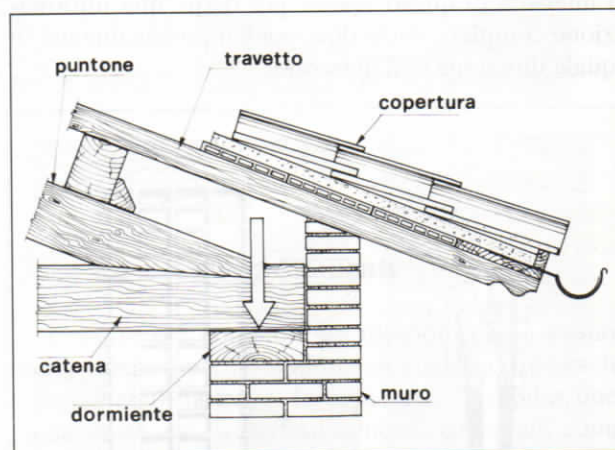


Fig. 1.9 - Particolare dell'appoggio di una capriata in legno sulle pareti in muratura.

Le stesse considerazioni si possono fare, sempre su questo esempio, quando ci chiediamo come avviene il collegamento tra il muro ed il terreno sul quale esso sorge; considerazioni che non possono essere approfondite qui, ma che del resto appartengono anch'esse alla esperienza quotidiana, e che scaturiscono dalla osservazione dei fatti; nella parte di attacco del muro al terreno si effettua uno scavo più largo del muro stesso e nel quale viene predisposto un nuovo elemento: la *fondazione*. È attraverso essa che in definitiva i pesi di tutte le parti superiori vengono trasmessi al terreno, (fig. 1.10).

In particolare, il vincolo che trasferisce le azioni applicate alla struttura ad un corpo circostante, in tal caso il suolo, si definisce **vincolo esterno**.

Consideriamo infine un ultimo esempio. Supponiamo ancora una volta di dover attraversare quel

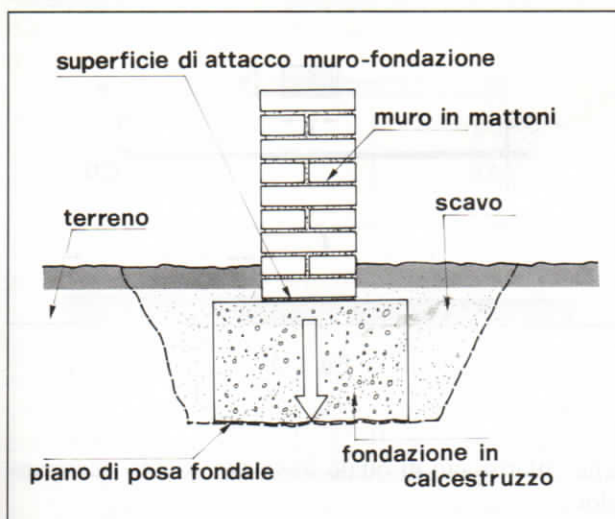


Fig. 1.10 - Particolare del vincolo muro-terreno (vincolo esterno).

tale fiumicello: ma questa volta immagineremo di avere a disposizione delle assi di legno – o travi – le cui lunghezze singole sono inferiori alla larghezza del fiume da attraversare; né possiamo pensare di mettere tra una sponda e l'altra dei massi per costituire degli appoggi intermedi. Vi sono molti modi per risolvere il problema, e tanto per non pensare che si tratti di operazioni fantastiche, rendiamoci pure conto che questo è il problema che si deve risolvere quando si progetta un ponte. Dunque dicevamo che si tratta in sostanza di pensare a qualche cosa, la cui lunghezza sia maggiore degli elementi che abbiamo a disposizione. Naturalmente dobbiamo pensare di avere a disposizione altri elementi, come ad esempio chiodi, martelli e pialle; in caso contrario la soluzione del problema diventerebbe ardua.

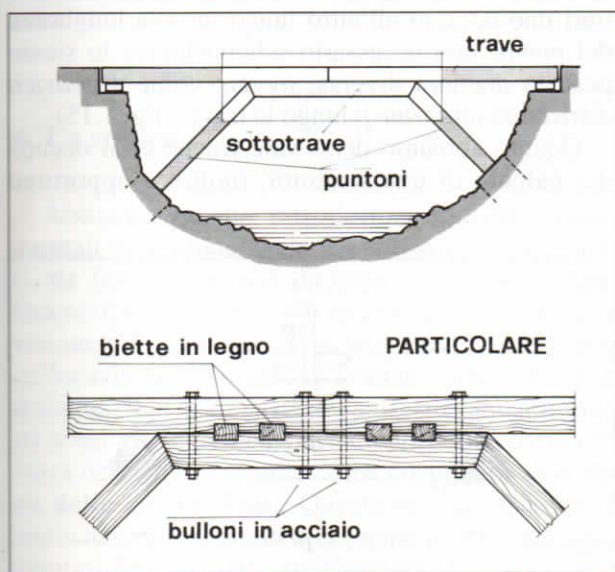


Fig. 1.11 - Esempio di vincolo interno fra gli elementi che costituiscono una struttura.

La fig. 1.11 mostra una possibile soluzione: le biette in legno, incollate o inchiodate, ovvero i bulloni in acciaio costituiscono i **vincoli interni** che connettono i singoli elementi (trave, sottotrave, puntoni) della struttura fra di loro.

Dal suo esame appare la risoluzione del problema (anche qui occorre chiederci: è sicuro? è agibile?): mettendo insieme certi elementi strutturali, abbiamo costruito una struttura: il «mettere insieme» del senso comune viene sostituito, nel linguaggio scientifico, dal *vincolare mutuamente*. Né sarà superfluo osservare che il collegamento tra le varie parti della struttura deve essere efficace: nessuno affiderebbe la propria incolumità ad un collegamento sommario o mal eseguito. In questo senso si parla, sempre nel linguaggio tecnico, di *efficacia dei vincoli*.

5. Gli elementi strutturali ed i loro vincoli

Come abbiamo già detto, una trave, un pilastro, un arco possono essere fatti con diversi materiali e possono avere le forme più disparate. Cercare di capire che cosa esattamente accade in questi elementi, quando essi sono impiegati ed impegnati in una costruzione, è cosa estremamente difficile non soltanto in questa sede ma anche quando sia possibile adoperare strumenti di analisi assai complessi ed elevati.

Sono trascorsi secoli dal tempo in cui Galileo effettuava i primi esperimenti sulle travi di legno (fig. 1.12); eppure noi abbiamo oggi a disposizione formule per il loro calcolo, che non sono sostanzialmente diverse da quelle a suo tempo stabilite. Tali formule oggi vengono dedotte attraverso una teoria approssimata fondata su una sostanziale semplificazione del problema e che porta alla rappresentazione della trave mediante il suo **asse geometrico**, tenuto conto del fatto che questa è un elemento strutturale caratterizzato dall'aver una dimensione (la lunghezza) preponderante rispetto alle altre due.

Come avremo occasione di mostrare nel seguito, tutti gli elementi strutturali e le strutture che dalla loro associazione nascono, vengono rappresentati in modo semplificato attraverso una operazione, molto efficace ai fini pratici, che è la *schematizzazione*; in altre parole, consci di non poter raggiungere la conoscenza effettiva del fenomeno, noi ci accontentiamo di una loro rappresentazione schematica che ne mette in luce gli aspetti fondamentali, trascurandone deliberatamente altri che vengono ritenuti secondari; naturalmente per poter *schematizzare* un fenomeno occorrono lunghe e collaudate esperienze che mettono in luce la bontà della schematizzazione, senza di che l'operazione sarebbe del

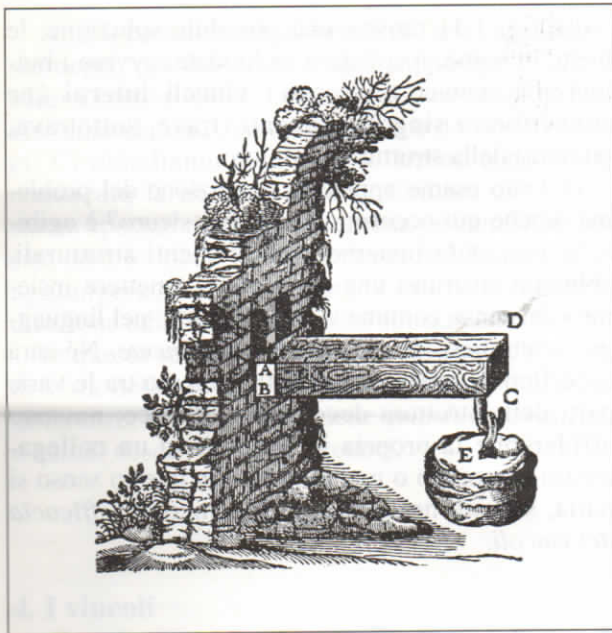


Fig. 1.12 - Questo disegno è tratto da «Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze», apparso per la prima volta nella edizione di Leida nel 1638. In esso Galileo sperimenta delle travi di legno incastrate ad un estremo e soggette ad un carico nell'estremità libera, per determinare il valore del carico che produce la rottura della trave.

tutto inutile oltre che dannosa. Le conseguenze di queste schematizzazioni sono di estrema utilità sul piano operativo perché permettono di analizzare gli aspetti fondamentali di diversi problemi e di raggrupparli per caratteristiche comuni o, come suol dirsi, di *tipizzare*. Da ciò nasce la **tipologia strutturale**, che è lo studio dei problemi concernenti strutture che hanno caratteristiche comuni. Altre conseguenze, sempre di carattere pratico, riguardano la rappresentazione geometrica dei problemi in studio; quando ad esempio si parlerà delle travi o degli archi, non sarà necessario rappresentare sul foglio una particolare trave od un particolare arco ma sarà sufficiente disegnare il loro **schema statico e geometrico** insieme.

Quando diciamo *schema geometrico* intendiamo un disegno che contiene tutte le informazioni relative alla forma della struttura; quando diciamo *schema statico* intendiamo lo schema geometrico precedente munito di ulteriori simboli, che ci danno tutte le informazioni circa i vincoli ed i carichi che agiscono sulla struttura.

Ad esempio, se pensiamo ad una trave potremo pensare di rappresentarla, in una certa scala di disegno, con un segmento di retta; ma è chiaro che questo solo disegno non potrà rappresentare indifferentemente una trave appoggiata su due muri o una trave incastrata in un muro; al segmento che rappresenta la trave dovremo aggiungere dei simboli,

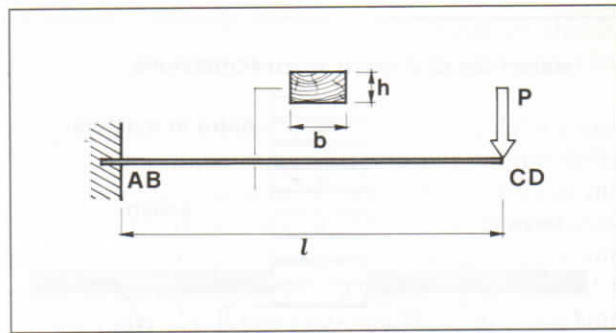


Fig. 1.13

che chiariscano di quale trave noi stiamo occupandoci.

Riferendoci all'esempio illustrato nella fig. 1.12, lo schema geometrico della struttura si ottiene disegnando una trave rettilinea di sezione costante ($b \times h$) e lunghezza l ; lo schema statico risulta quello di una trave incastrata nell'estremo AB e soggetta ad un carico P concentrato nell'estremo libero CD, com'è sinteticamente riportato in fig. 1.13.

Identiche considerazioni vanno fatte per rappresentare i *carichi* che la trave deve sopportare, carichi che, come vedremo nel seguito, possono essere sostanzialmente di due tipi distinti: *concentrati* e *distribuiti*; ad essi competono diverse rappresentazioni.

Se riprendiamo il caso della pila di libri disposta al centro di un ripiano, lo schema statico e geometrico (fig. 1.14) è quello di una trave semplicemente appoggiata agli estremi e soggetta ad un *carico concentrato* P (vista la limitata superficie di ingombro dei libri rispetto alla lunghezza del piano).

Se invece immaginiamo di disporre i medesimi libri uno accanto all'altro lungo tutta la lunghezza del piano, sarà necessario schematizzare lo stesso peso in maniera diversa, ovvero come un *carico distribuito uniforme* p lungo la trave (fig. 1.15).

Quanto abbiamo detto vale finché ci si occupa del **calcolo** di una struttura; inoltre è opportuno

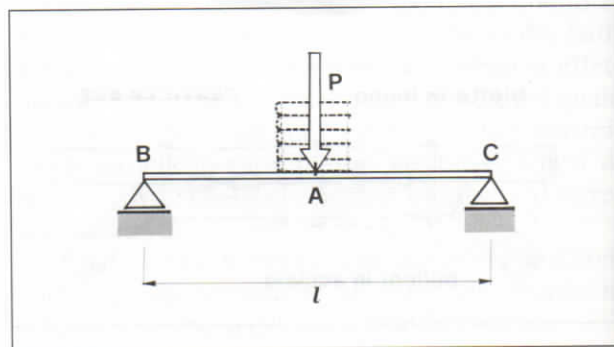


Fig. 1.14

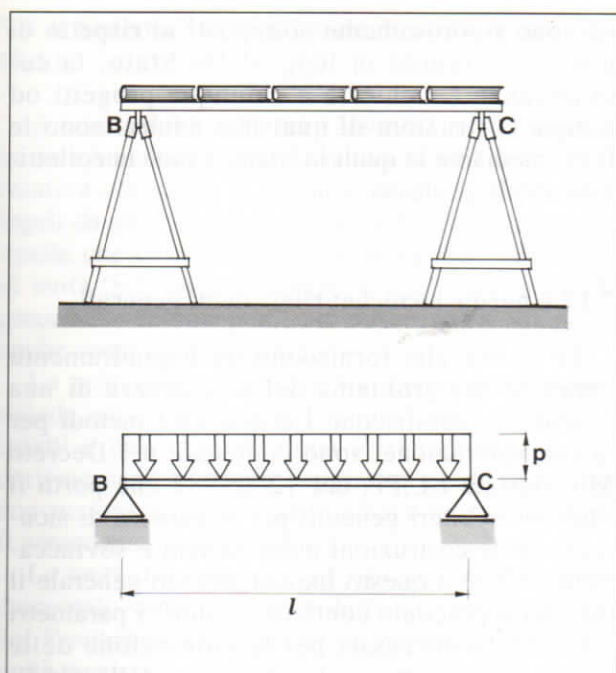


Fig. 1.15

anticipare sin d'ora che il **progetto** della struttura si articola in varie fasi, dalla ideazione alla definizione finale, e che ciascuna fase richiede mezzi e strumenti appropriati: il corso completo di costruzioni deve assolvere questo compito.

Tali fasi di progetto sono, sinteticamente, le seguenti: individuazione delle azioni da sostenere (analisi dei carichi), ideazione della struttura, coerentemente con i limiti architettonici e la funzionalità (schema statico), esecuzione delle verifiche di affidabilità in termini di calcolo (criteri di resistenza e di agibilità), definizione delle modalità costruttive tramite grafici esecutivi da trasmettere in cantiere.

6. La statica

Abbiamo fin qui introdotto i concetti fondamentali deducendoli, via via che si sono presentati, da fatti concreti e da esperienze quotidiane. Occorre ora inquadrare questi concetti in una visione più generale, in cui essi trovino una esatta collocazione. Abbiamo accennato alle forze, alle deformazioni del materiale, agli spostamenti; questi sono gli ingredienti principali della teoria che verrà descritta in seguito e che costituisce la **statica delle costruzioni**.⁴ Questa teoria nasce dalla applicazione sistematica di poche e semplici leggi naturali desunte dall'equilibrio dei corpi e dal loro comportamento di fronte alle forze che li sollecitano.

In un primo momento noi supporremo che il materiale che costituisce la struttura sia **indeformabile**, ovvero rigido; ci occuperemo quindi della statica dei corpi rigidi la quale non è altro che lo studio analitico o grafico dell'equilibrio delle strutture. Successivamente introdurremo il concetto di **deformabilità del materiale**, sia per la determinazione degli spostamenti della struttura sia per risolvere in modo univoco quei problemi che con l'ausilio della sola statica dei corpi rigidi ammetterebbero infinite soluzioni.

L'ipotesi di rigidità del materiale costituente la struttura è una di quelle schematizzazioni di cui si è detto: essa è di grandissima utilità e trova la sua naturale giustificazione nel fatto che le deformazioni che subiscono i materiali da costruzione sotto l'effetto di cause esterne sono trascurabili rispetto alle dimensioni delle strutture stesse, almeno nei casi più comuni e semplici.

Naturalmente con ciò non si vuol dire che le deformazioni sono sempre trascurabili: esse lo sono solo ai fini della analisi statica delle forze in gioco, laddove essa è possibile senza ricorrere appunto all'intervento delle deformazioni. Così è evidente che se si vuole conoscere l'abbassamento, che subisce una sezione di una trave per effetto di un determinato carico agente su di essa, occorrerà rimuovere l'ipotesi di rigidità e mettere in conto il comportamento del materiale costituente la trave.

Le leggi che stabiliscono il comportamento dei materiali scaturiscono anch'esse dall'esame delle realtà fisiche e dalla loro successiva schematizzazione.

Ciascun materiale ha un proprio comportamento rispetto alle azioni esterne; azioni che possono essere di varia natura, come ad esempio forze, variazioni termiche, variazioni di umidità. La conoscenza del modo di comportarsi del materiale - o come suol dirsi delle *risposte* del materiale - è l'oggetto di prove specifiche che vengono eseguite in appositi laboratori di ricerca; allo stato attuale è universalmente accettata, per gli impieghi comuni, la legge che lega linearmente le cause e gli effetti, o **legge di Hooke**, enunciata come legame osservato tra forze e spostamenti in esperimenti condotti su molle (fig. 1.16) nel 1678.

Torneremo anche su questo argomento in seguito; per ora è sufficiente osservare che la conoscenza del comportamento dei materiali è fondamentale perché ci permette di prevedere, entro certi limiti, il comportamento delle strutture che con quel materiale sono realizzate.

⁴ Notiamo che esistono altre discipline, come la *tecnologia delle costruzioni* e la *storia delle costruzioni* (o dell'architettura), i cui ingredienti sono diversi, ma l'oggetto di queste discipline è sempre lo stesso.

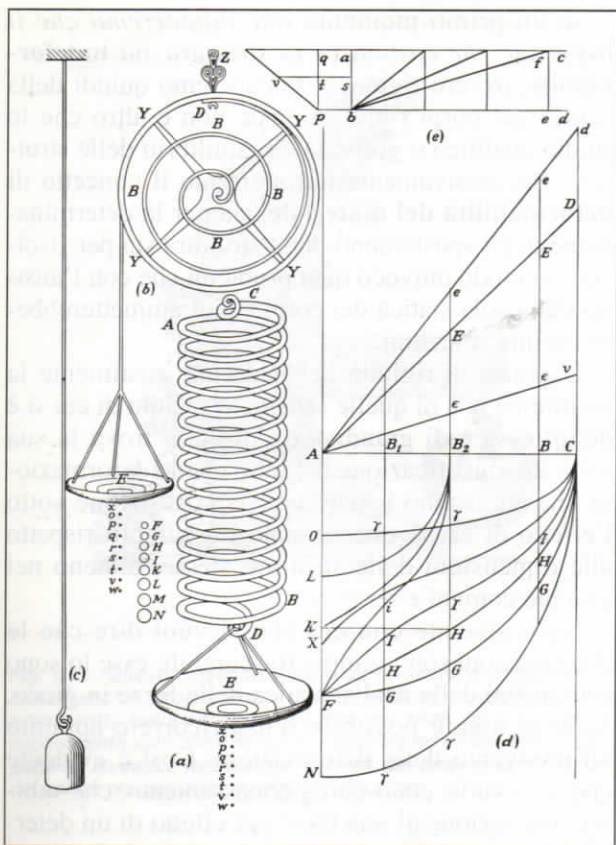


Fig. 1.16 - Esperimenti di R. Hooke sulla deformazione dei corpi elastici, in particolare molle («De Potentia Restitutiva», 1678); la deformazione della molla è direttamente proporzionale alla forza che la sollecita, secondo un coefficiente che dipende dalla natura del materiale, che costituisce la molla, e dalla sua forma.

7. Le costruzioni e la legislazione relativa

Le osservazioni sin qui fatte propongono considerazioni di estrema importanza perché è su di esse che dovremo fare affidamento all'atto della progettazione di una struttura. L'esatta conoscenza delle forze che agiscono sulla costruzione, dei materiali, il controllo del processo mediante il quale la struttura viene realizzata, il suo comportamento nel tempo, sono fattori di difficile valutazione che possono essere soltanto previsti con ampi margini di oscillazione; e, quand'anche essi potessero essere previsti con estrema esattezza – il che è chiaramente impossibile – il problema resterebbe comunque non risolvibile a causa di difficoltà di tipo analitico insuperabili, anche se si usassero strumenti matematici più sofisticati di quelli in nostro possesso.

Per questi motivi, dovendo comunque garantire un sufficiente margine di sicurezza, la determinazione dei carichi, i procedimenti di calcolo, il controllo dei materiali ed i metodi di esecuzione

ne sono rigorosamente sottoposti al rispetto di norme contenute in leggi dello Stato, la cui osservanza è richiesta a chiunque progetti od esegua costruzioni di qualsiasi natura: sono le leggi mediante le quali lo Stato, e cioè la collettività, tutela se stesso.

7.1 Le norme tecniche: riferimenti generali

Le norme che forniscono un inquadramento generale del problema della sicurezza di una struttura e stabiliscono i criteri ed i metodi per la sua valutazione, sono contenute nel Decreto Ministeriale LL.PP. del 12/2/1982 che porta il titolo di «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi». Oltre a questo inquadramento generale il decreto sopracitato contiene i valori, i parametri e le regole necessari per la valutazione delle azioni sulle strutture e l'indicazione delle condizioni di carico da considerare nel calcolo.

Per la verifica delle costruzioni in zona sismica bisogna, inoltre, fare riferimento a particolari ipotesi di carico che sono contenute nella Legge n. 64 del 2/2/1974 e nel D.M. LL.PP. del 24/1/1986: «Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche».

Le norme tecniche relative alle indagini sui terreni e la stabilità dei pendii, nonché le prescrizioni per la progettazione e l'esecuzione delle opere di sostegno e di fondazione, si trovano nel D.M. LL.PP. 11/3/1988.

Altri specifici strumenti normativi riguardano opere particolari come le strade, i ponti stradali, le costruzioni idrauliche.

Sono ugualmente oggetto di decreti ministeriali le norme relative alla determinazione delle caratteristiche dei materiali da costruzione con la descrizione delle prove di laboratorio e la conseguente classificazione in base alla qualità, nonché l'indicazione dei procedimenti di calcolo e dei sistemi esecutivi da applicarsi a costruzioni di diverso tipo.

Specificamente le «Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento» sono contenute nel D.M. LL.PP. 20/11/1987.

Le prescrizioni per le strutture metalliche e per quelle in cemento armato, disciplinate dalla L. 1086/71, sono oggetto del D.M. LL.PP. 14/2/1992 intitolato: «Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche».

L'elenco completo delle norme inerenti il calcolo degli elementi strutturali è contenuto nel Prontuario.

7.2 Il Si (S.I.)

A nor
so in «A
relativa
legali da
quelle ch
di unità
preceden
anche co

La pri
risiede n
infatti il
derivate
conversio
il precede

Le uni
damentali
nel Pront
unità tecn

Riferen
zioni, il S
di forza il
imprime a
ne pari a 1

Il prece
ammesso,
finito come
za di un'ad
pari a $g = 9$

1 kg_f

7.2 Il Sistema Internazionale di unità di misura (S.I.)

A norma del D.P.R. del 12/8/1982 n. 802, emesso in «Attuazione della Direttiva (CEE) n. 80/801 relativa alle unità di misura», le unità di misura legali da utilizzare per esprimere le grandezze sono quelle che costituiscono il Sistema Internazionale di unità (S.I.) in sostituzione di quelle previste dal precedente sistema pratico di misura (M.K.S.), noto anche come sistema tecnico.

La principale differenza fra questi due sistemi risiede nel fatto che il S.I. è un sistema coerente: infatti il passaggio da unità fondamentali a unità derivate avviene senza l'applicazione di fattori di conversione, come invece risultava necessario con il precedente sistema tecnico.

Le unità di misura del S.I., distinte in unità fondamentali, supplementari e derivate, sono riportate nel Prontuario; come anche, in apposita tabella, le unità tecniche.

Riferendoci all'ambito della statica delle costruzioni, il Sistema Internazionale utilizza come unità di forza il **Newton** (N), definito come la forza che imprime al *kilogrammo-massa* (kg) un'accelerazione pari a 1 m/s^2 :

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

Il precedente sistema tecnico M.K.S., non più ammesso, adottava il *kilogrammo-forza* (kg_f), definito come peso del *kilogrammo-massa*; in presenza di un'accelerazione di gravità terrestre media pari a $g = 9,81 \text{ m/s}$, si ottiene:

$$1 \text{ kg}_f = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

La conversione dell'unità di forza dal vecchio sistema pratico degli ingegneri a quello S.I. risulta la seguente:

$$1 \text{ kg}_f = 9,81 \text{ N}$$

ovvero anche

$$1 \text{ N} = \frac{1}{9,81} \text{ kg}_f = 0,102 \text{ kg}_f$$

Nell'analisi strutturale delle costruzioni, considerando il grado di approssimazione dei calcoli statici e nei casi in cui i parametri di riferimento assumano valori non elevati, è possibile arrotondare la conversione commettendo un errore trascurabile e porre così:

$$1 \text{ kg}_f = 10 \text{ N} \quad \text{ovvero} \quad 1 \text{ N} = 0,10 \text{ kg}_f$$

Infatti le norme tecniche ammettono tale conversione semplificata per le verifiche relative al calcestruzzo ed alla muratura, che hanno valori contenuti delle tensioni ammissibili, mentre nel caso dell'acciaio, che ha valori elevati delle tensioni di riferimento, è necessario utilizzare i fattori di conversione esatta. Tali coefficienti sono riportati in una specifica tabella del Prontuario.

Nello svolgimento degli esercizi nel testo vengono impiegate le unità di misura nel sistema S.I., mentre ai risultati finali si affiancano, in parentesi, le notazioni secondo il vecchio sistema M.K.S., adottando per comodità la conversione approssimata, detta anche notazione tecnica.