

# **VISIONE STORICA DELLA SCIENZA E DELLA TECNICA DELLE COSTRUZIONI**

Dott. Ing. CARLO PARVOPASSU

Professore ord. f. r. di Scienza delle costruzioni nell'Università degli studi di Padova

*3<sup>a</sup> Conferenza tenuta l'8 maggio 1953*

## **CAPITOLO VI**

### **L'evoluzione della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni nell'evo moderno**

#### **A) IL RINASCIMENTO, DA LEONARDO A GALILEO - XV E XVI SECOLO.**

I. Siamo al principio del 1400, quando lo stil novo e la fulgente opera di poeti e prosatori, filosofi e politici, scienziati ed artisti aveva, da noi e ovunque, vivificato il mondo dello spirito, pur tra le feroci competizioni di ideologie e di partiti, e la cultura e l'arte prorompevano in manifestazioni sublimi e possenti. Si inizia il periodo aureo del decimoquinto e decimosesto secolo, in cui il pensiero scientifico e teorico si affermeranno, con elaborazione prodigiosa, per dar luogo, nel secolo successivo, dopo le luminose prove di Cristoforo Colombo e di Leonardo da Vinci, ai due nuovi contrapposti principati di Galileo Galilei e di Renato Descartes, principati analoghi per carattere rispettivamente a quello geometrico-contemplativo di Platone ed a quello fisico-sillogistico di Aristotile, già imperanti da diciotto secoli.

II. La nuova elaborazione del pensiero scientifico e tecnico si svolse nel Rinascimento, in un'epoca nella quale la tecnica sentiva più spiccatamente, per il proprio indispensabile progresso, il bisogno dell'aiuto e della guida della teoria ed a questa guida era impaziente di ispirarsi.

Ne seguì un intimo contatto tra maestri d'arte e scienziati, tra pensatori e realizzatori, con risultati che hanno del divino.

Le matematiche e le fisiche discipline furono coltivate, con somma dottrina e spirito innovatore, da scienziati italiani e stranieri di grande rinomanza, in gran parte abacisti di aritmetica, algebra e geometria, meccanici e fisici, docenti delle gloriose università di Bologna, Pa-

dova, Pisa, Pavia, Roma e Parigi e delle grandi accademie del disegno di Firenze e di altri centri. Tra i loro nomi sono preminenti quelli di *Paolo del Pozzo Toscanelli*, celebre cosmografo fiorentino (1397-1482), dei matematici *Fra Luca Pacioli* del Borgo San Sepolcro (1450-1520), *Domenico Maria Novara* da Ferrara (1460-1530) e *Nicolò Copernico* di Thorn suo allievo (1473-1543), *Scipione Dal Ferro* (1465-1526) e *Alberto Durer* di Norimberga suo allievo (1471-1528), del bresciano insigne *Nicolò Tartaglia* (1500-1559), del pavese, famosissimo medico e matematico, *Girolamo Cardano* (1501-1576) e dell'allievo di lui, *Ludovico Ferrari*, bolognese, definito il più acuto e profondo tra i matematici del suo tempo (1522-1565), di *Raffaele Bombelli* bolognese, algebrista e geometra illustre, che segna il punto di passaggio dall'algebra geometrica degli antichi alla geometria analitica (1530-1590) di *Giovanni Battista Benedetti* veneziano (1530-1590), matematico del Duca di Savoia e primo instauratore della Scienza del moto in contrapposto alle concezioni aristoteliche, di *Guido Ubaldo del Monte* (1545-1627), del notissimo scienziato olandese *Simone Stevin* di Bruges (1548-1620), del bolognese *Pietro Antonio Cataldi* (1550-1626), fondatore dell'analisi infinitesimale con le serie infinite e le frazioni continue, e di altri minori.

Ingegneri, architetti ed idraulici famosi furono *Leon Battista Alberti* (1407-1472), celebre umanista e architetto, di famiglia fiorentina, assertore dell'opportunità di sostituire nell'esposizione scientifica la lingua volgare alla latina, autore della splendida opera « *De re aedificatoria* » in 10 libri, ultimata e pubblicata nel 1452, e di altri cospicui studi di matematica e meccanica, e di teoria dell'arte, costruttore di grande talento; *Aristotile Fioravanti* da Bologna, architetto ed idraulico a Bologna e in Russia (1450), *Sebastiano Serlio* di Bologna (1475-1512), architetto e geometra a Bologna e in Francia, *Francesco De Marchi* di Bologna (1504-1576), principe degli architetti militari, vissuto in Italia, in Francia e nel Belgio, *Filiberto Delorme* francese (1517-1577), *Vincenzo Scamozzi* (1552-1616), oltre i grandi maestri dell'arte del costruire *Filippo Brunelleschi* fiorentino (1377-1444), *Donato Lazzari* detto il Bramante, urbinato (1444-1514), *Giulio Sangallo* fiorentino (1443-1519), *Michelangelo Buonarroti*, fiorentino (1474-1564), *Giacomo Barozzi* da Vignola (1507-1573), *Giovanni Giacomo della Porta* romano (1525-1590), *Andrea Palladio* vicentino (1510-1580) ed altri.

Famoso storico delle arti figurative, e nel contempo celebre pittore ed architetto, fu *Giorgio Vasari* di Arezzo (1511-1574), cui si deve la grande opera « *Le vite dei più eccellenti pittori, scultori et architettori* », che interessa tutto il periodo da *Cimabue* (1240-1302)

alla metà del Cinquecento e comprende una notevolissima « introduzione alle tre arti del disegno ».

Sorsero nel Rinascimento le grandi Scuole di Architettura, come l'Accademia di San Luca in Roma (1577).

Ma due sono i geni sommi ed universali che, con l'intelligenza eclettica e la volontà ferrea, diressero, pur in diversi campi, questo periodo della storia della Scienza e della Tecnica, durante il quale l'Italia domina sovrana nel campo del pensiero e dell'azione, *Cristoforo Colombo* (1446-1504) e *Leonardo da Vinci* (1451-1519).

III. *Cristoforo Colombo*, navigatore, astronomo e matematico, la cui memoria è circondata di gloria e di venerazione nel mondo intero, onorò in modo eccelso la patria, scoprendo nel 1492 l'America, in un'esperienza di circumnavigazione dall'Ovest all'Est, progettata, con deliberato proposito, sin dal 1474, d'intesa con il cosmografo fiorentino Toscanelli, e realizzata dopo un lungo periodo di aspre avversioni, sostenute con tenace costanza. Nato in Liguria da famiglia non agiata, studiò nell'Università di Pavia matematica e geografia e subito dopo, con soda cultura ed animo temprato, iniziò la carriera marinara, nel 1473; dopo oltre diciotto anni di vita agitata, riuscì a vedere finalmente accolto dalla corte di Spagna il suo progetto di navigazione attraverso l'Oceano tenebroso, come era allora chiamato l'Atlantico, ed il 3 agosto 1492 iniziò, con le tre storiche caravelle, col titolo di Ammiraglio del grande Oceano e con 120 compagni, la serie dei suoi quattro viaggi fortunati, che durarono dal 1492 al 1502: purtroppo, alla fine di tante fatiche, sostenute con saggezza, sapienza ed eroismo, sopraffatto dalle perfide insinuazioni degli invidiosi, si vide negati dal Re Ferdinando di Castiglia i diritti spettantigli come Vicerè del nuovo mondo e, ridotto a povertà, morì affranto e dimenticato in una cameretta di una modesta casa di Valladolid.

*Leonardo da Vinci* <sup>(13)</sup> <sup>(14)</sup> <sup>(15)</sup>, uomo di mente formidabile e di instancabile attività, pittore, scultore, scienziato, architetto ed ingegnere, onorò, a sua volta, l'Italia con la gloria del genio. Nato a Vinci presso Empoli, figlio naturale di Ser Piero di Antonio da Vinci, nel 1452, ebbe vita avventurosa nel periodo, agitato e sublime, della storia italiana a cavallo dei secoli XV e XVI. Diciottenne, passò dalla casa di Vinci a Firenze, ove il padre era notaio, e prese occupazione nello studio del celebre artista Andrea del Verrocchio: si manifestarono

---

<sup>(13)</sup> R. CAVERNI, op. cit.

<sup>(14)</sup> R. MARCOLONGO, *Studi Vinciani*. Stab. Ind. Ed. Merid. Napoli 1937.

<sup>(15)</sup> Enciclopedia Treccani.

ivi le sue eccellenti doti di artista, non insensibile all'influenza dell'Umanesimo e della Scienza, che in Firenze erano rappresentati allora da L. B. Alberti, fra Luca Pacioli e Paolo Toscanelli, suoi amici. Nel 1483 si trasferì a Milano, ove si svolse fino al 1499 il periodo più fulgido della sua vita presso la corte sforzesca di Ludovico il Moro. Dal 1499 al 1516 seguì per lui un periodo di vita errante fra Mantova, Firenze, Venezia, Romagna, di nuovo a Firenze, Milano, ancora Firenze e Roma, con alterne vicende e preoccupazioni gravi. Dal 1516 al 1519 concluse la sua vita operosa in volontario esilio presso il cavalleresco Re di Francia Francesco I, dimorando fino alla morte, avvenuta nel 1519, nel castello di Cloux presso Amboise sulla Loira.

Uomo senza lettere si dichiara modestamente Leonardo, quegli che, avendo per il primo, con l'analisi acuta e l'osservazione spregiudicata e rigorosa, sgombrato il cammino al metodo positivo, può dirsi il precursore vero di Galileo:

*« Diranno che per non aver io lettere non poterei ben dire quello che voglio trattare: or non sanno questi che le mie cose son più da esser trattate dalla sperienza che d'altra parola, la quale fu maestra di chi bene scrisse e così per maestra la, in tutti i casi, allegherò ».*

Certo è quello che dice di lui il Vasari *« il cercar nell'opere eccellenza sopra eccellenza, come ei sempre faceva, era cagione che nessuna ne lasciasse assoluta! ».*

Giovanni Papini dice a sua volta di Leonardo *« Egli ha pensato più di tutti i suoi contemporanei e non ha pubblicato un sol libro; ha concepito le più belle visioni, i più soavi volti e non ha lasciato che scarsi abbozzi; era poeta profondo e non ha scritto un verso ».*

La sua opera è stata tuttavia tramandata dai manoscritti, ove son fissati i suoi pensieri, i suoi disegni, le sue scoperte ed invenzioni, in grandi fogli e minuscoli quaderni, che subirono purtroppo trasmissioni e dispersioni gravi: di essi sono state fatte riproduzioni successive e recentemente è stata curata per gran parte la pubblicazione dalla R. Accademia dei Lincei (*Il Codice atlantico* della Biblioteca Ambrosiana - Hoepli 1894 - Volumi 8, disegni 1760 in 401 fogli R. e V. cm 67 × 45 tav. 1384, pag. 1311) e dalla R. Commissione Vinciana (*Il Codice Arundel* 263 del Museo Britannico - Danesi 1933 - Volumi 3, fogli 283, pag. 306 e indice. *Fogli mancanti al Codice sul Volo degli Uccelli - Codicetti Forster* del Museo Victoria and Albert di Londra - *Fogli sparsi* conservati a Windsor - Danesi 1928-1952). Si tratta di un preziosissimo materiale, che meriterebbe ancora una più ampia indagine critica e commenti più estesi per mettere bene in luce l'opera del sommo artista e scienziato, che, studiosissimo di Aristotile, Euclide,

Archimede e Vitruvio, ha fornito la prova più chiara della sentenza dello stesso Vitruvio « *solo chi possiede la teoria può fare grandi cose nella pratica* ». Certo lo studio dei Manoscritti è tutt'ora, per la mole, l'intreccio indiscriminato dei molteplici argomenti, la forma di scrittura corsiva e speculare, l'ortografia e l'eloquio matematico non sempre perspicui e la incompletezza dei disegni e degli schizzi, faticosissimo e sconcertante.

Dall'esame completo e diretto del Codice atlantico e degli altri minori codici e dalla lettura dei commenti esposti da illustri studiosi dell'opera Vinciana ho potuto trarre le nozioni e conclusioni che andrò enunciando sobriamente.

a) La tecnica di Leonardo ebbe, nel campo delle arti meccaniche, precursori remoti e prossimi, dai quali certamente egli ha attinto, ma che ha sempre sorpassato; poichè « ciò che ha trascritto è assai poco in confronto di ciò che ha scritto e ciò che ha preso è poco in confronto di ciò che ha dato ».

Argani ed apparecchi di sollevamento con sistemi multipli di carrucole, martinelli, torni ed altre macchine utensili, vetture automotrici, macchine belliche, artiglierie, bastioni, ponti, strumenti nautici, scafandri, escavatrici, cavafanghi, conche con doppie porte a battente, coclee, macchine da filare, torcere, tessere, incannare, cimare, progetti per il volo strumentale, ad ali battenti o ad ali dinamicamente comprimenti, o per il volo a vela, paracadute, propulsori ad elica costituirono i principali oggetti dei suoi studi applicativi e delle sue realizzazioni.

b) L'opera scientifica di Leonardo, modesta nelle matematiche pure, è vasta ed originale nel campo della meccanica teorica ed applicata e della Resistenza dei Materiali o Scienza delle Costruzioni.

α) Pochissimi studiosi hanno considerato l'opera matematica di Leonardo, che d'altronde nel m.s. G. 96 v afferma « *Nessuna certezza è dove non si può applicare una delle scienze matematiche over che non sono unite con esse matematiche* » e nel Quaderno di Anat. IV + 140 v scrive « *Chi non è matematico non mi legga nelli mia principia!* ».

I suoi contributi alle matematiche (Ricerche sulle lunule, sulle trasformazioni dei solidi, sui centri di gravità, sulle costruzioni di strumenti matematici) e le sue conoscenze matematiche non sono per loro stesse di importanza eccezionale, ma dimostrano una riuscita elaborazione intellettuale dei fondamenti indispensabili alla meccanica. Leonardo comprese di non essere un matematico nel senso classico della parola quando stupendamente scrisse (fogli 119 V. a del Cod. Atl.) « *Vedendo io non poter pigliare materia di grande utilità o*

*diletto, perchè li omini inanti a me nati anno preso per loro tutte l'utili e necessarie teme, farò come colui il quale per povertà giugne l'ultimo alla fiera, e non potendo d'altro fornirsi, piglia tutte cose già da altri viste e non accettate, ma rifiutate per la loro poca valetudine. Io questa disprezzata e rifiutata mercanzia, rimanente dei molti compratori, metterò sopra la mia debole soma, e con quella, non per le grosse città, ma povere ville andrò distribuendo, pigliando tal premio, quale merita la cosa da me data ».*

β) Le meditazioni e le ricerche di Leonardo da Vinci sulla meccanica teorica ed applicata e sulla Resistenza dei materiali impegnarono la sua attività durante tutta la vita. Certo non tutto quello che egli notò, spesso con errori, ripetizioni ed incertezze, nel susseguirsi degli anni, avrebbe figurato nel libro *de peso et de moto*, che aveva pensato di scrivere, e forse iniziò, ma non condusse a termine.

Nessuna sintesi delle questioni meccaniche appare nei manoscritti, ma le ricerche relative, come appaiono negli originali, pur nel loro disordine e con le loro mende, rappresentano un imponente complesso per il quale Leonardo superò i suoi successori Stevin e Roberval e precorse Galileo e Newton.

*La teoria della leva retta ed angolare, il concetto di momento di una forza e la composizione di forze concorrenti, l'equilibrio sul piano inclinato, la stabilità della bilancia, il poligono di sustentazione, i centri di gravità, le carrucole, le taglie, il problema delle reazioni vincolari, la resistenza dei materiali, la teoria dell'arco e l'attrito, i concetti di forza, percussione, impeto, peso, le leggi del moto, il moto naturale dei gravi, liberi o su un piano inclinato, il moto violento dei proiettili e l'urto sono gli essenziali oggetti della meccanica vinciana, di cui le fonti prime si riconoscono in Aristotele, Archimede, Erone, Giordano di Nemore e Biagio Pellicani da Parma ma le conclusioni hanno un posto eminente nello sviluppo della statica e della dinamica e delle loro applicazioni.*

I. Circa la teoria della *leva retta ed angolare* nulla inventa Leonardo, ma riproduce con prosa robusta in volgare i risultati della meccanica greca e di quella medioevale, introducendo però delle denominazioni chiarificatrici come *lieva* e *contrallieva*, bracci della leva rispettivamente dalla parte della *potenza* e della *resistenza*; per la leva inclinata all'orizzonte o fuori del sito dell'equalità, e per la leva angolare, distingue le braccia reali o linee corporee dalle braccia potenziali o spirituali o semireali, rappresentate dalla lunghezza delle normali condotte dal fulcro o dal centro di rotazione sulle linee dei pesi e delle forze, applicati agli estremi delle braccia reali con fili detti appen-

*diletto, perchè li omini inanti a me nati anno preso per loro tutte l'utili e necessarie teme, farò come colui il quale per povertà giugne l'ultimo alla fiera, e non potendo d'altro fornirsi, piglia tutte cose già da altri viste e non accettate, ma rifiutate per la loro poca valetudine. Io questa disprezzata e rifiutata mercanzia, rimanente dei molti compratori, metterò sopra la mia debole soma, e con quella, non per le grosse città, ma povere ville andrò distribuendo, pigliando tal premio, quale merita la cosa da me data ».*

β) Le meditazioni e le ricerche di Leonardo da Vinci sulla meccanica teorica ed applicata e sulla Resistenza dei materiali impegnarono la sua attività durante tutta la vita. Certo non tutto quello che egli notò, spesso con errori, ripetizioni ed incertezze, nel susseguirsi degli anni, avrebbe figurato nel libro *de peso et de moto*, che aveva pensato di scrivere, e forse iniziò, ma non condusse a termine.

Nessuna sintesi delle questioni meccaniche appare nei manoscritti, ma le ricerche relative, come appaiono negli originali, pur nel loro disordine e con le loro mende, rappresentano un imponente complesso per il quale Leonardo superò i suoi successori Stevin e Roberval e precorse Galileo e Newton.

*La teoria della leva retta ed angolare, il concetto di momento di una forza e la composizione di forze concorrenti, l'equilibrio sul piano inclinato, la stabilità della bilancia, il poligono di sustentazione, i centri di gravità, le carrucole, le taglie, il problema delle reazioni vincolari, la resistenza dei materiali, la teoria dell'arco e l'attrito, i concetti di forza, percussione, impeto, peso, le leggi del moto, il moto naturale dei gravi, liberi o su un piano inclinato, il moto violento dei proiettili e l'urto sono gli essenziali oggetti della meccanica vinciana, di cui le fonti prime si riconoscono in Aristotele, Archimede, Erone, Giordano di Nemore e Biagio Pellicani da Parma ma le conclusioni hanno un posto eminente nello sviluppo della statica e della dinamica e delle loro applicazioni.*

I. Circa la teoria della *leva retta ed angolare* nulla inventa Leonardo, ma riproduce con prosa robusta in volgare i risultati della meccanica greca e di quella medioevale, introducendo però delle denominazioni chiarificatrici come *lieva* e *contrallieva*, bracci della leva rispettivamente dalla parte della *potenza* e della *resistenza*; per la leva inclinata all'orizzonte o fuori del sito dell'equalità, e per la leva angolare, distingue le braccia reali o linee corporee dalle braccia potenziali o spirituali o semireali, rappresentate dalla lunghezza delle normali condotte dal fulcro o dal centro di rotazione sulle linee dei pesi e delle forze, applicati agli estremi delle braccia reali con fili detti appen-

dicoli. Leonardo immagina e tratta un grandissimo numero di applicazioni, tenendo conto o no del peso proprio dei bracci della leva.

2. Del concetto di *momento di una forza rispetto ad un punto*, già chiaro ai tempi di Erone e ripreso da Giordano di Nemore per dare generalità di applicazione al principio della leva, Leonardo si vale magistralmente applicandolo ad una serie di problemi particolari non ancora trattati e scoprendo che *sono uguali i momenti delle componenti di un peso rispetto ad un punto della linea del peso stesso e che il momento di un risultante (peso) rispetto ad un punto di una delle due sue componenti (tensioni) è uguale a quello dell'altra componente rispetto allo stesso punto*: due casi particolari di quel teorema che sarà poi espresso in forma generale da Varignon (cod. Arundel fogli 1 r e 6 v).

3. Nel risolvere il problema delle tensioni nei due tratti di una corda sospesa a due punti e sostenente un peso, per primo Leonardo si occupa della *decomposizione di una forza* in due forze concorrenti con essa in un punto: trova la soluzione applicando i due casi particolari del teorema dei momenti sopra considerato ed anticipando il principio del parallelogrammo delle forze. Da Giordano di Nemore e dal Pellacani egli aveva per vero derivato il concetto di *gravitas secundum situs* ossia di componente di un peso secondo la tangente della traiettoria compatibile col vincolo, ma Leonardo avverte non essere tal componente se non una delle componenti del peso cui deve esserne associata una seconda normale alla prima.

4. Da Giordano Leonardo trae la conoscenza delle condizioni di *equilibrio di un peso sul piano inclinato*, rimaste ancora sconosciute nella meccanica greca; ma egli elabora tali condizioni e le trasforma precorrendo Stevin e ideando eleganti verifiche sperimentali (cod. H foglio 81 v.).

5. A considerare i problemi della *stabilità dell'equilibrio della bilancia* è condotto Leonardo dai *μηχανικά προβλήματα* di Aristotile: egli riconosce che tale stabilità è direttamente subordinata alla condizione che la congiungente dei punti cui sono applicati i due pesi passi al disotto del punto di appoggio: nella leva rettilinea a braccia uguali caratterizza l'equilibrio indifferente, assunto già da Pappo d'Alessandria come atto a definire il centro di gravità: la condizione d'instabilità indica come complementare a quella della stabilità.

6. Dalle condizioni di stabilità dell'equilibrio giunge alla scoperta del teorema del *poligono di sustentazione*, che cioè « se un corpo pesante poggia su un suolo piano, perchè esso sia in equilibrio è necessario

che la verticale spiccante dal suo centro di gravità abbia il suo piede nell'interno della base », teorema facilmente estensibile a forze qualunque e di cui Leonardo fa interessanti applicazioni (Cod. Arundel foglio 11 r e 95 r - Cod. Atl. foglio 33 V).

7. Della teoria dei *centri di gravità* o *baricentri* devesi a Leonardo il solo sostanziale progresso da Archimede in poi: attenendosi alla definizione ed al concetto di baricentro di Archimede, egli considera *tre centri*, cioè quello della *gravità naturale* o di massa, quello della *gravità accidentale* dipendente dal peso proprio e dai carichi accidentali, e quello della *magnitudine o gravità di volume* per un corpo omogeneo e calcola con estrema esattezza i baricentri di mensole, dischi e figure solide come tetraedri, piramidi tonde, triangolari, quadrate, poligonali (Cod. Arundel fogli 17 v, 31 r, 72 v, 123 v, 124 r, 215 v ed r. Cod. Atl. foglio 100 Vc).

8. Nel campo delle *macchine semplici*, superando le concezioni di Aristotile, Archimede ed Erone, Leonardo ha dato una teoria completa e quasi perfetta della carrucola, delle taglie e dei sistemi complessi derivanti, assimilando le pulegge fissa o mobile ad una leva retta od angolare ed applicando, talora correttamente e talora no, i suoi teoremi dei momenti, quale altro anticipo del principio dei lavori virtuali, definitivamente posto, con carattere infinitesimale, da Descartes un secolo e mezzo più tardi (Cod. Arundel foglio 174 r v e 195 v).

9. Netta concezione ha avuto Leonardo dell'importanza del problema delle *pressioni o reazioni vincolari* nell'equilibrio dei sistemi vincolati: egli ha, pur commettendo talora errori, tentato in alcuni casi particolari la soluzione di tale problema.

10. La ricerca e le esperienze sulla *resistenza dei materiali*, sulla teoria dell'*arco* e sull'*attrito* permettono di considerare Leonardo come il fondatore sagace della Scienza delle Costruzioni quale è oggi intesa, geniale precursore di Galileo che, un secolo dopo, forse nell'ignoranza delle carte Vinciane, credette di essere stato veramente il primo ad occuparsi scientificamente di quei problemi che da tempo immemorabile la pratica del costruttore aveva posti con soluzioni empiriche e lontanamente approssimate, tali però da assicurare nel modo più vantaggioso le condizioni di sicurezza di una struttura.

Leonardo si era proposto gli stessi problemi ed altri assai più ardui e ne aveva tentata la soluzione con metodi razionali corroborati dall'esperienza.

Non conoscendo i principi dell'elasticità e delle proprietà elastiche dei materiali da costruzione, egli seguì, per lo studio della re-

sistenza, il metodo del confronto, col quale restano eliminati i coefficienti elastici per il singolo materiale, e si limitò ai fenomeni di rottura o di deformazione spinta, ideando le prime macchine per la determinazione del carico e del modo di rottura per trazione dei fili metallici e di altre sostanze. In particolare:

a) considerando *sostegni* di sezione retta quadrata o circolare *posti verticalmente* con base superiore uniformemente caricata di pesi, trovò che « la resistenza a compressione è proporzionale alla superficie caricata ed inversamente proporzionale al rapporto tra l'altezza del sostegno ed il lato del quadrato od il raggio del cerchio limitanti la sezione »; la proposizione è erronea nella seconda parte, essendo ormai provato che la resistenza è inversamente proporzionale al quadrato del detto rapporto (Cod. Atl. foglio 152 R b):

considerando *travi incastrate orizzontalmente ad un estremo e caricate di un peso all'estremo opposto*, come nel problema di Galileo, affermò che « la resistenza è proporzionale al quadrato del lato della sezione e proporzionale inversamente alla lunghezza », proposizione erronea nella prima parte (Cod. A, foglio 49 r):

considerando *travi orizzontali di sezione quadrata sostenute ad ambedue gli estremi e caricate di un peso*, trovò che « la resistenza varia in diretta proporzione del quadrato del lato della sezione e inversamente alla lunghezza », mentre in fatto la resistenza varia col cubo del lato della sezione (Cod. Atl. foglio 152 R b):

considerando la deformazione per flessione di *travi orizzontali di sezione retta quadrata sorrette ad ambedue gli estremi e caricate di un peso nel punto di mezzo*, per le quali la moderna teoria dà la freccia come direttamente proporzionale al peso ed al cubo della lunghezza libera ed inversamente proporzionale alla quarta potenza del lato della sezione, Leonardo indicava, in modo parzialmente erroneo, tale freccia come proporzionale al peso ed al quadrato della lunghezza libera ed inversamente proporzionale alla terza potenza del lato della sezione (Cod. Atl. fogli 211 R b, 225 R f, 332 R b).

b) occupandosi *dell'arco circolare e dell'arco a sesto acuto* delle costruzioni gotiche e normanne, strutture usate da secoli ma studiate solo empiricamente, Leonardo per primo ne abbozzò e tentò una teoria secondo i principi della statica, definendo l'arco, i carichi e le cause di rottura nel seguente modo: « *Arco non è altro che una fortezza causata da due debolezze; imperocchè negli edifici è composto di due quarti di circolo, i quali quarti circoli ciascuno debolissimo per sè desidera cadere e oponendosi alla ruina, l'uno dell'altro, le due debolezze si conver-*

tono in un'unica fortezza»; «della qualità del peso de li archi: poichè l'arco fia composto quello rimane in equilibrio in però che tanto spingie l'uno l'altro, quanto l'altro l'uno e se e' pesa più l'uno quarto circulo che l'altro, quivi fia levata e negata la premanenza, in però che 'l maggiore vincerà il minor peso; dopo el peso eguale de' quarti circuli è necessario dare loro eguale peso di sopra, altrimenti si corerebbe nel sopradetto errore»; «dove l'arco si rompe; l'arco si romperà in quella parte che passa il suo mezzo sotto il cietro: secondo rompimento dell'arco; se il superchio peso fia posto in mezo l'arco quello desidera cadere e rompesi nei due terzi della sua altezza; vi ha un'altra cagione di ruina, l'arco verrà ancora meno per essere sospinto da traverso, in però che quando il carico non si diriza in piè dell'arco, l'arco poco dura ». Leonardo indicò anche l'eventualità per un arco di rompersi in cinque sezioni se caricato negli opposti terzi della sua curva con carichi concentrati: indicò il modo di applicare le catene, il modo di resistere delle spalle, le grossezze da assegnarsi all'arco e ai piedritti: accennò ad una rudimentale curva delle pressioni (ms. A 36 r, 47 r, 49 r, 50 r, 50 v, 51 r, ms. B 27 r. Cod. Arundel fogli 138 v, 157 r, 157 v, 195 r).

c) Importanti, se pur primitive, esperienze e considerazioni dedicò Leonardo alla *resistenza d'attrito radente o confrecazione*, che si manifesta, nel moto relativo di traslazione (slitta-suolo) o di rotazione (perno-cuscinetto), tra corpi pesanti densi con pulita superficie. Egli attribuì al coefficiente d'attrito un valore unico, uguale ad un quarto, pur avendone riconosciuto più tardi la dipendenza dalla natura dei corpi. « *La confreghatione dei chorpi puliti eppiani resiste al suo motore con potentia eguale al quarto della sua gravezza* »; « *sono le confreghatione de' chorpi di 4 sorte delle quali la prima si è quando due chorpi sono puliti eppiani, come qui è proposto; la 2<sup>a</sup> quando il chorpo strascinato (è polito), 'l piano dove si move è aspro, la 3<sup>a</sup> è quando il chorpo strascinato è aspro e 'l piano ove si move è polito; il 4<sup>o</sup> modo è quando il chorpo il strascinato (è aspro) e 'l piano dove si strascina è aspro* »; « *quando l'obliquità pulita dispone il grave polito a pesare nella linea del moto per la quarta parte della sua gravità, allora il grave è per se stessi disposto al moto del dissenso* »; « *la confreghatione circolare fia eguale alla confreghatione retta* » Cod. Arundel fogli 40 v, 41 r. Cod. Atl. fogli 72 V b, 81 R b, 81 V b, 82 R b, 112 R b, 155 V b, 197 R b, 198 R a, 201 V a, 236 V a, 305 V b).

d) La priorità di Leonardo nel definire apparecchi e metodi per le prove sperimentali dei materiali da costruzione risulta dimostrata dal seguente brano, illustrato da schizzi, del foglio 82 R b del Codice Atlantico: « *Sperie tia della forza che puo fare uno filo di fero invarie*

*lungeze. Richordo chome tudebbi fare sperie tia del regiere ov(er)ò quanto peso po sostenere uno filo di ferro — alla quale sperie tia terraj questo modo — appiccha uno filo di ferro di lungeza di 2 d (2 braccia) cir che illocho chesstia forte — d poi l'appiccha uno chauagnjo ossporta o quello che attempare nel quale per uno picciolo buco verserà una tramoggia di minuta rena — ecquando esso filo di ferro no potra piv sostenere si ropo adatta una molletta che subito il buso della tramoggia si riserrj accio cheppiv rena no chaggi inesso chevagnjo il quale ch adera impie p(er)che ½ dito chadera de alto e nota quato peso fu quello che esso filo spezze e nota in chepparte di se detto filo si rope effa piv volte questa pruova p(er) chofermare se sempre nel medesimo locho si rope d poi fa esso filo piv chorto lameta di prima e nota quanto peso sostiene d piv e poj lo fa ¼to della prima lungeza e chchosi di mano imano faraj indi verse lungeze, notando il peso checciasscuno rope alloche dove si rope. Ecquesta pruova faraj di ciascu metallo allegnjamj, pietre, corde e dognichosa che sia atta assostenere effa di ciascuna cosa regola gienerale e questo medesimo faraj desosstentachuli terrestrj cioe chessostenedo ano una esstremita d se ferma interra o d verso laterra ». Il dispositivo appare come il prototipo della bilancia Frühling De Michaelis per le prove dei cementi.*

II. La dinamica greca e medioevale appariva a Leonardo attraverso la multiforme produzione scientifica del secolo decimoquinto, intesa a diffondere con commenti e lezioni universitarie i principi della scienza del moto. Egli conobbe quindi le teorie meccaniche di Aristotile (meccanica, fisica ed astronomia) e perciò la distinzione dei moti in moti *locali*, di *dilatazione*, di *alterazione*, di *generazione* o *corruzione*, la legge del moto locale, per cui la velocità è direttamente proporzionale alla potenza o forza motrice e inversamente proporzionale alla resistenza, la negazione del vuoto, la resistenza del mezzo fluido secondo la densità, i vortici d'aria cagione della continuazione del moto dei proiettili non più a contatto col proprio motore: ma conobbe anche le critiche di Giovanni Buridan, luminare e rettore dell'Università di Parigi nella prima metà del 1300, specialmente indirizzate alle condizioni del moto circolare, e la teoria dell'impeto e della virtù motiva che il proiciente imprime al mobile, virtù che si perde e si corrompe per cause esterne, quali la resistenza dell'aria e la gravità,

teoria, esposta da lui per la prima volta in modo semplice e chiaro e contenente in germe il principio d'inerzia, la quale afferma variare l'impeto proporzionalmente alla velocità che è stato capace di imprimere ed alla quantità di materia o massa del corpo, ciò che lo fa corrispondere alla quantità di moto, e conobbe pure le considerazioni sui moti di rotazione uniforme intorno ad un asse esposte per primo dal celebre geometra Tommaso Bradwardine arcivescovo di Canterbury e dotto professore di Oxford, contemporaneo del Buridan, e l'impiego della rappresentazione geometrica nello studio cinematico delle questioni di moto introdotta da Nicola Oresme (1320-1382).

Gli studi di Leonardo sulla scienza del moto sono disordinatamente disseminati in tutti i suoi manoscritti e pertanto difficilissimo ne è l'esame. Egli ripete spesso le definizioni ed i concetti di gravità, forza, percussione ed impeto e tenta sempre di chiarirli e di porre in luce le particolarità e differenze. La definizione ch'egli dà della forza nel ms. A 34 v è uno squarcio sublime e profondo dell'homo senza lettere, che riproduco insieme con altri riguardanti i suindicati concetti.

ms. A 22 r « *Il corpo sferico perfecto posto sul piano perfecto non avrà alcun movimento se già non glielo darai* ».

ms. A 34 v (e anche Cod. Atl. foglio 253 Rc) « *Forza dico essere una virtù spirituale, una potenza invisibile, la quale per accidentale esterna violenza è causata dal moto e collocata e infusa nei corpi, i quali sono dal naturale uso retratti e piegati dando a quella vita attiva di maravigliosa potenza; costringe tutte le create cose a mutazione di forma e di sito, corre con furia alla sua desiderata morte e vassi diversificando mediante le cagioni. Tardità la fa grande e prestezza la fa debole, nascie per violenza e muore per libertà e quanto è maggiore più presto si consuma. Scaccia con furia ciò che si oppone a sua disfazione, desidera vinciere, occidere la sua cagione, il suo contrasto e, vinciendo se stessa occide, fassi più potente dove trova maggior contrasto. Ogni cosa volentieri fugie la sua morte. Essendo costretta, ogni cosa costringie. Nessuna cosa senzalei si muove. Il corpo dove nascie non cresce ne' in peso ne' in forma* ».

« *La forza è causa del moto e il moto è causa della forza* ».

« *La forza non si estende se non in tre effetti, i quali ne contengono infiniti, i quali effetti sono tirare, spignere e fermare* » (essa deriva o da espansione di corpo denso, gas o vapore, o da deformazione di corpi elastici come una balestra, o da spinta di corrente, di vento o d'acqua, o da gravità palesantesi nei pesi).

ms. B 63 r « *La gravità, la forza e 'l moto verticale con la percussione, son quattro accidentali potentie, colle quali tutte l'evidenti opere dei mortali hanno lor causa e lor morte* »

ms. E 22 r « *L'impeto è una virtù creata dal moto e trasmutata dal motore al suo mobile, il quale ha tanto di moto quanto l'impeto ha di vita* ».

Cod. Arundel foglio 37 v « *Il peso desidera una sola linia, e la forza infinite. Il peso ha la sua vita d'eguale potenza, e la forza sempre indeboliscie. Il peso trapassa per natura tutti i suoi sostentaculi, ed è tutto per tutta la lunghezza d'essi sostentaculi e tutto per ogni parte di quegli* ».

« *La gravità, la forza e la percussione son di tal natura che ciascuna per se sola può nasciere di ciascuna dell'altre e ancora partorirle. E tutte insieme e ciascuna per se po' creare il moto, e nascie di quello* ».

Cod. Arundel foglio 151 v « *La forza e la gravità hanno molta similitudine in tutta lor potenza* » « *Molti filosofi con comune opinione affermano la forza essere peso accidentale, quasi accidentale dicensi, come se la gravità ancora lei accidentale non fussi Q.* ».

Cod. Atl. 161 Va « *Impeto è una potenza del motore applicata nel suo mobile, il quale è causa di muovere il mobile, poi ch'egli è separato dal suo motore* ».

Cod. Atl. 173 Vb « *Moto non è senza percussione* ».

Alcune delle ripetute proposizioni di Leonardo permetterebbero, secondo il parere, non incontrastato, del compianto illustre professore R. Marcolongo, di attribuire a Leonardo stesso la originale netta enunciazione della prima e della terza legge della dinamica, ossia della legge di inerzia e della legge di azione e reazione: quanto alla seconda legge, Leonardo è ancora decisamente con Aristotile ed afferma ancora che in natura non si dà vacuo.

12. Leonardo si occupò del *moto dei gravi*, liberi o su piano inclinato, del *moto dei proiettili* e della *teoria dell'urto*, secondo le idee di N. Oresme e di Alberto di Sassonia. Considera, è vero, la velocità di caduta libera di un grave proporzionale al tempo e proporzionale al tempo lo spazio, seguendo Aristotele e contraddicendo Oresme: ma in altri enunciati afferma il contrario, mostrando in tal modo strana incertezza e titubanza: analoghe contraddizioni figurano nella sua trattazione del moto di un grave su piano inclinato, pure studiato con geniale intuizione precorritrice di Galileo: ed anche nelle considerazioni sul moto violento o dei proiettili e sulla percussione od urto, normale ed obliquo, si riscontrano errori e tentennamenti. Tuttavia anche in questi campi Leonardo conseguì risultati che, sebbene modesti, possono ritenersi, dato lo stato della Scienza ai quei tempi, considerevoli.

IV. La tecnica del rinascimento si manifestò essenzialmente

nelle opere architettoniche insigni di una mirabile schiera di costruttori ed artisti celebri fioriti in Italia ed onorati nel mondo intero per la loro bravura e per il valore dei loro seguaci e scolari. A tutti son note la grandiosità e magnificenza, il carattere di ardimento e di robustezza dei palazzi, dei castelli, delle abbazie e delle chiese che sorsero in quell'epoca, nella quale si abbandonarono archi rampanti e contrafforti, pinnacoli e gugliette del gotico: il profondo rivolgimento del progresso, nel campo statico della solidità e stabilità, fu favorito dalla creazione dell'architetto solo responsabile personale in sostituzione delle maestranze medioevali guidate dal capo mastro.

Le comunicazioni stradali soffrirono purtroppo in tutta Europa di un nuovo periodo di crisi dovuto alle guerre ed alle lotte inerenti alla Riforma: scarsa la rete stradale in estensione e qualità; precaria la sicurezza dei viaggi: tuttavia le città di Venezia, Firenze, Pisa, Parigi e tante altre si arricchirono di cospicui ponti in muratura arditi ed eleganti.

Tra le costruzioni idrauliche apparvero splendidi i lavori di ricostruzione degli acquedotti romani, dell'Acqua Vergine, dell'Acqua Felice e dell'Acqua Paola, i lavori fluviali, le bonifiche, i porti in Italia ed ovunque.

Le costruzioni navali corrisposero all'apogeo della marina velica.

La tecnica militare si manifestò sempre più imponente con forze ed opere campali ed ossidionali grandiose, ormai potenti e moderne, studiate da ingegneri militari famosi, soprattutto italiani e tedeschi.

Grandi furono i progressi della metallurgia dell'oro e dell'argento, del bronzo, del ferro e dell'acciaio e della ghisa.

Le macchine operatrici e gli impianti di produzione ebbero ampio sviluppo.

Decaddero invece le arti tessili medioevali della seta e della lana, che progredirono tuttavia in Inghilterra ed ebbero da noi ripresa notevole nel seicento.

## B) LA GRANDE MARCIA DELLE SCIENZE DA GALILEO A NAVIER XVII-XVIII SECOLO.

I. Allo splendore prodigioso e trionfante del Rinascimento segue, con le perturbazioni religiose e politiche, un'epoca di scialba e triste vita sociale, che sboccherà nella Rivoluzione francese, epoca di parziale decadenza delle lettere e delle arti che copre il diciassettesimo ed il diciottesimo secolo.

Ciò nondimeno si constata che appunto in questo fortunoso periodo si compie in Europa, per opera di sommi genii di fama univer-

sale, la grande marcia delle Scienze con la costruzione di tutto l'edificio scientifico moderno, che avrà espressione nell'Enciclopedia, la Bibbia del secolo XVIII, vangelo della Rivoluzione, e renderà possibile nel periodo contemporaneo, con più vasta e portentosa elaborazione, i rapidi ed inestimabili progressi della tecnica.

II. Abbiamo già indicati in Galileo e Cartesio i condottieri di quell'altissima opera di civiltà ed accennato ai principati filosofici da loro instaurati. Tali principati, come dice il Caverni, nell'opera citata, apparvero ambedue quali tirranidi licenziose e spietate sostituite, nella Repubblica delle Scienze, ai principati decrepiti dell'Accademia e del Peripato: ebbero le loro dannose conseguenze per i protagonisti, ma, pur con mezzi non moralmente leciti, fondati su smisurato orgoglio e furia devastatrice, riuscirono a ringiovanire l'albero della Scienza, ormai di troppo lunga età malato, ravviando i succhi nutritivi dispersi e condensando gli spiriti dissipati in un tronco solo, in modo che le varie speculazioni e le varie scoperte di una schiera numerosa di valenti scienziati, non isolate ma raccolte, potessero riuscire tanto efficaci al progresso delle scienze sperimentali (Galileo) o speculative (Descartes) come digerite da uno stomaco solo, donde si dispenseranno a tante membra la vita e gli alimenti.

Galileo Galilei<sup>(16)</sup> (1564-1642), che si deve considerare non il creatore ma il rigeneratore della scienza sperimentale ed il cui campo è circoscritto nella cerchia dei fatti naturali, incominciò ad istituire ordini savi nel suo principato e valorosamente li propugnò nelle sue conquiste. Seguace di Archimede, preferì l'indirizzo di Platone secondo il quale sentenziava che « *il voler trattare le questioni naturali, senza Geometria è tentar di fare quello che è impossibile ad esser fatto* » perchè « *la vera filosofia è scritta in questo grande libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'Universo) ma non si può intendere, se prima non si impara a intendere la lingua e conoscere i caratteri nei quali egli è scritto* » e « *egli è scritto in lingua matematica e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali è impossibile intenderne umanamente parola* ». « *Estrema temerità* » egli dice « *mi è parsa sempre quella di coloro che voglion fare la capacità umana misura di quanto possa e sappia operare la natura* ». « *A me pare* » egli continua, « *opponendosi ad Aristotele* », che la logica insegni a conoscere se i discorsi e le dimostrazioni... procedono concludentemente, ma che ella insegni a trovare i discorsi... non credo io ». Se Aristotile va studiosamente in cerca delle segrete speculazioni, e, quanto son più

---

(16) R. CAVERNI, op. cit., pag. 136-157, Vol. I.

recondite, tanto più volentieri le dà per vere, Galileo tutto al contrario sentenza che « *la più ammirabile e più da stimarsi condizione della scienza dimostrativa è lo scaturire e pullulare da principi notissimi* ».

Renè Descartes (Cartesio) <sup>(17)</sup> (1596-1650), proclamando ad alta voce che tutto il mondo era fino a quel tempo vissuto nelle tenebre e nell'errore, venne ad abbattere il triste e buio tugurio dell'ignoranza, per sostituire ad esso, di sua propria mano ricostruito, il nuovo edificio della Scienza. Egli protestava di non riconoscere tradizioni di nessuna maniera, compiendo con ciò atto di vera follia; per altro, uscito in pubblico, ebbe plauso dalla turba meravigliata e titolo di sapiente, e ciò dipese dalla riduzione dei divisamenti esposti sugli ordini e modi della titanica impresa di voler da solo restaurare la scienza universale. I metodi adottati dal Cartesio sono del resto in contraddizione con le regole da lui enunciate e sono informati completamente allo spirito di Aristotile e all'artificiosa dialettica del sillogismo in tutte le speculazioni della fisica ed anche in quella sull'algebra geometrica e sulla geometria analitica.

Dell'opera di Galilei e Descartes diremo partitamente tra poco, ricordando con qualche particolare anche quella di alcuni grandi filosofi, matematici e fisici, italiani e stranieri, che interessa in alto grado per i riflessi diretti di essa sul progresso della Scienza e della Tecnica della Costruzioni. Essi sono:

*John Wallis* (1616-1703), *Edmè Mariotte* (1620-1684), *Robert Boyle* (1626-1691), *Christian Huygens* (1629-1695), *Robert Hooke* (1635-1703), *Philippe de la Hire* (1640-1718), *Isaac Newton* (1642-1727), *G. Wilhelm Leibnitz* (1646-1716), *Jacques Bernouilli* (1654-1705), *Pierre Varignon* (1654-1722), *A. Parent* (1666-1726), *Johannes Bernouilli* (1667-1748), *Giovanni Poleni* (1683-1761), *Daniel Bernoulli* (1700-1782), *Leonhard Euler* (1707-1783), *Jean Baptiste Le Rond d'Alembert* (1717-1783), *Ch. Augustin Coulomb* (1736-1806), *G. Luigi de Lagrange* (1736-1813), *Gaspard Monge* (1746-1818), l'abate *Lorenzo Mascheroni* (1750-1800), *Thomas Joung* (1773-1829), *J. B. J. Fourier* (1768-1830).

III. Altri nomi di illustri scienziati debbono essere notati, per gli apporti geniali dati allo sviluppo moderno delle matematiche, della meccanica e della fisica, come quelli di *Padre Benedetto Castelli* (1577-1644), *G. B. Baliani* (1582-1660), *Padre Paolo Guldino* (1590-1643), *Padre Bonaventura Cavalieri* (1598-1647), *Padre Marin Mersenne* (1588-1648), *Gilles Personne de Roversal* (1602-1675), *Giovanni*

---

<sup>(17)</sup> R. CAVERNI, op. cit.

*Alfonso Borelli* (1608-1679), *Otto von Guericke* (1602-1686), *Pierre Fermat* (1608-1665), *Evangelista Torricelli* (1608-1647), *Card. Michelangelo Ricci* (1619-1682), *Blaise Pascal* (1623-1662), *Pietro Mengoli* (1625-1686), *Vincenzo Viviani* (1622-1703), *Gian Domenico Cassini* (1625-1712) *Domenico Guglielmini* (1655-1710), *Guido Grandi* (1681-1742), *Brook Taylor* (1685-1731), *Colin Mc. Laurin* (1698-1746), *Gabriele Manfredi* (1681-1761), *Pierre Louis Moreau de Manpertuis* (1698-1719), *Jacopo Riccati* (1676-1754), *A. Lorent Lavoisier* (1743-1794), *Denis Diderot* (1713-1784), *Alexis Clairault* (1713-1765), *Maria Gaetana Agnesi* (1718-1799), *Alessandro Volta* (1745-1821), *Pierre Laplace* (1749-1827), *Giovanni Paradisi* (1762-1806), *Augustin Fresnel* (1788-1827) ed altri minori.

E ancora dovranno essere tenuti presenti i nomi dei celebri architetti *Francesco Borromini* (1597-1667), *Giov. Domenico Bernini* (1598-1680), *Sébastien Le Prestre marquis de Vauban* (1633-1707), *Filippo Juvara* (1685-1735), *Luigi Vanvivelli* (1700-1773), *M. Bernard Forest de Bèlidor* (1697-1761), *J. François Blondel* (1705-1775) e degli ingegneri e sperimentatori *R. A. Ferchault de Réaumur* (1683-1757), *Pierre Van Musschenbrock* (1692-1761), *H. Louis Duhamel S. du Monceau* (1700-1782), *G. Louis Leclerc* (1707-1788), *Jean Rodolphe Perronet* (1708-1794), *E. M. Gauthey* (1732-1806), *Jean Rondelet* (1734-1829), *J. Constantin Perier* (1742-1818), *P. Simon Girard* (1765-1836), *J. Elie Lamblardie* (1767-1797), *James Watt* (1756-1819), oltre che dei grandi biologi, anatomici, fisiologi e medici, la cui opera non è compresa nel campo che investighiamo.

In questo periodo si registra l'istituzione della celebre *Accademia di Architettura di Parigi* (1671) per opera di Colbert, dell'*Accademia Clementina di Bologna* (1710-1804), dell'*Istituto Marsigliano delle Scienze di Bologna* (1760), della *Accademia dei Lincei* in Roma per opera del principe Federico Cesi (1603), della *Sperimentale Accademia Medicea* costituita da Evangelista Torricelli in Firenze (1642) e dei *Consessi Accademici del Cimento* iniziati nel 1657 in Firenze da Torricelli, Viviani e Borelli, della *Royal Society* di Londra (1666), della *Académie des Sciences* di Parigi (1666) della *Caesarea Leopoldina Akademie tedesca* (1672) antesignana delle grandi accademie tedesche.

IV. Dell'apporto scientifico di Galileo, dei suoi predecessori immediati, dei contemporanei e successori si può trovare approfondito esame nella superba esegesi di Raffaello Caverni, già più volte citata, « *Storia del metodo sperimentale in Italia* » « Volumi sei. Civelli. Firenze 1891-1900 », e direttamente nella monumentale « *Edizione nazionale delle Opere di Galileo Galileo* » « volumi 21. Barbera. Fi-

renze (1890-1909) » curata, sotto gli auspici di S. M. il Re d'Italia, dall'illustre Collega e compianto amico prof. Antonio Favaro, della Università di Padova, che dedicò agli studi galileiani cinquant'anni della sua vita (1847-1922).

Io ho l'anno scorso voluto riesaminare integralmente il trattato de « Le Meccaniche », letture dello stesso Galileo, forse del 1593-94, registrate nei Rotuli del 1597-98 dell'Università degli artisti dello Studio di Padova, dove Galileo insegnò dal 1597 al 1615, e le « Giornate » dei famosi « Dialoghi delle Nuove Scienze ». Così ho fatto per le opere di Giacomo, Giovanni e Daniele Bernoulli nelle edizioni originali del 1742-1744-1750-1753-1762, per la classica opera di Isacco Newton « Philosophiae naturalis Principia mathematica » nella « editio secunda Cantabrigiae 1713 », e per le opere di Edmè Bاریotte edizione di J. Neaulme la Haye 1740.

Si tratta di letture non sempre agevoli per la locuzione matematica quasi completamente geometrica e talora alquanto involuta; ma l'interesse che ancor oggi esse suscitano è sommo per chi desideri pienamente comprendere il vero valore dei fondamenti delle moderne dottrine meccaniche e fisiche. Mi limiterò qui a riassumere brevemente quanto può attenersi più strettamente alla evoluzione della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, per le quali, pur non dovendone essere ritenuto il primo istitutore, com'egli invece dichiarava, Galileo ha indubbiamente concorso a indirizzarne la costituzione definitiva come corpi nuovi di dottrina, promovendo anche i fecondi contributi di sommi matematici, fisici ed ingegneri del seicento e del settecento, come Descartes, Huygens, Newton, Leibnitz, i Bernouilli, Mariotte ecc.

1. *Galileo Galilei*, pronipote di Magister Galilaeus de Galilaeis (insigne medico fiorentino nato nel 1370, lettore e uno degli Ufficiali dello Studio ed alto magistrato, la cui effigie è su una lapide marmorea del pavimento del tempio di Santa Croce), nacque a Firenze, figlio di Vincenzo di Michelangelo Galilei e di Giulia del casato degli Ammannati, il 15 febbraio 1564 e morì a Firenze l'8 gennaio 1642. Della sua vita sono note le vicende liete e tristi: filosofo e letterato, matematico, astronomo, fisico ed ingegnere, acquistò fama imperitura in tutti i rami del sapere.

I. Del trattato « *Le Meccaniche* » [codici sec. XVII a (Bibl. Naz. Firenze) e p (Bibl. Pal. Parma)], a simiglianza dei precedenti di Guidobaldo del Monte, G. B. Benedetti, Cardano e Tartaglia, sono oggetto le Questioni meccaniche di Aristotile; ne indicheremo i titoli

dei nove capitoli, splendidi di forma espositiva e densi di sostanza e di chiarezza, riportando poche considerazioni tratte da alcuno di essi.

Cap. 1. — *Delle utilità che si traggono dalla Scienza meccanica e dai suoi strumenti.* « *Inganno universale dei meccanici è nel voler a molte operazioni, di sua natura impossibili, applicare le macchine; esso è dovuto al credere che con poca forza si possano muovere ed alzare grandissimi pesi ingannando con le macchine la natura, istinto della quale, anzi fermissima costituzione, è che niuna resistenza possa esser superata da forza che di quelle non sia più potente* » (forza e resistenza sono intese qui per potenza o per energia ceduta od assorbita).

« *Cose a considerare per poter raggiungere lo scopo utile: 1° peso da trasferirsi da luogo a luogo; 2° forza o potenza che deve muoverlo; 3° distanza tra l'uno e l'altro estremo del moto; 4° il tempo nel quale tal mutazione deve essere fatta (onde prestezza e velocità del moto) (velocità della forza essere tante volte superiore alla velocità del peso quanto esso peso è superiore alla forza)* » (in ciò adombra il principio dei lavori virtuali e di conservazione dell'energia).

« *Per maggior durata d'impiego e per economia di tempo specifico, sostituire alla energia muscolare dell'uomo quella degli animali o della acqua dei fiumi* ».

## Cap. 2. *Diffinizioni*

a) « *Diffinizioni dei termini nelle scienze dimostrative e delle prime supposizioni, da cui, come da fecondissimi semi, pullulano e scaturiscono conseguentemente le cause e le vere dimostrazioni delle proprietà di tutti gli strumenti meccanici:*

1° *gravità* — è quella propensione di muoversi naturalmente verso il basso, la quale, nei corpi solidi, si ritrova cagionata dalla maggiore o minor copia di materia, dalla quale vengon costituiti.

2° *momento* — è la propensione di andare al basso, cagionata non tanto dalla gravità del mobile, quanto dalla disposizione che abbiano tra di loro diversi corpi gravi; mediante il qual momento si vedrà molte volte un corpo men grave contrappesare un altro di maggior gravità, come nella stadera (piccolo contrappeso alzare peso grandissimo per lontananza dal punto di sospensione): è dunque quell'impeto di andare al basso, composto di gravità, posizione e di altro dal che possa essere tal propensione originata.

3° *centro della gravità* — è in ogni corpo grave quel punto intorno al quale consistono parti di ugual momento: sicchè immaginandosi tale grave essere dal detto punto sospeso o sostenuto, le parti

destre equilibreranno le sinistre, le anteriori le posteriori e quelle di sopra quelle di sotto, sicchè il detto grave, così sostenuto, non inclinerà da parte alcuna, ma collocato in qual si voglia sito e disposizione, purchè sospeso dal detto centro, rimarrà saldo. È questo qui il punto il quale anderebbe ad unirsi al centro universale delle cose gravi, cioè è con quello della terra, quando in qualche mezzo libero potesse discendervi (descrivendo linea retta da cui non esca mai) (linea minima lunghezza in geometria euclidea)».

b) « *Discende dalle definizioni precedenti il comunissimo e principalissimo principio di buona parte degli strumenti meccanici:*

1° pesi uguali pesano ugualmente da distanze uguali.

2° pesi disuguali pendenti da distanze disuguali peseranno ugualmente ogni volta che dette distanze abbino contraria proporzione di quella che hanno i pesi ».

Cap. 3. *Alcuni avvertimenti circa le cose dette.*

« Velocità del moto nella leva è potente ad accrescere momento del mobile, secondo quella medesima proporzione con la quale essa velocità di moto è aumentata ».

« Distanze dei due pesi equilibrantisi saranno misurate su rette congiungenti i centri di gravità dei due pesi ».

Cap. 4. *Della stadera e della lieva.*

Cap. 5. *Dell'asse della ruota e dell'organo.*

Cap. 6. *Delle taglie.*

Cap. 7. *Della vite.*

Cap. 8. *Della coclea d'Archimede per levar l'acqua.*

« *L'acqua nella coclea sale sempre discendendo* ».

Cap. 9. *Della forza della percossa.*

« *Equivalenza energia motrice e resistente* ».

II. Dei « Dialoghi delle Nuove Scienze », o « Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove Scienze », la cui ideazione ebbe inizio a Padova nel biennio 1602-1604, venendo essi poi composti a Siena nel 1634 e pubblicati a Leyda dagli Elzeviri nel 1637-38, ricordo che essi si svolgono in complessive quattro giornate, cui se ne aggiunsero due postume, pubblicate successivamente da V. Viviani (1674) e T. Bonaventuri (1718), e che gli interlocutori sono (come per le quattro giornate del Dialogo su I due massimi sistemi):

1° in rappresentanza di Galileo (l'Accademico Linceo o semplicemente il Nostro Accademico),

*Salviati* (Filippo d'Averardo Salviati, di nobile famiglia, nato a Firenze il 29 gennaio 1583 e morto a Barcellona il 22 marzo 1614, discepolo, si crede, di Galileo in Padova e poi suo intimo amico, per proposta di lui aggregato nel 1612 all'Accademia dei Lincei);

2° in rappresentanza dell'uomo colto profano tra i due competenti,

*Sagredo* (Giovan Francesco di Nicolò Sagredo; di famiglia veneta patrizia, nato a Venezia il 19 giugno 1571, scolaro di Galileo in Padova e poi suo cordiale amico ed estimatore ricambiato, che lo aiutò spesso con potenti raccomandazioni presso la Serenissima e vive immortale nei Dialoghi, per l'acume delle osservazioni e l'umore arguto e talora satirico, e nel copioso carteggio col Maestro):

3° in rappresentanza della Scienza conservatrice che si fonda sull'autorità degli scrittori,

*Simplicio* (ricorda col suo nome il famoso interprete di Aristotile e fu detto, ma non pare fosse, il rappresentante di Papa Urbano VIII),  
o, nella VI giornata,

*Aproino* (l'arguto allievo di Galileo).

Ritengo anche interessante riportare parte della bella prefazione dell'Elzeviro stampatore nel 1638 in Leyda delle Quattro Giornate originali del « Dialoghi delle Nuove Scienze », a proposito dei quali disse fra Paolo Sarpi che alla cognizione del moto Dio e la Natura avevano formato l'intelletto di Galileo: « Trattenendosi la vita civile mediante il mutuo e vicendevole soccorso degli uomini gli uni verso gli altri, ed a ciò servendo l'uso delle arti e delle scienze, per questo gl'inventori di esse sono sempre stati tenuti in grande stima e molto riveriti dalla savia antichità: e quanto più eccellente o utile è stata qualche invenzione, tanto maggiore laude ed onore ne è stato attribuito agli inventori, fino ad essere stati deificati (avendo gli uomini, per commun consenso, con tal segno di supremo onore voluto perpetuare la memoria degli autori del loro benessere). Parimenti quelli i quali per l'acutezza dei loro ingegni hanno riformato le cose già trovate, scoprendo le fallacie e gli errori di molte e molte proposizioni portate da uomini insigni e ricevute per vere per molta età, sono degni di gran lode ed ammirazione; atteso medesimamente che tale scoprimento è laudabile, se bene i medesimi scopritori aves-

sero solamente rimossa la falsità, senza introdurne la verità, per sè tanto difficile a conseguirsi, conforme al detto del principe degli Oratori *Utinam tam facile possem vera reperire, quam falsa convincere* (Cicerone, De Deorum natura) »... « ma molto più si fa manifesta la grazia concedutagli da Dio e dalla natura (per mezzo però di molte fatiche e vigilie) nella presente opera, nella quale si vede, lui essere stato il ritrovatore di due intere scienze, nuove e da i loro principi e fondamenti concludentemente, e cioè geometricamente, dimostrate: e, quello che deve render più maravigliosa questa opera, una delle due scienze è intorno a un soggetto eterno principalissimo in natura, speculato da tutti i gran filosofi e sopra il quale ci sono moltissimi volumi scritti; parlo del moto locale, materia d'infiniti accidenti ammirandi, nessuno de' quali è sin qui stato trovato, nonchè dimostrato da alcuno: l'altra scienza, pure de i suoi principi dimostrata, è intorno alla resistenza che fanno i corpi solidi all'essere per violenza spezzati, notizia di grande utilità, e massime nella Scienza e nelle Arti meccaniche, ed essa piena ancora di accidenti e di proposizioni, sin qui non osservate: di queste due nuove scienze, piene di proposizioni che in infinito saranno accresciute col progresso del tempo dagli ingegni speculativi, in questo libro si aprono le prime porte e, con non piccolo numero di proposizioni dimostrate, si addita il progresso e il trapasso ad altre infinite, siccome dagli intelligenti sarà inteso e conosciuto ».

Ed ecco un breve riassunto delle considerazioni svolte nelle varie « Giornate ».

A) I e II giornata Sulla nuova Scienza della Resistenza dei Solidi.

*Prima giornata.* Il Dialogo si inizia con una introduzione riferentesi al risultato delle osservazioni fatte da Galileo durante la visita alle officine dell'Arsenale di Venezia, che cioè la resistenza di corpi dello stesso materiale, simili, ossia di forma uguale, piccoli e grandi, non è dominata dal rapporto di similitudine: corpi di piccole dimensioni hanno grado di resistenza specifica molto superiore a quello di corpi di grandi dimensioni geometricamente simili ai primi; per ottenere gradi di resistenza specifica uguale, dovranno esser variati i rapporti di forma.

Segue una discussione sulla natura della forza che consente ai corpi solidi, naturali od artificiali, (pietre, metalli, legnami, funi ecc.), di resistere ad azioni che tendano a stirarli od a fletterli (oggi noi chiamiamo coesione tale forza). Per Galileo essa forza si riduce, nei corpi continui, a due capi « l'uno dei quali è quella ripugnanza che ha la

natura all'ammettere il vacuo, per l'altro bisogna, non bastando questo del vacuo, introdurre qualche *glutine, visco* o *colla*, che tenacemente alleggi le particole delle quali esso corpo è composto»: Galileo applicò tale concetto di glutine al legno, come al vetro e al marmo ed a simili altri corpi duri, ritenendo il detto glutine resistente al calore di fusione nei metalli e, in generale, tale che, distratte appena le particelle, la rottura in tutto, allo stesso modo, ne segue a un tratto e immediata, sia per sollecitazioni longitudinali, sia, più facilmente, per sollecitazioni trasversali. Galileo attribuiva invece la resistenza a trazione delle corde vegetali o metalliche all'attrito determinato dalla pressione trasversale mutua, di fibre, anche di piccola lunghezza, determinata dalla cordatura e dalla contrazione della corda sotto tiro. La resistenza assoluta di un solido per trazione,  $R$ , Galileo la esprime in lunghezza di solido capace di mantenersi integro se sospeso verticalmente all'estremo superiore, qualunque sia la sua sezione costante. A questo punto del Dialogo sono superbamente svolte delle digressioni, di estrema eleganza ed interesse, pur estranee alla teoria della resistenza, sui più vari argomenti della meccanica, statica e dinamica, con applicazioni all'Acustica ed alle vibrazioni dei liquidi nei vasi e delle corde: vi sono enunciate le quattro leggi di variazione dell'altezza dei suoni resi dalle corde vibranti, specificando che la frequenza dipende dalla lunghezza, grossezza, densità e tensione della corda.

*Seconda giornata.* Il Dialogo si apre con un riassunto della teoria della resistenza alla rottura dei solidi per trazione, sotto sforzo longitudinale  $P$ , resistenza assoluta  $P = R$ : si entra poi subito nel tema principale, cioè la resistenza relativa alla rottura,  $P < R$ , di travi orizzontali incastrate ad un estremo od appoggiate in mezzaria o ai due estremi, sotto l'azione del peso proprio o di un sopraccarico verticale uniformemente distribuito o di un peso concentrato,  $P$ . Sono trattate diffusamente diciotto proposizioni, i cui enunciati sono qui sotto trascritti, insieme con l'interpretazione che a mio modo se ne può trarre: esse si riferiscono a travi orizzontali di sezione retta rettangolare o circolare, piena o cava, cui è applicato il principio della leva rettangolare, con resistenza  $R$  applicata alla sezione di rottura normalmente al piano della sezione stessa e passante per il suo baricentro e potenza  $P$  corrispondente alle azioni trasversali sollecitanti, essendo il fulcro rappresentato dal lembo inferiore della sezione di rottura; in mancanza di nozioni quantitative circa il comportamento elastico o plastico dei materiali, la trattazione è condotta, in generale, col metodo di confronto, già usato un secolo prima da Leonardo, e giunge a ri-

sultati in parte esatti, nonostante i sostanziali errori di impostazione, errori per noi ora evidenti, ma che per oltre due secoli si trascinarono in polemiche, talora ignobili, pur in un mondo d'intelletti sovrani.

Le proposizioni sono le seguenti:

Prop. I. « Un prisma o cilindro solido, di vetro, acciaio, legno o altro materiale frangibile, che sospeso per lungo sosterrà gravissimo peso che gli sia attaccato, ma in traverso di minor peso assai potrà talvolta essere spezzato, secondo che la sua lunghezza eccederà la sua grossezza ». ( $l$  lunghezza,  $h$  grossezza,  $R$  resistenza assoluta,  $P$  peso trasversale concentrato all'estremità libera, altra estremità incastrata:

$$P : R = \frac{h}{2} : l).$$

Prop. II « Intendasi una riga  $AD$ , la sezione abbia larghezza  $AC$  e grossezza assai maggiore  $CB$ : si cerca perchè volendola romper per taglio resisterà al gran peso  $T$ , ma posta per piatto non resisterà all' $X$  minore del  $T$  ». ( $X : T = \overline{AC} : \overline{CB}$ ).

Prop. III « I momenti delle forze dei prismi o cilindri ugualmente grossi, ma disegualmente lunghi, son tra di loro in duplicata proporzione di quella delle loro lunghezze (sarà, considerando lunghezze  $l_1$  e  $l_2$ , momenti (peso proprio o sopraccarico uniforme)  $M_1$  e  $M_2$ ,  
:  $\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^2$ ).

Prop. IV « Nei prismi e cilindri ugualmente lunghi, ma disegualmente grossi, la resistenza all'esser rotti cresce in triplicata proporzione dei diametri delle loro grossezze, cioè delle loro basi »,

(carichi concentrati  $P_1$  e  $P_2$ ;  $d_1$  e  $d_2$  diametri;  $l$  lunghezza;  $\alpha$  e  $\beta$  due costanti: momenti sollecitanti  $M_1 = \alpha P_1 l$  e  $M_2 = \alpha P_2 l$ , momenti delle resistenze  $R$  nelle sezioni di rottura  $\frac{1}{2} \beta d_1^3$  e  $\frac{1}{2} \beta d_2^3$ : risulta

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3).$$

Prop. V « Dei prismi e cilindri, di diversa lunghezza e grossezza, le resistenze ad esser rotti hanno proporzione composta della proporzione dei cubi dei diametri delle loro basi, e della proporzione delle loro lunghezze permutatamente prese »,

(carichi concentrati  $P_1$  e  $P_2$ ;  $d_1$  e  $d_2$  diametri;  $l_1$  e  $l_2$  lunghezze;  $\alpha$  e  $\beta$  due costanti: momenti sollecitanti  $M_1 = \alpha P_1 l_1$  e  $M_2 = \alpha P_2 l_2$ , mo-

menti delle resistenze  $R$  nelle sezioni di rottura  $\frac{1}{2} \beta d_1^3$  e  $\frac{1}{2} \beta d_2^3$ :  
risulta

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^3 \frac{l_2}{l_1}.$$

Prop. VI. « Dei cilindri e prismi simili i momenti composti, cioè risultanti della loro gravità e delle loro lunghezze, che sono come leve, hanno tra di loro proporzione sesquialtera di quella, che hanno le resistenze delle medesime loro basi »,

(pesi propri o carichi uniformemente ripartiti  $P_1$  e  $P_2$ ;  $d_1$  e  $d_2$  diametri;  $l_1$  e  $l_2$  lunghezze;  $R_1 = \beta d_1^2$  e  $R_2 = \beta d_2^2$  resistenze nelle sezioni di rottura; momenti sollecitanti  $M_1 = \frac{1}{2} P_1 l_1$  e  $M_2 = \frac{1}{2} P_2 l_2$ , momenti delle resistenze  $R$  nelle sezioni di rottura  $\frac{1}{2} R_1 d_1$  e  $\frac{1}{2} R_2 d_2$ :  
risulta

$$\frac{M_1}{M_2} = \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^3 = \left( \frac{d_1^2}{d_2^2} \right)^{3/2} = \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^{3/2}.$$

Prop. VII. « Dei prismi o cilindri simili gravi uno solo e unico è quello che si riduce, gravato del proprio peso, all'ultimo stato tra lo spezzarsi e il sostenersi intero, sicchè ogni maggiore, come impotente a resistere al proprio peso, si romperà ed ogni minore resiste a qualche forza che gli venga fatta per romperlo »,

(con le notazioni analoghe a quelle della proposizione VI, e indicando con  $\sigma_r$  la resistenza unitaria alla rottura per trazione, con  $\gamma$  il peso dell'unità di volume del materiale, con  $m$  un fattore di forma della sezione e con  $\delta$  il rapporto tra  $d$  ed  $l$ , risulta

$$\frac{1}{2} Pl = \frac{m}{2} \gamma d^2 l^2 \quad \frac{1}{2} R \cdot d = \frac{m}{2} \sigma_r d^3$$

$$Pl = R d, \quad l = \frac{\sigma_r}{\gamma} \frac{d}{l} = \frac{\sigma_r \delta}{\gamma}.$$

Prop. VIII « Dato un cilindro o prisma di massima lunghezza da non essere dal suo proprio peso spezzato, e data una lunghezza maggiore, trovare la grossezza di un altro cilindro o prisma che, sotto la data lunghezza, sia l'unico e massimo resistente al proprio peso ». (con le notazioni precedenti, dette  $l_1$  e  $d_1$  la nuova lunghezza e la nuova grossezza, potremo scrivere  $d_1 = \frac{\gamma}{\sigma_r} l_1^2$ ).

Prop. IX. « Dato il cilindro  $AC$ , qualunque sia il suo momento verso la sua resistenza e data qualsiasi lunghezza  $DE$ , trovar la grossezza del cilindro, la cui lunghezza sia  $DE$  e il suo momento verso la sua resistenza ritenga la medesima proporzione, che il momento del cilindro  $AC$  alla sua »,

(detti  $d$  e  $d_1$  i diametri,  $l$  e  $l_1$  le lunghezze e  $P$  un peso concentrato, avremo

$$\frac{2Pl_1}{m\sigma_r d_1^3} = \frac{2Pl}{m\sigma_r d^3} \quad \text{e perciò } d_1 = d \sqrt[3]{\frac{l_1}{l}}.$$

Prop. X « Dato un prisma o cilindro col suo peso, ed il peso massimo sostenuto da esso, trovare la massima lunghezza, oltre alla quale prolungato, dal solo suo peso proprio si romperebbe ».

(colle notazioni precedenti si ha, essendo  $m$  un coefficiente di forma della sezione,  $R = m\sigma_r d^2$  res. ass.,  $P_0 = m\gamma d^2 l$  peso proprio,  $P_r$  peso concentrato rottura,

$$M = m \frac{\sigma_r d^3}{2} = m\gamma d^2 l \frac{l}{2} + P_r l = m\gamma d^2 l_1 \frac{l_1}{2}$$

$$\gamma = \frac{P_0}{m l d^3} d, \quad \sigma_r = \frac{P_0}{m l d^3} l_1^2 = \frac{P_0 + 2P_r}{m l d^3} l^2, \quad l_1^2 = \frac{\sigma_r}{\gamma} d = \frac{P_0 + 2P_r}{P_0} l^2.$$

Prop. XI « Il cilindro che gravato del proprio peso sarà ridotto alla massima lunghezza, oltre alla quale più non resisterebbe, o sia retto nel mezzo da un solo sostegno, ovvero di due nelle estremità, potrà essere lungo il doppio di quello che sarebbe fitto nel mezzo, cioè sostenuto in un sol termine ».

Prop. XII « Se nella lunghezza di un cilindro si noteranno due luoghi, sopra i quali si voglia far la frazione di esso cilindro, le resistenze dei detti due luoghi hanno tra loro la medesima proporzione, che i rettangoli fatti dalle distanze dei due luoghi, contrariamente presi »,

(pesi concentrati  $P_1$  e  $P_2$  applicabili in punti di trave appoggiata, distanti rispettivamente di  $a_1$  e  $b_1$  o di  $a_2$  e  $b_2$  dagli appoggi: risulta

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{a_2 b_2}{a_1 b_1}.$$

Prop. XIII « Dato il peso massimo retto dal mezzo di un cilindro o prisma, dove la resistenza è minima, e dato un peso maggiore

di quello, trovare nel detto cilindro il punto, nel quale il dato peso maggiore sia retto come massimo»,  
 (pesi concentrati  $P$  e  $P_1$ , maggiore di  $P$ , in punti di trave appoggiata di lunghezza  $l$ ):

$$\frac{Pl}{4} = P_1 \frac{ab}{l} = P_1 \frac{a(l-a)}{l}; \quad \left(\frac{a}{l}\right)^2 - \frac{a}{l} + \frac{P}{4P_1} = 0).$$

Prop. XIV « Il prisma, segato diagonalmente, ottiene contraria natura del prisma intero, cioè che meno resiste all'essere spezzato sopra il termine  $C$ , che sopra l' $A$ , della forza posta in  $B$ , quanto la lunghezza  $BC$  è minore della  $BA$  ».

(risulta, confrontando le resistenze relative nelle sezioni in  $C$  ed in  $A$ , per carichi applicati nell'estremo libero  $B$ ,  $P_C : P_A = \overline{BC} : \overline{CA}$ ).

Prop. XV « Nella faccia di un prisma sia segnata la linea parabola, secondo la quale sia segato esso prisma: dico tal solido esser per tutto ugualmente resistente »,

(si tratta del solido incastrato a un estremo e di uniforme resistenza per peso concentrato all'estremità libera; il vertice della parabola è sulla sezione caricata, con tangente verticale, e non all'incastro, con tangente orizzontale, come figura nel disegno originale di Galileo; l'equazione è  $x^2 = \frac{2P}{b\sigma_r} y$ , con  $h_o^2 = \frac{2P}{b\sigma_r} l$ , e pertanto  $x^2 = \frac{h_o^2}{l} y$ :

il solido di uniforme resistenza, tale che, per peso  $P$  applicato a un estremo e incastro all'altro estremo, la resistenza in ogni sezione corrisponda allo stesso cimento del materiale, è quello che resta limitato nella sezione longitudinale da una parabola con vertice nella sezione d'estremità caricata e tangente contenuta nel piano di questa sezione; l'area limitata da questa parabola è due terzi dell'area del rettangolo circoscritto, essendo essa sesquiterzia del triangolo iscritto; Galileo dimostra, con metodo per assurdo, che la quadratura della curva conduce ad un'area non maggiore nè minore di un terzo del rettangolo, in base ad un lemma contenuto nel libro delle spirali di Archimede ed esposto anche da Luca Valerio nel libro sul centro di gravità dei solidi).

Prop. XVI « Le resistenze di due cilindri uguali per materiale e peso proprio ed ugualmente lunghi, l'uno dei quali sia vuoto e l'altro massiccio hanno tra di loro la medesima proporzione che i loro diametri ».

( $P_1$  e  $P$  carichi concentrati,  $d_1$  e  $d$  diametro esterno del primo ci-

lindro e diametro del secondo; se  $d_2$  è il diametro interno del primo cilindro (canna), risulta

$$\gamma \pi \frac{d_1^2 - d_2^2}{4} l = \gamma \frac{\pi d^2}{4} l, \quad \frac{P_1 l}{\sigma_r} = \pi \frac{d_1^2 - d_2^2}{4} \frac{d_1}{2}, \quad \frac{\pi d^2}{4} \frac{d}{2} = \frac{P l}{\sigma_r},$$

onde

$$P_1 : P = d_1 : d).$$

Prop. XVII. « Data una canna vuota, trovare un cilindro pieno uguale ad essa ».

(per materiale, lunghezza, peso) ( $d = \sqrt{d_1^2 - d_2^2}$ ).

Prop. XVIII « Trovare qual proporzione abbiano le resistenze di una canna e di un cilindro, qualunque siano, purchè ugualmente lunghi ».

( $P$  canna e  $P$  cilindro pesi concentrati applicati a corpi dello stesso materiale: detti  $d_1$  e  $d_2$  i diametri esterno e interno della canna,  $d_3$  il diametro del cilindro e  $d$  il diametro del cilindro che ha sezione di area equivalente a quella della sezione della canna, si ha

$$\frac{P_{\text{canna}}}{P_{\text{cilindro}}} = \frac{d_1 d^3}{d d_3^3} = \frac{d_1 d^2}{d_3^3} = \frac{d_1}{d_3} \left( \frac{d_1^2 - d_2^2}{d_3^2} \right).$$

La trattazione del problema della rottura per flessione di travi fatta da Galileo corrisponde alla supposizione, strana ed assurda, che tutte le fibre del solido inflesso, abbiano, all'atto della rottura, la stessa tensione unitaria, di trazione, ed astrae dalla concentrazione di reazione comprimente sul lembo inferiore della sezione, che darebbe luogo a deformazioni locali vistose e smussatura del lembo stesso: nell'ipotesi ammessa da Galileo, quello che ora chiamiamo modulo di resistenza  $W$  della sezione rettangolare di base  $b$  ed altezza  $h$  risulta, in modo assolutamente erroneo, uguale a  $1/2 bh^2$  invece che a  $1/6 bh^2$ , valore fornito dalla teoria dell'elasticità per sollecitazioni entro il campo elastico, ossia per condizioni di rottura non immediate, o  $1/4 bh^2$ , valore limite superiore del modulo  $W$  per sollecitazioni ultraelastiche o plastiche prossime al prodursi immediato della completa rottura. Ad ogni modo in ognuna delle varie questioni relative alla resistenza comparativa delle travi inflesse, le conclusioni di Galileo possono ritenersi corrette e rappresentano risultati interessanti e basilari per la Scienza delle costruzioni. Tutte le dimostrazioni e le soluzioni sono ottenute per via geometrica ed espresse in linguaggio ri-

goroso, certo meno semplice del linguaggio algebrico, col quale oggi ci esprimiamo agevolmente.

B) III, IV, V e VI giornata. Sulla nuova Scienza del moto o delle proporzioni del moto.

*Terza giornata.* Il Dialogo tratta *del moto locale*. Partendo da concetti già esposti nel « Dialogo sui due massimi sistemi », Galileo sviluppa le nozioni relative al moto vario uniformemente accelerato o accelerato con leggi più complesse. I principi del moto equabile erano già stati enunciati da Aristotile e dimostrati da Archimede (spazi proporzionali ai tempi e velocità proporzionali agli spazi in tempi uguali); i principii del moto accelerato sono da Galileo, combattendo la legge della velocità proporzionale alla forza, posta da Aristotile, e considerando spazi e tempi, velocità ed accelerazioni, applicati alla libera caduta dei gravi ed alla loro discesa lungo piani inclinati o per gli archi di cerchio, astraendo dalla resistenza del mezzo o tenendone conto (slitte, pendoli ecc.).

*Quarta giornata.* Il Dialogo tratta *dei moti dei proietti*, moto violento e moto naturale, determinati rispettivamente dall'impulso e dalla gravità: si considerano le traiettorie paraboliche, la misura degli impeti in ciascun punto della parabola, la massima gittata dei tiri corrispondenti a tiri a mezzo squadra ossia con inclinazione iniziale di 45 gradi, la costruzione delle tavole balistiche ecc.

*Quinta giornata.* Il Dialogo tratta della *scienza delle proporzioni*, argomento di matematica pura, che interessa però in sommo grado i problemi della Scienza del moto ed ha la prima origine nelle definizioni di proporzionalità di Euclide, già riesaminate dal Benedetti e dal Cavalieri.

*Sesta giornata.* Il Dialogo tratta *della percossa*, argomento già svolto dal Galilei nell'opuscolo *Le Meccaniche* ma poi ripreso da lui limitandosi alla percossa naturale o urto di pesi cadenti dall'alto al basso. Lasciata inedita nella nuova forma, la teoria della percossa sembrò poter costituire a sè una terza scienza nuova, precedente di alcuni anni, nella sua impostazione, la scienza delle proporzioni: come questa però, ha origini remote ed in particolare nella XIX questione meccanica di Aristotele « *perchè l'ascia pur gravata di un grande peso, non intacca il legno sul quale sia appoggiata dolcemente, mentre lo spezza se alleggerita del peso e alzata la si fa cadere con violenza? An quia omnia cum motu fiunt et grave ipsum gravitate magis assumit motu dum movitur quam dum quiescit?* » » Merita di esser citato il motto

che Galileo, parafrasando l'analogo di Archimede per la leva, applicava alla percossa « *Mettimi fuori della terra, anzi dell'Universo riunito insieme in un globo, e lo commoverò percotendolo col mio martello* » e la conclusiva meravigliosa sentenza, in forma di proposizione generale, *come qualsivoglia piccolissimo peso, scendendo, faccia salire qualsivoglia immensa e grandissima mole* ». L'argomento troverà il suo assetto nel trattato di G. A. Borelli, in cui si studia la percossa naturale, quella violenta operata dal corpo mosso di sotto in su e quella media operata dal corpo grave che movendosi orizzontalmente percuote.

Istitutore o meglio riformatore del metodo sperimentale, Galileo lasciò in quasi tutti i campi della fisica e della meccanica applicata indelebile traccia. Istantaneamente egli generalizzò il principio dei lavori virtuali, istituito come corollario delle due teorie sull'equilibrio della bilancia e della leva e sul piano inclinato: affermò la prima e la terza legge del moto (legge d'inerzia e legge di azione e reazione) e forse rudimentalmente la seconda legge (relazione tra forza e accelerazione): affermò l'indipendenza dei movimenti elementari e la composizione di questi, come quella delle velocità e accelerazioni, ed in conseguenza la composizione delle forze: trattò delle resistenze passive e della tensione superficiale: pose e risolse questioni istituzionali della resistenza dei solidi e promosse la costituzione di questo corpo di dottrina.

2. *Renè Descartes du Perron (Cartesio)* nacque a La Haye (Touaine, tra Tours et Poitiers) il 31 marzo 1596 di Joachim e morì a Stockholm, ove si era ritirato per sfuggire a persecuzioni religiose, l'11 febbraio 1590.

Filosofo, matematico, fisico di immensa cultura e d'ingegno eccelso, fautore nella Scienza del metodo deduttivo, celebre per la sua teoria ottica della emissione, può ritenersi, nei riguardi della meccanica, il primo che abbia compreso il vantaggio della sostituzione del concetto di lavoro a quello di momento, concetto capace di ridurre tutta la statica ad un principio unico e svincolarla dalla dinamica, secondo il modo di Archimede. Infatti, in un trattato del 1637, in cui si parla delle macchine semplici, Descartes<sup>(18)</sup> trasforma da corollario in principio la condizione dell'uguaglianza dei lavori (peso  $\times$  altezza) e tale concetto ribadisce e chiarisce in quattro lettere del 1638 al Padre Mersenne: dal principio dei lavori deduce le leggi dell'equilibrio, esprimendo il *principio dei lavori virtuali*, che affermerà come

---

(18) G. COLONNETTI, *I fondamenti della Statica*. Un. Tip. Ed. Torinese. Torino 1927.

chiave e ragione del problema dell'equilibrio, dicendo ch'egli col suo principio spiega *cur ita fit*, mentre Galileo per la bilancia e la leva spiega benissimo *quod ita fit*. Descartes ha anche per primo fissato ed enunciato nettamente il carattere infinitesimale del principio dei lavori virtuali e differenziato nettamente i concetti di forza e di lavoro. L'opera di Descartes nel campo della matematica sbocca nella creazione veramente efficace della geometria analitica, fusione dell'algebra geometrica con la geometria algebrica, colla quale si elimina ogni distinzione tra numero e quantità.

3. *Christian Huygens*, il grande fisico olandese, fedele seguace di Galileo, nacque all'Aja il 14 Aprile 1629 di Costantino, Signore di Zelen e di Zülichem, Segretario dei principi di Orange, dotto letterato e scienziato, e morì all'Aja l'8 giugno 1695. Visse a Parigi, dove era stato chiamato da Colbert, dal 1666 al 1681.

Fu ricco ed onorato in vita. Precocissimo, era detto, dal padre suo, il piccolo Archimede. A complemento della dinamica del punto studiata da Galileo, Huygens iniziò lo studio del *moto di un sistema solido*, ossia di un sistema di punti materiali collegati tra loro e dette per primo la teoria del pendolo composto e del centro di oscillazione, enunciando il teorema della invertibilità dell'asse di oscillazione e dell'asse di sospensione, e l'espressione della durata della oscillazione pendolare: dedusse l'espressione della forza centrifuga nel moto circolare ed uniforme, forza già considerata da G. B. Benedetti, e si occupò anche, in proposito, della causa delle maree e dell'anello di Saturno: con Cristoforo Wren formulò le leggi dell'urto centrale dei corpi elastici e dimostrò il principio della conservazione, in tale urto elastico, della forza viva, da affiancarsi a quello generale della conservazione della quantità di moto. Innumeri sono i suoi contributi in tutti i campi della fisica e dell'astronomia. Si occupò della resistenza dei fluidi, enunciando la legge quadratica di variazione della detta resistenza con la velocità e istituì la teoria ondulatoria dell'ottica ossia la teoria della propagazione della luce per vibrazioni trasversali dell'etere, in opposizione alla teoria dell'emissione di Descartes.

4. *Sir Isaac Newton* nacque il 25 dicembre 1642 a Woolsthorpe nel Lincolnshire di Isaac e Hannah Ayscough e morì a Kensington il 20 marzo 1727. Sommo filosofo, matematico, fisico e chimico, seguace dell'indirizzo deduttivo di Descartes, può ritenersi il fondatore della dinamica moderna e della meccanica celeste. Ebbe ricchezze e onori regali.

Del suo immortale trattato «*Philosophiae naturalis principia ma-*

*thematica* » esistono una prima edizione del maggio 1686 ed una seconda del maggio 1713, eseguite a Cambridge. Nella prefazione alla prima edizione, riprodotta anche nella seconda, Newton pone in evidenza la distinzione tra Meccanica razionale e Meccanica pratica, ambedue da trattarsi accuratamente con la geometria, la quale insegna l'uso delle rette e dei cerchi che la meccanica avrà insegnato a descrivere; egli presenta la sua opera come trattazione di Meccanica razionale, dedicata alla filosofia delle forze naturali, per la quale « *ea maxime tractamus quae ad Gravitatem, Levitatem, Vim elasticam, Resistentiam fluidorum & eiusmodi vires seu attractivas seu impulsivas spectant: et ea propter, haec nostra tanquam Philosophiae principia mathematica proponimus* ».

Nella prefazione dell'editore, che fu il grande astronomo Edmond Halley (1656-1742), si avverte che l'opera è intonata ad un tipo di filosofia sperimentale, che vuol poter derivare le cause di tutte le cose da principii semplicissimi senza postulare nessun principio che non sia provato da fenomeni e non riconoscendo nè accogliendo nella fisica se non ipotesi della cui verità si sia discusso: questa filosofia sperimentale procede con duplice metodo, analitico e sintetico, deducendo per analisi le forze naturali e le leggi delle forze da fenomeni fondamentali, mentre, partendo da esse, investiga per sintesi la costituzione degli altri fenomeni: forma di filosofia ottima, che Newton ha con molto merito adottato ed ampliato, ritenendola sola degna per la sua opera, che riguarda la teoria della gravitazione universale e del sistema nel mondo.

*La materia trattata è indicata dal seguente indice:*

- a) Definiones I-VIII, pag. 1.
- b) Axiomata, sive Leges motus I-III, pag. 12.
- c) De motu Corporum Liber primus I-XIV, pag. 14-210.
- d) De motu Corporum Liber secundus I-IX, pag. 211-356.
- e) De mundi Systemate Liber tertius, pag. 357-484.

Nella parte a) si danno le definizioni di *materia*, *quantità di moto*, *inerzia* o *vis insita* (quiete o moto uniforme rettilineo), *azione acceleratrice* o *vis impressa* (variazione di stato di quiete o di stato di moto rettilineo uniforme), *forza centripeta* (es. la gravità), *tempo* (assoluto e relativo), *spazio* (assoluto e relativo), *luogo* (assoluto e relativo) e *moto* (assoluto e relativo).

A proposito di queste ultime entità meccaniche Newton scrive: « Non definio Tempus, Spatium, Locum, Motum ut omnibus notissima: notandum tamen quod vulgus quantitates hasce non aliter quam ex relatione ad sensibilia concipiat. Et inde oriuntur praejudicia quae-

dam, quibus tollendis convenit easdem in absolutas et relativas, veras et apparentes, mathematicas et vulgares distingui ».

« *Tempus absolutum*, verum et mathematicum, in se et natura sua absque relatione ad externum quodvis, aequalibiter fluit, alioque nomine dicitur duratio: *relativum*, apparens et vulgare, est sensibilis et externa quaevis durationis per motum mensura (seu accurata seu aequalibus) qua vulgus vice veri temporis utitur, ut hora, dies, mensis, annus ».

« *Spatium absolutum* natura sua semper manet simile et immobile: *relativum* est mensura spatii huius seu dimensio quaelibet mobilis, quae a sensibus nostris per situm suum ad corpora definitiva et a vulgo pro spatio immobili usurpatur: ut dimensio spatii subterranei, aerei, vel celestis definit per situm suum ad Terram. Idem sunt magnitudine et specie, sed non permanent semper idem in numero ».

« *Locus absolutus* vel *relativus*, non situs et non superficis ambiens, est pars spatii absoluti vel relativi quam corpus occupat ».

« *Motus absolutus* vel *relativus* est translatio corporis de loco in loco absoluto vel relativo. Quies absoluta vel relativa est non translatio ».

Nella parte b) son enunciate le tre leggi del moto.

I. « *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum — nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare* ».

II. « *Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur* ».

III. « *Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi* ».

Nella parte c) son trattati i problemi del moto dei corpi, in lemmi, proposizioni, teoremi e corollari.

Nella parte d) son trattati i problemi sulla resistenza, frontale e viscosa, dei mezzi fluidi al moto relativo, secondo leggi diverse della velocità relativa, leggi lineari e quadratiche.

Nella parte e) sono trattate le Regulae philosophandi, i Phaenomena, le Propositiones ed infine viene esposta una conclusione o commento esplicativo o Scholium generale.

L'opera di Newton, copiosissima in tutti i campi della filosofia naturale, ha schiuso la via alla nuova meccanica, nella quale la dinamica può ridursi alla statica mediante la considerazione delle forze perdute (forze d'inerzia e resistenze passive): tale considerazione sca-

turisce immediatamente dalla seconda legge del moto ed è stata introdotta, nel suo trattato di Dinamica (1748), da J. B. Le Rond d'Alembert, nato a Parigi il 16 novembre 1717 e morto ivi il 26 Ottobre 1783, celebre matematico e filosofo, condirettore, con Diderot, dell'Enciclopedia, al quale si debbono anche le esatte definizioni della quantità di moto  $mv$  (impulso totale) e della forza viva o energia cinetica  $mv^2/2$  (lavoro potenziale, analogo al lavoro di gravitazione).

5. *John Wallis*, sommo matematico, nacque ad Asfhord nel Kent il 24 novembre 1616 e morì a Oxford il 28 Ottobre 1703. Studiò a Cambridge e prese gli ordini religiosi nel 1640: professore di matematica ed astronomia nell'Università di Oxford nel 1640, dottore in teologia nel 1654, Cappellano di Corte nel 1661, seguì Galileo, Keplero e B. Cavalieri nella sua creazione del Calcolo infinitesimale con la *Arithmetica infinitorum* (Londra 1656), con l'*Algebra* (Londra 1673 e 1675), con i trattati sulla Cicloide e sulla Cissoide (Oxford 1659) e con la « *Mechanica sive de motu tractatus geometricus* » (London 1670): in quest'opera, precorrendo Newton, considera già la gravità come qualità innata dei corpi, della quale allo studioso della meccanica basta sapere che essa non è che una forza la quale sollecita i corpi verso punti determinati. Vinse la sfida lanciata da Fermat per il calcolo dell'area della iperbole, da cui si deduce il famoso teorema binomiale di Newton. Pubblicò nelle sue *Opere Matematiche*, stampate, nel testo completo di tre volumi, presso l'Università di Oxford nel 1695-99, le celebri lettere scambiate nel 1676-1679 tra Newton e Leibnitz circa la priorità delle ricerche sull'analisi infinitesimale (curve e quadrature).

6. *Robert Hooke* nacque il 18 luglio 1635 a Freshwater nell'isola di Wight e morì a Londra il 3 marzo 1703. Matematico e fisico insigne, collaboratore di Roberto Boyle, poi membro e segretario della Royal Society e professore di meccanica e geometria, si occupò di svariatissimi argomenti e raggiunse buoni risultati come pioniere della teoria della gravitazione universale, come studioso di acustica, di ottica e di elasticità.

Enunciò la legge di proporzionalità degli sforzi alle deformazioni « *Ut tensio sic vis* » (presentata nell'anagramma *ceiinossttuv*), valevole per le sollecitazioni elastiche perfette (1660-1676-1678), e la applicò alle spirali degli orologi a bilanciere per quanto si riferisce alle loro vibrazioni: affermò pure che nelle sbarre inflesse la materia reagisce a trazione dalla parte ove si manifesta la convessità ed a compressione dalla parte della concavità.

7. *Edmè Mariotte*, celebre fisico di Digione, dov'era priore di St. Martin sur Baume, nacque nel 1620 e morì a Parigi il 12 maggio 1684. Fu uno dei primi membri della Accademia delle Scienze di Parigi (1666). In due volumi furono pubblicate a Leida nel 1717 e poi a La Haye nel 1749 « Les Oeuvres de Mr. Mariotte de l'Académie Royale de France ». Il primo volume contiene, insieme con il *Traité sur la percussion par choc des corps*, tre dei quattro Essais de Physique (1676-79) che sono il più importante lavoro di Mariotte; il quarto Essai tratta dei colori e dell'ottica; nel secondo Essai « *De la nature de l'air* » è esposta la legge secondo la quale il volume dei gas varia inversamente alla pressione, legge di Boyle-Mariotte: nel secondo volume è trattato il movimento delle acque nei tubi di condotta, con riferimento alla *resistenza dei tubi alla rottura*. Nel primo e nel secondo volume sono trattate e rettificate le questioni di *resistenza delle travi* poste da Galileo: vi si confermano, anche per i corpi poco deformabili (come il vetro, l'acciaio ecc.) i concetti di Hooke sulla proporzionalità delle deformazioni agli sforzi di trazione o di compressione in un campo di elasticità perfetta e sul massimo di deformazione corrispondentemente al quale si presenta la rottura: si considerano la resistenza alla rottura per trazione o compressione di vari materiali e la resistenza di travi alla flessione; si deduce che, ponendo l'asse neutro coincidente con lo spigolo inferiore, come fa Galileo, tutti gli sforzi di trazione, crescendo linearmente, corrisponderebbero a metà della resistenza assoluta applicata a distanza dal lembo uguale a due terzi dell'altezza  $h$  della sezione e perciò il momento resistente risulterebbe proporzionale ad  $1/3 bh^2$  invece che a  $1/2 bh^2$ , valore indicato dallo stesso Galileo, che supponeva tacitamente tutte le tensioni uguali; in seguito, tenendo conto delle compressioni inevitabili, egli pone diversamente l'asse neutro e precisamente lo porta sul baricentro della sezione, ma poi, con errore inspiegabile, trova il modulo di resistenza  $W$  uguale a  $1/3 bh^2$ , invece che a  $1/6 bh^2$ , valore esatto.

8. *Gottfried Wilhelm Leibnitz*, filosofo, matematico e fisico insigne, fondatore dell'Accademia delle Scienze di Berlino nel luglio 1700, nacque a Lipsia il 1° luglio 1646 e morì, in strettezze e dimenticato, ad Hannover il 14 novembre 1716. Egli affermò, nel 1686, che se un corpo è in movimento, la forza od energia cinetica di cui è dotato, e che è capace di cedere, deve essere misurata dal prodotto della massa per il quadrato della sua velocità e non si deve ritenere proporzionale alla velocità secondo l'affermazione del Descartes, che la confondeva con la quantità di moto: la questione restò controversa e dette luogo ad una scandalosa polemica terminata solo dopo la sopraaccennata

precisazione del d'Alembert nel 1748. Leibnitz fu con Newton uno dei fondatori del calcolo infinitesimale e della teoria delle funzioni.

Egli si occupò anche del problema della resistenza alla rottura per flessione delle travi, posto da Galileo: ammise, come Mariotte e come Hooke, la legge di proporzionalità dello sforzo di trazione all'allungamento unitario, nel campo delle sollecitazioni elastiche, ma fece poi coincidere, come Galileo, l'asse neutro collo spigolo inferiore della sezione di rottura, ripetendo un evidente errore fisico col non tener conto della sollecitazione a compressione inevitabile dalla parte della concavità dell'asse deformato della trave e del conseguente spontaneo spostarsi dell'asse neutro nell'interno della sezione.

9. I Bernoulli, fisici e matematici insigni, appartenevano a famiglia svizzera illustre per generazioni nei campi della scienza.

*Jacques Bernoulli* nacque a Basilea il 27 dicembre 1654 e morì il 16 agosto 1705. Viaggiò in Inghilterra, in Olanda, in Francia e dal 1687 fu professore di matematica e Rettore nell'Università di Basilea, poi Corrispondente dell'Accademia delle Scienze di Parigi e membro dell'Accademia di Berlino. Si occupò di svariatissime questioni di calcolo, come quelle degli isoperimetri. I due volumi « *Jacobi Bernoulli Basileensis Opera* » furono pubblicati a Ginevra dagli eredi nel 1744: nelle pagg. 976-989, tav. XCI, Vol. II sono esposti i quesiti N. CII e N. CIII relativi al modo di resistere del solido inflesso di Galileo, con lemmi, scoli e corollari interessanti, ed alla linea di curvatura elastica delle lame a molla (1705).

Scordando Mariotte, l'Autore afferma come sua idea originale l'intervento simultaneo nella flessione di sforzi di trazione e sforzi di compressione; per gli uni e gli altri, esprime l'opinione che gli allungamenti e gli accorciamenti unitari crescano con rapporto meno rapido degli sforzi e ne espone una strana dimostrazione matematica (se le fibre si accorciassero proporzionalmente agli sforzi la lunghezza dovrebbe annullarsi, e ciò si deve escludere, e la mancanza di proporzionalità deve applicarsi anche per le trazioni che non sono altro che compressioni negative); cerca di confermare tale dimostrazione con esperienze su corde, esperienze che sono però in contraddizione con quelle eseguite su ferri e legnami; poi, errando nell'apprezzamento della grandezza degli sforzi, col porre l'uguaglianza dei momenti degli sforzi di trazione e compressione e non l'equivalenza della somma degli sforzi di compressione a quella degli sforzi di trazione, trova per il momento resistente un valore doppio del reale, come già aveva fatto, errando, Mariotte: per la curva elastica, la vera scoperta di J. Bernoulli fu di aver postulato che in un punto qualunque dell'asse de-

formato il raggio di curvatura è inversamente proporzionale al momento flettente, lo che gli permette di scrivere un'equazione differenziale di secondo ordine che integra con sviluppo in serie.

*Jean Bernoulli*, fratello di Jacques, nacque a Basilea il 27 luglio 1667 e morì ivi il 1° gennaio 1748. Per originalità e fama superiore al fratello, cui succedette nella cattedra e del quale era stato compagno di onori nelle Accademie, professore a Groninga dal 1695 al 1705, si occupò del calcolo esponenziale, della brachistocrona, degli isoperimetri, delle leggi del moto, delle orbite ellittiche dei pianeti ecc. I quattro volumi « *Johannis Bernoulli Opera Omnia* » furono pubblicati a Losanna e Ginevra nel 1742. Affermò decisamente in una lettera a Varignon del 26 giugno 1717 il principio dei lavori virtuali.

*Daniel Bernoulli*, figlio del precedente, nacque a Groninga il 29 gennaio 1705 e morì a Basilea il 17 marzo 1782. Medico e matematico insigne, conscio del suo valore (si presentava coll'« Io sono Daniel Bernoulli »), fu professore di matematica a Pietroburgo, poi, tornato per salute a Basilea nel 1733, fu ivi professore di anatomia e botanica e poi di filosofia sperimentale e speculativa. Pubblicò nel 1738 la sua *Hydrodynamica*, una splendida trattazione teorico-pratica: dette, da giovane, dimostrazione ingegnosa del teorema della composizione delle forze: si occupò del problema delle corde vibranti: trattò della teoria delle probabilità, della propagazione del suono, delle vibrazioni dei sistemi elastici: applicò il principio della conservazione delle forze vive ai fluidi in movimento. Ebbe molti onori e succedette a suo padre Jean nell'Accademia di Parigi.

*Jacques Bernoulli*, nipote di Daniele (1759-1789) presentò nel 1788 un saggio teorico sulle vibrazioni delle piastre rettangolari e libere, in relazione alle esperienze del fisico tedesco Chladni, applicando una ipotesi analoga a quella di Eulero.

10. *Philippe De La Hire*, nato a Parigi nel 1640 e morto ivi nel 1718, nel suo *Traité de mécanique* (1695) presenta un capitolo sulla Resistenza dei solidi, nel quale ricorda le spiegazioni di Mariotte relative ai fenomeni di rottura delle travi, ma non riproduce se non la conclusione errata: fu questa conclusione errata, coincidente con quella di Jacques Bernoulli, a far attribuire a questo la priorità della trattazione del problema.

11. *Pierre Varignon*, matematico di grandissima fama, nacque nel 1654 a Caen e morì a Parigi il 22 dicembre 1722. Dal 1688 fu Accademico delle Scienze in Parigi. Seguace in certo senso di Aristotile,

pubblicò nel 1682 a Parigi un « *Projet d'une nouvelle mécanique avec un exposé de l'opinion de M. Borelli (l'Accademico del Cimento) sur les propriétés des poids* » quasi in contrasto con i « *Principia mathematica* » di Newton.

Cercò di dimostrare la regola del parallelogrammo delle forze riferendola alla composizione dei movimenti. Enunciò per primo nella sua *Nouvelle Mécanique*, opera concepita nel 1687 ma pubblicata solo nel 1725, come postuma, il teorema secondo il quale « *il momento della risultante di due forze per rapporto ad un punto qualunque del loro piano è uguale alla somma degli analoghi momenti delle forze componenti*: in tale trattato ha la sua affermazione definitiva *il principio dei lavori virtuali* nella lettera di Giovanni Bernoulli del 1717. Nell'apprezzare i risultati di Galileo sulla flessione delle travi in base alla nuova idea di proporzionalità delle deformazioni agli sforzi, di Mariotte e Hooke, osservò Varignon che, se si vuole che le formule diano correttamente i carichi capaci di produrre la rottura immediata invece che quelli al di là dei quali la struttura comincia solo ad alterarsi, si deve ricorrere a leggi più complesse di quella lineare; ciò che influì sul tentativo infelice di Js. Bernoulli.

12. *A. Parent*, accademico di Francia, nato nel 1666 e morto nel 1726, recò notevoli contributi alla teoria della flessione delle travi, precorrendo i risultati di Navier. Dedusse la forma della sezione rettangolare corrispondente alla massima resistenza a flessione, per diametro costante. Dopo aver pubblicato parecchie memorie sulla teoria geometrica della resistenza dei solidi e sulla determinazione di quante si vogliano figure d'uniforme resistenza per forze qualunque col porre l'asse di rotazione al lembo della sezione come Galileo, rettificò assai bene gli errori di Mariotte e di Bernoulli nella trattazione della resistenza a flessione delle travi di Galileo: osservò infatti che un punto e una linea indivisibile come il bordo della sezione, non potrebbero aver tanta resistenza per servire d'appoggio, sul quale agisce necessariamente una pressione finita della parte inferiore della sezione; dimostrò dover essere la somma degli sforzi di compressione in questa parte uguale alla somma degli sforzi di trazione nella restante parte superiore della sezione stessa, proprietà di cui non si era ancora parlato e che fornisce immediatamente la posizione dell'asse neutro; aggiunse che la somma dei momenti delle trazioni e delle compressioni rispetto all'asse neutro doveva uguagliare il momento flettente, come momento resistente, esprimibile col modulo di resistenza  $W$  moltiplicato per lo sforzo unitario massimo sopportato ai lembi della sezione (asse neutro è dicitura di Tredgold).

13. *Giovanni Poleni*, nato a Venezia il 20 agosto 1683 e morto a Padova il 14 novembre 1761, letterato, fisico e matematico, soldato, Marchese del S.R.I., Conte di S. Michele Arcangelo e Cavaliere, Cittadino onorario di Padova dal 1738 e sepolto in questa città nella Chiesa dei Carmini, fu nominato nel 1708 professore di Astronomia e Meteore nello studio di Padova e poi nello stesso Studio professore di Fisica Universale teorica nel 1715, nel 1719 professore di Matematica in sostituzione di Nicola Bernoulli e nel 1756 professore di Architettura Navale. Fu ricercato consulente tecnico ovunque e dal papa Benedetto XIV incaricato della perizia sulle condizioni statiche della Cupola di S. Pietro, per la quale consigliò la quintupla cerchiatura. Nel 1710 fu iscritto alla Royal Society di Londra, nel 1713 all'Accademia dei Ricoverati di Padova, nel 1715 alla Regia Società di Berlino, nel 1723 all'Accademia dell'Istituto di Bologna, nel 1735 all'Imperiale Accademia di Pietroburgo e nel 1739 alla Società Reale delle Scienze di Parigi. Fu celebre per le molte accurate osservazioni meteorologiche a Padova (1725-1761), per la fabbricazione di strumenti barometrici e termometrici, per le ricerche eseguite su liquidi ed aeriformi con molto distacco dalle idee di Aristotile, per la creazione di un Gabinetto di Fisica riccamente dotato di macchine sperimentali, per le esperienze eleganti sulla resistenza dei materiali da costruzione e per studi profondi di Idraulica, Scienza delle Costruzioni, Architettura civile, militare e navale: ebbe tre premi dell'Accademia delle Scienze di Parigi intorno al 1740 per lavori di Architettura navale.

14. *Leonhard Euler*, letterato, matematico e fisico universale, nacque a Basilea il 15 aprile 1707 e morì a Pietroburgo il 7 settembre 1783.

Si occupò di tutti i campi delle scienze e delle lettere, con straordinaria fecondità, con lavori che occupano circa settanta volumi: divise la sua attività scientifica tra Pietroburgo e Berlino, come Accademico e professore di matematica e fisica, in nobile emulazione con i Bernoulli, di cui godeva un'ammirata stima. Trattò profondamente nel 1774, con metodi variazionali, in una mirabile nota, il problema della curva elastica, classificando le curve elastiche piane in nove specie e cioè: 1° l'angolo tra la risultante delle forze sollecitanti e la tangente alla curva è infinitamente piccolo; 2° l'angolo è finito ed acuto; 3° l'angolo è retto; 4° l'angolo è ottuso ma minore di  $131^{\circ} 41'$ ; 5° l'angolo ha valore di  $131^{\circ} 41'$ , per il quale la curva prolungata si ripiega su se stessa e presenta un nodo nel punto ove la risultante la taglia; 6° l'angolo è maggiore di  $131^{\circ} 41'$  ma minore di  $\pi$ ; 7° e 8° le forze

agiscono con braccio di leva; 9° la risultante si riduce ad una coppia. Eulero scrisse nel 1757 la sua memoria sui carichi di punta, nella quale confermava lo stesso risultato già enunciato nella nota del 1774, risultato già conseguito da Musschenbroeck nel 1729.

Trattò anche della vibrazione delle aste e delle piastre, dei problemi delle aste curve e di altri argomenti di elasticità e fu cultore insigne della Meccanica dei fluidi.

15. *Charles Augustin Coulomb*, nato ad Angoulême il 14 giugno 1736, e morto a Parigi il 23 agosto 1806, fu prima del 1789 ingegnere militare di Francia e, dopo la rivoluzione, uno dei primi membri dell'Istituto di Francia. Celebre per i suoi lavori di meccanica, elettricità e magnetismo, pubblicò un *Trattato sulle macchine semplici* contenente lo studio delle resistenze di attrito e della rigidezza delle corde; scrisse sulla resistenza dei fluidi e sulla resistenza dei materiali alle sollecitazioni. Occupandosi di questioni matematiche relative alla flessione delle travi ed alle curve elastiche, presentò nel 1773 la celebre memoria « *Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatives à l'Architecture* (— *Savants étrangers 1773 tome VII*) », composta per suo uso particolare nei lavori di ingegneria militare alla Martinique: in detta memoria trovano posto quasi tutte le basi della teoria della Stabilità delle Costruzioni ed è spiegato che le questioni di equilibrio delle Costruzioni possono trattarsi come questioni di massimo e minimo, ciò che preludeva, insieme con le ricerche teoriche di Eulero e di Lagrange, a quel metodo dell'impiego del potenziale o lavoro meccanico di deformazione che è oggi seguito. In essa da un lemma della statica, allora ancor poco noto, che subordina l'equilibrio di un sistema sollecitato da forze attive e reattive alle condizioni di nullità delle somme algebriche delle componenti delle forze stesse secondo tre assi ortogonali e di nullità delle somme algebriche dei momenti delle stesse componenti rispetto agli assi medesimi, deduceva Coulomb, senza forse conoscere gli studi di Parent, la vera posizione dell'asse neutro nella sezione di una trave inflessa ed il valore del modulo di resistenza  $W$  uguale, per la sezione rettangolare di larghezza  $b$  ed altezza  $h$ , a  $1/6 bh^2$ : ammetteva che per sollecitazioni alla rottura non si possa ritenere valida la legge di Hooke e l'asse neutro possa riuscire spostato, ma concordava con Parent sull'impossibilità ch'esso scenda fino al lembo della sezione. Nella nota era posta in rilievo la rottura per taglio nella flessione dei pezzi corti per forze trasversali e nella sollecitazione di torsione ed erano completamente chiariti i concetti di stabilità dell'equilibrio. Tutte queste cose restarono per più di quarant'anni prive di qualsiasi considerazione.

16. *Giuseppe Luigi de La Grange* (Lagrangia), nato a Torino il 25 gennaio 1736 e morto il 10 Aprile 1813 a Parigi, professore nella R. Scuola d'Arti di Torino nel 1755, fondò a Torino l'Accademia delle Scienze. Amico di d'Alembert fu, per sua proposta, nominato Direttore dell'Accademia di Berlino in sostituzione di Eulero (1766-1787): fu a Parigi (1787-1813) Membro dell'Accademia e del Bureau des Longitudes, professore nell'École normale e nell'École Polytechnique: sotto l'impero fu fatto Senatore, Conte e Grand'Ufficiale della Legion d'onore. Sue note all'Accademia delle Scienze di Torino nel 1770-73 si riferiscono alla teoria della curva elastica per carico di punta, alla teoria delle funzioni, al calcolo delle variazioni: con la fondamentale e genialissima opera « *La Mécanique analytique* », pubblicata a Parigi nel 1787, Lagrange, per il quale la Meccanica era da concepire come una branca dell'Analisi senza geometria, costituì la Statica e, con applicazione del principio di d'Alembert, la stessa dinamica in un corpo di scienza ammirabilmente organico ed ordinato, valevole per i sistemi solidi, rigidi o deformabili, e per i fluidi in base all'unico principio generale dei lavori virtuali; affermava Lagrangia che qualunque altra espressione delle leggi dell'equilibrio fosse stata scoperta in avvenire, non sarebbe stata altro che il principio stesso dei lavori virtuali diversamente espresso; egli lo giustificava, in modo istruttivo se pure artificioso, con quello ch'egli chiamò il principio delle puleggie (paranchi a puleggie multiple), applicato a vincoli bilaterali senz'attrito. Egli scrisse sulla teoria matematica delle vibrazioni delle piastre, collaborando con l'eminente Signorina Sophie Germain (1776-1831).

17. *Gaspard Monge* nacque a Beaume il 10 maggio 1746 e morì il 28 luglio 1818 a Parigi. Matematico celebre e precoce, ideò la geometria descrittiva: nel 1768 divenne professore di matematica e nel 1771 professore di fisica a Mezières, nel 1780 di idraulica al Liceo di Parigi: fu in quell'anno creato membro dell'Accademia di Francia. Nel 1776 aveva scritto il suo « *Trattato elementare della Statica* » e successivamente si occupò dei più vari argomenti di matematica applicata, compresi quelli dei lavori in terra e della fabbricazione dei cannoni e dell'acciaio. Durante la rivoluzione e l'impero ebbe incarichi importanti. La sua *Geometria descrittiva*, con la teoria delle ombre e della prospettiva, fu pubblicata a Parigi in una settima edizione nel 1847 da Mr. Brisson.

18. *Jean Baptiste Joseph Fourier*, sommo scienziato ed uomo politico insigne, nacque ad Auxerre il 21 marzo 1768 e morì il 16 mag-

gio 1830 a Parigi. Professore di Analisi all'École normale ed all'École Polytechnique. Rilevando, in base al principio di composizione delle forze per singoli punti materiali, la reciprocità tra l'equilibrio di un sistema naturale di punti materiali e la nullità della somma dei lavori virtuali delle forze direttamente applicate in presenza di vincoli mutui senz'attrito, Fourier dimostrava come conseguenza del principio di composizione delle forze il principio dei lavori virtuali, enunciandolo nel teorema « la condizione necessaria e sufficiente per l'equilibrio di un sistema materiale soggetto a vincoli senz'attrito e che è la somma dei lavori delle forze direttamente applicate sia nulla per tutti i sistemi di spostamenti virtuali, cioè piccolissimi e compatibili con i vincoli ».

19. L'abate *Lorenzo Mascheroni*, poeta e pensatore, oratore eloquente, uomo di Stato, cantato da Vincenzo Monti, nacque il 14 marzo 1750 a Castagneto (Bergamo) e morì a Parigi nel 1800. Valoroso geometra, professore nell'Università di Pavia, pubblicò molti lavori matematici, tra i quali il più noto è « *La Geometria del compasso* » (Pavia 1797), ed un interessante trattato « *Nuove ricerche sull'equilibrio delle volte* » (Pavia 1785), nel quale insegnava il modo naturale e diretto di ottenere la totale sicurezza di un arco facendo coincidere la curva delle pressioni con la fibra media (archi, volte piane o piattabande, cupole, volte anulari ed a spirali, volte a crociera e volte a schifo). Lo stesso Mascheroni ricorda i contributi di gran pregio dati sull'argomento nel 1774 e nel 1776 dall'abate Bossut (equilibrio ed equazioni delle volte e delle cupole) e dal Lorgna nel 1779 e 1772 (curve delle pressioni), contributi che si debbono però ritenere non esaurienti.

20. *Thomas Joung*, medico, fisiologo, archeologo e fisico famoso, nacque a Milverton nel Somersetshire nel 1773 e morì nel 1829 a Londra. Professore di fisica nella Royal Society di Londra dal 1801 al 1803, sostituì la denominazione di energia (cinetica) a quella di forza viva: si dedicò alla teoria della flessione elastica limitandosi a sole sezioni divisibili in due parti simmetriche, ed introdusse il modulo di elasticità  $E$  che porta il suo nome: trattò della teoria dei fenomeni capillari e, in ottica, profondamente, del principio delle interferenze.

21. Per non tacere di altri basilari contributi al progresso delle meccaniche applicate, aggiungeremo quanto segue.

a) Padre *Paolo Guldino*, gesuita tedesco di Graz, è famoso per i suoi teoremi relativi alle superfici ed ai solidi di rivoluzione, esposti

nell'opera « *La centrobarica* » stampata a Vienna in due tomi tra il 1635 e il 1640.

b) Di *Padre Benedetto Castelli*, monaco cassinense, bresciano, e di *Evangelista Torricelli* faentino, accademico di gran fama, suo allievo, continuatore di Galilei, ricordiamo segnatamente l'opera data alla fondazione della nuova Scienza della Idraulica.

c) Dell'insigne accademico del Cimento *Giovanni Alfonso Borelli*, napoletano, filosofo, fisico e matematico, accenniamo le celebri opere « *De motu animalium* », (Roma, 1680-81), « *Euclides restitutus* » (Pisa 1658), *De vi percussionis* (Bologna 1667).

d) Di *Padre Bonaventura Cavalieri*, milanese, gesuita, allievo di Castelli e di Galileo, e maestro di Torricelli, come professore nell'Università di Bologna, l'opera principale è la « *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota* » (Bologna 1635), nella quale il punto è definito come indivisibile e la linea (quale totalità di punti), la superficie (quale totalità di linee), il corpo (quale totalità di superfici), sono considerati come flussioni o flussi: si presenta così il continuo come costituito da indivisibili infinitesimi, preparando il terreno a Newton e Leibnitz per lo scoprimento del calcolo infinitesimale. Il Torricelli scriveva che quell'opera era un miracolo di scienza e che, per essa, il mondo aveva imparato che i secoli di Archimede e di Euclide furono gli anni d'infanzia per l'adulta geometria.

e) Di *Pietro Mengoli*, anch'egli matematico insigne, bolognese, professore di Meccanica e Rettore dello Studio di Bologna, è cospicuo il contributo dato come sagace e fortunato promotore delle teorie infinitesimali e delle loro basi logiche, la teoria dei limiti, degli infiniti e degli infinitesimi, delle serie infinite e degli integrali definiti.

f) *Gilles Personne de Roberval*, professore di filosofia e poi di matematica nel Collegio Reale di Francia, si occupò brillantemente dei problemi di quadratura di superfici e cubatura di volumi, mediante un originale metodo degli indivisibili, analogo a quello di B. Cavalieri, ma non reso pubblico, e di ricerche geometriche e astronomiche; inventò il tipo di bilancia che porta il suo nome: a lui spetta il merito della prima sistematica trattazione della composizione e decomposizione delle forze, col conseguimento di risultati da cui scaturisce immediatamente la verità del principio del parallelogramma delle forze, che sarà poi giustificato completamente dal Varignon con semplice riferimento alla regola già assodata per la composizione dei movimenti elementari.

g) *Vincenzo Viviani* filosofo, matematico e fisico, fiorentino,

di famiglia patrizia, Accademico del Cimento, l'ultimo ed il più affezionato allievo di Galilei, del quale scrisse in ottima forma letteraria la vita, fu uomo di gran valore: costruì molti famosi strumenti fisici e tradusse nel 1718 gli Elementi di Euclide.

h) A *Pierre Louis Moreau de Maupertuis*, matematico e astronomo di alta fama, divenuto giovanissimo membro dell'Accademia delle Scienze di Parigi (1723) e nel 1728 della Royal Society di Londra, nel 1746 Presidente della Reale Accademia delle Scienze di Berlino, si deve l'enunciazione del *principio di minima azione o di minimo sforzo*.

i) *Gabriele Manfredi*, celebre professore di Geometria analitica nello studio di Bologna, è da considerare come l'Autore dei più importanti progressi fatti, nella prima metà del 1700, in Italia, nell'analisi infinitesimale, nella teoria delle equazioni differenziali e nel calcolo degli integrali definiti.

l) Sommi matematici inglesi che portarono sostanziali progressi nel calcolo infinitesimale, nel campo del calcolo differenziale, del calcolo delle differenze finite, del calcolo dei massimi e minimi, furono Brook Taylor di Edmonton nel Middlesex e lo scozzese Colin Mc Laurin.

m) *Pierre Simon Laplace*, il Newton di Francia, scrisse il celebre « *Trattato di Meccanica celeste* » (1792-1825) e scoprì l'equazione della superficie capillare, che Gauss, con mirabile applicazione dei metodi di Lagrangia, riusciva a giustificare, deducendo, con rigore e precisione assoluta, dal principio dei lavori virtuali tutte le leggi della capillarità.

n) *Jacopo Riccati*, professore dello studio di Bologna, è da ricordare per i primi suoi tentativi di trattazione della teoria dinamica dell'elasticità: a *Giovanni Paradisi* si debbono importanti note sulle vibrazioni delle lamine o sulle piastre vibranti, già investigate dal tedesco *Ernesto Chladny* intorno al 1800.

22. La Tecnica segnò nei secoli XVII e XVIII sensibili progressi.

a) Nelle *costruzioni architettoniche, barocco e rococò*, trionfano il *Borromini*, il *Bernini*, il *Juvara*, il *Vanvitelli* e *Jacques François Blondel*, architetto di Luigi XV, cui si deve la voluminosa e preziosa opera « *L'Architecture française* » e la fondazione della prima Scuola d'Architettura in Francia, ove venne anche pubblicato il trattato « *L'Art de bâtir* » di *Jean Rondelet*, giunto nel 1834 alla sesta edizione.

Architetti militari famosi furono: il Maresciallo di Francia *Sébastien Le Prestre marquis de Vauban*, il vero continuatore dell'opera

degli ingegneri militari italiani in Francia, soldato valoroso e costruttore di numerose piazze forti, con fronti bastionati ed opere avanzate; *Mr. Bernard Forest de Bélidor*, autore del trattato « *La Science des Ingenieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'Architecture civile* » uscito in nuova edizione a La Haye nel 1775, ed altri celebri di scuola olandese e tedesca.

b) Nelle *costruzioni stradali* si ebbe effimero risveglio sotto Luigi XIV: nel 1700 sorse il corpo degli Ingegneri di ponti e strade, già costituito da Colbert, e più tardi l'École des Ponts et Chaussées di Parigi, di cui fu primo Direttore l'oriundo svizzero Ing. *Jean Rodolphe Perronet*, e da allora la viabilità francese servì di modello a tutta l'Europa; ingegneri e trattatisti di notevole rinomanza esplicarono la loro opera affiancatrice e concorsero allo studio ed alla costruzione delle strade dei grandi passi alpini, come alla progettazione ed alla costruzione di bei ponti di legno, di pietra e di ghisa in tutta Europa e in Inghilterra: notevole e splendida è l'evoluzione della carrozza, dalla portantina con ruote alla diligenza ed ai cocchi, fino ai primi cicli a pedale ed ai carri a vapore.

c) Le *costruzioni navali* si svilupparono toccando la navigazione velica i supremi fastigi con fregate e vascelli da guerra, a due o tre ponti corazzati, raggiungenti la stazza di 1500 tonnellate ed un armamento di 120 cannoni, e navi mercantili, gestite da compagnie di navigazione assai intraprendenti. Si preparava per opera di James Watt l'avvento della navigazione a propulsione meccanica.

d) La metallurgia ebbe nel seicento e specialmente nel settecento un enorme sviluppo in Europa, come poi in America, per le numerosissime nuove applicazioni dei metalli alle costruzioni di strutture portanti e di macchine, motrici a vapore, ferrovie, ponti, navi e per le considerevoli invenzioni di ogni specie relative all'incremento colossale delle attrezzature industriali. A *René Antoine Ferschtult de Réaumur*, nato a La Rochelle nel 1683 e morto nel 1757, Accademico di Francia dal 1708, si devono i processi per ottenere la ghisa malleabile e convertire il ferro forgiato in acciaio (1720-22), oltrechè l'introduzione dei saggi razionali, fisici e meccanici, nell'arte del collaudare i metalli. Nella seconda metà del settecento si iniziarono l'applicazione del carbon fossile alla siderurgia, lo sviluppo della produzione siderurgica in America, la fusione della ghisa nel cubilotto, il pudellaggio dell'acciaio, la produzione industriale dello zinco, lo studio dei nuovi processi legati con la riforma della chimica operata da *Lavoisier*.

e) Le *costruzioni meccaniche* progredirono nel seicento e soprattutto nel settecento in relazione alle prime estese applicazioni

della nuova fonte di energia motrice, il calore, nelle macchine a vapore a semplice, duplice, triplice e quadruplica espansione, con condensazione, alternative o a stantuffo e rotative o a turbina: nuovi meccanismi ed impianti, fissi e mobili, dovettero essere ideati e perfezionati. Il francese *Denis Papin*, rifugiato in Inghilterra dopo la revoca dell'editto di Nantes, membro della Royal Society di Londra, collaboratore di Huygens nella ricerca che questi faceva per la costruzione di un motore a stantuffo azionato da combustioni successive di polvere da sparo, pensò di sostituire a questa il vapore d'acqua con evaporazioni e condensazioni alternative in un corpo di pompa; utilizzò anche il vapore per ottenere pressione in un serbatoio d'acqua da cui l'acqua era proiettata con velocità notevole contro una ruota idraulica.

Anche *Tommaso Savery* (1698) elevava, con una sua macchina, l'acqua di un bacino mediante la forza del vapore, che faceva poi condensare con un getto d'acqua fredda producendo così aspirazione di nuova acqua dal bacino stesso. *James Watt*, associato all'Accademia delle Scienze di Parigi, deve essere specialmente segnalato per il grado di originalità e perfezione raggiunto nelle sue genialissime invenzioni, a tutti note, iniziate in precocissima età e perseguite con infaticabile lena con l'aiuto di una solidissima base di cultura; sebbene gli illustri professori della Università di Glasgow, che gli aveva accordato il titolo di suo ingegnere, ospitandolo in un modesto locale per gli studi che stava eseguendo, non lo considerassero in principio se non un intelligente ed abile operaio, assiduo ai suoi doveri, modesto e di dolcissimo carattere, in Watt essi scoprirono ben presto un uomo superiore e ciò li condusse ad amarlo e stimarlo come si meritava trasformando la sua bottega in una specie di Accademia, ove si dibattevano tutte le questioni, mentre si teneva all'onore di esservi annessi.

h) Le arti tessili, della lana e della seta, decadde in Italia e progredirono invece in Inghilterra: si ebbe una ripresa nel continente, intorno al 1750, nell'industria tessile della canapa, del cotone, del lino e della seta (Heilmann, Philippe de Girard, Jacquard).