

## INTRODUZIONE

La Scienza delle Costruzioni ha per oggetto lo studio dei problemi inerenti alla robustezza degli organi resistenti delle costruzioni e delle macchine.

Tale studio si esplica attraverso:

*il progetto*, quando si tratti di apprestare i piani secondo i quali dovranno essere eseguite le strutture relative ad una data costruzione;

*la verifica*, quando occorra giudicare se una struttura esistente sia o meno idonea, dal punto di vista della robustezza, ad assolvere l'ufficio cui è destinata;

*il collaudo*, quando si debba controllare la rispondenza tra le previsioni fatte in progetto e l'effettivo comportamento della struttura eseguita.

Per struttura intendiamo l'insieme degli elementi materiali che fanno d'una costruzione un complesso idoneo a resistere indefinitamente alle azioni di varia natura cui essa è soggetta.

\* \* \*

Le costruzioni sono di regola sottoposte a forze esplicitamente date, cui si dà il nome di *carichi*.

A seconda della loro origine, queste azioni possono distinguersi in forze vere e proprie (peso proprio, spinta delle terre e delle acque, pres-

sione del vento, ecc.) e in forze d'inerzia nel senso del principio di d'Alembert (forze di frenamento dei veicoli, forze di massa degli organi di macchine in moto, ecc.).

Si dicono *statici* i carichi agenti sopra corpi in riposo, costanti nel tempo o variabili con tale lentezza da poter trascurare le forze d'inerzia che ne derivano. Si annoverano tra questi:

*il carico permanente o fisso*, che agisce di continuo, con intensità e direzione invariabili col tempo, come avviene per il peso proprio degli elementi materiali che compongono le costruzioni;

*il sovraccarico o carico accidentale*, la cui azione, del resto identica a quella del carico precedente, si esplica in modo saltuario; il carico che può, in altri termini, mancare o essere attivo, come si verifica per il carico della neve sulle coperture, per la spinta dei liquidi nei serbatoi, ecc.;

*i carichi mobili*, i quali non variano d'intensità, ma si spostano sulla costruzione modificando i loro punti d'applicazione ed eventualmente le loro direzioni; si ammette però che il moto sia abbastanza lento da non suscitare apprezzabili reazioni d'inerzia. Tra i carichi di questa specie si possono comprendere le pressioni delle ruote d'un veicolo che si muova con moto lento ed uniforme sopra un ponte.

Si dicono *cinetostatici* i carichi corrispondenti ad azioni d'inerzia di corpi in moto, quando questi possano supporre rigidi senza errori apprezzabili.

Si dicono infine *dinamici* i carichi che suscitano reazioni d'inerzia non trascurabili, come avviene per le azioni d'urto: in tal caso non sussiste più l'equilibrio istantaneo tra i carichi e le forze interne, e la struttura entra in vibrazione con la sua frequenza fondamentale caratteristica. Fenomeni del genere si manifestano anche nei ponti percorsi da veicoli soggetti a brusche variazioni di velocità, nelle armature dei turboalternatori, cimentate dalle violente azioni elettrodinamiche determinate da corti circuiti, ecc.

Speciale importanza tra i carichi dinamici hanno quelli variabili nel tempo con legge periodica che agiscono nelle locomotive e negli organi dotati di moto alterno o rotativo delle macchine; anche se di modesta entità, essi possono tradurre il moto iniziale di deformazione in vibrazioni forzate e produrre cimenti elevatissimi, capaci di vincere la resistenza degli organi che ne sono interessati.

Accanto ai carichi, altre azioni interessano la robustezza delle strut-

ture, e vanno perciò tenute in debito conto. Talune di esse derivano da certe proprietà dei materiali da costruzione, quali ad esempio, le variazioni di volume (*ritiro*) che accompagnano l'indurimento dei getti di ghisa o di calcestruzzo; altre provengono dalle oscillazioni della temperatura intorno a quella di montaggio o di costruzione, quando la struttura sia comunque ostacolata ad espandersi liberamente per assumere la corrispondente dilatazione; altre infine traggono origine da difetti di montaggio o di costruzione, da spostamenti relativi di punti della struttura o da cedimenti dei vincoli, imposti o che si producano accidentalmente.

\* \* \*

Gran parte dei problemi della Scienza delle Costruzioni sono problemi d'equilibrio.

I carichi agenti sopra una struttura o sopra un suo elemento materiale ne determinerebbero in generale il movimento se non agisse simultaneamente il sistema di forza equivalente ed opposto ai carichi costituito dalle *reazioni di vincoli*. Eccezionalmente può verificarsi che i carichi costituiscano un sistema equilibrato in sè; l'equilibrio sussiste in tal caso anche in assenza di vincoli; se questi esistono, non sviluppano reazioni per quel dato sistema di forze attive.

Il complesso delle forze in equilibrio — carichi e reazioni vincolari — costituisce il sistema delle *forze esterne*. È necessario conoscere singolarmente queste forze per poter determinare il cimento cui internamente è sottoposta la struttura; ne segue che, assegnato il sistema delle forze attive, un primo fondamentale problema che la Scienza delle Costruzioni deve risolvere consiste nella ricerca delle rimanenti forze esterne, cioè delle reazioni dei vincoli.

All'uopo occorre stabilire preliminarmente se i vincoli sono:

*insufficienti*: la struttura è *labile*, ossia non definita geometricamente. Lo equilibrio è allora, in generale, impossibile: sotto l'azione delle forze esplicite essa si porrà in movimento fino all'incontro di altri vincoli atti a fissarne la configurazione. Organismi di questo tipo — catene cinematiche o *sistemi ipostatici* — sono di regola privi d'interesse per la Scienza delle Costruzioni;

*sufficienti*: le condizioni di vincolo, che nel caso precedente erano in difetto, sono ora nel numero strettamente necessario per fissare la struttura nella varietà a cui appartiene: tre condizioni nel piano, sei nello

spazio, traducibili in altrettante equazioni indipendenti nelle coordinate dei punti vincolati. I parametri delle reazioni corrispondenti alle condizioni di vincolo sono allora nello stesso numero delle equazioni d'equilibrio dei sistemi rigidi; basterà pertanto risolvere il sistema di queste equazioni, nelle quali detti parametri figurano come incognite, per determinarli in modo univoco. Le strutture così vincolate si dicono *isostatiche* o *staticamente determinate*, appunto perchè basta la *sola* statica dei sistemi rigidi per valutarne le reazioni dei vincoli, purchè, beninteso, la struttura possa essere assimilata con buona approssimazione ad un sistema rigido, la sua deformazione non sia in altri termini così cospicua da alterare apprezzabilmente la configurazione dei carichi;

*sovraabbondanti*: le condizioni di vincolo ed i corrispondenti parametri delle reazioni sono in numero superiore a quello delle equazioni fornite dalla statica dei corpi rigidi. La struttura si dice allora *iperstatica* o *staticamente indeterminata*, perchè, contrariamente a quanto si verificava nel caso precedente, non un solo sistema di reazioni rispetta l'equilibrio rigido, ma infiniti sistemi; si possono infatti fissare ad arbitrio gli  $n$  parametri eccedenti il numero delle equazioni disponibili e determinare coll'ausilio di queste, ogni volta un sistema diverso di reazioni vincolari.

Il grado d'indeterminazione d'una struttura iperstatica è uguale al numero delle condizioni di vincolo eccedenti quello delle equazioni disponibili: diremo perciò una struttura staticamente indeterminata *semplicemente, doppiamente, . . . . . , n volte iperstatica*, secondochè eccedano una, due, . . . . . ,  $n$  condizioni di vincolo a quelle necessarie e sufficienti per la determinazione statica.

\* \* \*

La tecnica delle costruzioni offre esempi numerosissimi di sistemi il cui equilibrio, dal punto di vista della statica dei sistemi rigidi, si presenta indeterminato o impossibile; e tuttavia l'esperienza dimostra che essi trovano stati di equilibrio ben definiti.

Un esempio ormai classico, particolarmente espressivo, è quello offerto da tre aste rettilinee concorrenti in un punto  $D$  (fig. 1), articolate a cerniera ad entrambe le estremità, e collegate a tre punti fissi  $A, B, C$ .

Ovviamente, se i quattro punti  $A, B, C, D$  non appartengono al medesimo piano, supposto agire nel punto  $D$  una forza esterna qualsiasi  $P$ , restano determinate le reazioni opposte dalle tre aste; per calcolarle basta decomporre secondo le loro direzioni la forza  $P$  cambiata di segno.

La soluzione sarebbe rigorosa se il sistema considerato fosse perfettamente rigido; essendo invece le aste costituite di materiale deformabile, l'azione degli sforzi che in esse si esercitano altera le loro lunghezze, e in definitiva dà luogo a un certo spostamento del loro punto di concorso  $D$ . La soluzione potrà tuttavia essere accettata in via di approssimazione se le deformazioni sono sufficientemente piccole rispetto alle dimensioni del sistema, talchè risultino alterate di pochissimo le direzioni delle aste e quindi anche le intensità delle reazioni. Con approssimazione tanto più grande quanto più piccole sono le deformazioni, la ricerca delle reazioni vincolari potrà effettuarsi trattando il sistema come se il punto  $D$  non si fosse affatto spostato, cioè alla stregua di un sistema perfettamente rigido.

Se invece le aste appartengono al medesimo piano, dal punto di vista dell'equilibrio, il problema di determinare le reazioni che esse sviluppano si presenta indeterminato o impossibile secondochè la retta d'azione della forza esterna applicata in  $D$  appartenga o meno allo stesso piano del sistema.

Nel primo caso si può infatti fissare ad arbitrio lo sforzo in una qualunque delle tre aste e determinare poi univocamente quelli delle altre due in modo che soddisfino all'equilibrio del punto  $D$  nel piano del sistema (fig. 1 *b*). Nel secondo caso non può sussistere l'equilibrio rigido, perchè qualunque siano le reazioni che si immaginano sviluppare le aste, esse ammetteranno una risultante necessariamente appartenente al piano del sistema e che pertanto non potrà mai equilibrare la forza  $P$ , per ipotesi fuori del piano.

Sia l'indeterminazione del primo, sia l'impossibilità d'equilibrio del secondo caso, scompaiono ove si abbia riguardo alla deformabilità del sistema.

Nel primo caso basterà dare le lunghezze dopo la deformazione  $AD_1$ ,  $BD_2$ , di due delle aste, perchè resti determinata la posizione del punto  $D'$  nel piano e quindi anche la lunghezza  $CD'$  della terza asta; sussiste in altri termini tra le lunghezze delle tre aste una relazione geometrica che

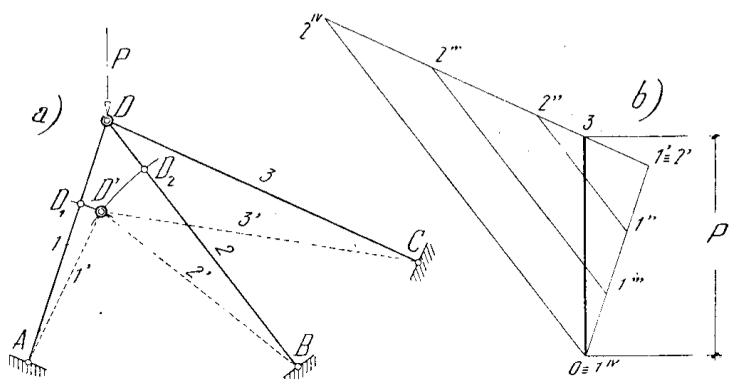


Fig. 1

può tradursi in un'equazione tra le reazioni incognite nota che sia la legge con cui si alterano le lunghezze delle singole aste in funzione degli sforzi che in esse si sviluppano. Questa equazione, associata alle due fornite dalla statica, individua la soluzione del problema.

Nel secondo caso, una variazione generica nelle lunghezze delle aste consentirà al punto  $D$  di uscire dal piano del sistema, ciò che rende senz'altro possibile e univoca la determinazione delle reazioni.

\* \* \*

Supposte ora determinate per una data struttura le reazioni dei vincoli, eventualmente con l'ausilio dello studio delle deformazioni ove si tratti di sistema iperstatico, e conosciuto così il complesso delle forze esterne sotto l'azione delle quali la struttura trovasi in equilibrio, si tratta di

affrontare il problema fondamentale della Scienza delle Costruzioni, di stabilire cioè se i materiali costituenti la struttura ed i suoi stessi vincoli siano sufficientemente resistenti per sopportare quel complesso di forze.

Questa importante analisi compie già un passo apprezzabile

con l'applicazione del postulato dell'azione e reazione.

Si immagini eseguito un taglio nella struttura (fig. 2), tale che questa ne risulti separata nelle due porzioni  $A_1$  ed  $A_2$ . Potremo ripristinare l'equilibrio delle due parti, in generale turbato colla suddetta

separazione, applicando, come forze esterne, alle due faccie  $S_1$  ed  $S_2$  ottenute col taglio, le stesse azioni mutue o *tensioni interne*, uguali ed opposte, ch'esse si trasmettevano nell'intero sistema.

Ora, la risultante  $R_1$  di tali azioni mutue, per esempio sulla faccia  $S_1$ , coincide proprio con la risultante delle forze esterne agenti sulla porzione  $A_2$ , e può pertanto essere determinata con operazioni elementari di composizione.

Ma siamo ancora lontani dal poter trarne il giudizio che ci interessa. La  $R_1$  rappresenta nient'altro che l'azione globale che una porzione di sistema esercita sull'altra attraverso la *sezione* considerata; per poter valutare il cimento del materiale in quella sezione e giudicarne la possi-

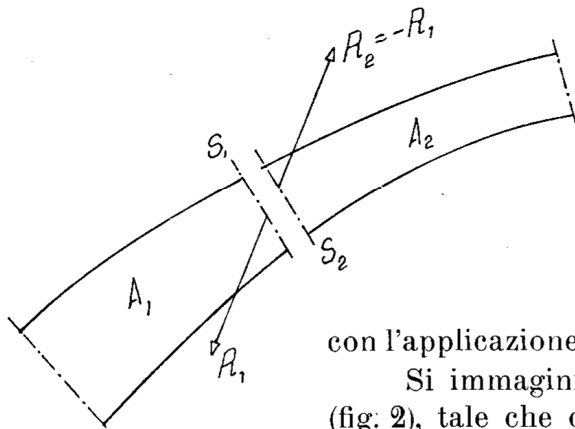


Fig. 2

bilità di resistenza, è invece essenziale conoscere le azioni elementari d'onde risulta la stessa  $\mathbf{R}_1$ , in altre parole, la legge con cui questa forza è distribuita sugli elementi della superficie  $S_1$ .

Ci ritroviamo così di fronte a un problema che la statica dei sistemi rigidi è incapace di risolvere, in quanto è possibile immaginare infinite distribuzioni di forze superficiali agenti sulla sezione  $S_1$ , tutte equivalenti staticamente alla  $\mathbf{R}_1$ , aventi cioè questa forza come risultante.

La risoluzione di questo problema iperstatico, come abbiamo già riconosciuto per la ricerca delle reazioni d'un sistema a vincoli sovrabbondanti, è indissolubilmente legata alla ricerca delle deformazioni.

\* \* \*

L'esempio citato a proposito della determinazione delle reazioni di un sistema avente condizioni di vincolo in numero superiore alle equazioni d'equilibrio offerte dalla statica e le considerazioni svolte successivamente nei confronti della ricerca delle tensioni interne, mettono bene in evidenza l'impossibilità di studiare l'equilibrio dei sistemi resistenti prescindendo sempre dalle loro naturali deformazioni. In particolare i sistemi presentano sempre staticamente indeterminato, e perciò esclusivamente risolvibile con riguardo alla loro deformabilità, il problema della ricerca dello stato di costrizione interna in cui sono posti dalle forze che li sollecitano.

Per queste ragioni lo studio della Scienza delle Costruzioni è basato sulla meccanica dei corpi deformabili.

La conoscenza delle deformazioni riesce inoltre utile per sè stessa, per quei controlli sperimentali che vengono effettuati in sede di collaudo, caricando i sistemi in modo preventivamente stabilito e misurando simultaneamente le deformazioni prodotte.

---