La commemorazione di Leonardo da Vinci

ad iniziativa del Comune di Torino e della Società degli Ingegneri e degli Architetti

Il 13 maggio 1952, per iniziativa del Comune e della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino è stato commemorato il quinto centenario della nascita di Leonardo da Vinci.

Nel Salone del Senato in Palazzo Madama erano presenti S. Em. Cardinale Arcivescovo Maurilio Fossati, il Prefetto, il Primo Presidente della Corte d'Appello, S. E. il vescovo di Sebaste ausiliare di S. Em., e le più alte Autorità Civili e Militari del Piemonte.

Sul palco prendevano posto assieme all'oratore ufficiale, il Sindaco di Torino avv. Peyron, i due Vice Presidenti della Società prof. Dalla Verde ed arch. Grassi, rappresentanti gli enti promotori della celebrazione.

Presa la parola, il Sindaco ha espresso l'omaggio della Città alla figura di Leonardo « che sempre più giganteggia nella storia della Patria ».

Oratore ufficiale era il Presidente della Società degli Ingegneri e degli Architetti di Torino e Preside della Facoltà d'architettura del Politecnico, prof. ing. Giuseppe Maria Pugno.

Il conferenziere ha iniziato il suo dire' con un rapido sguardo allo stato delle conoscenze scientifiche ai tempi di Dante mostrando come molte notizie faticosamente conquistate specialmente dai Greci ed Alessandrini fossero andate miseramente disperse. Ha poi fatto notare come da Dante incominci e con Leonardo possa riguardarsi affermato stabilmente il processo evolutivo che trasformò il pensiero scientifico dalla impostazione quasi rivelata e tradizionalista, alla spregiudicatezza di adattarsi alle manifestazioni naturali purchè rigorosamente controllate, accennando che con Leonardo appunto prende forma la nuova metodologia cui si legherà più tardi il nome del Galilei. Per sottolineare una tale trasformazione nel pensiero scientifico, vengono presi in considerazione soltanto pochi ma importanti aspetti della storia del progresso nei due secoli dal '300 al '500: esperienza, ordine naturale, scienze matematiche, mòto, volo, luce. Specialmente nel trattare della luce, Leonardo si rivela nella pienezza del multiforme ingegno e pare che davanti a lui, quasi mosso alla conquista del mondo, cadano e si sfascino i baluardi tradizionalmente innalzantisi tra materia ed energia, tra materia e spirito. Ma dove il raffronto tra Dante e Leonardo più luminosamente si manifesta è nella loro concezione di Dio. Sembra che Dante già possegga Dio, mentre Leonardo porgendo l'occhio, l'orecchio, la mente, il cuore a tutto ciò che sta attorno a lui, se lo conquisti. Ambedue questi sommi intelletti finiscono per giungere allo stesso punto e perfino alla stessa definizione della Divinità: l'Amore, che per Dante è la forza immensa che muove il sole e l'altre stelle e per Leonardo « vincit omnia », e ad esso tutto deve cedere.

Applausi protrattisi a lungo e vive congratulazioni hanno salutato la conclusione della conferenza, la quale, trattando del mondo filosofico, letterario e scientifico leonardiano, ha messo in luce l'animo del grande Vinciano sotto un aspetto del tutto originale e forse mai presentato nelle numerose commemorazioni centenarie, tenute in quest'anno, di Leonardo.

Leonardo da Vinci - *Autoritratto.*

Prof. Nicola Maria Pugno, to commemorate Leonardo da Vinci (also considered the father of Bioinspiration and Biomimetics) 500 years from his death, proposes the texts prepared by Prof. Giuseppe Maria Pugno, in the 500th anniversary of Leonardo's birth, in 1952 and others related to Solid and Structural Mechanics.

Prefazione

Meditando su come iniziare il sommario di una mia prossima presentazione al 25th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics mi rendo conto che quest'anno 2019 ricorrono i 500 anni dalla morte di Leonardo da Vinci. Sono i suoi studi pionieristici ispirati alla Natura – come i suoi progetti su macchine volanti – e l'importante anniversario che mi convincono che per raccontare la Bio-Inspired Nanomechanics, titolo previsto per il mio intervento, si debba partire proprio da Leonardo.

Tale ragionamento mi fa ritornare alla mente che il professor Giuseppe Maria Pugno aveva pubblicato interessanti collegamenti tra Leonardo e la Scienza delle Costruzioni e pertanto decido di prendermi del tempo per rintracciare queste sue note nelle biblioteche torinesi. Recupero cinque testi: tre alla Biblioteca Centrale di Architettura, uno, lì catalogato, ma andato perduto, alla Biblioteca Storica della Provincia di Torino, l'ultimo in casa; infine, invio le scansioni dei testi mancanti alle rispettive biblioteche.

Per commemorare i 500 anni dalla morte di Leonardo da Vinci ripropongo quindi la lettura di questi testi di Giuseppe Maria Pugno, a partire dal discorso da lui tenuto come Preside della Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino e Presidente della Società degli Ingegneri e Architetti di Torino nel 1952 per i 500 anni, all'epoca, dalla nascita di Leonardo.

Nicola Maria Pugno, Trento 18 Ottobre 2019
http://www.ing.unitn.it/~pugno/

Scritti scelti

- Giuseppe Maria Pugno. Da Dante a Leonardo (Sguardo alla storia del pensiero scientifico di due secoli). ATTI DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO, 1956, 6 (5), 140-150.
- Giuseppe Maria Pugno. I codici vinciani e la scienza delle costruzioni. ATTI DEL CONVEGNO NAZIONALE PER L'ISTRUZIONE DEI GEOMETRI E DEI PERITI EDILI, 1948, 1-39.
- Giuseppe Maria Pugno. Leonardo da Vinci ed Enrico Betti. RUATA, 1952, 1-9.
- Giuseppe Maria Pugno. Leonardo e le macchine. ATTI DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO, 1952, 3, 73-83.
- Giuseppe Maria Pugno. Da Dante a Leonardo, sviluppo bicentenario del pensiero scientifico. CONFERENZA TENUTA NELL'AULA MAGNA DELLE SCUOLE DI APPLICAZIONE D'ARMA, 1959, 1-28.

La commemorazione di Leonardo da Vinci

ad iniziativa del Comune di Torino e della Società degli Ingegneri e degli Architetti

Il 13 maggio 1952, per iniziativa del Comune e della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino è stato commemorato il quinto centenario della nascita di Leonardo da Vinci.

Nel Salone del Senato in Palazzo Madama erano presenti S. Em. Cardinale Arcivescovo Maurilio Fossati, il Prefetto, il Primo Presidente della Corte d'Appello, S. E. il vescovo di Sebaste ausiliare di S. Em., e le più alte Autorità Civili e Militari del Piemonte.

Sul palco prendevano posto assieme all'oratore ufficiale, il Sindaco di Torino avv. Peyron, i due Vice Presidenti della Società prof. Dalla Verde ed arch. Grassi, rappresentanti gli enti promotori della celebrazione.

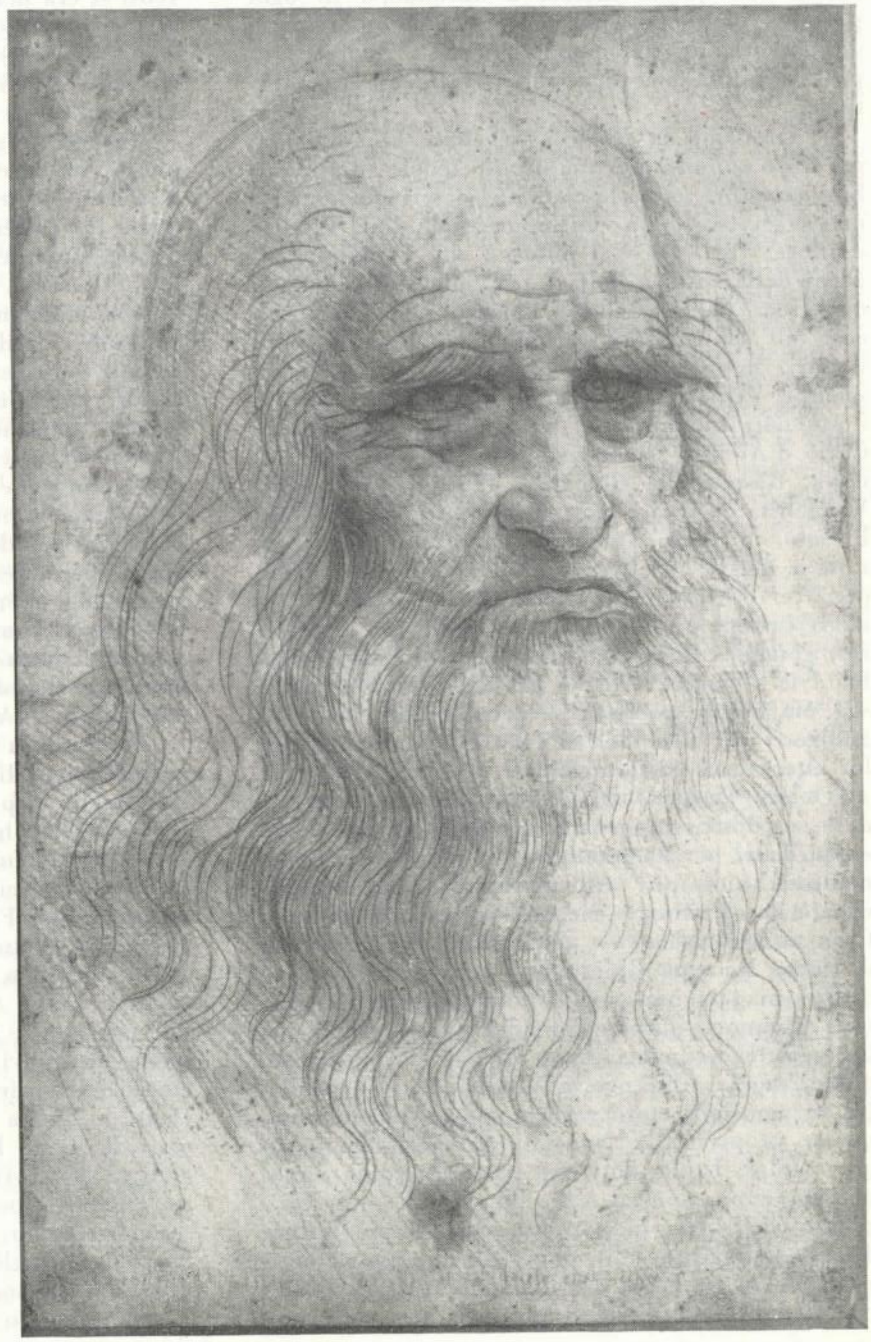
Presa la parola, il Sindaco ha espresso l'omaggio della Città alla figura di Leonardo « che sempre più giganteggia nella storia della Patria ».

Oratore ufficiale era il Presidente della Società degli Ingegneri e degli Architetti di Torino e Preside della Facoltà d'architettura del Politecnico, prof. ing. Giuseppe Maria Pugno.

Il conferenziere ha iniziato il suo dire con un rapido sguardo allo stato delle conoscenze scientifiche ai tempi di Dante mostrando come molte notizie faticosamente conquistate specialmente dai Greci ed Alessandrini fossero andate miseramente disperse. Ha poi fatto notare come da Dante incominci e con Leonardo possa riguardarsi affermato stabilmente il processo evolutivo che trasformò il pensiero scientifico dalla impostazione quasi rivelata e tradizionalista, alla spregiudicatezza di adattarsi alle manifestazioni naturali purchè rigorosamente controllate, accennando che con Leonardo appunto prende forma la nuova metodologia cui si legherà più tardi il nome del Galilei. Per sottolineare una tale trasformazione nel pensiero scientifico, vengono presi in considerazione soltanto pochi ma importanti aspetti della storia del progresso nei due secoli dal '300 al '500: esperienza, ordine naturale, scienze matematiche, moto, volo, luce. Specialmente nel trattare della luce, Leonardo si rivela nella pienezza del multiforme ingegno e pare che davanti a lui, quasi mosso alla conquista del mondo, cadano e si sfascino i baluardi tradizionalmente innalzantisi tra materia ed energia, tra materia e spirito. Ma dove il raffronto tra Dante e Leonardo più luminosamente si manifesta è nella loro concezione di Dio. Sembra che Dante già possegga Dio, mentre Leonardo porgendo l'occhio, l'orecchio, la mente, il cuore a tutto ciò che sta attorno a lui, se lo conquisti. Ambedue questi sommi intelletti finiscono per giungere allo stesso punto e perfino alla stessa definizione della Divinità: l'Amore, che per Dante è la forza immensa che muove il sole e l'altre stelle e per Leonardo « vincit omnia », e ad esso tutto deve cedere.

Applausi protrattisi a lungo e vive congratulazioni hanno salutato la conclusione della conferenza, la quale, trattando del mondo filosofico, letterario e scientifico leonardiano, ha messo in luce l'animo del grande Vinciano sotto un aspetto del tutto originale e forse mai presentato nelle numerose commemorazioni centenarie, tenute in quest'anno, di Leonardo.

Leonardo da Vinci - *Autoritratto.*



DA DANTE A LEONARDO

(Sguardo alla storia del pensiero scientifico di due secoli)

L'A. fa notare come da Dante incominci e con Leonardo possa riguardarsi affermato stabilmente il processo evolutivo che trasformò il pensiero scientifico dalla impostazione quasi rivelata e tradizionalista, alla spregiudicatezza di adattarsi alle manifestazioni naturali purchè rigorosamente controllate, accennando che con Leonardo appunto prende forma la nuova metodologia cui si legherà più tardi il nome del Galilei.

Eminenza, Eccellenze, Autorità, gentili Signore, Signori,

Il soggiorno fiorentino di Eugenio IV, dopo la sua fuga da Roma — l'ultima fuga dei Papi prima di quella di Pio IX — ebbe importanza decisiva sul rifiorire degli studi letterari, umanistici, scientifici; perchè lo spirito nuovo che dalla città dell'Arno, più che da ogni altra, traeva in quel tempo alimento e vigore, penetrato nella Curia Papale, riuscì, con questo mezzo, a diffondersi in ogni parte e, riflettendosi per converso nelle opere degli uomini migliori del mondo intero, a ricingersi di più splendida luce e a più validamente riconfortarsi.

Vespasiano da Bisticci, ingenuo, se vogliamo, ma forse appunto per questo più fedele ed attendibile narratore, ci ha lasciata una descrizione quanto mai suggestiva della vita intellettuale della Firenze d'allora; tra l'altro ci informa che i migliori ingegni della Città e della Curia solevano radunarsi ogni sera nei pressi del Palazzo della Signoria, così, all'aria aperta, in amichevoli e sereni conversari, su questioni di letteratura, di arte, di scienza. Vi partecipavano, oltre il nostro Cronista, i più noti Umanisti del tempo, come Lionardo e Carlo d'Arezzo, Giannozzo Manetti, Giovanni Aurispa, Gaspare da Bologna, Poggio Bracciolini, Vangelista da Pisa e molti altri tra i quali un dotto Prelato, un certo Tommaso Parentuccelli da Sarzana o, meglio, da Luni; questi, sempre in ritardo, per aver dovuto prima accompagnare a casa il famoso cardinale Albergati, del quale era Segretario, giungeva di corsa, senza pur anco aver scambiata la violacea veste da Prelato e cavalcando la sua mula che spronava vivamente nella tema di giungere più tardi del solito alle quanto mai per lui interessanti dissertazioni.

Questo Prelato, ammirevole per la profondità della sua dottrina, per la vastità delle sue cognizioni scientifiche, per lo splendore dei suoi costumi adamantini, venne più tardi destinato ad un Arcidiaconato in « Franza » — come scrive il nostro buon Cronista Vespasiano — poi fatto Vice Camerlengo di Santa Romana Chiesa, poi consacrato Vescovo di Bologna; ma non avendo potuto, per ragioni che oggi diremmo politiche, prender possesso della sua Cattedra Episcopale, venne dal Papa utilizzato quale Nunzio a Firenze, a Napoli ed in Germania. Ed in mansioni tanto varie e spesso difficili quali quelle proprie alle Nunziature, specialmente in quei tempi, le sue doti così pastorali come diplomatiche rifulsero a tal segno da valergli già nel Dicembre del 1446, la porpora. Quando finalmente Tommaso Parentuccelli, dopo soli due mesi e mezzo, ebbe la tiara già ad altri preconizzata (tanto che il nobile Cardinale Capranica non volle credere senza scorrere di nuovo personalmente tutte le schede ed il Cardinale di Portogallo ebbe a dichiarare; Dio ha eletto il Papa, non i Cardinali), tutti ebbero la netta sensazione che al più alto trono del mondo fosse asceso colui che, per universale consenso, era già riguardato come il Vessillifero del Rinascimento artistico e scientifico. Difatti come all'Arte, così alla Scienza, che era stata la letizia dei suoi anni giovanili, prestò Niccolò V (così si era denominato il nuovo Papa in omaggio alla memoria del suo Protettore, il cardinale Niccolò Albergati) il potente suo aiuto nonchè l'autorità ed i ricchi mezzi dei quali ormai, come Capo supremo della Chiesa, poteva disporre.

Sotto il regno di questo illuminato Papa appunto, la fiaccola accesa dal Cantor di Laura si trasformò in un generale incendio per mezzo del quale il pensiero filosofico — nell'etimologico, generale, autentico senso della parola — tutto si purificò e si evolse.

Quattro anni prima della nascita del Petrarca appunto e tredici prima di quella del Boccaccio, i quali sono generalmente riguardati come gli Iniziatori del Rinascimento, avviene il fantasioso viaggio di Dante. Tre anni prima della morte di Niccolò V, nasce Leonardo da Vinci, nel bel mezzo del fervore che ormai ha già invaso tutti i campi dell'umano sapere. Ora il Rinascimento non combatte più per definirsi, per riconoscersi, per informarsi, per affermarsi e fortificarsi; vive per operare e per operare meravigliosamente. Ecco l'eredità che Leonardo riceve da Niccolò: eredità superba: il Rinascimento nella sua fase creativa ed operante che da Leonardo appunto, suo Alfiere ed immortale Assertore, verrà impersonificato.

Da Dante a Leonardo! Due secoli di appassionato fervore, di entusiasmo, di tormentate conquiste. Meglio e spesso di riconquiste; di tutto ciò che il Medio Evo ha perduto, o ha dimenticato.

Nelle Matematiche — e fin quasi ai tempi di Dante — l'Occidente Europeo aveva continuato a sonnecchiare. Fu Leonardo Fibonacci detto anche Leonardo Pisano, figlio del notaro dei Mercanti Pisani in Bugia di Barberia che, col suo libro intitolato « Liber Abaci » ed ispirato in molte parti alle conoscenze indiane, dischiuse alle Scienze Matematiche nuovi orizzonti ed assicurò ad esse nuove energie. E fiorirono così Nicola Oresme Maestro di Dante in quella Università di Parigi che ormai par certo il divino Poeta abbia frequentato; Luca Pacioli (1445-1514) che osò enunciare in esametri latini le regole per la risoluzione delle equazioni di secondo grado; Scipione dal Ferro (1465-1526); Niccolò Tartaglia (1499-1557); Gerolamo Cardano (1501-1576); Lodovico Ferrari (1522-1565).

Al tramonto del Medio Evo ben piccola parte

delle opere dei Geometri Greci era nota; assolutamente ignorata quella di Archimede e dei discepoli suoi come Apollonio di Pergamo il quale aveva già composto un trattato sulle sezioni coniche che furono poi riscoperte da Keplero come orbite dei corpi celesti. Il riallacciamento dei contatti tra l'Oriente e l'Occidente europeo avvenne al tempo dei concili di Ferrara e Firenze per l'unione della Chiesa greca alla romana ad opera, essenzialmente, del famoso Arcivescovo di Nicea, Bessarione, che fu in seguito una fulgida gemma del Sacro Collegio. Appunto sotto il Pontificato di Niccolò V che immediatamente seguì, furono tratte dall'oblio le opere degli antichi Geometri, come Euclide, direttamente o indirettamente attraverso traduzioni arabe, ed il merito principale ne va ascritto a Gherardo da Cremona e a Giovanni Campano da Novara.

Un fenomeno simile si verificò nelle scienze fisiche, in particolare nella Statica. Come quelle di Archimede, rimasero completamente ignorate o quasi le opere di Ctesibio (III sec. a. C.) che aveva fondato in Alessandria una scuola di meccanica pratica o di ingegneria, e dei suoi discepoli; tra questi il solo Erone (I sec. a. C.) riuscì, con non piccola parte delle sue opere, a trapelare attraverso la nebbia del tempo. Aristotile, che era riuscito a non cadere mai nell'oblio, tenne il campo fino al '300 con la sua Dinamica fondamentalmente sbagliata. È interessante notare a questo proposito che, mentre Aristotile riteneva che il centro della terra coincidesse col centro dell'Universo, Archimede, in una sua lettera al Re Gerone, lo informava che già Aristarco di Samo, matematico ed astronomo vissuto verso il 250 a. C. aveva avanzata l'ipotesi che il sole stesse immobile e che la terra descrivesse una circonferenza attorno ad esso; anzi Archimede osava non respingere questa ipotesi precorrendo in ciò Copernico e Galileo.

La Chimica, fino al '300 — ed anche per Dante — è spesso una sola cosa con l'Alchimia e si presenta non già come una vera Scienza, bensì piuttosto, come un'arte intesa a falsare i metalli, cioè come un'arte di furberia. I falsatori, che Dante ricorda nel XXIX Canto dell'Inferno, vengono bravamente chiamati da lui « Alchimisti ».

Nel campo della Biologia nulla di concreto o almeno di organizzato fino al grande risveglio; sono quasi contemporanei di Leonardo da Vinci, Realdo Colombo (m. nel 1560) che getta le fondamenta della Biologia moderna e Andrea Cesalpino (n. nel 1519) antesignano negli studi sulla circolazione del sangue.

La Botanica, per un certo tempo cosa sola con la Medicina, non era stata che un succube culto tributato a tre o quatro Dei come Dioscoride (I sec. d. C.), Teofrasto (III sec. a. C.), Plinio (I sec. d. C.), Galeno (II sec. d. C.) e ad alcuni semidei loro discepoli. Se l'esperienza li smentiva, anatèma a coloro che avessero detto che non la Natura, ma essi avevano sbagliato! I primi a ribellarsi furono i ferraresi Giovanni Manardo e Antonio Musa Brasavola: quest'ultimo per primo osò affermare che tutti gli dèi e semidèi del sopracitato Olimpo non avevano, tra tutti, descritta la centesima parte dei vegetali crescenti sulla Terra.

Che dire poi della Cosmografia? Al tempo di Dante risuonava ancora spesso e minaccioso l'avvertimento: « Hic sunt leones ». E Cristoforo Colombo ed Amerigo Vespucci sono rigorosamente contemporanei di Leonardo da Vinci.

Insomma è quanto mai interessante seguire i profondi mutamenti avvenuti nelle conoscenze e nel pensiero scientifico durante lo scorrere dei due densi secoli che vanno dal '300 al '500; dalla impostazione classica e tradizionalista alla tendenza di aderire spregiudicatamente ad ogni manifestazione naturale purchè rigorosamente controllata nella sua derivazione e nei suoi effetti. Dante rappresenta il punto di partenza; Leonardo il punto d'arrivo di questo meraviglioso processo evolutivo.

Dante, figlio di non oscura progenie — quantunque mostri di sprezzare coloro che si ritengono un qualche cosa semplicemente perchè son figli o nepoti di « cotal valente » (Conv. 4-VII-2) o perchè posseggono le « malidette ricchezze » (Conv. XIII-9) non può tenersi dal compiacersi di quanto Cacciaguida negli ultimi versi del Canto XV del Paradiso, gli confida sui fasti della sua famiglia — Dante, dicevo, è un ottimate del pensiero, un favorito della sorte che gli ha donato tutto quanto, nel suo secolo, poteva donargli. Sì che non soltanto, col primo vestir del lucco, Dante si ritrova Cittadino della nuova Atene, ma l'alto suo intelletto e la solidità autentica della sua religione gli permettono di precorrere meravigliosamente i tempi, di profetizzare, al pari d'Isaia che profetizza la Rigenerazione, nuovi ed inopinati pensieri, ancor oggi attuali, e gli conferiscono la virtù di raccogliere e di mobilitare tutte le forze del Medio Evo per consegnarle vive ed operanti al Rinascimento.

Leonardo, dal punto di vista sociale, è assolutamente un democratico che la sorte non pone nè tra i diseredati nè tra i favoriti, cui la famiglia sua non protegge o fortifica, o comunque, circonda con comode o scomode o, comunque, con impegnative eredità; ed è bene che così sia affinchè il nuovo Apostolo sia intatto e puro.

Come molti giovani dei suoi tempi e della sua età, anch'egli fa pratica presso un artefice; è vero che quest'artefice si chiama Andrea del Verrocchio, ma è altrettanto vero che il piccolo Leonardo incomincia col preparare la materia per il suo Maestro e col porgergli la stecca o il bulino.

Egli — virgulto solingo cresciuto in fredda e sabbiosa brughiera — non riceve dalla famiglia una impostazione spirituale fondamentalmente religiosa; ma la purezza del suo ingegno e l'acutezza del suo spirito d'osservazione gli permettono di penetrare profondamente l'armonia delle cose, gli fanno sentire e poi irresistibilmente ricercare le leggi dell'Universo la cui invariabilità, la cui ineluttabilità, la cui eternità lo rapiscono. E Leonardo conquista faticosamente ciò che prima non ha: il sentir religioso. Qui egli si ritrova con Dante, come la Ragione si ritrova con la Rivelazione; come la Scienza con la Fede.

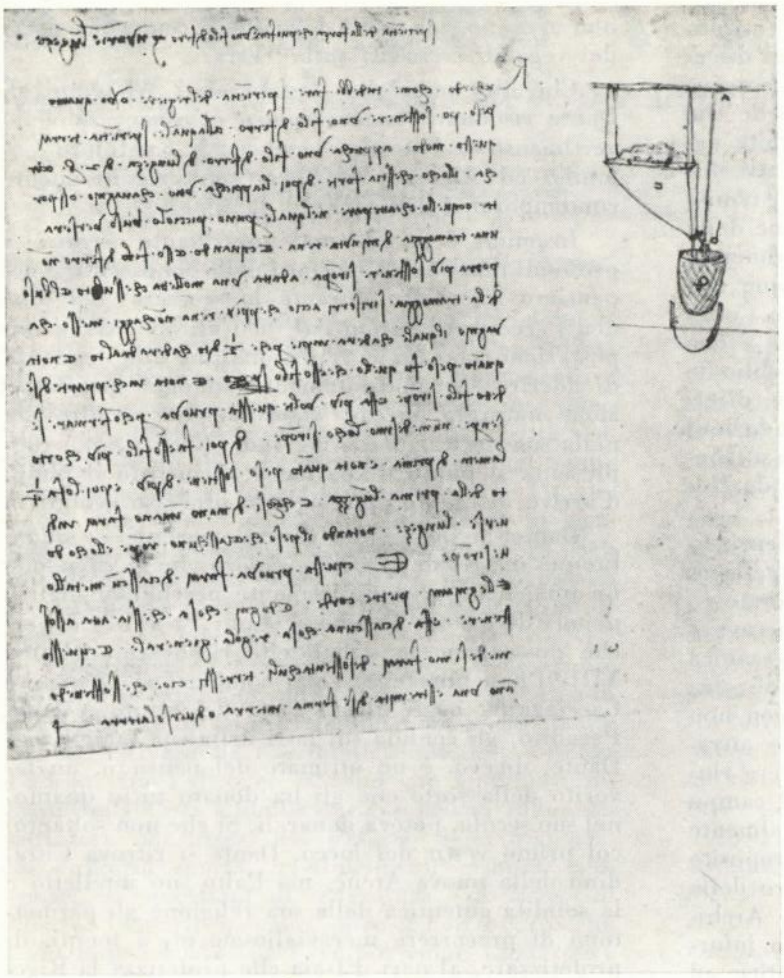


Fig. 1. - Prova alla trazione di un filo.

Dante osserva la Natura sotto le fattezze di un meraviglioso assioma da accettarsi come opera e dono di Dio. Egli dice:

> « *Tu troverai...*
> *che l'arte vostra quella* (cioè la Natura) *quanto*
> *segue come 'l Maestro fa il discente;* [*puote*
> *sì che vostr'arte a Dio quasi è nepote* »
> (*Inf.* XI, 102)

ma già ha fatto dire a Beatrice:

> « *le cose tutte quante*
> *hann'ordine tra loro; e questo è forma*
> *che l'Universo a Dio fa simigliante* »
> (*Par.* I, 103)

Nulla lo indispone di più di coloro che si rifiutano di accettare senz'altro l'ordine, l'armonia, i princìpi naturali; a questo proposito cita alcune parole del suo caro Aristotile:

> « *Contra quelli che niega li principi disputar non* [*conviene* »

ma egli non fa come questo suo Maestro che guarda e passa, sprezzante; egli invece si ferma, ma per perdere addirittura le staffe ed aggiunge:

> « *E di questi cotali sono molti idioti che non saprebbero l'a.b.c. e vorrebbero disputare in geometria, in astrologia e in fisica* »
> (*Conv.* 4-XV-16)

Non fa dunque stupire che Dante, sulle orme di Aristotile, consideri dapprincipio l'esperienza come un complemento utile, consigliabile a meglio definire le modalità con le quali i fenomeni naturali si manifestano o per chiarire altri fenomeni o pensieri o concetti che ad altri più semplici si richiamino o a più noti s'informino. Così egli si sofferma, trattenuto dalla irresistibile forza del suo desiderio di osservare, ed animato da quella soave della sua arte, a descrivere

> « *i fioretti chinati e chiusi dal notturno* [*gelo* »
> (*Inf.* II, 127)

che gli servono tanto bene ad esprimere un moto dell'animo, o lo

> « *stizzo verde ch'arso sia* »
> (*Inf.* XIII, 40)

che gli serve altrettanto bene ad esprimere un supposto fenomeno fisico. Ma presto Dante si corregge per riconoscere nel fatto sperimentale che la Natura produce e l'Uomo riproduce, non soltanto il valore quasi statico della definizione, bensì anche quello, quasi dinamico, produttivo, della applicazione; e giunto al secondo Canto del Paradiso, ammette:

> « *Da questa instanza può deliberarti*
> *esperienza, sa mai la pruovi,*
> *ch'esser suol fonte ai rivi di vo-* [*str'arti* ».
> (*Par.* II, 94)

Ma v'è di più; Dante finisce per non escludere il controllo, la critica sperimentali; finisce per accettare il dubbio purchè costruttivo e fecondo; finisce per riconoscere che qualsiasi legge scientifica può essere sottoposta al tribunale dell'esperienza al fine di venir controllata, selezionata, meglio definita nel suo impostarsi, nel suo attuarsi. Egli dice del dubbio scientifico:

> « *Nasce a guisa di rampollo, a piè del vero* ».
> (*Par.* IV, 130)

Per la verità, qui Dante è già ben lontano da Aristotile e s'ispira a S. Tommaso per il quale:

> « *Il dubbio buono e fecondo, quello che viene da istinto di Natura e che serve all'ascensione dell'anima umana, è il dubbio che nasce ai piedi del vero ed è germe di quello* ».

Leonardo par faccia il cammino inverso; egli parte proprio dall'esperienza cui non nega, sì, un valore applicativo e chiaramente lo dimostrano tutte le numerose sue invenzioni in tutti i campi del sapere; dal cannone a retrocarica al girarrosto mosso dalla forza ascensionale dell'aria riscaldata dallo stesso fuoco che cuoce l'arrosto e infinite altre, delle quali facciam grazia a chi tanto benevolmente ci ascolta perchè non intendiamo ridire ciò che altri ripetutamente ridisse, specialmente in questo cinquecentesimo anno dalla nascita di Leonardo, ma intendiamo piuttosto soffermarci su aspetti particolari di pochi e fondamentali concetti. Leonardo, piuttosto, riconosce essenzialmente all'esperienza il valore speculativo nella ricerca

affannosa, assillante delle leggi generali; è noto a tutti ch'egli si proclama

« *Discepolo dell'esperienza* »
(*Cod. Atl.* 119 v. a)

la quale è

« *Comune madre di tutte le scienze ed arti* »
(*Cod. Atl.* 221 v. d)

E tanto è radicata in lui l'idea che l'esperienza serva essenzialmente alla ricerca della ragione dei fatti, che essa perde, per lui, molto del suo interesse quando tal ragione sia per avventura già nota e non dubita d'affermare:

« *Nessun effetto in Natura è senza ragione; intendi la ragione e non ti bisogna l'esperienza* »
(*Cod. Atl.* 147 v. a)

Ma, per contro, affinchè l'esperienza raggiunga davvero lo scopo di scovrir la legge, è necessario che sia, come diciamo noi oggi, probativa, ossia rispecchi davvero il fenomeno che vuol riprodurre, che non sia influenzata da altri fenomeni concomitanti, che sia eseguita su materia appropriata e con procedimenti a Natura fedeli.

« *Chi si promette dall'esperienza quel che non è in lei si discosta dalla ragione* »
(*Cod. Atl.* 299 r. b.)

Per es. si rimane impressionati dalla precisione, quasi meticolosità con la quale Leonardo descrive la prova — oggi diremmo: impartisce le prescrizioni tecniche per la prova — diretta a misurare la consistenza di una pasta precorrendo l'attuale prova di presa sui cementi detta anche prova di Vicat (Man A 47 c); oppure la prova di trazione:

« *E fa più volte questa pruova; e questa pruova farai di ciascun metallo, legnami, pietre, corde e ogni cosa che sia atta a sostenere; fa di ciascuna cosa regola generale* ».
(*Cod. Atl.* 82 r. b.)

Quella regola generale — la legge — che sta sempre nei desideri di lui. E in tutta la cura che Leonardo pone nel definire le modalità d'impostazione e di esecuzione dell'esperienza facilmente si scorge nascere quella metodologia cui dovrà in eterno legarsi il nome di Galileo Galilei.

Nei modi di procedere della Natura, Dante riconosce giustamente che nessuna parte ha il caso, ma che essa agisce secondo un ben preciso magistero ed una rigorosa gerarchia conseguenziale; egli osserva:

« *Causa prima est magis causa* »
(*Epist.* XIII, 56)

« *Quanto causa est universalior, tanto magis habet rationem causae* »
(*De Mon.* 1-XI-17)

« *Cum Natura semper faciat et velit quod melius est* »
(*Quest.* 28)

Leonardo aggiunge qualche cosa alla precisazione di questo « melius » ed afferma.

« *Ogni cosa è generata dalla Natura nel più brieve modo che trovar si possa* »
(*Cod. Atl.* 112 v. a.)

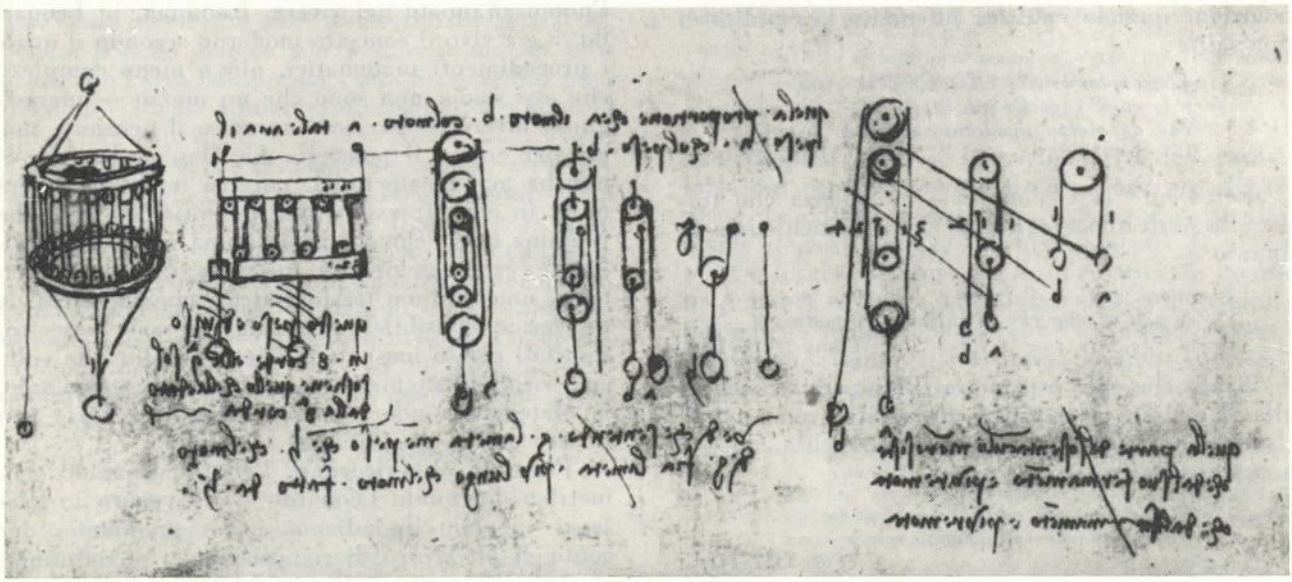
« *Nessuna azione naturale si può abbreviare* »
(*Cod. Atl.* 112 v. b.)

« *Ogni azione naturale è fatta da essa Natura nel più brieve modo e tempo che sia possibile* »
(*Man.* D 4 r.)

Le scienze fisiche moderne hanno ulteriormente precisato questo « melius » di Dante e questo « più brieve modo » d'agir della Natura di Leonardo, nei quali è già implicitamente ma indubbiamente contenuta una condizione di limite. Per es. quando i solidi subiscono deformazioni per effetto di forze esterne, queste deformazioni avvengono in modo che i solidi assorbono il minor lavoro possibile. Questa proprietà è conosciuta nella Elasticità con la denominazione di Teorema di Menabrea, perchè fu proprio questo famoso generale del Genio — l'assediatore di Gaeta sul crepuscolo di Francesco II l'ultimo dei Borboni napoletani — ad enunciarlo nel 1857 in una sua celebre memoria letta all'Accademia delle Scienze di Torino.

Nelle Matematiche, Dante sa sovrapporre al concetto aristotelico ispirazioni che stanno al di

Fig. 2. - Nasce il teorema dei lavori virtuali.



fuori dei tempi. Egli raffigura l'Aritmetica — l'Arismetica — com'egli dice — al Sole perchè l'occhio non lo può mirare. Questo concetto è spiegato da Dante stesso; la proprietà di abbagliare, egli dice,

« *ancor si vede nel numero... chè l'occhio de lo 'ntelletto nol può mirare; però che 'l numero, quand'è in sè considerato, è infinito e questo non potremo noi intendere* »

(*Con.* 2-XIII-15)

E si noti il valore della precisazione: « Quand'è in sè considerato » perchè quand'è messo al servizio di un fatto naturale per esprimerlo, definirlo, valutarlo, divien partecipe necessariamente della limitatezza propria al fatto naturale stesso. Cosicchè l'uomo, che è pur capace di accettare l'idea dell'infinito in causa della sua divina generazione, non può, in causa della sua umana costituzione, nè maneggiare nè operare sull'infinito o sul numero, quando questo non sia collegato, mi si permetta di dire « incollato », al caso pratico ben definito in quel più o meno piccolo intorno nel quale l'uomo respira, vive, s'agita, s'affanna e s'arrovella e riesce finalmente — presto o tardi, bene o male — a dominare.

In fatto di Geometria, convien dirlo, Dante e i suoi Contemporanei fanno una ben meschina figura; colpa loro? E chi oserebbe affermarlo, quando tutta la letteratura specifica si era sprofondata nel mare dell'oblio dal quale poi il Rinascimento avrebbe dovuto a pezzi ripescarla? Dante, in fatto di Geometria piana non conosce che il cerchio e la retta che, del resto, è il cerchio di raggio infinitamente grande; in fatto di Geometria solida non conosce che la sfera ed il piano che, del resto, è la sfera di raggio infinitamente grande. Eppure quali ricchezze in fatto di elementi geometrici ed in particolare di curve algebriche e trascendenti avevan possedute le due Grecie!

Di strumenti geometrici, Dante non conosce che la riga, necessaria a tracciare la retta o meglio un segmento di retta e il compasso, necessario a tracciare il cerchio. Per verità conosce anche il quadrante che risulta dalla « lista », cioè dalla retta, e dal settore graduato, cioè dal cerchio; egli ne fa menzione quando vuol far intendere la ripidità di una salita:

« *Lo sommo er'alto che vincea la vista,*
e la costa superba più assai
che da mezzo quadrante a centro lista »

(*Purg.* IV, 40)

Per Dante la Geometria è la Scienza che traduce la perfezione; egli dice che è bianchissima in quanto è

« *senza macula d'errore e certissima per sè e per la sua ancella che si chiama Prospettiva* ».

(*Conv.* 2-XIII-25)

Tanto che, per esprimere l'impossibile, ricorre alla negazione di qualche proprietà geometrica; che un angolo inscritto in un semicerchio, ad es., non sia retto:

« *O se del mezzo cerchio far si puote*
triangol sì che retto non avesse »

(*Par.* XIII, 101)

o che un triangolo possa possedere due angoli ottusi:

« *Come veggion le terrene menti*
Non capère in triangolo due ottusi »

(*Par.* XVII, 14)

È poi merito specialissimo di Dante l'aver riconosciuto che l'impossibilità della quadratura del cerchio

« *lo cerchio per lo suo arco è impossibile a quadrare perfettamente* »

(*Conv.* 2-XIII-27)

e la incommensurabilità del cerchio rispetto al diametro

« *Qual è geometra che tutto s'affige*
per misurar lo cerchio e non ritrova
pensando quel principio ond'egli indige »

(*Par.* XXXIII, 133)

sono l'una cosa conseguenza dell'altra.

I duecento anni che sono passati dal '300 al '500 non hanno tolto nulla allo splendore che Dante riconosceva alle Scienze matematiche, ma l'han fatto più vivo. Leonardo non soltanto vede nel processo matematico il solo ed unico mezzo per raggiungere la soluzione esatta

« *Chi biasima la somma certezza della Matematica si pasce di confusione... la matematica porrà silenzio alle contradizioni delle sofistiche scienze con le quali si impara un eterno gridore* »

(*Cod.* R. 1157)

ma riconosce anche che la matematica offre il potente suo aiuto a qualunque scienza, ossia ne estende smisuratamente il dominio, ed afferma che la

« *proporzione non solamente nelli numeri e misure fia trovata, ma etiam nelli suoni, pesi, tempi, e siti e 'n qualunque potenzia si sia* ».

(*Cod.* K 49)

Ma appunto per questo non gradisce la matematica semplicemente come puro esercizio di astrazione e addita invece il suo alto valore applicativo al servizio dei problemi naturali di qualsiasi tipo ed in tutti i campi del sapere. Parlando della Meccanica dice che essa rappresenta il

« *Paradiso delle scienze matematiche perchè in quella si viene al frutto* »

(*Cod.* E. 8, r)

quel frutto che è l'autentica e concreta mèta dell'uomo affannato nel vivere. Insomma, in Leonardo, è già vivo il concetto moderno secondo il quale i procedimenti matematici, più o meno complessi che essi siano, non sono che un mezzo — meraviglioso invero — per economizzare il pensiero, non già per creare il pensiero. La Matematica, in sè, non ha mai creato nulla, nè crea nulla, nè creerà nulla in eterno; essa è una potentissima luce che illumina la via che conduce da una verità ad un'altra sua conseguenza; è insomma una trasformatrice, una sublime trasformatrice che sa trarre da un germe invisibile, quasi, da un seme nascosto, resultati spesso inaspettati e impensabili, alle volte con sorprendentemente poca fatica. E, come tale, la Matematica non è ancora stata — e forse non lo sarà mai — sbalzata dal suo trono.

Piuttosto che ricordare l'enorme corredo geometrico del quale Leonardo è già venuto in possesso — non intendiamo, come già notato, dar conto di un lavoro di compilazione, — soffermia-

moci un istante su un semplicissimo concetto. Consideriamo, cioè, l'esattezza con la quale Leonardo, perfezionando un pensiero già espresso da Dante, coglie giusto nel cogliere la differenza tra l'interpretazione astratta e quella concreta di un medesimo termine: il punto; cioè tra il « punto geometrico o matematico » e il « punto materiale ».

Del primo egli dice:

> « *È quel che non ha mezzo e i cui termini sono il nulla* »
> (*Cod. Atl.* 91 v. a.)
>
> « *È solo in sua generazione e non ha altezza, lunghezza, larghezza.* »
> (*Cod. Atl.* 132 r. b.)
>
> « *È il luogo senza occupazione di luogo* »
> (*Cod. Atl.* 176 v. c.)
>
> « *È il contatto di un corpo sferico con un piano* »
> (*Cod. Atl.* 176 v. d.)
>
> « *Non ha mezzo ma lui è esso mezzo e i suoi termini ricadono in lui* »
> (*Cod. Atl.* 289 r. a.)

Aggiunge ancora — e qui con Dante — che il punto matematico non è divisibile. Del punto materiale egli dice invece che è divisibile in infiniti punti.

Che strano ma suggestivo modo d'affrontare un problema di qualità, riguardandolo come un problema di quantità, ma esacerbato al limite! Il punto matematico è un punto non divisibile affatto; il punto materiale è divisibile infinitamente; per essere due cose, nel rispetto quantitativo, infinitamente distanti, sono, nel rispetto qualitativo, di natura diversa. Come chi dicesse: un cubo potrà essere scomposto in infinite fettine il cui insieme non diverrà mai una superficie, perchè il loro spessore sarà piccolissimo ma non nullo: mentre un'area, come una faccetta del cubo, avendo spessore nullo, non potrà dar presa ad una sottilissima lama ideale che tenti ulteriormente sfogliarla. Perchè il cubo ammette in sommo grado un proprietà che l'area non presenta affatto; perciò il cubo che è un volume è di natura diversa dalla sua faccia che è una superficie.

Merito indiscusso di Dante è quello di aver ravvisata, nello studio del moto, la indivisibilità tra il concetto di spazio e quello di tempo; il moto invero non può definirsi senza che sia definita la serie dei luoghi e quella corrispondente dei tempi. Quest'idea cinematica del tempo come « numero di movimento » ancor meglio si manifesta nella descrizione del moto dei cieli ed in particolare di quello del cristallino al quale quello degli altri cieli vien da Dante riferito:

> « *E come il tempo tenga in cotal testo*
> *le sue radici e negli altri le fronde* »
> (*Par.* XVII, 118)

Relativamente al moto dei gravi, Dante mantiene ancora idee tradizionaliste, stranamente me-

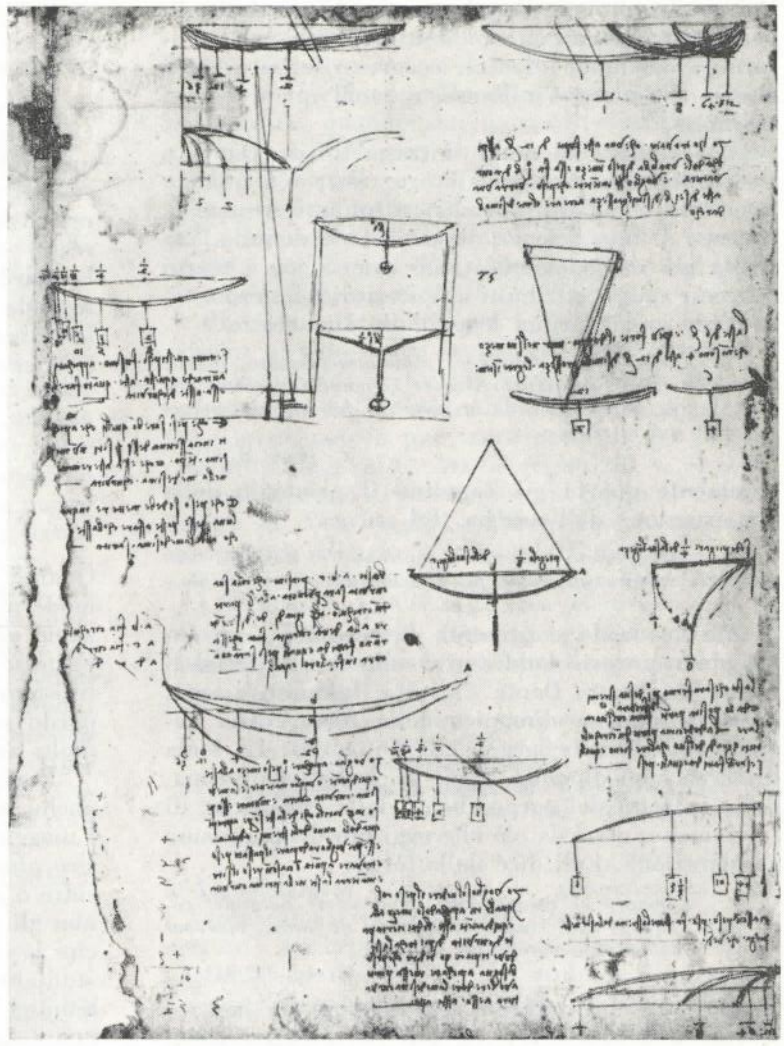


Fig. 3. - Le travi inflesse.

scolate, però, a concetti del tutto moderni; invero, dopo d'aver accettata la definizione classica di corpo pesante — che è quello che naturalmente tende a cadere — e di corpo leggero — che è quello che naturalmente tende a sollevarsi — (e qui ripete forse le parole del suo Aristotile,

> « *Grave et leve sunt passiones corporum simplicium, que moventur motu recto; levia moventur sursum, gravia vero deorsum* »),
> (*Quest.* 25)

non soltanto riconosce la rettilinearità della traiettoria dei corpi cadenti semplicemente per il proprio peso, ma avverte — e questo è particolarmente degno di nota, — che i concetti di pesantezza e leggerezza sono del tutto relativi, in quanto un pezzo di sughero, ad es., nell'aria cade e quindi, secondo la definizione, sarebbe un corpo pesante; mentre nell'acqua sale e quindi sarebbe un corpo leggero. Per questo motivo, si sente in dovere di aggiungere, nel medesimo luogo:

> « *Diversa ratio gravitatis erit in acqua et in terra* — ossia nell'acqua e sulla terra, cioè nell'aria — *et cum diversitas rationis cum identitate nominis equivocationem faciat... sequitur quod gravitas equivoce predicetur* ».
> (*Quest.* 25)

Per evitare dunque l'equivoco che deriva dalla diversità di comportamento non avvertita dalla uniformità del modo di dire, occorre riferire i corpi che si considerano all'ambiente nel quale essi si trovano.

La Scienza del moto si trasmette da Dante a Leonardo senza sostanziali progressi; ma quando Leonardo se ne appropria, non soltanto assume le fattezze di una Scienza organizzata e definita, ma rivela già atteggiamenti tanto avanti con i tempi da venir spesso attribuiti a posteri di Leonardo.

Ecco già la prima legge della Dinamica:

> « *Ogni moto attende al suo mantenimento, overo: ogni corpo mosso sempre si move in mentre che la impressione de la potenzia del suo motore, in lui si riserva* »;
>
> (*Cod.* R. 859)

veramente qui fa già capolino il principio della conservazione dell'energia. Ed ancora:

> « *Ogni moto naturale è continuo (e) desidera conservare suo corso per la linia del suo principio* »
>
> (*Cod.* F. 74 v.)

Ma Leonardo si presenta davvero come un antesignano proprio laddove, avendo Aristotile falsamente insegnato, Dante s'arresta dubbioso e tace; nella definizione dinamica della forza, ossia davanti alla seconda legge della Dinamica. La forza d'inerzia non dipende, come si credeva dapprima, dalla velocità del corpo, bensì dalla variazione di tal velocità, ossia da ciò che oggi noi denominiamo accelerazione. Egli dice della forza:

> « *Sempre si contrappone ai desideri naturali, costringe ogni corpo a mutazioni di forma, vive per violenza e muore per libertà* »;
>
> (*Cod. Atl.* 302 v. b.)

Ma poichè Leonardo non è uomo da lasciare le cose a mezzo, esaspera, pur di spiegarsi bene, le cose e si intrattiene a considerare il fenomeno che, ai suoi fini, tra tutti, è il più espressivo: il colpo, l'urto. Qui invero la velocità del corpo urtante che si porta in un tempo brevissimo, nel tempo cioè per il quale dura l'urto, dal valore ch'essa aveva prima dell'urto al valore nullo, passando così dalla massima libertà alla costrizione soggiacendo a violenza, subisce una accelerazione (in questo caso una accelerazione negativa cioè una decelerazione) teoricamente infinita, praticamente vistosa. Ne consegue che vistoso ne sarà pure l'effetto, cioè la forza d'inerzia.

> « *Nessuna cosa fia più brieve nè di maggior potenzia* »
>
> (*Cod. Atl.* 270 v.)

La terza ed ultima legge della Dinamica — quella detta dell'azione e della reazione — è già chiaramente espressa da Leonardo:

> « *La forza della cosa* — egli dice riferendosi ad un corpo, ad una cosa moventesi nell'aria — *contro l'aria è tanta quanto l'aria contro la cosa* »
>
> (*Cod. Atl.* 381 v. a.)

Ecco ancora l'anticipazione che egli, novello Aristarco di Samo, fa di quella che sarà la gloria attribuita a Copernico:

> « *Centro del mondo è immobile per sè, ma il sito dove si trova è sempre in moto* »;
>
> (*Cod. Atl.* 102 r. b.)

> « *Come la Terra non è nel mezzo del cerchio del sole nè nel mezzo del mondo... questa nostra Terra parrebbe e farebbe offizio, tal quale fa la luna a noi* ».
>
> (*Cod.* F. 25 v.)

Dunque, già per Leonardo, la Terra è, anch'essa, un satellite.

Nel codicetto sul volo degli uccelli conservato presso la biblioteca reale di Torino, a pag. 13, sul recto, si leggono le seguenti parole con le quali Leonardo dice di immaginare di forare la terra secondo un diametro, scavando cioè un pozzo che la traversi tutta da un antipodo all'altro, e di gettare in esso un corpo come una pietra:

> « *E se possibile fussi dare un diametro d'aria a questa sfera della terra, similitudine d'un pozzo, e per esso pozzo si lasciassi cadere un corpo grave; ancora che esso corpo si volessi al centro fermare, l'impeto sarebbe quello che per molti anni glielo vieterebbe* »
>
> (*Cod.* Volo degli Ucc 13 r.)

Quante cose si affacciano alla mente del meccanico moderno! Forza d'inerzia, moto armonico, oscillazione ed oscillazione smorzata; sì; perchè se non esistesse lo smorzamento derivante per es. dalla resistenza dell'aria — un diametro d'aria, Leonardo scrisse — egli non avrebbe precisato: per molti anni, bensì: per sempre!

E non soltanto nella Dinamica generale, ma anche nel campo stesso nel quale Galileo raccolse i maggiori allori, Leonardo precorre il grande Fisico pisano. Spesso mostra di accorgersi che le clessidre o gli orologi ad acqua — i soli allora usati — non gli permettono quella misura esatta del tempo che le sue ricerche esigono; donde la necessità di studiare nuovi congegni per la misurazione del tempo. A questo scopo escogita il bilanciere e, a quanto appare da alcuni schizzi disegnati nel Codice Atlantico e da alcune osservazioni sulla relazione tra le oscillazioni pendolari ed il tempo, sembra ormai fuori dubbio ch'egli abbia, almeno, pensato ad utilizzare il pendolo come scappamento regolabile.

In fatto di volo, Dante e Leonardo sono più figli di Icaro che padri dei Fratelli Giuseppe Michele e Stefano Montgolfier fabbricanti di carta di Annonay. Invero ambedue hanno pensato a realizzare il movimento nell'aria — la navigazione aerea, diciamo noi — mediante la sostentazione ottenuta con la reazione dell'aria sull'ala, e non hanno affatto pensato, come credo, se non sbaglio, a realizzarla mediante la sostentazione col mezzo più leggero, aria calda o gas adatto.

L'aquila dalle penne d'oro che nel sogno dantesco prende la figura reale di Lucia:

> « *con l'ali aperte ed a calare intesa* »
>
> (*Purg.* IX, 20)

e le colombe che

> « *dal desio chiamate,*
> *con l'ali alzate e ferme, al dolce nido*
> *vengono per l'aere dal voler portate* »
>
> (*Inf.* V, 82)

possono riguardarsi come le poetiche annunciatrici del volo, e, si noti, del volo a vela; con l'ali alzate e ferme; chè, se l'ali sbattessero, avrebbero anche funzione di propulsione.

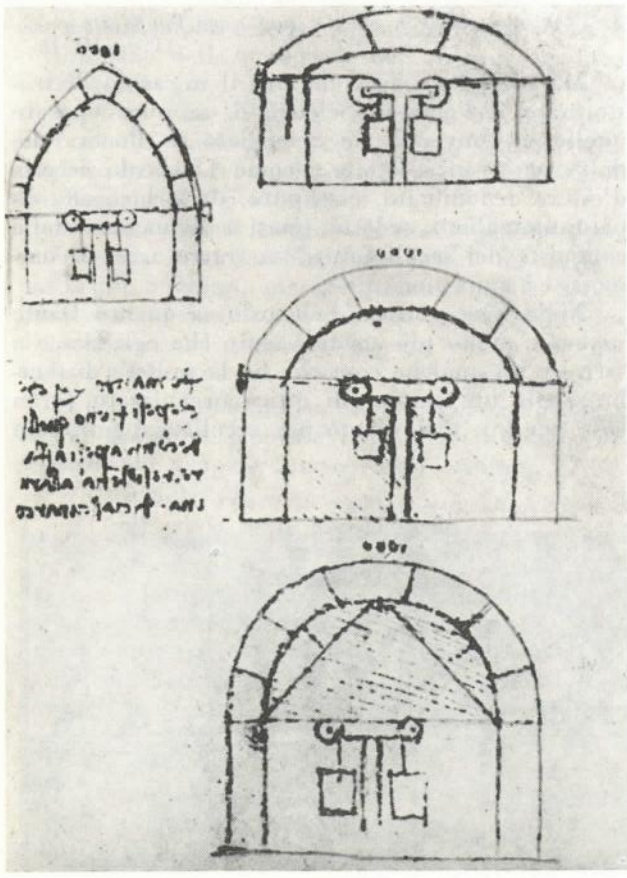
Io credo che Dante volesse scherzare un poco quando si pose a descrivere la sua discesa dal settimo all'ottavo cerchio in groppa a Gerione, il quale invece sbatte bravamente le ali

« e con le branche l'aria a sè raccolse »
(*Inf.* XVII, 105)

vi si legge difatti la preoccupazione non soltanto di Dante, che al pensiero di dover fare un viaggetto come quello divien pallido come colui che ha la febbre quartana; ma anche quella di Gerione che, dovendo questa volta portare un peso che è davvero un peso — le anime dannate non pesano — non sa bene come la andrà a finire e vuol prendere tutte le sue buone precauzioni. La descrizione di questo preoccupatissimo ed impacciatissimo bestione mi ricorda quando, bimbo di pochi anni, venni portato dal mio babbo e dalla mia mamma a vedere uno dei primi tentativi di volo nella piazza d'armi — il Campo di Marte — della mia nativa Firenze; c'erano i Fratelli Wright che con un apparecchio o meglio con un trabiccolo tutto ali, alette, fili, tenditori e con un bel seggiolino sporgente in avanti sul quale stava appollaiato « l'eroico trasvolatore dei cieli » (l'elica stava dietro) facevano al cospetto di 250.000 fiorentini attoniti e trasecolati, dei voletti di qualche metro riuscendo perfino a passare sopra a un asinello che, fermo nel prato, non degnava d'uno sguardo il nuovo Gerione che lo sorvolava come il carducciano suo confratello, quello del cardo rosso e turchino.

Nel codicetto sul volo degli uccelli, Leonardo si mostra non soltanto attento osservatore della Natura, come Dante, ma anche profondo indagatore dei mezzi dei quali essa si serva, per raggiungere i suoi scopi. La Natura che, oltre tutto, è una ottima Economista, quando sia libera di scegliere da se stessa i modi d'operare, lo fa in modo rigorosamente funzionale; e fino in fondo nel valore funzionale delle strutture di sostentazione degli uccelli, Leonardo è penetrato, riuscendo egregiamente a cogliere di esse non soltanto le forze, ma la ragione funzionale.

Fig. 4. - Spinte degli archi e catene.



Piuttosto che analizzare l'opera di Leonardo relativa al volo — ce ne mancherebbe il tempo e ridiremmo ancora cose già ripetutamente dette — soffermiamoci a ricordare alcune sue proposizioni forse meno note e pur tanto notevoli per la loro viva attualità. Nel C. Atl. al foglio 281 v. a) esiste il primo disegno di paracadute; al foglio 17 del Codicetto sul Volo degli Uccelli ne descrive un altro che chiama « baghe » col quale l'uomo

« in sei braccia d'altezza cadendo, non si faccia male, cadendo così in acqua come in terra ».

Che a fondamento della Scienza del volo stia la Dinamica dei fluidi, è indicato chiaramente in un passo del Manuscr E:

« Per dare vera scienzia del moto degli uccelli infra l'aria è necessario dare prima la scienzia dei venti, la quale proverem mediante moti dell'acqua in se medesima. E questa tale scienzia sensibile farà di sè scala alla cognizione de' volatili infra l'aria ».

(*Man.* E. 54 v.)

L'Aerodinamica è dunque la propedeutica dell'Aeronautica; verità fuori d'alcun dubbio che dà origine e disciplina alle moderne teorie del volo. E perchè Leonardo vuol prima studiare il moto nell'acqua? Manifestamente per due motivi. Prima di tutto perchè il fenomeno dell'equilibrio dinamico per la maggior densità dell'acqua, si attua in modo vistoso anche per velocità basse; e, presentandosi così più diluito nel tempo, può venir più facilmente seguito specialmente da chi, come Leonardo allora, possegga mezzi di misura del tempo di relativamente scarsa sensibilità. Allo stesso artificio ricorrerà più tardi Galileo che, con lo studiare il moto dei gravi correnti lungo un piano inclinato, anzicchè liberamente cadenti, rallenterà il fenomeno del loro moto, cioè lo diluirà nel tempo. Il secondo motivo per il quale Leonardo suggerisce di analizzare prima il moto dell'acqua, consiste nel fatto per il quale l'acqua non è compressibile ed il fenomeno risulta più semplice. Invero la sostentazione dovuta alla reazione dell'aria e la penetrazione in essa possono essere studiate sia non tenendo conto, sia tenendo conto — e ciò costituisce un avvicinamento alla realtà tanto più necessaria quanto la velocità del volante raggiunga alti valori — della compressibilità dell'aria. Quanto su questo argomento il nostro Leonardo dice è meravigliosamente profondo.

« L'aria con più velocità di mobile è percossa, con maggior somma di se medesima si condensa... E per questo, essendo l'aria corpo atto a condensarsi in se medesima, quando essa è percossa da moto di maggior velocità che non è quella della sua fuga, essa si prieme in se medesima ».

(*Cod. Atl.* 77 r. b.)

Ciò avviene davanti al mobile; dietro, ove l'aria non fa a tempo a riempire lo spazio lasciato libero dal mobile che fugge, si rarefà.

Importante è poi l'osservazione che la sostentazione non derivi dalla velocità assoluta del volante bensì dalla velocità relativa di quello in seno all'aria e poichè tal velocità sarebbe la medesima qualora si tenesse fermo il volante e si facesse muovere soltanto l'aria in senso contrario. Leonardo si presenta come il primo uomo che abbia avuto il concetto di quello che oggi vien denominata la « galleria del vento » o « galleria aerodinamica » nella quale precisamente si immerge il modello dell'apparecchio fermo in seno alla corrente d'aria mobile.

> « *Ma quando l'uccello si trova infra 'l vento, esso po' sostenersi sopra di quello senza batter l'alie, perchè quello offizio che fa l'alia contro l'aria, stando l'aria senza moto, tal farà l'aria mossa contro l'alie, essendo quelle senza moto* ».
> (*Cod. Atl.* 77 r. b.)

Luce, fascinoso raggio, del quale il capo del Dio o di colui cui riconosce la dignità d'abitator tra i celesti cori, l'uomo ricinge e circonfonde, quante volte, o turbato o abbagliato o rapito, sempre attonito o estatico, Dante davanti a te s'arresta e tutto in sè si raccoglie!

Ora, se egli parla o canta, non è semplicemente per quel bisogno, per quella spirituale ed infrenabile esigenza interna che tutti i poeti autentici fa parlare o cantare, come altrove anche Dante; sibbene per un qualche cosa che è più d'un bisogno; quasi per un preciso obbligo, per un dovere che lo sospinge. Per assolverlo bene e rigorosamente. Dante pensa che tutti debbano chiaramente capirlo, facilmente, subito, senza sforzo o dubbi. Egli allora schematizza il suo pensiero, controlla il suo periodo ed il suo verso, che si fanno semplici, nitidi, tersi, perfettamente dosati e precisi. Qui Dante si sente Uomo di Scienza, si sente un Definitore.

> « *Dico che l'usanza... è di chiamar " luce " lo lume, in quanto esso è nel suo fontale principio; di chiamare " raggio " in quanto esso è per lo mezzo, dal principio al primo corpo dove si termina; di chiamare " splendore " in quanto esso è in altra parte alluminata ripercosso.*
> (*Conv.* 3-XV-5)

È questo lo stralcio del verbale di un qualche Comitato di illuminazione? No; è un brano del Convivio di Dante.

> « *Et in coloribus, omnes albo mensurantur* ».
> (*De Vulg. Eloq.* 1-XVI-2)

È forse questa una riga estratta da un trattato d'ottica — latino, scritto magari per un seminario — dove il color bianco venga presentato come sintesi di tutti gli altri, come il colore per eccellenza? No; è un brano del « De Vulgari Eloquentia ».

> « *Come quando da l'acqua o da lo specchio*
> *salta lo raggio a l'apposita parte*
> *salendo su per lo modo parecchio*
> *a quel che scende, e tanto si diparte*
> *dal cader della pietra in ugual tratta,*
> *sì come mostra esperienza ed arte;...* »
> (*Purg.* XV, 16)

Qual più fedele descrizione del fenomeno della riflessione della luce e qual più precisa esposizione della sua fondamentale legge sull'uguaglianza degli angoli di incidenza e di riflessione desiderar si potrebbe?

Ma anche altri fenomeni relativi alla luce ed alla sua propagazione sono avvertiti e descritti da Dante. La trasparenza:

> « *Com'acqua recépe*
> *raggio di luce permanendo unita* »
> (*Par.* II, 35)

la velocità meravigliosa della luce:

> « *E se pensassi come al vostro guizzo*
> *guizza dentro allo specchio vostra image* »
> (*Purg.* XV, 25)

L'arcobaleno:

> « *E come l'aere quand'è piorno,*
> *per l'altrui raggio che in sè si riflette*
> *di diversi color diventa adorno* »
> (*Purg.* XXV, 91)

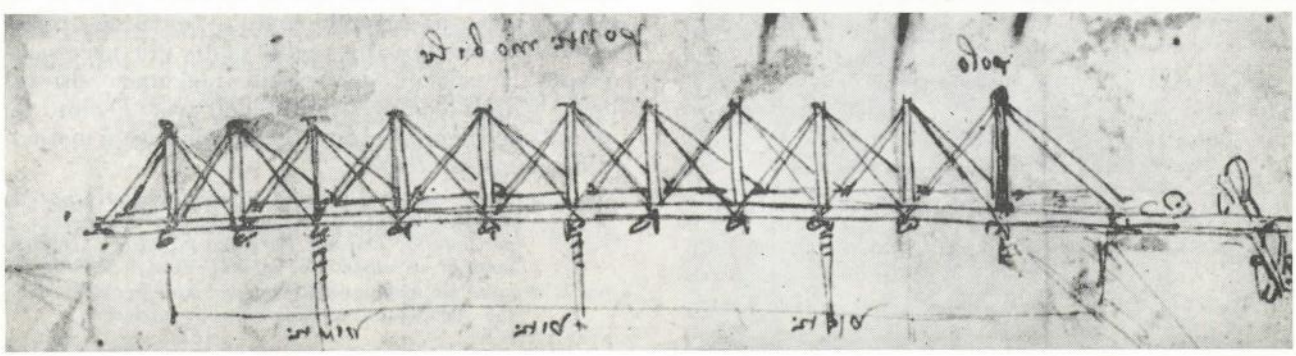
L'ombra:

> « *lo sol che retro fiammeggiava roggio,*
> *rotto m'era dinanzi alla figura*
> *che aveva in me de' suoi raggi l'appoggio* »
> (*Purg.* III, 16)

Ma se la luce ha compiuto il miracolo di trasformare il Poeta in Scienziato, sa pure operare quello di convertire lo Scienziato in Poeta; chè dall'« omo sanza lettere » come Leonardo accetta d'essere denominato, esso pure, dalla luce affascinato, ammaliato, sedotto, quasi a divinazione delle conquiste dei secoli futuri, sa trarre accenti commossi ed appassionati.

Nella Fisica ottica, Leonardo sa quanto Dante sapeva e molto più ancora, tanto che egli riesce a scrivere un qualche cosa che ha la pretesa di sembrare già un trattato di ottica organizzato (gran cosa per lui, disordinato per eccellenza) intitolato

Fig. 5. - Ponti.



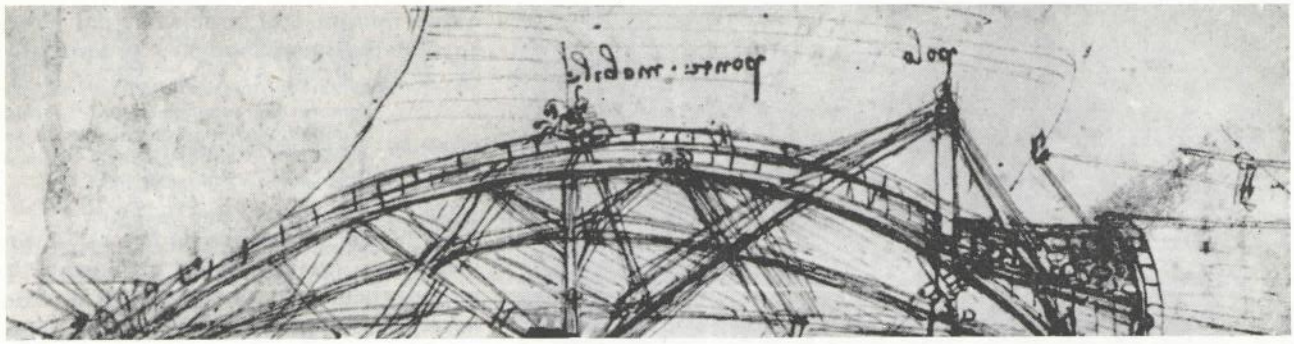


Fig. 6. - Ponti.

« Delle ombre e dei lumi ». Ma questi argomenti son visti da Leonardo in un modo, anzi con un peritoso e trepidante rispetto tutt'affatto speciali; dice esser la luce fatta soltanto per « li contemplanti » e la riguarda come passo in una scala ideale e superba i cui gradini sono: Matematica, Fisica, Gloria, Luce, Dio. La luce tra la gloria e Dio, al di sopra e al di fuori della Fisica; qual Fisico accetterebbe ciò s'egli non fosse anche Poeta?

Per Leonardo invero lo studio della luce non è più Fisica, ma qualcosa già di ben oltre, in piena Metafisica; da quell'osservatorio altissimo, nel quale egli sa porsi, può abbracciare con lo sguardo, nell'immensa piana della Fisica che si stende ai suoi piedi, quanto i Fisici stessi, che in quella piana stanno, veder non possono o non sanno. Relazioni tra manifestazioni della Natura in apparenza assai lontane; definizioni particolari che ben vengono ad adattarsi a fenomeni di più esteso tipo; concezioni nuove relativamente alla natura ed alla costituzione della materia e dell'energia. La luce, il calore, il suono, l'odore, il magnetismo e perfino il pensiero sono da Leonardo messi insieme quali derivati dal medesimo principio: la vibrazione, e quali partecipi del medesimo modo di diffondersi: la propagazione per onde.

La meravigliosa audacia di simile generale concezione, da sola, sarebbe sufficiente a far di Leonardo un Sovrano, ma non soltanto nella Fisica, bensì nella Filosofia nel suo più ampio significato di « Amore del sapere » in ogni campo da Dio aperto all'Uomo.

E l'Uomo moderno, in ciò che Leonardo dice o fa non soltanto riconosce il proprio presente, ma si sente nel proprio futuro stesso sospinto.

> « *Moti più veloci che siano, cioè quelli dell'occhio, del raggio solare e della mente* ».
>
> (*Cod. Atl.* 204 v. a.)

egli osa affermare. Ecco, il batter d'occhio, la velocità della luce, la rapidità del pensiero, messi assieme a costituire una privilegiata gamma di velocità eccezionali. Ma chi la ordina non può essere che ben in su nell'ideale e superba scala di Leonardo!

Ecco che i baluardi posti tra materia ed energia, tra materia e spirito crollano e si sfanno davanti a quest'uomo, scienziato, artista, poeta, che muove alla conquista del mondo!

E allo sguardo che spazia da un così alto punto di vista non si cela la minuzia del particolare. Forse Leonardo fu il primo a sottolineare i rapporti tra la luce e la fiamma che, in certe condizioni, possono impunemente scambiarsi l'ufficio di causa e di effetto, l'una dell'altra. Egli mostra che, come la luce può in certi casi divenir causa di fiamma — e già Archimede lo sapeva e lo insegnò ai marinai romani dei quali bruciò le navi, ma non a Dante dal quale fu ignorato — la fiamma non è senz'altro e sempre causa della luce.

E, per dimostrare ciò, suggerisce la famosa esperienza dell'intercettare i raggi del sole pioventi sopra uno schermo con una candela accesa; sullo schermo apparirà non soltanto l'ombra della candela, ma anche quella della fiamma che diverrà così addirittura causa di ombra ossia negazion della luce.

Luce, Dio!

Ancora un passo, affinchè l'ultimo gradino della fantasiosa scala sia varcato. E l'Uomo che dapprima non sprezza, ma forse non si cura di leggere le « lettere incoronate » — le Sacre Scritture — nè s'interessa di ciò che sia sentimento, spirito, anima — tutta roba ch'egli stima sia da lasciare ai frati « padroni dei popoli » — egli scrisse in un lontano dì — « li quali per inspirazione san tutti li segreti », ma non per questo l'ironico o l'incredulo indulge a confondere il ministro quand'egli sia infedele o impuro, con la purezza e la santità del ministero — s'arresta ad ogni passo nel suo terreno pellegrinaggio. Il ruscello bisbiglia, la fronda stormisce ed egli li ascolta; la terra palpita e geme nell'esprimere i virgulti ed egli vi si inginocchia e l'accarezza; agli animali del bosco, agli uccelli dell'aria chiede il segreto del balzo, del volo; la tempesta che stride, il tremuoto che i monti commuove vigile osserva ed indaga. Sempre attento, sempre proteso alla ricerca affannosa della legge, della legge generale, di quella che è « più causa se causa prima », irresistibilmente attratto, quale novello Saulo, dalla luce divina in ogni cosa attorno a lui riflessa, lungo la via della sua vita intera, quasi via di una novella Damasco!

E l'Uomo spera e prega:

> « *Si degnerà il Signore, luce di ogni cosa, illustrare me tratatore della luce* »;
>
> (*Cod. Atl.* 203 r. a.)

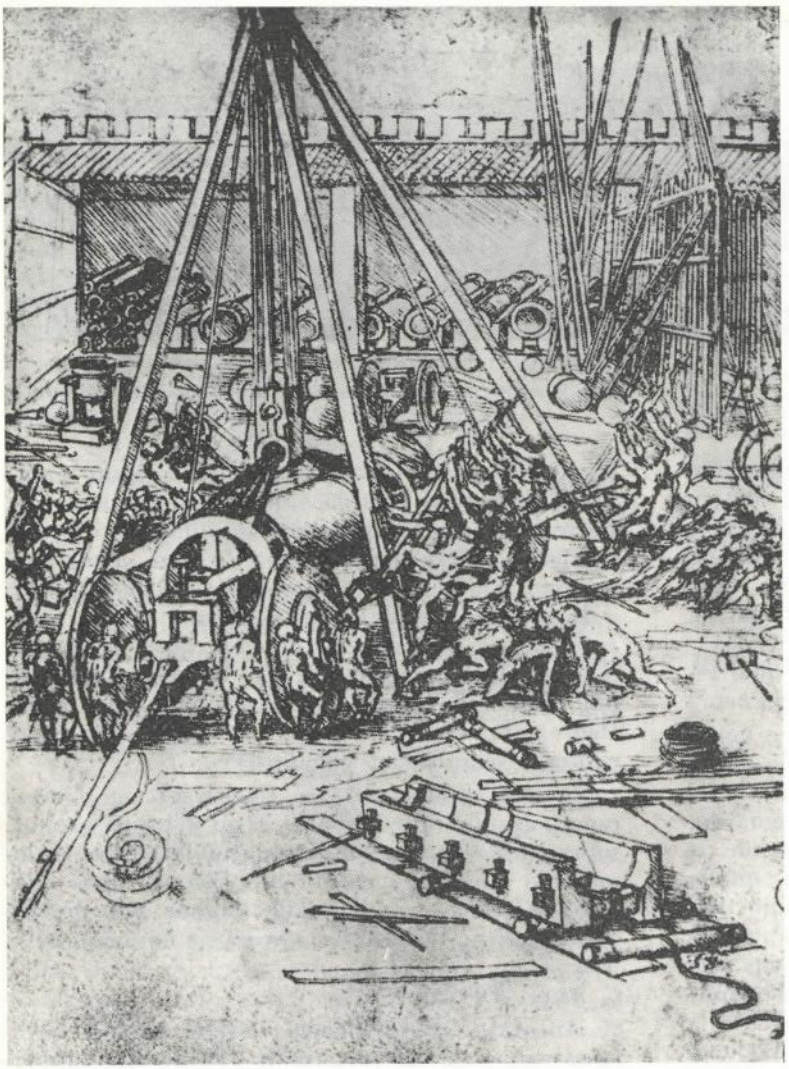


Fig. 7. - Fusione e sollevamento di una bocca da fuoco.

e dalla luce in fantasmagorico turbinìo vien rapito dinnanzi al trono della

« *Prima mente* »;
(*Conv.* 2-III-11)

« *della somma Sapienza* »;
(*Inf.* XXIX, 10)

« *dell'ineffabile e sommo Bene* »;
(*Purg.* XXVIII, 91)

« *dell'alta luce che da sè è vera* »;
(*Par.* XXX, 54)

« *della Giustizia sempiterna* »;
(*Par.* XXIX, 58)

dinanzi al

« *Culmen totius entis* »;
(*De Mon.* 3-XVIII-1)

è sempre Dante che definisce.

« *O mirabile giustizia di te, Primo Motore, tu non hai voluto mancare a nissuna potenzia l'ordine e qualità de sua necessari effetti* ».
(*Cod. Atl.* 24 r.)

Leonardo aggiunge ed invoca.

Ora l'ardente desìo si placa perchè in sè stesso s'accende, con se stesso si nutre, di se stesso s'appaga; Leonardo è giunto alla mèta della soddisfazione infinita e si proclama, dal Creatore delle sue conquiste, conquistato.

« *Io t'ubbidisco, Signore, prima per l'amore che ragionevolmente portare ti debbo, secondariamente che tu sai abbreviare o prolungare le vite a li omini* ».
(*Cod. Fo.* III 29 r.)

Ecco la grazia concessa da Dio al Cantor dell'opera sua; Iddio ha prolungato la vita di Leonardo tanto quanto è stato necessario affinchè la sua vittoria fosse completamente consumata e proclamata.

Saggezza del vivere, dolcezza nel morire; ecco il pensiero che ormai si impossessa di lui:

« *Quando io credevo imparare a vivere, e io imparerò a morire* »
(*Cod. Atl.* 252 r. a.)

« *Sì come una giornata bene spesa dà lieto dormire, così una vita bene usata dà lieto morire* ».
(*Cod. Triv.* 27 r.)

Una preghiera ancora consegna Leonardo ai buoni nel suo testamento; anch'egli come Manfredi, che, dopo aver scongiurato Dante di raccontare alla « buona Costanza » gli ultimi istanti di sua vita, sa che:

« *Qui per quei di là molto s'avanza* »,
(*Purg.* III, 142)

scongiura che s'impetri pace per lui.

E Leonardo muore e muore dolcemente: — nelle braccia d'un gran Re, alcuni han detto — di Francesco I di Francia —; ma mai leggenda fu tanto fedele espressione del vero! Nelle braccia di un gran Re, sì, un gran Re davvero, che possedette, possiede e possiederà qualcosa di più del pur grande e bel regno di Francia.

Muore dolcemente; chè sa di consegnarsi a quella possanza arcana, a quella causa prima, della quale, inconsciamente dapprincipio, ma tenacemente sempre, era andato alla ricerca. Di quella possanza arcana nella definizione della quale Egli e Dante si sono, inconsapevoli, ritrovati. Onnipotenza, onniscienza, onnipresenza, eternità, ogni virtù, tutto vi si conchiude ed in una sola parola breve, meravigliosa ed eterna si esprime: Amore!

« *Amor che move il sole e l'altre stelle* ».
(*Par.* XXXIII, 145)

son le ultime parole dell'ormai stanco Poeta che fu « lo contemplante » della disciplina matematica, scientifica, rigorosa, dell'ordine naturale.

« *Amor qui omnia vincit, et nos cedamus amori* »
(*Cod. Atl.* 273 r. a.)

è costretto a confessare il « figliuol dell'esperienza » ormai conquiso e soggiogato dalla Poesia armoniosa ed eterna della Creazione infinita, sperimento di Dio!

Giuseppe Maria Pugno

Prof. Dott. Ing. GIUSEPPE MARIA PUGNO
del Politecnico di Torino

I CODICI VINCIANI
E LA SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Estratto dal volume
ATTI DEL CONVEGNO NAZIONALE PER L'ISTRUZIONE
DEI GEOMETRI E DEI PERITI EDILI

Pubblicazione a cura dell'Ufficio Studi Direzione Generale per l'Istruzione Tecnica
Ministero della Pubblica Istruzione

Prof. Dott. Ing. GIUSEPPE MARIA PUGNO
del Politecnico di Torino

I CODICI VINCIANI

E LA SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Estratto dal volume
ATTI DEL CONVEGNO NAZIONALE PER L'ISTRUZIONE
DEI GEOMETRI E DEI PERITI EDILI

Pubblicazione a cura dell'Ufficio Studi Direzione Generale per l'Istruzione Tecnica
Ministero della Pubblica Istruzione

Conferenza tenuta in occasione
del "Convegno Nazionale per l'Istruzione dei Geometri e dei Periti Edili,,
Torino 29 maggio - 1° Giugno 1948

I CODICI VINCIANI E LA SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Conferenza del Prof. Dott. Ing. Giuseppe Maria Pugno *del Politecnico di Torino*

1. - La Storia ci informa che Leonardo da Vinci morì il 2 di maggio 1519 nel Castello di Cloux presso Amboise; la tradizione aggiunge ch'egli passò da questa vita mentre Francesco I di Francia amorevolmente lo abbracciava e lo confortava. Comunque, vero o falso che sia questo pietoso particolare sugli estremi istanti di Leonardo, è certo che il grande italiano, negli ultimi quattro anni di sua vita, godette presso il Re francese di familiarità e venerazione particolari, come i numerosi e segnalati favori a Lui concessi nel reame fanno sicura fede; ultimo e specialissimo tra i quali quello, dovuto alla espressa volontà sovrana, di liberamente disporre di tutto il prezioso materiale che Egli aveva preparato e tratto seco nel suo lungo e vario peregrinare e che aveva finalmente raccolto nel sicuro rifugio di Amboise. Ed è per questo motivo che tutti i libri, manoscritti ed oggetti di Leonardo, poterono nel 1519, essere raccolti, senza contrasti, dall'affezionato e fedele discepolo di Lui, Francesco Melzi, che li custodì con ogni cura nella sua villa di Vaprio fino alla morte avvenuta nel 1570, nel quale anno ogni cosa passò, per eredità, ai vari successivi discendenti di Francesco.

I nuovi proprietari, essendo purtroppo di natura e di indole assai dissimili dal loro avo, relegarono libri, manoscritti, modelli, apparecchi nelle soffitte della villa non immaginando neppure lontanamente di quale interesse essi fossero o potessero divenire per le varie scienze ed arti e per lo studio della loro storia, o non pensando forse che le scienze, le arti e la loro storia potessero suscitare un qualche sensibile interesse.

Come venne giustamente osservato in uno studio sulla Matematica in Italia,

il rispetto per la proprietà delle opere dell'ingegno sembra essere stato, nei secoli XVI e XVII, del tutto ignorato da molti, tanto da ritenersi lecito l'impadronirsi, utilizzandoli e presentandoli come cosa propria, dei lavori inediti dei predecessori defunti, senza pur anco sentirsi assaliti dal dubbio o tormentati dal rimorso di aver commesso azione meno che onesta.

Così il dotto Tartaglia pubblicava nel 1543, come opera sua, la traduzione dell'opuscolo di Archimede " De insidientibus aquae„ già eseguita da altri fin dal 1269; così il celebre Gerolamo Cardano saccheggiava senza scrupoli i manoscritti Vinciani; così l'illustre Roberval rifaceva la geometria " Indivisibilibus „; così l'ancor più celebre Descartes, nel terzo libro della sua geometria, parlava della molteplicità delle radici delle equazioni algebriche ripetendo, senza peraltro accennare a riconoscerlo, quanto otto anni prima era stato esposto in un'opera pubblicata in Olanda dove appunto il Descartes viveva.

1 *a*) - Nessuna meraviglia quindi se Lelio Gavardi, Maestro di Umanità in Casa Melzi, avendo avuto tra le mani tredici volumi dei Manoscritti Vinciani ed avendo compreso ch'essi potevano non essere della semplice cartaccia, si tenesse senz'altro i volumi ed anzi li portasse con sè a Firenze con l'intento di venderli al Granduca, di tali oggetti noto ricercatore ed apprezzatore. Se non che i rimproveri del Barnabita milanese Giovanni Ambrogio Mazenta che biasimava nel Gavardi l'illegittimo possesso, ma ancor più, forse, il fallimento del tentativo di vendita in causa della morte del Granduca fecero sì che Lelio Gavardi si acconciasse al pensiero della doverosa restituzione agli eredi di Francesco ed anzi incaricasse della medesima lo stesso Padre Mazenta.

Il Dottore Collegiato Orazio Melzi che si vide restituire i tredici volumi che neppure sapeva di possedere, non soltanto perdonò volentieri al Gavardi il furto invero non perfezionato, non soltanto regalò al Mazenta tutto quanto questi gli portava in restituzione, ma lo informò che altri manoscritti, disegni e modelli dovevano trovarsi ancora nelle soffitte della villa di Vaprio e gli fece anche intendere che se tra tutta quella cartaccia e quegli aggeggi alcuna cosa si trovasse che, avendo appartenuto a Leonardo, lo interessasse, poteva pur prendersela e tenersela.

Disgraziatamente il Padre Mazenta fu troppo discreto nell'usare un tal permesso, o chiaramente espresso o larvatamente lasciato capire, ma non altrettanto discreti furono coloro cui più tardi giunse la notizia dell'esistenza di un così copioso,

vario ed interessante materiale e delle tanto concilianti disposizioni d'animo del legittimo suo proprietario. Fu allora un accorrere sia di appassionati ricercatori, sia di interessati arraffatori che apportarono nel tesoro mal custodito e misconosciuto, ma tuttora integro, una scompigliata dispersione.

Uno fra tutti, Pompeo Leoni, figlio dell'orafo aretino Leone e scultore del Re di Spagna Filippo II, riuscì non soltanto ad entrare in possesso dei molti disegni ancora conservati nella villa di Vaprio, ma anche, in due riprese, dei tredici volumi del Padre Mazenta. Quindi decomponendo e ricomponendo i manoscritti in un solo volume (Leonardo aveva lasciato note e disegni senza particolari di coordinamento), Pompeo Leoni mise assieme quanto era destinato poi a prendere il nome di Codice Atlantico che è la raccolta più importante dei disegni e delle note Vinciane.

Ma attraverso a quante e quali vicende doveva ancora passare il volume del Leoni prima di trovare la degna, naturale, sicura e definitiva sua sede!

Passato in Spagna nel 1589 al fine di terminare i bronzi dei sepolcri reali dell'Escuriale, Pompeo Leoni dette mano colà all'ultima sistemazione del suo Codice e se questo non avesse seguito il suo Proprietario in un fugace soggiorno a Milano verso il 1604 e non fosse, per fortunato accidente, qui restato, la Patria del suo Autore l'avrebbe forse per sempre perduto. Verso il 1610 Pompeo Leoni moriva ed il codice passava "ereditario jure„ a Cleodoro Calchi discendente dello storico milanese dello stesso nome e poi, in forza d'acquisto, al Conte Galeazzo Arconati che lo pagò 300 scudi.

Intanto l'opera Vinciana ed i suoi documenti avevano incominciato a destare tra i cultori di tutto quanto vien creato nella palestra dell'umano intelletto, il più vivo interesse ed i Conti Arconati, a dissimiglianza dei Melzi, ben comprendevano il valore di quanto erano venuti in possesso. Tanto che il Cardinal Francesco Barberini, l'onnipotente nepote del quasi onnipotente Urbano, non potè ottenere la cessione dei manuscritti da parte dei Conti Arconati. Soltanto, e per l'intercessione del Cardinal Federico Borromeo d'immortale memoria, potè farne eseguire, in Milano, una trascrizione che, incominciata nel 1626, non doveva terminare che nel 1643, cioè sei anni dopo che il Conte Galeazzo, perfezionando le trattative iniziate coll'Arcivescovo Federico, aveva, con atto 22 Gennaio 1637, fatto donazione del Codice alla Biblioteca Ambrosiana e dopo dodici anni dalla morte dello stesso Cardinale Arcivescovo benemerito Fondatore della Biblioteca.

Se non che, il 15 Maggio 1796, il Generale Bonaparte entrava in Milano da

conquistatore in veste di liberatore e, per meglio assicurare le libertà lombarde, ed in nome della libertà, perfezionava, come altrove, l'opera sua, aggiudicandosi i monumenti principali di quanto, con le armi, non aveva ancora potuto impadronirsi, cioè le testimonianze delle scienze, delle arti, del genio italiani. Parve in un primo tempo, che il Codice Atlantico dovesse sfuggire alla spoliazione; ma il posto d'onore nel quale esso veniva conservato nella Biblioteca fece, con tutta probabilità, sì che il Codice prendesse la strada di Francia. La spoliazione era giustificata dalla dichiarazione che era necessario conservare, con mezzi sicuri, i monumenti di scienze e di arte trovati nelle città occupate; tutta questa premura però non impedì che la cassa contenente il Codice Atlantico, partita il 19 maggio da Milano, arrivasse a Parigi soltanto il 25 novembre e che tra la partenza e l'arrivo scorresse un certo lasso di tempo nel quale non si sapeva più dove la preziosa cassa fosse andata a finire. Come Dio volle, essa giunse finalmente a Parigi ed una parte dei manoscritti, la maggiore, venne accolta dalla Biblioteca Nazionale e l'altra dalla Biblioteca dell'Istituto.

Breve tempo trascorre e meravigliosi avvenimenti agitano l'Europa; il passaggio del Niemen, Smolensk, la Moscova rossa di sangue, Mosca rossa di fiamme, la ritirata, la Beresina; e poi Dresda, Lutzen, Bautzen, Lipsia; poi ancora una breve, sfortunata campagna ma gloriosissima nei nomi di Montimrail, Champaubert, Brienne, Vauchamp; poi la tetra Essonne e Fontainebleau. Soldati d'ogni paese entrano in Parigi; tra essi le divise bianche dello Schwarzenberg contornate da un nugolo di tartari, calmucchi, chirghisi, baschiri, cosacchi armati di lancia e di frecce; più tardi, dopo un breve ritorno della smagliante meteora, anche gli automi del vecchio Blucher e le giacche rosse del britannico Fabio Massimo, il nuovo Duca di Wellington. Ed ora la vece muta; tra gli altri, questa volta è il Commissario austriaco a preoccuparsi, di provvedere, con mezzi sicuri e sempre in nome della libertà (sempre quella di prima, s'intende), alla conservazione di tutto quanto possa destare appetito; vero è che qui si trattava, per quanto concerneva il Codice Atlantico, di una restituzione. Ma, ahimè, l'austriaco sale lo scalone della Biblioteca Nazionale, ma non pensa di varcare la soglia dell'Istituto e così soltanto una parte dei manoscritti riprende la via di Milano e il 1815 vede finalmente il Codice Atlantico, mutilato ma riconquistato, nuovamente restituito alla pristina sua Sede, dove ancor oggi si trova: la Biblioteca Ambrosiana.

1 *b*) - Da questa breve storia delle peripezie del maggior codice Vinciano, si può facilmente dedurre come le occasioni di dispersione del prezioso materiale siano state facili e numerose; e fu il materiale disperso e poi fortunatamente ritrovato che dette origine appunto ai Codici minori. Tra questi, quelli che più interessano dal punto di vista della Meccanica in generale e della Scienza delle costruzioni in particolare, sono il Codice detto Arundelliano, il Codicetto sul volo degli uccelli, i così detti Manoscritti A e B e, per certi subordinati riguardi, il Codice Trivulziano.

Il Codice detto Arundelliano deve verosimilmente provenire dal materiale portato da Pompeo Leoni in Spagna e poi non ritornato con lui in Italia. Alcuni fogli finirono in Inghilterra e sul passaggio di essi in quest'isola possediamo due versioni: che essi siano stati acquistati dal Principe Ereditario d'Inghilterra Carlo I in occasione dell'avventuroso suo viaggio in Spagna chiamatovi dall'offa di un suo matrimonio con l'infanta, matrimonio che fortunatamente non si avverò, fortunatamente per l'infanta che avrebbe dovuto fare anch'ella la conoscenza di un certo Mister Cromwell ad opera del quale il Re d'Inghilterra doveva perdere qualcosa più che il trono. Oppure ch'essi (e questa è la versione più probabile) siano passati in proprietà di un nobile Spagnolo, un certo Don Juan de Espina, indi da lui venduti poco dopo il 1637 all'inglese Tomaso Howard Conte d'Arundello sopranominato "il Padre dei Raccoglitori d'Arte Inglesi „. Il Codice Arundelliano, ormai possiamo chiamarlo così, ricomparve di nuovo nel 1690 nelle mani di Costantino Huygens segretario del Re Guglielmo III che lo aveva acquistato per tre ghinee e mezza; e poi ancora poco dopo il 1760 anno in cui salì al trono il Re Giorgio III; ma ora ricomparve, dopo essere stato trovato in fondo a un cassone, come proprietà della Casa Reale Inglese. Il Codice venne allora accolto dalla Biblioteca del Castello reale di Windsor.

1 *c*) - Il Codice sul volo degli uccelli ed i Manoscritti A e B appartengono al materiale portato in Francia da Napoleone ed assegnato alla Biblioteca dell'Istituto.

Verso il 1848, il bibliofilo Giacomo Libri, novello Gavardi, staccò il Codice dal Manoscritto B col quale era legato e se lo portò bravamente a casa. Il Conte Giacomo Manzoni lo ritrovò tra le carte del Libri e lo acquistò quantunque fosse già stato mutilato di cinque fogli; nel 1892 fu acquistato da Teodoro Sabachnikoff che, dopo averlo reso di pubblica ragione, lo donò, in originale, all'allora Regina d'Italia Margherita di Savoia. I cinque fogli dispersi furono in seguito ritrovati ed acquistati in pubblica vendita dal Sabachnikoff che ne acquistò uno e dal ginevrino

Enrico Fatio che ne acquistò i rimanenti facendo in seguito, anche di questi, dono alla Regina Margherita.

1 *d*) - Il Codice Trivulziano sembra generalmente oggi che altro non sia se non uno dei libri appartenenti alla donazione Arconati, disperso durante l'intervallo di tempo che passò dalla donazione (1637) al momento nel quale esso riapparve in certa proprietà del Cavaliere novarese Don Gaetano Caccia che appunto nel 1750 lo vendette a Don Carlo Trivulzio. Il Codice sarebbe stato sostituito dallo stesso Arconati col manuscritto attualmente detto D e che si trova ora nella Biblioteca dell'Istituto in Parigi, valendosi di un diritto che egli si era riservato all'atto della donazione e che consisteva in ciò: " *Usus suprascriptorum librorum, seu alicuius, vel aliquorum ex eis, etiam in domo propria prout sibi videtur, donec vixerit* „.

Don Carlo Trivulzio stesso aggiunse due foglietti nei quali notò (la data dell'appunto è del 3 gennaio 1784) come il venditore a lui del Codice, cioè il Caccia morto a Milano il 19 gennaio 1782, ricevesse in contropartita del codice e di altri minori oggetti un " ottimissimo „ orologio. Il Codice Trivulziano, nel quale si vede disegnato il primo, forse, cavallo di Frisia, (e mai non lo fosse stato) dovette essere la bozza di un vocabolario che Leonardo aveva in animo di fare e presenta praticamente minor interesse, sotto lo specifico punto di vista che ci siamo proposti.

* * *

2. - Presentate così, assai brevemente, le fonti del materiale che appare nella prima parte del titolo di questo mio discorso, mi si permetta di presentare ciò che ne costituisce la seconda: La Scienza delle Costruzioni. E' dessa una scienza di carattere eminentemente applicativo e, ai presenti miei fini, ecco come definisco l'oggetto suo: Essa si propone, in senso generico e lato, di riconoscere la stabilità delle Costruzioni e di emanare le norme, di prescrivere gli accorgimenti e, qualche volta, di consigliare gli artifici affinchè quella stabilità sia, in ogni eventuale possibile caso, assicurata. La Scienza delle Costruzioni risolve questo suo generale problema risolvendone tre particolari che si compendiano nei tre seguenti specifici problemi:

Primo: Definire completamente la configurazione delle forze applicate ad un solido elastico in equilibrio; le grandezze note sono generalmente i carichi esterni, le incognite sono generalmente le reazioni dei vincoli. Questa prima parte della Scienza

delle Costruzioni può indicarsi col nome di " Teoria della determinazione delle reazioni „ e comprende uno studio esterno, extraspettivo, di carattere preliminare ma necessario. Così, dovendo studiare una trave caricata in un certo modo ed appoggiata in certi suoi punti, per prima cosa si devono trovare le forze che questi appoggi impongono alla trave. cioè le reazioni dei vincoli, come appunto si dice.

Secondo: Definire, in corrispondenza di un qualsiasi punto del solido, il tipo ed il valore del cimento. Questa seconda parte della Scienza delle Costruzioni può indicarsi col nome di " Teoria dell'elasticità „ e comprende uno studio di carattere interno, introspettivo e necessario perchè, come è necessario stabilire la resistenza dell'anello più debole di una catena per dedurre la resistenza di questa, così occorrerà ricercare nel solido la fibra in maggior pericolo e valutare questo pericolo.

Terzo: Definire i valori massimi dei cimenti unitari sopportabili con tutta sicurezza dai vari materiali costituenti il solido elastico in esame. Questa terza parte della Scienza delle Costruzioni può indicarsi con la denominazione di " Resistenza dei materiali „ richiamata alla sua precisa significazione dalle aberrazioni impostegli perfino in programmi scolastici e nel lessico ufficiale.

Si comprende ora facilmente come lo scopo fondamentale della Scienza delle Costruzioni, cioè la dichiarazione o meno della stabilità di un'opera, si raggiunga attraverso un raffronto tra i valori massimi dei cimenti interni ricavati per mezzo della seconda parte applicata all'opera immaginata costruita e quelli altri ricavati per mezzo della terza applicata ai materiali con i quali si vuole costituire l'opera. Se i primi risulteranno minori o tutt'al più uguali ai secondi, l'opera sarà stabile e potrà essere costruita; in caso contrario sarà instabile e non potrà essere costruita, senza opportunamente variare le sue dimensioni o la sua forma, o senza migliorare i materiali con i quali la si vuole formata.

Per procedere con ordine, esamineremo brevemente gli spunti di Scienza delle Costruzioni, ordinata secondo lo schema ora citato, che appariscono nell'opera di Leonardo e particolarmente nei Codici e nei Manuscritti sui quali ho specificatamente attirata la cortese ed indulgente attenzione dei miei ascoltatori.

* * *

2 *a*) - Per porre il problema della determinazione delle reazioni nei termini più atti al nostro assunto, poniamolo come, in sostanza, Leonardo, mostra di esserselo

posto (1). Un corpo pesante qualsiasi, schematizzato da un punto materiale *O* sia sostenuto da due fili assicurati a loro volta a due punti fissi *A*, *B*, e sia sollecitato da una forza *P*, per es. il peso proprio. Punti fissi, punto materiale, fili, forza, giacciano tutti in un unico piano, per. es. nel piano verticale di *O* (fig. 1 - Vedi disegno originale in *Man. A*, foglio 47 verso). Le reazioni R_A ed R_B sviluppate dai due fili sono immediatamente determinabili, perchè, per dirla con Leonardo, esse dipendono, data la forza *P*, esclusivamente dalla inclinazione dei fili; noi le otterremo tracciando dagli estremi del segmento che rappresenta il carico o forza *P* le parallele ai fili *OA* e *OB*, rispettivamente; i lati della bilatera che ne risulta esprimono le due reazioni richieste.

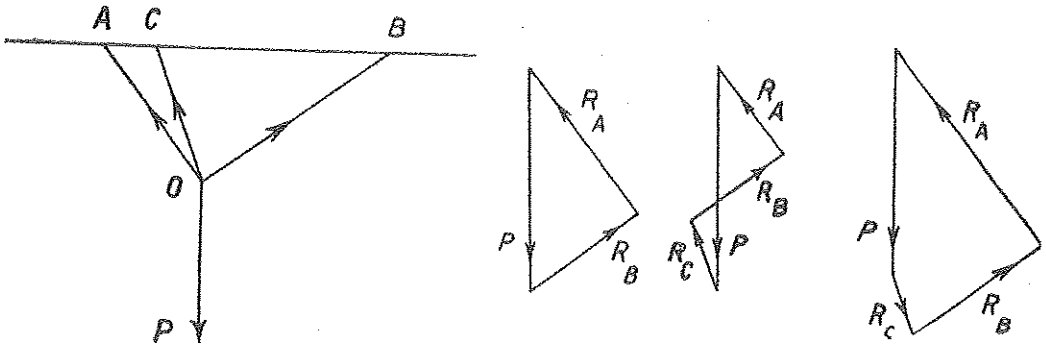


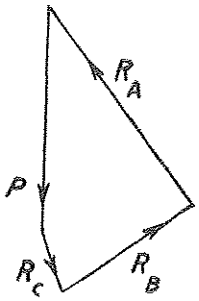
Fig. 1.

Fin qui nulla di difficile o di complicato e fin qui la Statica.

Ma supponiamo che il punto materiale *O* sia ancora sostenuto da un terzo filo *OC* anch'esso giacente nel piano verticale dei precedenti e sede di una terza reazione R_C che, con la sua presenza, altererà, naturalmente, i valori delle altre due. Come trovare i valori di queste tre reazioni? La Statica tace impotente e noi ce ne accorgiamo dal fatto che sarebbe necessario — per dirla alla buona — un terzo estremo della forza *P* dal quale condurre la parallela alla terza reazione; nasce ora la Scienza delle Costruzioni che ha assoluta necessità di conoscere quelle reazioni per potersi pronunciare sulla stabilità o meno di quei fili oppure per adeguatamente dimensionarli. Ed ecco come dobbiamo ragionare.

(1) I disegni Leonardiani qui appresso riportati non sono desunti dagli originali bensì dagli schizzi che il Conferenziere disegnava alla lavagna ad illustrazione delle sue parole.

nateriale O sia soste-
a sollecitato da una
ili, forza, giacciano
Vedi disegno origi-



dai due fili sono
esse dipendono,
rremo tracciando
rallele ai fili OA
le due reazioni

un terzo filo OC
rza reazione Rc
. Come trovare
accorgiamo dal
no della forza P
a delle Costru-
rsi pronunciare
narli. Ed ecco

ginali bensì dagli
role.

Due osservazioni possiamo fare. La prima è la seguente:

Supponiamo di attribuire un valore arbitrario ad una delle reazioni, per es. alla R_A; le altre due risulteranno, di conseguenza, definite nel modo noto, conducendo cioè dagli estremi della parte nota di poligonale le parallele alle rette d'azione delle due reazioni sconosciute. La terna di reazioni che ne risulterà sarà certamente equilibrata perchè essa ammette una trilatera che si chiude sulla P, ma non è detto che sia la vera. Invero di tali soluzioni di terne equilibrate ce ne saranno evidentemente infinite, perchè i peccati originali che le infirmano, ossia i valori attribuibili alla reazione R_A sono infiniti. E qui sta appunto la insufficienza della Statica che non ci offre una soluzione, bensì soltanto una classe di soluzioni che richiedono ancora una ulteriore cernita. Tale classe di soluzioni che ubbidiscono alle leggi dell'equilibrio costituiscono la cosiddetta "classe delle soluzioni equilibrate „. Nascosta tra esse sta la soluzione vera, la effettiva, la naturale.

La seconda osservazione è la seguente altra:

Il punto O è il punto di concorso, prima della deformazione dovuta alla forza P, dei tre fili, ossia è il punto di intersezione di tre circonferenze avente i centri in A, B, C, e per raggi OA, OB, OC, rispettivamente. Dopo la deformazione, i tre fili hanno subito tre allungamenti, che però non possono essere qualunque, perchè, i nuovi raggi OA', OB', OC', devono essere tali che le loro tre circonferenze aventi i centri sempre in A, B, C, devono ancora intersecarsi in un unico punto O'. E poichè per un punto qualunque passano, in un piano, due circonferenze di assegnato centro, ma, generalmente, non tre, il terzo allungamento non sarà più arbitrario. Per questo motivo, ad ogni punto O' corrisponderà una terna ben definita di allungamenti, e poichè i punti O' sono infiniti, infinite ancora saranno le soluzioni geometricamente possibili senza che si richieda ai tre fili distacco o sovrapposizione di materia. Tutte queste soluzioni che rispettano la continuità della materia costituiscono la "classe delle soluzioni congruenti „.

È chiaro che la soluzione vera — quella nella quale i tre fili per effetto di P, automaticamente, naturalmente, si portano — è contemporaneamente equilibrata e congruente e noi potremo scovrirla, o cercando tra le soluzioni congruenti quell'una che sia anche equilibrata, o cercando tra tutte le soluzioni equilibrate quell'una che sia anche congruente. La magica lenza che ci permette di operare la pesca miracolosa nell'una classe di quell'individuo che può stare nell'altra è rappresentata da due teoremi fondamentali, ugualmente familiari alla Scienza delle Costruzioni:

quello detto dei lavori virtuali e quello detto della minima energia potenziale; ambedue se non enunciati, certamente introdotti o sentiti da Leonardo.

2 *b*) - Per introdurre il primo teorema, quello detto dei lavori virtuali, noi, ancor oggi, ragioniamo press'a poco come Leonardo mostra di aver ragionato e ricorriamo volentieri allo stesso esempio sul quale Egli tanto frequentemente ritorna. Disegnamo cioè due carrucole, una fissa ed una mobile sostenente un certo peso Q, attorno alle quali si avvolga un filo fissato ad un estremo e sorreggente all'altro un peso che equilibri Q (fig. 2 - Vedi disegno originale, per es., in *Cod. Atl.* 104 v.b.). Leonardo osserva che se si fa subire a Q un abbassamento q, si producono due fatti:

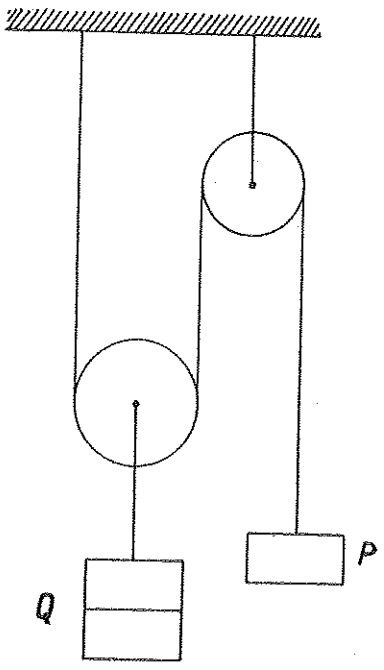


Fig. 2.

1°) Quest'abbassamento fa sì che ciascuno dei due fili sorreggenti la carrucola mobile subisca un aumento di lunghezza pari a q e questo aumento di lunghezza va prelevato dal filo libero sorreggente P che dovrà invece alzarsi; lo spostamento di P sarà dunque $p = -2q$.

2°) La forza Q genera in ciascuno dei due fili sorreggenti la carrucola mobile una forza pari a $\frac{1}{2}Q$; una di queste si scarica alla terra nel punto d'attacco del filo e l'altra si trasmette alla forza P che deve equilibrare, poichè il sistema è in equilibrio. Abbiamo dunque $P = \frac{1}{2} \cdot Q$.

Cosicchè i lavori delle due forze sono:

$$L_Q = Q \cdot q$$

$$L_P = P \cdot p = -\frac{1}{2} Q \cdot 2q = -Q \cdot q,$$

e quindi:

$$L_Q + L_P = Q \cdot q - Q \cdot q = 0 .$$

Troviamo, sia pure avendolo riconosciuto in un caso particolare, il teorema dei lavori virtuali, enunciabile qui a questo modo: Il lavoro che le forze applicate ad un sistema in equilibrio eseguono quando si produce una deformazione possibile è nullo. Leonardo si compiace ancora di disegnare taglie più complesse nelle quali si può facilmente osservare che il rapporto tra le forze in gioco, cioè il rapporto tra gli inversi degli spostamenti di quelle è espresso dal numero *n* dei tratti di filo che intercorrono tra le taglie; nonchè una specie di tenaglia che ho denominato " lo schiaccianoci di Leonardo „ (fig. 3 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.* foglio 153 recto *a*) nel quale il gioco delle taglie spinto all'esasperazione — diciamo pure volutamente al grottesco — mostra la notevole demoltiplicazione dello sforzo necessario a schiacciare un imprecisato qualche cosa preso tra le mandibole della tenaglia.

Scelgo a caso una delle frasi scritte a questo proposito da Leonardo: " E quella cosa che manco resiste, da minor potenzia fia remossa, a più lungo moto fia continuata „ (*Cod. Atl.* foglio 104, verso *b*).

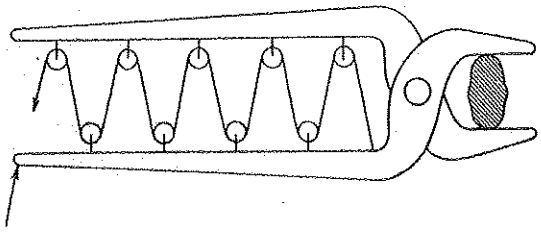


Fig. 3.

Circa 100 anni dopo Simone Stevin rienunciava la proposizione di Leonardo nella forma seguente: " *Ut spatium agentis ad spatium patientis, sic potentia patientis, ad potentiam agentis* „. Ma bisogna giungere fino a Giovanni Bernoulli (1717) a Fourier ed a Lagrange (1800) per vedere la proposizione di Leonardo espressa nella sua forma più generale e dimostrata nel modo più completo.

2 *c*) - La seconda via, quella che permette di giungere alla soluzione effettiva, ricercando tra le equilibrate quella che sia anche congruente, fu anche sentita da Leonardo il quale chiaramente avvertì e scrisse che un corpo sollecitato si porta alla sua naturale situazione, obbedendo ad una precisa condizione di minimo. " Ogni azione naturale — egli scrive — è generata dalla natura nel più brieve modo che trovar si possa „ (*Cod. Atl.*., foglio 112, verso *a*).

In sostanza il concetto del minimo affaticamento è già in germe enunciato; ma dovevano ancora passare circa 350 anni affinchè l'ultimo passo si compisse; e ciò quando il Generale Luigi Menabrea presentò all'Accademia delle Scienze di Torino

(1857) il teorema detto della minima energia o del minimo lavoro o anche teorema di Menabrea dal nome del suo Enunciatore, nella definitiva sua forma.

2 *d*) - Naturalmente affinchè i due teoremi dei lavori e di Menabrea possano esistere, debbono fondarsi su un fatto naturale, fisico, che metta in mutua corrispondenza l'equilibramento con la congruenza; ossia deve esistere un ponte di passaggio che stabilisca una parentela tra forze e deformazioni, cioè, per riferirci ancora all'esempio citato dei tre fili, tra gli allungamenti di questi e le relative reazioni in essi suscitate.

Leonardo vide chiarissimamente anche questa legge affermando in modo chiaro e netto la proporzionalità tra le forze e le deformazioni da queste prodotte almeno entro i limiti nei quali i materiali da costruzione vengono utilizzati. Egli scrive: " *Questa molla che ha la forza per* 200, *sta ferma con peso di* 200; *ma se tu leverai un minimo di peso, essa molla si drizzerà tanto che si pareggerà con la loro resistenza. E tal proporzione avrà tal moto con la lunghezza della molla quale ha il peso che si tolse col suo rimanente* ,,. (*Cod. Atl.* foglio 110 verso *b*). Questa legge fu poi rienunciata nel 1678 da Roberto Hooke col motto: *Ut tensio sic vis* e doveva di questo fisico inglese assumere il nome. E perchè il nome di lui e non quello di Leonardo?

2 *e*) - Le forze applicate dall'esterno ai solidi naturali non si diffondono nell'interno di essi in modo qualunque, bensì secondo certe direttrici ben definite denominate " isostatiche ,,. Un esempio preso a prestito da un fenomeno proprio ad un altro ramo della Fisica e noto a tutti i ragazzi permetterà di chiarire le nostre idee in proposito. Si sa che, disposta alla rinfusa della limatura di ferro su un foglio di carta orizzontale sotto al quale siano avvicinati i due poli di una calamita, la limatura, tanto meglio se si faciliterà il suo libero muoversi mediante piccole scosse applicate al tutto, si disporrà secondo certe direttrici che divergendo da un polo andranno a convergere sull'altro. E, per ritornare al campo elastico, quante volte avremo osservato il seguente altro fenomeno: Una porta, costituita da una cornice sostenuta da due cardini e da un pannello privo però di funzione statica, in causa della degenerazione degli incastri ai vertici della cornice, si è come si suol dire, svergolata (fig. 4). Per ricondurla nel pristino suo stato, ossia per rimetterla in quadro, come si dice, a tutti viene in mente di disporre un tirante secondo la diagonale *CD* e a nessuno di disporlo, ad es. secondo la mediana *AB*. Cioè tutti

sentono che la forza peso applicata alla cornice desidera naturalmente diffondersi e giungere al cardine superiore dove si appagherà dell'ambito riposo, cioè equilibrio, secondo la direttrice *CD* e non secondo quella *AB*; pertanto una fibra materiale disposta come la *CD* conta agli effetti statici, ed il costruttore dovrà prevederla per non far violenza alla natura, altrimenti si genererebbero distribuzioni patologiche di sforzi interni o non malamente sopportabili; mentre un'altra fibra disposta come la *AB* non conta e si può annullare.

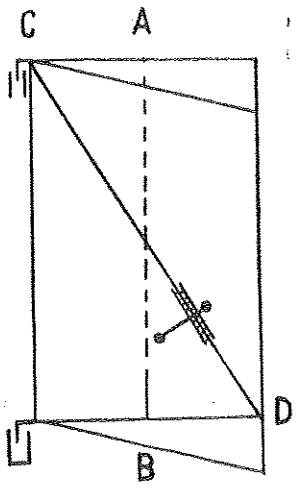


Fig. 4.

Leonardo scrive: " *sempre li sostentaculi sien posti sulle somme resistenzie delli sostentaculi inferiori... La potentia del sostentaculo si indirizzi al sommo peso della cosa sostenuta* „ (*Cod. Atl.* foglio 283). Con queste parole che non potrebbero rendere meglio l'idea, noi potremmo spiegare nell'esempio della porta svergolata il perchè la fibra *CD* agisce, contrariamente a quanto fa la fibra *AB* che non agisce; semplicemente perchè la fibra *CD* si " indirizza al sommo peso della cosa sostenuta „.

Al foglio 310 del *Cod. Atl.* Leonardo disegna la struttura portante di una cupola di fisionomia del tutto moderna e corrispondente appieno al concetto più sopra espresso. Ma un altro interessantissimo esempio e nel tempo stesso semplicissimo, di quanto Leonardo penetrasse le direttrici d'azione degli sforzi e del come, in conseguenza, la materia dovesse distribuirsi, si scorgerà laddove egli suggerisce " *un modo di incatenare le travi che non si pieghino* „ (*Cod. Atl.* foglio 9 recto *b*) e lo illustra disegnando le travi parallele di sostegno di un solaio collegate da crociere in piani verticali (fig. 5 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.* foglio 9 recto *b*). Si comprende come una delle travi che si abbassi per effetto dei carichi ad essa applicati possa interessare nell'abbassamento anche le travi vicine e quindi possa venire da questa aiutata;

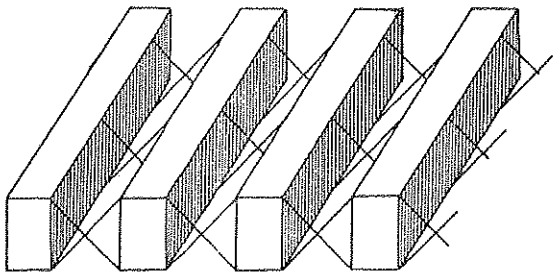


Fig. 5.

ciò che non avverrebbe invece se le travi fossero collegate le une alle altre da aste orizzontali, come taluno potrebbe forse pensare di fare. E coloro che si intendono di cemento armato, rifacendosi ai modi con i quali essi piegano i ferri delle armature che progettano, potranno a questo punto istituire degli interessanti raffronti.

La natura che, oltre tutto, è un'ottima Economista, quando sia libera di scegliere da se stessa le direttrici delle distribuzioni degli sforzi lo fa in modo rigorosamente funzionale; superbo esempio del naturale magistero in questo ordine di idee, sono gli scheletri dell'uomo e degli animali. Leonardo, osservatore profondo della natura, mostra specialmente nel " Codicetto sul volo degli Uccelli „ di essere penetrato fino in fondo nel valore funzionale delle strutture di sostentazione ed è ben lungi da un Icaro qualunque che dalla natura copiava le forme, ma non ne assimilava la sostanza e lo spirito.

Un occhio sperimentato noterà pure una viva interpretazione funzionale della distribuzione della materia nei " Quaderni di Anatomia „ da noi non citati perchè interessanti essenzialmente la Pittura, dove Leonardo mostra ancora, non soltanto di guardare, ma anche di saper vedere la Natura.

* * *

3. - La Teoria dell'Elasticità, come tutte le Scienze, al fine di organizzare il proprio programma di studio, suole schematizzare i casi di sollecitazione naturale e prendere in considerazione alcuni di essi che siano ad un tempo i più comuni, i più semplici e, sopratutto, si rivelino fondamentali per lo studio degli altri.

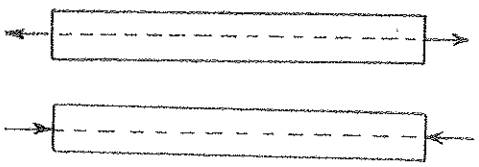


Fig. 6.

Il primo, il più semplice di questi è il caso di sollecitazione detto di " Sforzo normale „ che si verifica ad esempio quando una sbarra o un'asta sia soggetta a due forze di ugual valore, opposte in segno, spiranti ambedue secondo l'asse geometrico della sbarra ed applicate in corrispondenza delle due estremità di questa (fig. 6). Sforzo normale di trazione se le forze son dirette verso l'esterno; sforzo normale di pressione in caso contrario.

3 *a*) - Leonardo, da buon sperimentatore — egli si professa figlio dell'esperienza — si preoccupa subito di realizzare praticamente l'applicazione, l'attacco, della forza esterna a ciascun estremo della sbarra. In più d'un luogo Leonardo disegna una specie di tenaglia per afferrare le sbarre, dello stesso tipo di quello delle ganasce di presa che ancora oggi si usano per l'ammarraggio delle provette appunto nelle prove

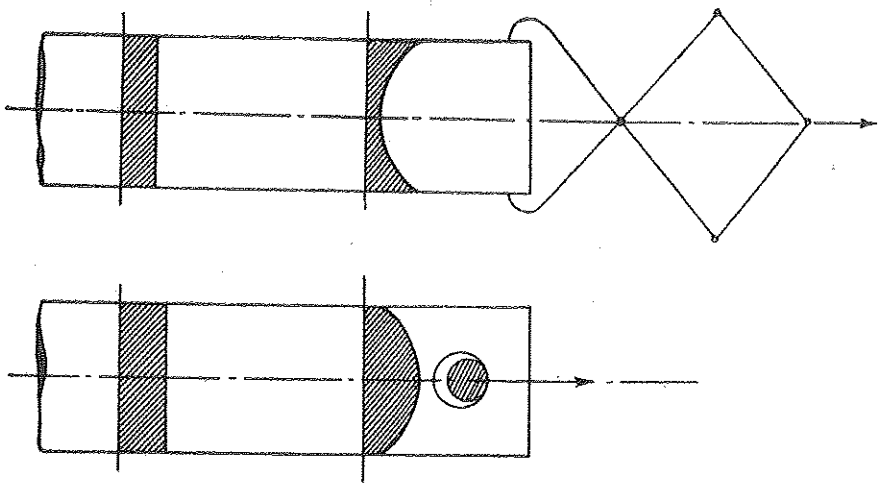


Fig. 7.

usuali di trazione o anche delle ganasce di certi apparecchi di sollevamento dei materiali che si usano nei cantieri (fig. 7).

Nell'ambito della zona d'attacco, le tensioni interne devono ammettere una distribuzione che accusi un addensamento in corrispondenza della superficie laterale della provetta con forte diminuzione in corrispondenza del centro di essa. Una distribuzione di andamento inverso si riscontrerebbe qualora l'applicazione del carico si ottenesse, invece, mediante un perno infilato in apposito foro praticato nelle teste della provetta. Ma in un caso come nell'altro, la distribuzione delle tensioni non tarda ad uniformarsi, venendo a presentare un diagramma ad ordinata costante. Leonardo avverte subito che il sistema di attacco non presenta alcuna influenza sulla forma del diagramma delle tensioni ad una certa distanza dagli estremi; non soltanto, ma avverte anche che il diagramma presenta una ordinata costante.

Considerando una corda tesa da un carico centrato cioè spirante secondo l'asse geometrico della corda, scrive: " *Ogni parte della grossezza d'essa corda sarà da esso*

peso egualmente carica „ (*Cod. Atl.* foglio 153 recto *a*). Circa 300 anni dopo, il Barrè De Saint Vènant doveva bellamente rienunciare questo principio nè credo l'averlo attribuito ad una sbarra piuttosto che a una corda abbia potuto servire a conferire al principio stesso un qualche ulteriore specifico pregio o neppure un sapore di novità; ma il fatto è che oggi il principio ora detto dicesi " Principio di De Saint Vènant „ e non di Leonardo. E perchè ciò? Altro mistero!

3 *b*) - Esempi tipici di strutture costituite da membrature assoggettate a sforzo normale sono le travature reticolari tra le quali hanno particolare importanza per noi presentemente quelle piane che sono strutture costituite da sbarre od aste vincolate mutualmente a cerniera, (o supposte vincolate in tal modo), caricate in corrispondenza dei nodi (o supposte caricate in tal modo) e vincolate variamente alla terra. Queste strutture possono costituire di per sè un sistema atto a portare, oppure costituire una struttura rinforzante o, come si dice, irrigidente di altra struttura portante.

Ecco alcuni esempi di strutture reticolari tratti dai disegni di Leonardo. Il primo rappresenta ciò che Leonardo denomina *ponte mobile*, che io intendo voglia significare " ponte di rapido getto e di rapida rimozione; „ difatti la sua contestura gli permette di venir costruito e disfatto a sezioni o, come si dice, a pannelli (fig. 8)

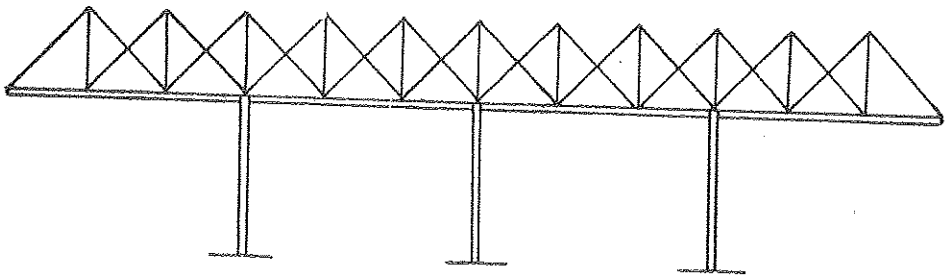


Fig. 8.

(Vedi disegno originale in *Cod. Atl.* foglio 312, recto *a*). È interessante osservare che ancora oggi una struttura di questo genere trova qualche impiego; ma quale stranezza! Essa non si chiama affatto " Travata di Leonardo „, bensì " Travata Fink „. Ora tutti sanno chi sia stato Leonardo, ma ben pochi sanno chi sia stato questo signor Fink, costruttore americano che di proposito o inconsciamente realizzò

praticamente uno schema Vinciano press'a poco tre secoli e mezzo dopo. E perchè questa travata si chiama Fink? Mistero!

Il secondo esempio rappresenta la struttura reticolare irrigidente di una incavallatura. (fig. 9 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.*, foglio 312, recto *a*) Leonardo si compiace anche di disegnare una struttura irrigidente del tipo di quelle che si adoperano per sostenere le volte durante la loro costruzione, ossia una centina che presentiamo come terzo esempio (fig. 10 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.*, foglio 199, recto *a*).

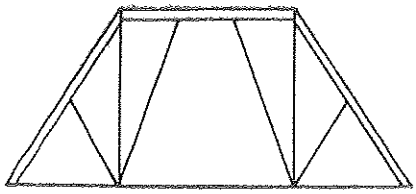


Fig. 9.

Come ognuno sa, una fune che debba sostenere una distribuzione uniforme di carichi, si dispone secondo una parabola, cioè, come si suol dire, la curva funicolare di carichi uniformemente ripartiti è una parabola.

Per questo motivo hanno avuto ed hanno notevole diffusione le travature i cui correnti, il superiore e l'inferiore, sono foggiati a parabola: tali sono le travate paraboliche da ponte. E quando uno dei correnti, al fine di permettere il passaggio del carico, debba essere forzatamente rettilineo uno solo dei correnti sarà parabolico. Le travate di questo tipo disegnate da Leonardo dimostrano come Egli abbia ben valutata l'importanza e l'essenza della funicolare parabolica.

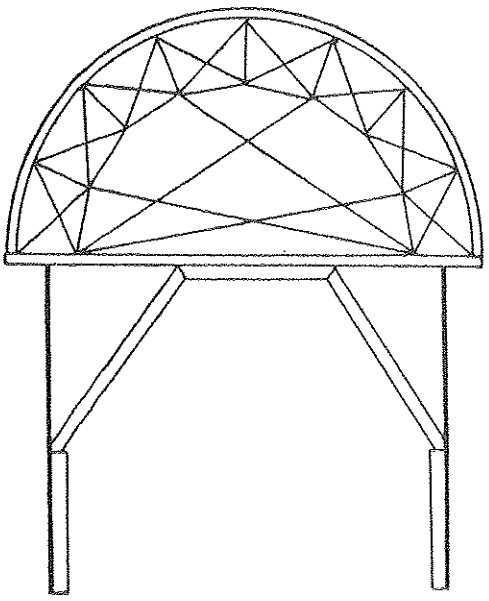


Fig. 10.

Come quinto esempio ricordiamo una struttura cui Leonardo dovette probabilmente giungere mosso dalla necessità di progettare ponti militari di pronta esecuzione e presentanti una estrema facilità nel montaggio degli attacchi fra le varie sbarre in precedenza approntati. Si tratta d'una travata reticolare costituita da due

correnti paralleli orizzontali, da montanti verticali e da due ordini di diagonali, scendenti in opposto senso.

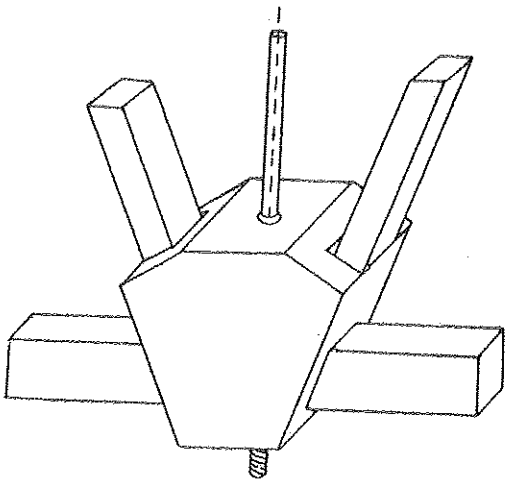


Fig. 11.

Per le condizioni di carico usuali ad es. un carico uniformemente ripartito sul corrente inferiore, una diagonale per pannello risulta compressa e l'altra estesa; se l'attacco delle diagonali è previsto in una semplice scatola che ne accoglie le estremità (fig. 11) le diagonali compresse rimarranno in posto, mentre quelle estese tenderanno ad uscire dalla scatola e non potranno essere semplicemente infilate in essa. Eppure, al fine di rendere rapidissimo il getto della travata è necessario che ciò avvenga, facendo sì che le diagonali tese diventino anch'esse compresse. A questo scopo un costruttore relativamente moderno, l'Howe, pensò di indurre nelle diagonali tese un ulteriore sforzo di pressione maggiore, in valore assoluto del già esistente sforzo di trazione, in modo che lo sforzo resultante riuscisse di pressione. Il mezzo scelto per creare questo artificiale stato di pressione era semplice: bastava mettere in tensione i montanti; il che praticamente si otteneva serrando i dadi avvitati alle estremità filettate di essi. Si comprende dunque che il " *Deus ex macchina* „, diciamo la " novità „ risiedeva appunto nella tensione così artificialmente impressa nei montanti. Osservando ora bene il disegno di Leonardo, si possono riconoscere agli estremi dei montanti dei rettangolini che Leonardo non disegna mai quando abbozza gli schemi delle altre travature reticolari (fig. 12 - Vedi disegno originale in Man. B. foglio 23 recto). Per que-

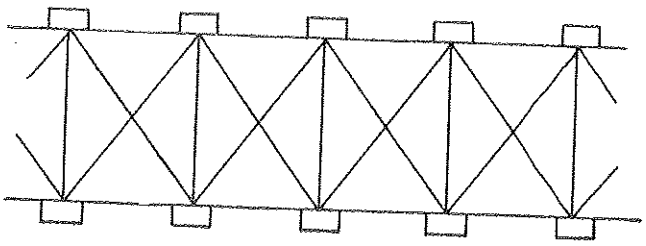


Fig. 12.

sto motivo e per altri che qui non è il caso di ricordare io interpreto quei rettangolini come l'indicazione dei dadi necessari a creare la tensione artificiale nei montanti. Se così è, come fermamente credo, Leonardo appare come un meraviglioso precursore, quando si pensi che lo studio delle strutture nelle quali siano suscitate delle distribuzioni interne di sforzi mediante tensioni preventivamente impresse in certe particolari loro membrature, ossia delle strutture coatte, come noi diciamo, si è organizzato in questi ultimissimi anni e richiama oggi in pieno l'attenzione degli studiosi moderni di elasticità.

Fig. 13.

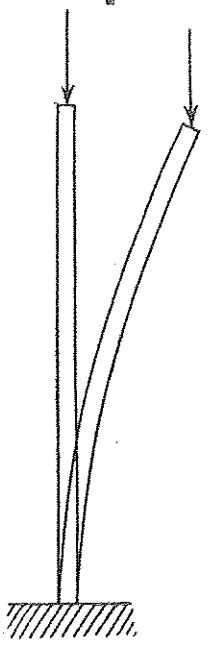


Fig. 14.

Mi sia ancora consentito di ricordare come ultimo esempio una trave priva di diagonali (fig. 13 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.* foglio 320, verso *b*) il cui schema dimostra appunto in pieno come Leonardo abbia penetrato a fondo la funzione delle diagonali e quali accorgimenti egli abbia escogitato al fine di realizzarne l'azione. Egli ricorre al mezzo che ancora oggi viene generalmente impiegato: all'irrigidimento dei nodi venendo a disegnare quella trave costituita da soli correnti e montanti suggerita nel secolo scorso dall'Ingegnere belga Vierendel, che da lui trae anzi il nome e che tutt'ora viene correntemente utilizzata per il sostegno di grandi carichi su grandi luci.

3 c) - Nel problema generale dello Sforzo Normale e, in particolare dello sforzo normale di pressione, rientra quello particolare dei cosiddetti " Solidi caricati di punta „. Un parallelepipedo ad asse verticale, incastrato al fondo e caricato assialmente da Sforzo Normale di pressione resisterà finchè il suo cimento interno sarà inferiore al cimento di rottura per schiacciamento del materiale che lo forma, e ciò — ma soltanto entro certi limiti — indipendentemente dalla lunghezza del solido. Che, se il solido presentasse una lunghezza relativamente grande a fronte delle sue dimensioni trasversali, può succedere che improvvisamente esso si rifletta lateralmente, ossia si sfianchi o si

svergoli (fig. 14) senza più possibilità di ripresa, portandosi immediatamente a rovina. E ciò può avvenire assai prima che i cimenti interni, dovuti al semplice Sforzo Normale, raggiungano il carico di rottura per schiacciamento proprio al materiale. Si comprende dunque che la preoccupazione del calcolatore non consiste più nella necessità di mantenere sotto certi limiti il cimento interno allo schiacciamento, bensì in quella di fare in modo che il carico minimo, critico, capace di produrre lo svergolamento, non venga in alcun caso raggiunto.

Oggi noi possediamo molte formule per il calcolo dei solidi caricati di punta nelle quali al presupposto teorico si sovrappone l'apporto sperimentale e che, perciò, diconsi appunto semi-empiriche. Una sola, quella dovuta a Eulero, è di essenza prettamente teorica e di derivazione rigorosa. Essa afferma che due solidi di eguale sezione retta, ma di lunghezze diverse, sopportano carichi critici i cui valori stanno tra di loro in ragione inversa dei quadrati delle lunghezze; e che due solidi di eguali lunghezze ma di sezioni rette simili sopportano carichi critici proporzionali ai quadrati delle rispettive sezioni rette.

Leonardo ha indubbiamente sentita l'importanza della lunghezza del solido caricato di punta e, prendendo in esame due solidi di eguali sezioni rette, ma di lunghezze appunto diverse, scrive: "*infra gli sostentaculi di pari materia e grossezza, quello fia di maggior fortezza del quale la sua lunghezza fia più brieve* „ (*Cod. Atl.*, foglio 152, recto *b*), ed illustra la sua affermazione con una espressiva figura nella quale disegna due "sostentaculi „ di uguali sezioni rette ma di lunghezze uno decupla dell'altro (fig. 15. Vedi disegno originale in *Cod.Atl.* foglio 152, recto *b*).

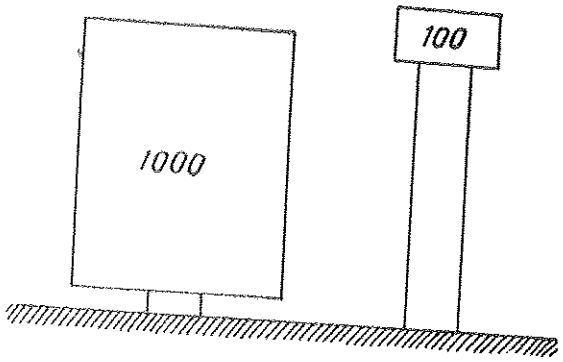


Fig. 15.

Appoggiati ai due "sostentaculi „ stanno due carichi dei quali Leonardo indica purtroppo, il valore. Ed è da dirsi davvero purtroppo, perchè Egli, che già ha dimostrato di comprendere l'importanza della lunghezza del solido, scrivendo quei numeri, mostra di non aver chiaro il concetto del grado di quella impor-

tanza. Difatti, poichè il rapporto tra le lunghezze è dieci, il rapporto tra i quadrati delle stesse è cento e quindi, se il " sostentaculo „ più lungo regge cento, l'altro, il più corto, il più robusto, deve reggere cento volte cento ossia diecimila e non mille come sta scritto. Ma Leonardo è uomo da cominciare male e, mosso quasi da un nascosto senso, da finir di concludere praticamente bene. Difatti, più avanti, considerando due solidi di eguali lunghezze e sezioni rette simili, ma di ampiezze diverse, fa un ragionamento piuttosto involuto invero, il cui sunto potrebbe essere il seguente (fig. 16). Prendiamo un'asta di sezione retta, ad es. quadrata, e supponiamo che ad essa corrisponda il carico critico *P*. Prendiamone altre quattro uguali alla precedente ed avviciniamole, ma mantenendole disgiunte; esse sopporteranno, tra tutte, 4.*P*. Ma se ora le riuniamo assieme in modo da formare un solido unico, questo sopporterà quattro volte tanto ancora, cioè 16. *P*. E poichè il rapporto tra le sezioni rette è quattro, il rapporto tra i loro quadrati è sedici, cioè appunto uguale al rapporto tra i carichi critici sopportabili tra i due solidi. E ciò va perfettamente d'accordo con la formula d'Eulero.

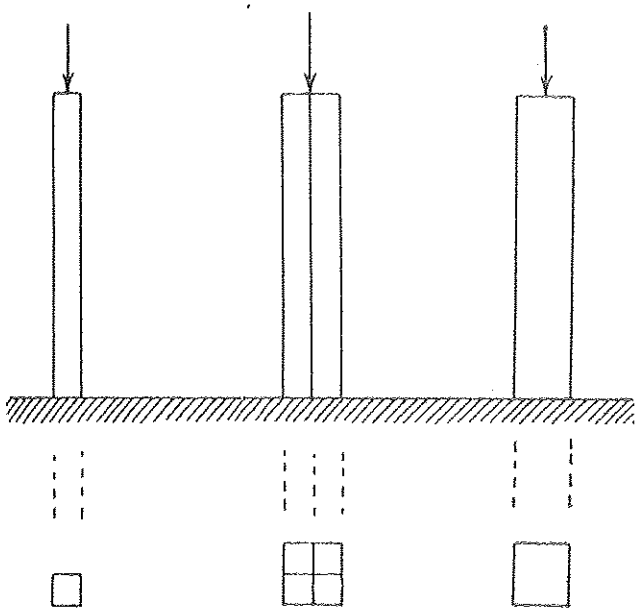


Fig. 16.

Su questi stessi argomenti Leonardo ritorna spesso nel Man. A ai fogli 3 verso, 45 verso, 46 recto, ad es. è interessante osservare che Leonardo usava segnare o biffare in due modi diversi le proposizioni che egli aveva riconosciute errate e quelle sulle quali egli conservava ancora dei dubbi e sulle quali desiderava ritornare.

L'osservazione delle biffature relative a questo problema è quanto mai interessante per illuminare lo sviluppo del tormento di Leonardo teso alla ricerca della verità nel considerato problema.

4. - Il secondo caso schematico del quale la Teoria dell'Elasticità si occupa è quello dovuto al " Momento flettente „ sollecitazione essenziale nelle travi e negli archi. Esempio tipico ne è il tratto centrale di una trave orizzontale appoggiata agli estremi e sollecitata da due carichi verticali simmetrici rispetto alla mezzeria della trave (fig. 17).

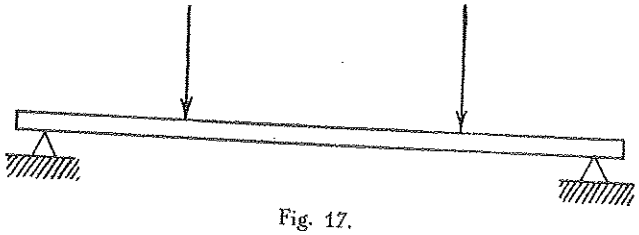


Fig. 17.

4 *a*) - Leonardo, di fronte al problema della trave o dell'arco inflessi, rivolge la sua attenzione tanto al problema dello stato di tensione quanto a quello dello stato di deformazione. Per prima cosa egli si domanda la legge dalla quale il momento flettente sopportabile con sicurezza da una trave vincolata e caricata nei modi indicati e di sezione rettangolare di lati b ed h (fig. 18) può venire espresso. La legge esatta è la seguente: $M = k \cdot b \cdot h^2$ ove k è una costante dimensionata. Invece Leonardo ravvisando erroneamente la proporzionalità diretta tra il momento flettente e ciascuna delle dimensioni della sezione rettangolare, l'avrebbe scritta, se l'avesse dovuta scrivere, secondo le sue stesse dichiarazioni, in quest'altra forma: $M = k \cdot b \cdot h$; e ciò è indubbiamente un errore. Ma anche in quest'occasione Leonardo predica male ed opera bene (il che è sempre assai meglio che predicare bene e operare male) e se enuncia male la legge, la sente e la pratica giustamente. E ciò è facile da dimostrarsi. A tal fine, consideriamo due travi uguali messe di fianco oppure sovrapposte ma del tutto disgiunte (fig. 19). Il momento che insieme possono sopportare è evidentemente il doppio di quello sopportabile da ciascuna, cioè: $M = 2 \cdot k \cdot b \cdot h^2$, con la legge giusta, e $M = 2 \cdot k \cdot b \cdot h$ con la legge di Leonardo.

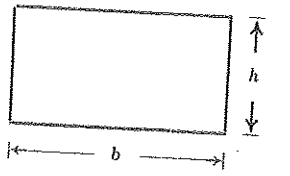
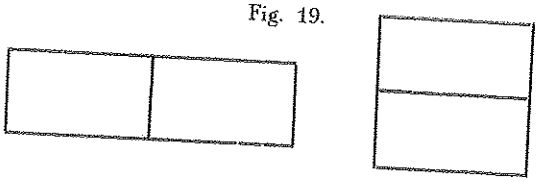


Fig. 18.

Fig. 19.



Se invece le due travi sovrapposte sono incollate o inchiodate insieme in modo da formare un tutto unico rappresentante la sezione di lati b e $2 \, . \, h$, (fig. 20) il momento sopportabile sarebbe: $M = k \, . \, b \, . \, (2h)^2 = 4 \, . \, k \, . \, b \, . \, h^2$, cioè doppio di quello di prima, secondo la legge giusta, e $M = k \, . \, b \, . \, 2h = 2 \, . \, k \, . \, b \, . \, h$, cioè uguale a quello di prima secondo la legge di Leonardo.

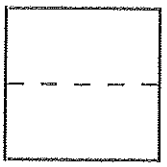


Fig. 20.

Se ne deduce che non ci sarebbe differenza alcuna lasciando sconnesse o connettendo le due travi se si adottasse la legge di Leonardo; ma allora perchè questi insiste tanto sulla convenienza di stringer assieme le due travi in modo da costituirne una sola monolitica, con che la resistenza del complesso, come abbiamo constatato, ne viene raddoppiata? Semplicemente perchè Leonardo aveva enunciato la legge in modo sbagliato, ma la sentiva e la applicava correttamente.

È come se noi prendessimo un libro e afferrandone con una mano la costa e con l'altra la bocca, lo piegassimo (fig. 21), lasciando però che i fogli scorrano liberamente uno sull'altro; poca fatica ci occorrerà per incurvare il libro. Ma se invece incollassimo i fogli l'uno sull'altro in modo da costituire un blocco unico, o, almeno, stringessimo, con le dita, i fogli l'uno sull'altro, in modo da impedire ad essi il mutuo relativo scorrimento e poi inflettessimo, la fatica necessaria a produrre la medesima deformazione di prima sarebbe assai maggiore. La preoccupazione di ottenere la monoliticità in travi ed archi costituiti da più pezzi ricorre frequentissima nei disegni di Leonardo; ed egli schizza vari accorgimenti per raggiungere questo scopo. Per esempio, nella figura (fig. 22 - Vedi disegno originale in *Cod.Atl.*, foglio 344, verso *a*) è disegnato un arco fatto di due pezzi quello interno dei quali, vorrebbe estendersi rispetto all'altro in causa del cimento dovuto ai carichi, non può farlo in causa degli intagli dentati. Si trovano anche frequenti schizzi che illustrano particolari e speciali modalità per ottenere gli intagli e per riunire i vari pezzi.

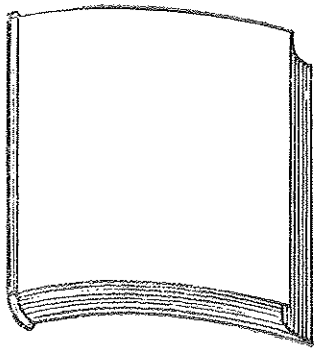


Fig. 21.

4 *b*) - Ma Leonardo mostra di avere un'idea formata anche sulle leggi che definiscono le deformazioni delle travi, per esempio le loro frecce. È notorio che la freccia

o abbassamento nel punto di mezzo di una trave orizzontale sollecitata, ad esempio, da un carico concentrato ancora nello stesso punto è direttamente proporzionale al carico ed al cubo della luce, cioè: $f = k \cdot P \cdot l^3$, essendo ancora k costante.

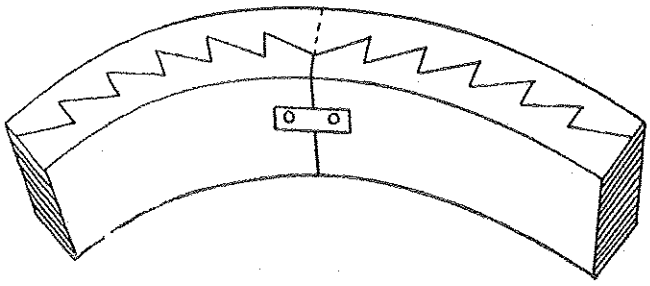


Fig. 22.

Leonardo considera proprio una trave semplicemente appoggiata agli estremi e caricata in mezzo da un carico concentrato; un'altra di lunghezza metà di quella, un'altra di lunghezza uguale alla quarta parte ed infine un'altra di lunghezza uguale alla ottava parte della prima, tutte caricate in mezzo (fig. 23 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.*, foglio 511, recto *b*), e si domanda quali debbano essere i relativi carichi affinchè la freccia sia sempre la medesima. Noi, invocando la formula deduciamo che il valore Pl^3 è costituito da un fattore, l che va diviso, rispettivamente, per 8 (cubo di due), per 64 (cubo di 4), per 512 (cubo di 8) e quindi, per mantenere inalterata la freccia, cioè il prodotto Pl^3, l'altro fattore deve

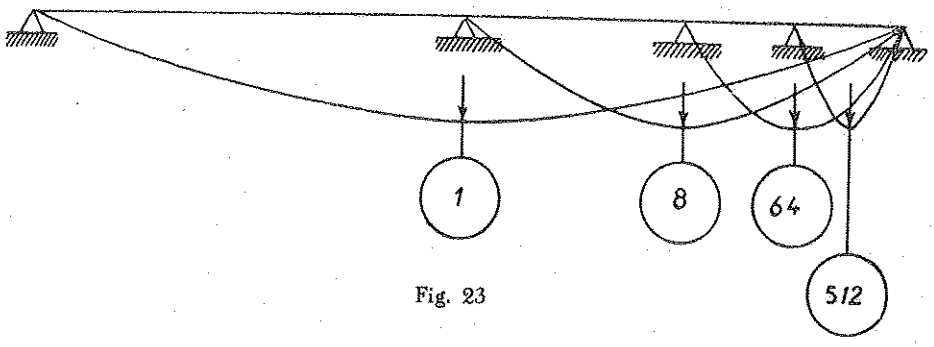
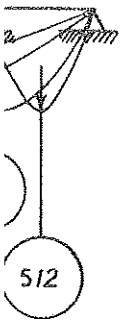


Fig. 23

venire moltiplicato per 8, 64, 512 rispettivamente, ed anche Leonardo (col disegno riportato nel *Cod. Atl.* al foglio 211, recto *b*), lascia chiaramente intendere di pensarla così.

4 *c*) - Inoltre, avendo disegnata una trave semplicemente appoggiata cioè una "equidiacente trave „, come egli dice, si dichiara pronto a dire quale peso P' è

ad esempio,
proporziona-
k costante.
nsidera pro-
ve semplice-
oggiata agli
caricata in
ı carico con-
'altra di lun-
à di quella,
lunghezza
quarta parte
un'altra di
g. 23 - Vedi
ali debbano
, invocando
e va diviso,
cubo di 8) e
fattore deve



(col disegno
ntendere di

ta cioè una
peso P' è

necessario applicare in un dato punto dellt rave per farle subire la medesima frecciaa prodotta da un peso noto P applicato in mezzeria. " *Io voglio sol vedere*, egli scrive, *il peso col quale tu, appiccandolo in mezzo alla equidiacente asta, le dai cierta parte di curvità; di poi tocca l'aste dove ti piace, io ti dirò che peso bisogna appiccare in essa parte a volere dare la medesima curvatura ad essa aste* „ (*Cod. Atl.*, foglio 211, recto *b*). In queste brevi parole nelle quali al vocabolo curvità va dato probabilmente il significato di freccia o abbassamento e non già quello che compete oggi alla parola curvatura, è contenuto, in germe, il problema modernissimo delle reciprocità disciplinato oggi dal teorema di Betti? Forse.

4 *d*) - Anche la trave o travata continua, cioè la trave appoggiata su più di due appoggi, ha richiamato l'attenzione di Leonardo. Egli disegna invero una trave a campate uguali sostenuta " *nelli due stremi* „ ed in altri vari " *lochi* „ da corde di ugual lunghezza ed afferma che il carico sopportato da ogni corda sarebbe rappresentato dal peso dei due semicampi adiacenti alla corda considerata. Questa soluzione è tanto più prossima al vero quanto maggiore è il numero delle campate.

Ma ciò che più importa rilevare è la precisazione premessa da Leonardo della necessità che le corde siano di ugual lunghezza (e, si sottintende, per il resto uguali pure tra loro). Se così non fosse, gli sforzi sopportati dalle corde potrebbero, pur essendo, in prima approssimazione, uguali, generare deformazioni diverse con che i punti vincolati della trave non si troverebbero più allo stesso livello. Ora è notorio — e dovette apparir chiaro anche a Leonardo — che il dislivello tra gli appoggi può indurre un turbamento nella distribuzione delle tensioni interne e delle reazioni, con che la legge di Leonardo anche se giusta, ne sarebbe riuscita più gravemente infirmata.

4 *e*) - Alle combinazioni dello " Sforzo Normale „ col momento flettente, Leonardo si riferisce, che io mi sappia, in tre occasioni. Una prima volta nel *Cod. Atl.* al foglio 140, quando afferma: " *Quella parte della grossezza delle corde che un peso sostengono, saranno più da esso peso caricate le quali sieno più vicine al centro della sua gravità!* „. Qui Leonardo mostra di sapere che i cimenti interni devono addensarsi dalla parte della retta d'azione del carico ma non dice con che legge. Egli è però più esplicito, al foglio 267 dello stesso codice ove considera l'azione che una vite impone alla sua madre vite e scrive: " *Se 'l centro del peso sarà appiccato fuori del centro della*

vite che lo muova, i denti della vite e della madre, che la riceve, saranno di là dal centro caricati di sotto, e di qua dal centro di sopra „. E più innanzi: " *Quanto il peso sarà da l'un de' lati della vite appiccato, darà tanto più peso di sè alla sua madre quanto esso sarà lontano dal centro della vite* „.

Anche nel Manuscritto A, al foglio 3 verso, in un appunto intitolato " Priemere del peso „ Leonardo prende in esame la pressoflessione generata in un lungo solido caricato parallelamente all'asse e ne prevede giustamente la sezione di rottura e la causa della rottura, ossia lo sforzo normale accompagnato dal momento flettente massimo. Ecco come egli si esprime: *Impossibile è* (noi diremmo almeno: è difficile) *che uno sostentaculo di uguale grossezza e fortezza essendo caricato per ritto... ma si possa torciere e rompere, ma ben si potrà ficcare in terra; ma quando il superchio peso sia posto più dall'una parte... e romperà nel mezzo dell'opposita parte...*

5. - Dei solidi assoggettati alla terza sollecitazione semplice, quella di " Momento torcente „, Leonardo si occupa riferendosi a certi fasci di vimini. Egli disegna un fascio di vimini disposti a semplice contatto gli uni con gli altri e lo chiama "*Fasciculo disarmato* „ (fig. 24, *Cod. Atl.*, foglio 139, recto *c*); ne disegna un altro simile al precedente ma strettamente avviluppato da una corda disposta a spirale e lo chiama " *Fasciculo armato sol per un verso* „ (fig. 25, *ibidem*); ne disegna ancora un terzo uguale ai precedenti ma strettamente avviluppato da due corde ambedue avvolte a spirale ma in sensi contrari e lo chiama " *Fasciculo ad un moto per due versi* „ (fig. 26, *ibidem*). Relativamente al secondo scrive: " *Modo di afforzicare un fasciculo di vimine, le quali senza grandissima forza non potrà essere retorto intorno alla linia centrale della sua lunghezza e per conseguenza tanto si farà più forte quel che sarà d'un pezzo solo* „ (*Cod. Atl.*, foglio 139, recto *c*). Relativamente al terzo scrive: " *Questo per nessun verso sarà mai torto* „ (*ibidem*). Da queste parole di Leonardo si deduce subito che Egli coglie un importante aspetto del problema e cioè la necessità di procurare, mediante la stretta connessione dovuta alla corda, la intima unione dei vimini, in modo da

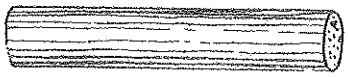


Fig. 24.

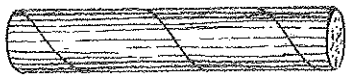


Fig. 25.

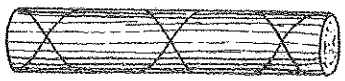


Fig. 26.

formare un tutto monolitico e coloro che si intendono di Scienza delle Costruzioni penseranno che Leonardo aveva, almeno, sentito che, per usar vocaboli moderni, il momento polare della sezione complessiva era assai maggiore che non la somma dei momenti di inerzia polare dei vari vimini considerati l'uno separati dall'altro. Ma Leonardo mostra di aver visto anche un altro importante aspetto del problema e lo dimostra con le seguenti altre parole: " *E colla sperienza potrai vedere che tale fasciculo non si potrà voltare... se la corda predetta non s'allunga o non si spezza* ,,.

Egli aveva dunque compreso che la torsione del fascio richiedeva come concomitante fenomeno l'allungamento della fune e cioè la generazione in essa di uno sforzo di trazione. Ora è notorio che le isostatiche delle quali abbiamo già parlato, nel caso della torsione, si dispongono appunto secondo spirali inclinate di 45° sull'asse del solido e quindi Leonardo suggerendo di " Afforzicare „ i fascicoli con corde avvolte a spirale dimostra ancora una volta di aver carpito l'andamento delle direttrici di propagazione dei cimenti interni anche in questo caso di sollecitazione che è indubbiamente il meno semplice.

6 *a*) - Prima di lasciare la seconda parte della " Scienza delle Costruzioni „ ossia la " Teoria della elasticità ,,, mi sia lecito, Eccellenza, gentili Signore e Signori. accennare ai passi vinciani nei quali è preso in considerazione il problema dei così detti " Solidi di egual resistenza „ cioè di quei solidi conformati in modo che, in corrispondenza di ogni loro sezione retta, la tensione interna massima sia uguale al corrispondente carico unitario di sicurezza del materiale. Non di più, che in tal caso la materia sarebbe in pericolo, non di meno chè in tal caso la materia sarebbe mal utilizzata; si tratta dunque di un problema meccanico ed economico ad un tempo. Anche Leonardo ha sentito, compreso, enunciato e, in qualche caso, risolto il problema del "Solido di ugual resistenza ,,. Considerando una corda di ugual lunghezza fissata ad un estremo e sorreggente all'altro un certo peso, scrive: " *La corda d'uniforme potenzia, avendosi a rompere per soperchio peso, si romperà ov'ella sente maggior pondo... La corda d'uniforme potenzia, essendo unita dal peso di se medesima, sempre si romperà nel suo fermamento...* „ (*Cod. Atl.* foglio 145, recto *b*); ed altrove: " *Quella parte della corda che sostiene la gravezza del suo rimanente... riceve più carico* „ (*Cod. Atl.* foglio 134, verso).

Qui il problema del solido " di ugual resistenza allo sforzo normale „ è tutt'altro che risolto e, se si pensa alla forma matematica della legge di variazione della sezione retta, si può aggiungere che, ai tempi di Leonardo, non poteva esserlo, ma il problema

è nettamente sentito, precisamente annunciato e l'insufficienza della forma prismatica, denunciata.

6 *b*) - Un passo più avanti Leonardo muove trattando del solido " di ugual esistenrza alla flessione „ per il quale, non essendo uniforme la distribuzione dei cimenti nella sezione retta, ci si deve accontentare dell'uguaglianza dei cimenti unitari massimi in ogni sezione retta. È oggi noto che un solido di costante altezza, incastrato ad un estremo e caricato all'altro da un carico concentrato risulta di ugual resistenza alla flessione quando la sua pianta sia di forma triangolare con larghezza nulla in corrispondenza all'estremo caricato e con una certa adatta larghezza in corrispondenza di quello incastrato. In pratica l'uomo suddivide un tale solido in striscie di lunghezza decrescente e sovrappone le striscie in modo da costituire un solido a gradinata. E così fa anche Leonardo e disegna ciò che noi denominiamo " molla a balestra „ (fig. 27 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.*, foglio 12, verso *b*).

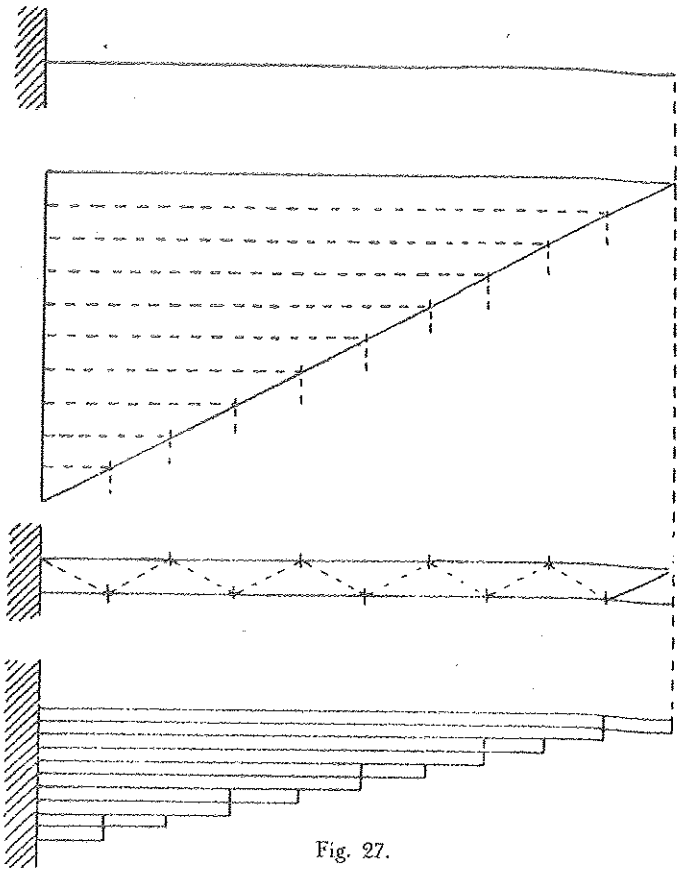


Fig. 27.

Ma due osservazioni importanti qui si impongono. Primieramente, Leonardo non insiste affatto e neppure accenna, in questo caso, alla necessità o anche soltanto

alla convenienza di rendere solidali l'una all'altra le sovrapposte striscie — come faceva invece quando studiava le travi e gli archi composti di più pezzi — appunto perchè qui lo scorrimento mutuo tra striscia e striscia deve essere, anzichè impedito, favorito in quanto su di esso riposa l'effetto di molleggio.

Secondariamente, Leonardo mostra di accorgersi che la sagomatura a gradini rappresenta un'approssimazione imposta da esigenze pratiche e sente il bisogno di giustificarla; per questo motivo scrive: " *E se tu dicessi questa non essere bona sperienza, a questa parte io ti rispondo che io vo' pigliare quella licenza ch'è comune ai matematici, cioè siccome loro si dividono il tempo a gradi e di quantità continua la fanno discontinua, ancora io farò il simile...* (*Cod. Atl.*, foglio 126).

7. - Venendo ora alla terza parte nella quale, ai nostri fini, abbiamo suddivisa la Scienza delle Costruzioni, e cioè alla " Resistenza e tecnologia dei materiali „ possiamo subito affermare che l'importanza delle prove sui materiali si presentò agli occhi di Leonardo nei suoi giusti termini; egli riguardava difatti la investigazione delle proprietà caratteristiche dei materiali da costruzione come il naturale mezzo per ottenere il secondo termine di confronto nella equazione di stabilità in cui si conchiude lo scopo fondamentale della Scienza delle Costruzioni e cioè la dichiarazione, o meno, della stabilità dei corpi sollecitati.

Mi limiterò a ricordare tre esperienze che Leonardo descrive e ampiamente illustra: La prova di trazione su fili metallici, la prova di flessione ad urti ripetuti e la prova di consistenza.

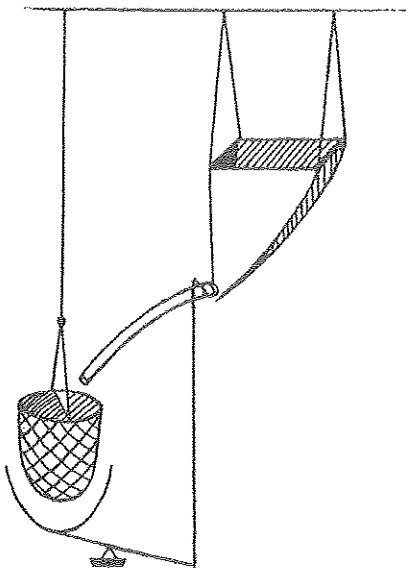


Fig. 28.

7 *a*) - La prova di trazione è, sia dal punto di vista della sua teorica schematizzazione, sia da quello della sua pratica realizzazione, la più semplice. Leonardo, riferendosi alla prova su di un filo metallico, ne descrive la condotta, ne prescrive le modalità, ne discute i resultati, ne disegna, per eseguirla, una macchina apposita

(fig. 28 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.* foglio 82, recto *b*). Quest'ultima, nelle sue linee generali, è perfettamente identica ad un'altra macchina che ancor oggi viene correntemente usata per prove con piccoli sforzi, quali necessitano per es. nelle prove di trazione sui cementi. Ma, quantunque la differenza tra i due schemi, quello di Leonardo e quello della macchina oggi usata che si chiama " macchina di Fruhling e Michaelis „ consista esclusivamente nell'inserzione, nella seconda, di un sistema di due leve amplificatrici della sollecitazione applicata, identico ne è il principio, identico il modo di generare il carico, identico il modo di applicarlo, identico quello di valutarlo e perfino identico quello di interromperne l'incremento, quando la provetta si spezzi.

Ed allora perchè questa macchina (fig. 29) ancor oggi usata si chiama " Macchina di Frühling e Michaelis ? „. Disegnata la sua macchina, Leonardo ne descrive l'impiego, ed ecco come: " *Sperienza della forza che può fare un filo di ferro in varie lunghezze, ricordo come tu abbi fare sperientia del reggere, ovvero quanto può sostenere un filo di ferro; alla quale sperimentia terrai questo modo: appicca un filo di ferro di lunghezza di due braccia o circa in loco che stia forte; di poi lo appicca a uno chiavagno o sporta, o quello che ti pare nel quale per uno piccolo buso verserai una tramoggia di minuta rena e quando esso filo di ferro non potrà più sostenere, si rompa; adatta una molletta che subito el buso della tramoggia si riserra, acciocchè più rena non caggi in esso chiavagno; il quale caderà in pie' perchè mezzo dito cadrà da alto e nota quanto fu quello che detto filo spezzò. E nota in che parte di sè detto filo si rompe, e fa più volte questa pruova per confermare se sempre in un medesimo loco si rompe. Di poi fa esso filo più corto la metà di prima e nota quanto peso sostiene di più; e poi lo fa un quarto della prima lunghezza e così di mano in mano farai diverse lunghezze, notando il*

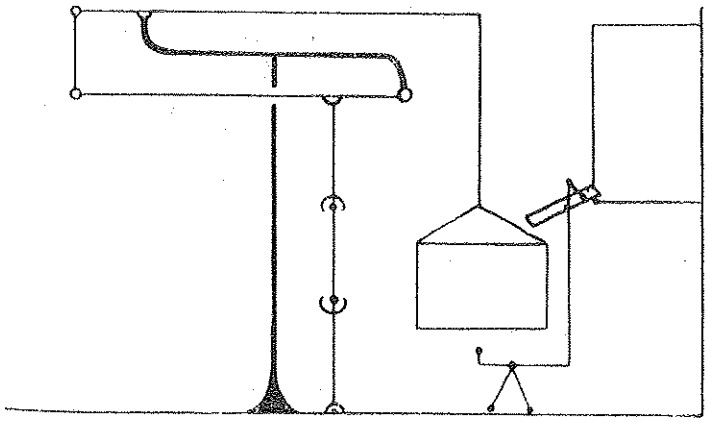


Fig. 29.

peso che ciascun rompe e l'loco dove si rompe. E questa pruova farai di ciascun metallo, legname, pietre, corde ed ogni cosa che sia atta a sostenere, e fa di ciascuna cosa regola generale „ (*Cod. Atl.*, foglio 82, recto *b*). Come si vede Leonardo, nel predisporre le sue esperienze non mirava soltanto al resultato immediato, ma alla " *Regola Generale* „ cioè alla " legge „, invitando anche all'uniformità della condotta della esperienza, requisito necessario per l'attendibilità e la confrontabilità dei resultati. Eppure si doveva giungere fin verso il 1850 perchè gli studiosi di Tecnologia dei materiali capitanati dal grande Bauschinger, professore alla Scuola Superiore di Monaco di Baviera, sentissero il bisogno di rendere probative le esperienze sui materiali da costruzione disciplinandole nell'impostazione e nella condotta e fondando addirittura un sodalizio internazionale inteso a propagandare questo scopo ed a perseguirlo.

7 *b*) - In più di un luogo, si trova disegnato un dispositivo per imporre ai materiali sollecitazioni ripetute ad urto, del tutto simili, nelle sue linee generali, a quelli

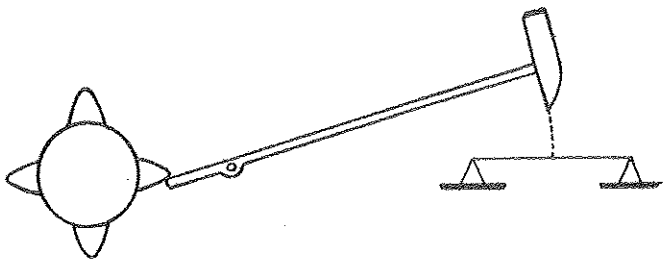


Fig. 30.

oggi comunemente in uso. Si tratta essenzialmente di un martello il cui manico, imperniato in un dato punto viene impegnato da una ruota a palmole e che, perciò, ad intervalli regolari viene alzato indi lasciato cadere sul pezzo da sperimentare (fig. 30 - Vedi disegno originale in *Cod. Atl.* foglio 21, recto *a*). Quantunque Leonardo, che nel precedente caso aveva dimostrato chiaramente l'importanza della organizzazione dell'esperienza nel renderla probativa, non dia a pensare ora di aver avuto la medesima ampia visione nel campo delle sollecitazioni dinamiche la cui organizzazione è del tutto recentissima, tuttavia è indubitato com'Egli abbia previsto o sentita la possibilità che il problema dinamico potesse presentarsi suggerendo i mezzi per risolverlo col martello a palmole ora indicato.

7 c) - Voglio infine ricordare un esperienza che Leonardo suggerisce al fine di misurare la consistenza di un mezzo e che stranamente precorre quella che oggi viene largamente utilizzata per trovare il grado di presa dei cementi. Così egli scrive: " *Se un peso di una libbra fa ficcare nella terra un sostentaculo d'un oncia, un peso di due libbre quanto farà ficcare un altro simile sostentaculo in un medesimo tempo? Fa la prova in questa forma. Piglia un pezzo d'asse e segalo in mezzo più a punto che tu puoi; di poi con ciera gli pareggia di peso in sulle bilancie appiccando d'essa ciera a quella che pesa meno; di poi piglia terra da fare boccali e in modo la maneggia rimenando che tu la facci di uguale morvidezza et tenerezza; di poi la piana col batterla in loco piano e piglia i due pezzi dell'asse e posa per ritto facendo a quelle toccare la terra con quelle parti che prima erano unite ovver che la sega divise a ciò che elle siano d'eguale larghezza e fermale di sopra col farle passare per due uguali busi d'un asse sottile, un filo più largo della grossezza dell'aste; di poi le carica l'una con una libbra di peso e l'altra con due e lasciale stare un'ora ponendole attenti e levandole ad un tratto; di poi misura le buche fatte; ma innanzi che tu faccia questa* (sic) *caso regola generale, pruovalo due o tre volte e guarda se le pruove fanno i simili effetti* (Man. *A*, foglio 47, recto) (fig. 31).

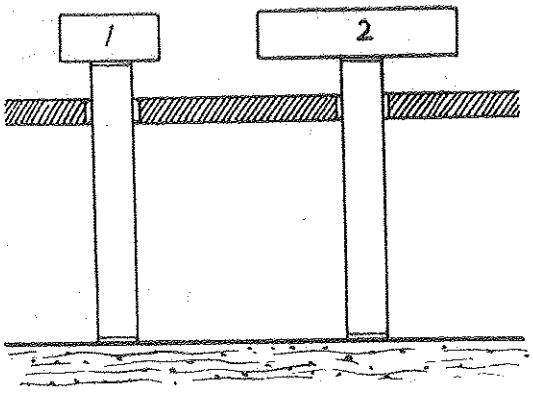


Fig .31.

Dalle riferite parole di Leonardo traspare quale importanza egli desse alla precisione con la quale l'esperienza doveva essere allestita e condotta, affinchè essa risultasse veramente probativa; ma quello che anche conta è l'aver saputo valutare in giusto grado l'importanza del fattore tempo la cui influenza si fa tanto più sentire in quanto il fenomeno in questione si svolge prevalentemente nell'ambito delle deformazioni plastiche come avviene nel caso della terra da far boccali.

La prova di presa dei cementi oggi tanto diffusa e che si realizza col cosiddetto " ago di Vicat „ si ispira e rassomiglia a quella descritta da Leonardo ed ora da noi citata; in essa un ago, scorrevole verticalmente ed abbandonato all'azione del peso proprio e di un altro aggiuntivo più o meno grande viene poggiato sulla pasta di

cemento nella quale, in un determinato tempo, penetrerà più o meno profondamente per effetto del carico gravante su di esso. Ad intervalli regolari, l'ago viene rialzato e nuovamente abbandonato sul blocco di pasta, che frattanto, avrà subìto una rotazione in modo da presentare all'ago una zona intatta. Un apparecchio scrivente segna su un diagramma gli abbassamenti dell'ago riferiti al tempo; il luogo degli estremi delle ordinate così ottenuto rappresenterebbe appunto quella regola generale cui Leonardo, a buon diritto, tiene tanto e per ottenere la quale in modo probativo, tante attente cure prescrive.

8. - Non è lieve fatica ricercare nei *Manuscritti Vinciani* i passi che trattano di un particolare argomento. Prima di tutto perchè Leonardo aveva l'abitudine di scrivere da destra a sinistra invece che da sinistra a destra come facciamo noi, così che i suoi scritti appariscono come apparirebbe un comune nostro scritto sulla carta assorbente che l'ha asciugato. Può quindi essere conveniente leggere un Codico Vinciano riflesso in uno specchio davanti al quale lo si tenga aperto. E poi perchè Leonardo era straordinariamente, direi quasi, superbamente, disordinato; i suoi scritti comprendono brani sui più disparati oggetti che si succedono e si sovrappongono alla rinfusa. È bensì vero che Leonardo tenta di organizzare il suo lavoro, ma questa organizzazione non va, spesso, oltre il titolo: *De sostentaculi, Della leva, Dell'occhio, Del volo degli uccelli*, o poco più. Non appena egli ha incominciato a descrivere il cammino dei raggi che penetrano nel nostro occhio ecco che s'interpone per comunicarci una lista dei suoi debiti; appena annuncia di volersi occupare del volo degli uccelli, ecco che ci fa leggere la brutta copia di una lettera oppure ci racconta, come egli la chiama, una facezia alle volte, purtroppo, non eccessivamente castigata. Al foglio 39 del *Codice Atlantico* egli ci parla, nel recto, della leva e nel verso ci ammonisce informandoci di non rallegrarci troppo se ci riteniamo felici e di non presumere troppo di ciò che noi crediamo essere la sapienza; " *La somma felicità* — egli scrive — *sarà somma cagione della infelicità e la perfezione della sapienza cagion di stoltizia* „.

Nel manuscritto C al foglio 15 ci confida come mai egli fosse corrucciato con un ragazzotto che egli aveva preso al suo servizio. Nel luogo citato si legge: " *Jachomo venne a stare con mecho il dì della Maddalena nel* 1490 *d'età anni* 10 „; ci racconta il cattivo uso che Jachomo aveva fatto dei denari destinati a rivestirlo ed aggiunge: " *ladro, bugiardo, ostinato, ghiotto... a cena, con maestro Giacomo Andrea da Ferrara cienò per due e fece male per quattro; imperocchè ruppe tre amole, versò il*

vino... „. Eppure, se questo giovane sbarazzino non avesse rotte le tre amole, forse non avrebbe avuto un nome consacrato alla posterità niente poco di meno che da Leonardo da Vinci.

8 *a*) - Una volta, trovandomi nel Ministero dell'Educazione Nazionale o, se più vi piace, dell'Istruzione Pubblica oggi, entrai a caso in una sala dove si svolgevano gli esami orali dei concorsi alle cattedre di storia dell'arte, mi pare, per i Licei o Scuole simili, e proprio in punto per sentire la domanda che il Presidente della Commissione, un venerando vecchio dalla lunga barba fluente, rivolgeva al candidato (anzi alla candidata): " Mi disegni la Gioconda! „. Domanda da far tremare le vene e i polsi, invero! Si può immaginare che sgorbio saltò fuori. Ebbene io ho l'impressione, avendo avuto il coraggio di riprodurre i disegni di Leonardo, di averli maltrattati allo stesso modo nel quale quella tapina maltrattò la Gioconda, frutto della stessa mano. Ma come quella non aveva già lo scopo — e non glielo si poteva richiedere — di far gustare alla Commissione la soavità di quel magico sorriso, bensì semplicemente quello di far capire s'ella sapeva, ad esempio, se il ritratto fosse a mezzo busto o intero o se monna Gioconda avesse tenuto di fronte al suo pittore le braccia al sen conserte o in un altro atteggiamento, così io so benissimo di non aver potuto, come si suol dire, rendere i disegni vinciani in tutto il loro valore, essendomi semplicemente limitato a sottolinearne, mediante semplici schemi, il valore e a metterne in luce lo spirito, la funzione meccanica, esclusivamente.

E questa precisazione era per me doverosa.

8 *b*) - Vi fu chi, scoprendo in Leonardo un precursore nella storia della Matematica, suggerì di non pubblicare le opere di lui che non riguardassero la matematica, affinchè la sua rinomanza come Matematico non ne risultasse sminuita o guasta.

Strana la proposta, ed ancora più strana la sua giustificazione; ma ambedue fanno pensare. Leonardo non era un Matematico, bensì un Fisico e, come tale, avrebbe usato, oggi, tra gli altri mezzi di indagine, anche il generale e potentissimo mezzo matematico; ma, per Leonardo la Matematica era pur sempre e soltanto un mezzo. " *La meccanica* — egli scrive — *è il paradiso delle scienze matematiche perchè in quella si viene al frutto* „. E appunto a questo frutto Leonardo, come tutti i Fisici, tendeva ansiosamente attraverso l'osservazione della Natura, tentando di carpirne i segreti, cioè tentando di ricreare, ad uso degli Uomini, la Natura definendone le

leggi. Ma la Matematica, in sè, non ha mai creato nulla, nè crea nulla, nè creerà nulla in eterno. Essa è invece una trasformatrice, una sublime trasformatrice, che sa trarre da un germe invisibile quasi, da un seme nascosto, conseguenze spesso inaspettate alle volte con sorprendentemente poca fatica. E, come tale, essa non è ancor stata — e forse non lo sarà mai — sbalzata dal suo trono. Ma riconoscere in Leonardo un'essenza matematica, è, non dico uno svalorizzarlo, ma, certamente, un fraintenderlo.

D'altra parte se vi poterono essere dei Matematici che riconobbero in Leonardo un Matematico, con altrettanto diritto possono guardare a lui i Meccanici, gli Ingegneri, gli Architetti, i Pittori, gli Scultori, gli Idraulici, gli Aeronauti. Leonardo stesso, nel far presente ai vari re o duchi o conti o altri potenti tizi che salvaguardavano — tutti a modo loro, s'intende — le libertà italiane, quanto egli sapeva fare — è interessante a questo riguardo la famosa lettera che egli scriveva al Duca Ludovico Sforza detto *il Moro* verso l'anno 1483 — ci ha lasciata una vasta descrizione dei mezzi ch'egli sapeva dominare e l'indicazione dei campi dello Scibile nei quali egli apeva avventurarsi.

Dinnanzi a Leonardo svaniscono, quasi, i limiti che gli Uomini hanno dovuto imporsi per separare e costringere, per analizzare e classificare, per studiare e riprodurre le naturali manifestazioni. Manifestazioni, le quali, man ma che le Scienze Naturali progrediscono, appaiono, quantunque operanti per noi, nei più diversi atteggiamenti, ubbidire alle stesse identiche generali leggi imposte a tutto ed a tutti da una saggezza infinita che con lo stesso atto di volontà l'Atomo e l'Astro creò e signoreggia, della cui universalità Leonardo, illuminato del Genio, raggio di divina luce fu, tra gli Uomini, inconscio forse, ma sicuro e meraviglioso Confessore.

PROVINCIA DI TORINO
N° 128013
BIBLIOTECA

207

ISTITUTO DI STORIA DELLA SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
annesso alla Cattedra di Scienza delle Costruzioni
della Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino

Anno 1952 - N. 2

PROF. ING. DOTT. GIUSEPPE MARIA PUGNO

LEONARDO DA VINCI ED ENRICO BETTI

TORINO
EDIZIONI RUATA
1952

ECNICO DI TORINO
MA BIBLIOTECARIO
624.
07
pug
DI ARCHITETTURA

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

Off. Grafica Temporelli & C. - Torino

LEONARDO DA VINCI ED ENRICO BETTI

È noto come uno dei teoremi più fecondi di applicazioni nella moderna Teoria dell'Elasticità sia dovuto al pistoiese Enrico Betti, vissuto nel bel mezzo del secolo scorso (1823-1892).

Egli, che era stato dapprima professore di Liceo, passò poi, nel 1857, all'Università di Pisa nella quale rimase fino alla morte. Pur dedicandosi agli studi, non disdegnò, nel contempo, la politica; difatti dal 1862 lo troviamo alla Camera dei Deputati quale rappresentante della sua città natale e nel 1884 al Senato. L'opera scientifica di Enrico Betti comprende una prima parte dedicata alla Matematica pura ed una seconda attinente alla Fisica Matematica verso la quale finì di spingerlo Bernardo Riemann.

Frutto dei suoi studi in questo secondo campo di ricerca fu appunto il teorema enunciato nel 1872 nel « Nuovo Cimento », che passò, nella storia delle Scienze Fisiche generali e in quella della Teoria dell'Elasticità in particolare, sia sotto il nome del suo Enunciatore, sia sotto quello di teorema di reciprocità in quanto, per esso, si vengono a stringere in un legame di mutua rispondenza due complessi di sollecitazioni esterne (forze e momenti) agenti su un medesimo solido elastico.

Ecco precisamente il suo enunciato: « Il lavoro eseguito da un primo complesso di sollecitazioni esterne applicate ad un corpo elastico durante il prodursi delle deformazioni dovute ad un secondo complesso di sollecitazioni esterne che agissero da sole sul medesimo corpo, è uguale al lavoro che sarebbe eseguito dal secondo complesso durante il prodursi delle deformazioni dovute alle sollecitazioni del primo, agenti anch'esse da sole ».

Lo stesso teorema, ma in forma particolare, era stato enunciato pochi anni prima e precisamente nel 1864 da Giacomo Maxwell, nato ad Edimburgo il 13 giugno 1831 e morto a Cambridge il 5 novembre 1879; questi, dopo essere stato professore al Marischal College di Aberdeen, passò nel 1860 al King's College di

Londra ove rimase fino al 1865. Dopo un intervallo, nel quale ebbe anche a fare un viaggio in Italia (1867), riprese dal 1871 l'insegnamento all'Università di Cambridge quale professore di fisica. Il tempo trascorso nel King's College corrisponde forse al periodo più fecondo di attività originale nel quale appunto trova posto l'enunciazione del teorema che ci interessa.

La forma nella quale Giacomo Maxwell aveva enunciato il teorema di reciprocità era particolare, in quanto i due sistemi di sollecitazioni messi in reciproca relazione erano costituiti semplicemente da una forza sola ed unitaria. È noto che quando il teorema di Betti mette in raffronto due sole sollecitazioni si dice che esso è utilizzato in forma ridotta; se poi le due sollecitazioni sono ambedue forze o ambedue coppie, la forma ridotta dicesi omogenea di primo e secondo tipo; se infine uno dei sistemi di sollecitazione messi in raffronto è rappresentato da una forza e l'altro da una coppia, la forma ridotta dicesi mista. È anche noto che il teorema di Betti scritto in forma ridotta costituisce il fondamento alla teoria delle linee di influenza.

Giacomo Maxwell espresse il teorema di reciprocità in forma ridotta omogenea del primo tipo appunto; poichè poi le forze costituenti i due sistemi di sollecitazioni erano unitarie, al concetto di lavoro poteva venir sostituito quello di spostamento e alla uguaglianza tra i lavori delle due forze quella tra gli spostamenti dei loro punti di applicazione valutati secondo le rette d'azione di quelle. In questa forma, il teorema è molto facilmente verificabile, in quanto la misura sperimentale di uno spostamento rientra nel campo delle comuni possibilità ed è assai più semplice e comoda di quella di un lavoro.

La verifica sperimentale del teorema di Enrico Betti nella forma datagli da Giacomo Maxwell è dovuta a Lord John William Rayleigh. Questo insigne fisico nato a Langford Grove (Essex) il 12 novembre 1842 e morto a Wilham (Essex) il 30 giugno 1919, succeduto al Maxwell nella di lui cattedra di fisica fino al 1884, indi professore di filosofia naturale dal 1887 al 1905 alla Royal Institution di Londra, verificò il teorema operando su travicelli orizzontali costituiti da asticciuole di legno caricate da pesi mobili.

Scopo del presente scritto è quello di far notare come si possa fondatamente avanzare l'ipotesi che già Leonardo da Vinci abbia « sentito » il teorema di reciprocità nella forma ridotta omogenea del primo tipo. Com'è noto, Leonardo mostrò di saper utilizzare alcuni teoremi di energetica, quasi fosse illuminato da una più o meno chiara visione del loro intimo valore, senza dubbio dotato di una recondita e specialissima sensibilità.

Sono ad esempio innumerevoli le proposizioni con le quali egli si riferisce al Teorema dei lavori virtuali e gli schizzi con i quali ne illustra delle pratiche applicazioni. Scelgo a caso il foglio 104, verso *b*) del Codice Atlantico; vi si legge: « E quella cosa che manco resiste, da minor potenzia fia remossa, a più lungo moto fia continuata ». In questo e in numerosissimi altri fogli si vedono i disegni di carrucole e taglie che rappresentano uno dei più efficaci esempi che ancora oggi si utilizzano per introdurre il Teorema dei Lavori virtuali o per illustrarlo appena

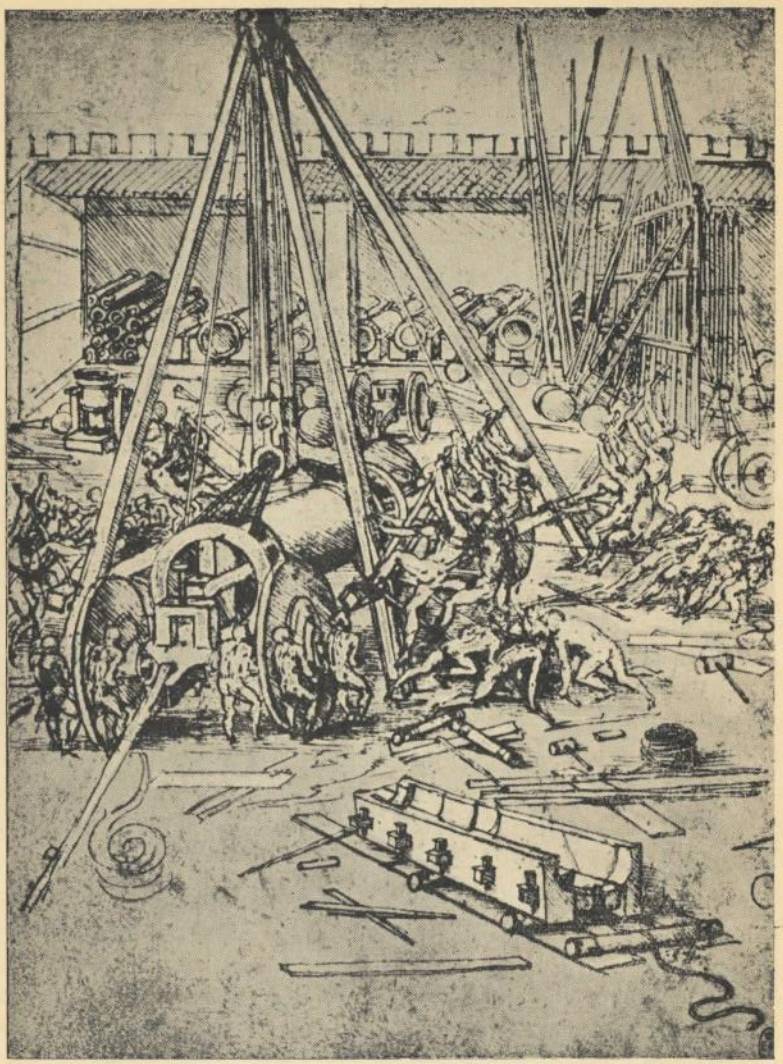
introdotto. Leonardo poi, che non è uomo da fermarsi a mezzo, nel foglio 153, recto *a*) dello stesso Codice Atlantico, esasperando il significato teorico del principio, disegna ciò che amo denominare (mi sembra appropriatamente) « lo schiaccianoci di Leonardo » nel quale appunto le numerose carrucole inserite tra i manici di una tenaglia determinano una forte demoltiplicazione dello sforzo necessario a stringerne le ganasce. Nella figura 1, desunta dalla raccolta di Windsor, si scorge il sollevamento di una bocca da fuoco per mezzo di una taglia; nelle mani degli operai si vede il capo della fune « da minor potenzia remossa » e « a più lungo moto continuata ».

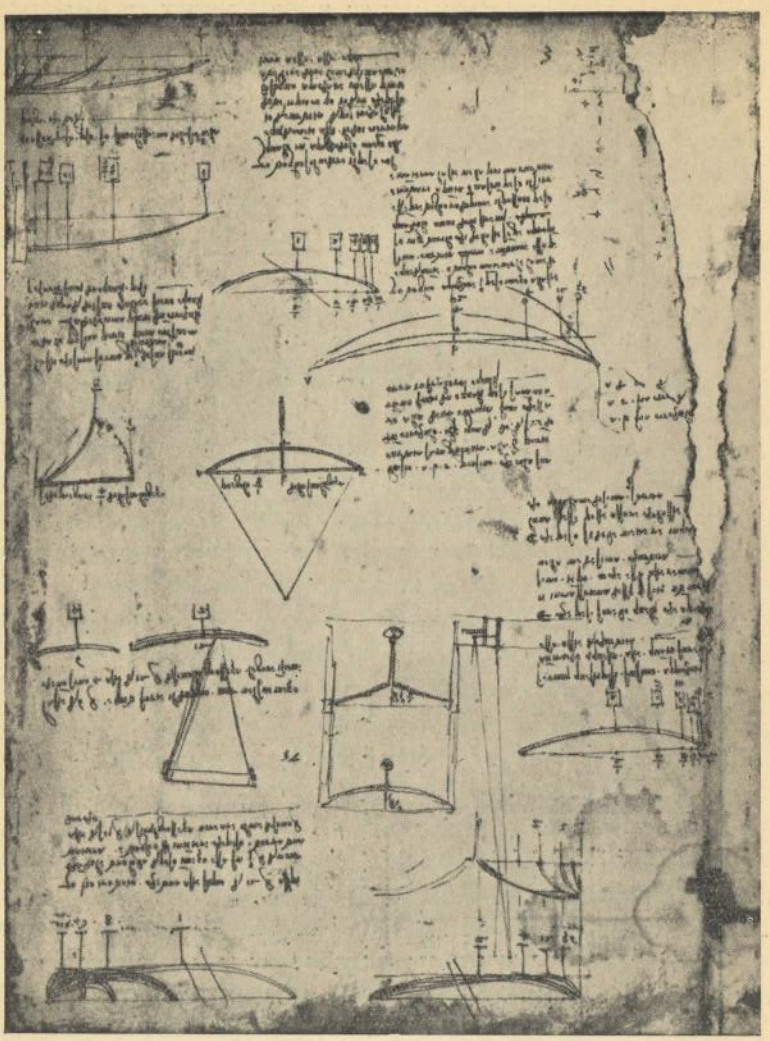
Mentre Leonardo si riferisce soventissimo a questo Teorema che doveva attendere la sua forma definitiva e la generale sua dimostrazione soltanto da Giovanni Bernoulli (1717) e da Fourier e Lagrange (1800), una volta — almeno per quanto mi risulta dalle personali ricerche — mostra di intravedere un altro notissimo Teorema di energetica, il Teorema del minimo lavoro, detto anche Teorema di Menabrea perchè esposto per la prima volta appunto dal generale Luigi Menabrea (1809-1896) all'Accademia delle Scienze di Torino nel 1857. Al foglio 112, verso *a*) del Codice Atlantico si legge invero: « Ogni azione naturale è generata dalla Natura nel più brieve modo che trovar si possa »; siamo, invero, ancor lontani, qui, dal Teorema del minimo lavoro, ma che la situazione nella quale il corpo si trasferisce naturalmente per effetto delle sollecitazioni cui è sottoposto dipenda da una condizione di minimo è un fatto nettamente « sentito » da Leonardo.

Per quanto concerne il Teorema di reciprocità, sembra di dover comprendere leggendo il foglio 211 recto del Codice Atlantico (fig. 2), che Leonardo lo abbia intravisto, o, almeno, che egli si sia prospettata la soluzione di certi problemi caratteristici tra le applicazioni del Teorema stesso facendo sorgere nel lettore moderno il pensiero ch'egli abbia, forse inconsciamente, penetrato lo spirito di esso. E ciò fa, come altre volte, rivolgendosi ad un ipotetico interlocutore ed invitando a sciogliere un certo quesito o a giustificare la soluzione che, ad un certo quesito, egli propone. Così ad esempio, al foglio 242 del Codice Atlantico, non domanda egli forse al suo ideale interlocutore di spiegargli perchè, quando si suonano le campane, « il campanile si dimena »?

Nel foglio 211 già citato egli considera un'« aste equidiacente », ossia, in moderno gergo, una trave prismatica orizzontale semplicemente appoggiata agli estremi, con vincoli allo stesso livello e rigidi e scrive: « Io voglio applicare un peso in mezzo all'aste equidiacente e voglio mantenerle la medesima curvità e mutare esso peso in 5 vari lochi dell'aste, sempre apropinquandolo a uno delli stremi, e sempre voglio radopiare il passato peso, e trovare a punto in ciascun peso il sito, e manterrà l'aste nella prima curvità ».

Intanto è necessario precisare che il vocabolo « curvità » o « curvatura » o « incurvatura », come Leonardo scrive altrove, non ammette il significato moderno di curvatura, bensì quello di abbassamento, di freccia; invero anche proprio al principio dello stesso foglio 211, recto *b*), egli scrive: « Io ho trovato che un'aste di 12 braccia, applicandole una libbra di peso in mezzo, essa fa uno braccio d'in-





curvatura » il che è più che sufficiente per definire le dimensioni fisiche di ciò che egli denomina « curvatura » o « curvità ».

Il problema proposto consiste dunque in questo: osservare quale sia la freccia presentata da una trave semplicemente appoggiata agli estremi, orizzontale e caricata in corrispondenza del suo punto di mezzo e dire quali debbono essere le posizioni di un carico doppio, quadruplo, ecc... del precedente, affinchè la freccia in mezzeria sia sempre quella di prima.

Ancora più esplicito è Leonardo nella penultima proposizione, del medesimo foglio 211 recto: « Io voglio sol vedere il peso col quale tu, applicandolo in mezzo alla equidiacente aste, le dai cierta parte di curvità; di poi tocca l'aste dove ti piace, io ti dirò che peso bisogna appicare in essa parte a voler dare la medesima curvatura a essa aste ».

Insomma dapprima si trattava di determinare la posizione di un assegnato carico per produrre in corrispondenza della mezzeria, una assegnata freccia; poi di determinare la intensità di un carico da « appicarsi » in corrispondenza di un assegnato punto dell'asta al fine di produrre — come prima — una assegnata freccia in corrispondenza della mezzeria. Si tratta dunque di esprimere la freccia della trave in corrispondenza di un certo suo punto (la mezzeria) quand'essa sia caricata in corrispondenza di un altro, conoscendo però l'effetto di inflessione della trave quand'essa sia caricata in corrispondenza del primo (Io voglio sol vedere...). Orbene, la soluzione di un simile problema, in qualunque delle due forme nelle quali è stato posto da Leonardo, è immediata non appena si utilizzi il Teorema di Betti. In quanto che la posizione nella quale va posto un carico ad es. doppio di un altro applicato in mezzo alla trave, al fine di mantenere invariata la freccia in mezzeria è quella per la quale la freccia elastica, generata dal carico in mezzeria, presenta una ordinata metà di quella in mezzeria; ed il valore del carico da « appicarsi » in un punto qualunque al fine di mantenere immutata la freccia in mezzeria prodotta da un carico noto, è espresso dal prodotto di questo carico per il rapporto tra le freccie, in mezzeria e nel punto considerato della curva elastica prodotta dal carico in mezzeria.

Si noti che in ambedue le forme considerate del problema, è necessario riferirsi ai lavori e non agli spostamenti (perchè le intensità delle due forze in gioco sono diverse); pertanto Leonardo mostra di affrontare la questione nella forma generale contemplata da Betti quantunque in forma ridotta; ciò fa vedere che Leonardo è andato già oltre i limiti raggiunti dagli stessi Maxwell e Rayleigh.

Assai difficile è seguire Leonardo nello sviluppo del suo pensiero, indirizzato allo studio di qualche particolare questione, col semplice corredo dei suoi codici e manoscritti e scoprire tutti i paesi della sua vasta opera che trattano di uno specifico argomento perchè, quasi non fosse bastata la mancanza originale di qualsiasi collegamento logico tra di essi, le vicende attraverso le quali il prezioso materiale dovette passare e la dispersione che ne seguì, oltre all'abitudine di Leonardo di scrivere da destra verso sinistra, ne resero assai difficile, nonchè il coordinamento, la lettura. Ciò non ostante, mi sembra di poter affermare che il

foglio citato, 211 del Codice Atlantico, sia davvero l'unico nel quale venga adombrato il contenuto del Teorema di reciprocità. Se è difficile o fors'anche impossibile affermare che Leonardo abbia penetrato a fondo il valore del Teorema, mi sembra tuttavia lecito avanzare l'ipotesi che egli ne abbia, almeno nel caso citato, intravista una applicazione, tra quelle che oggi son considerate tra le più dirette, le più espressive e le più feconde, cioè la costruzione delle linee di influenza.

PROF. ING. DOTT. GIUSEPPE MARIA PUGNO

RASSEGNA TECNICA

La "Rassegna tecnica„ vuole essere una libera tribuna di idee e, se del caso, saranno graditi chiarimenti in contraddittorio; pertanto le opinioni ed i giudizi espressi negli articoli e nelle rubriche fisse non impegnano in alcun modo la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

LEONARDO E LE MACCHINE

Il prof. GIUSEPPE MARIA PUGNO, Preside di Facoltà nel Politecnico di Torino e Presidente della locale Sezione dell'Associazione Meccanica Italiana, ha tenuto la conferenza che abbiamo il piacere di pubblicare come prolusione al ciclo di temi posto in programma per il 1956 dalla benemerita A.M.I.

Leonardo si afferma alla Corte di Lodovico il Moro come organizzatore della festa del « Paradiso ». Le macchine e gli apparecchi somministratori di energia. Le macchine e gli apparecchi utilizzatori dell'energia: i veicoli semoventi, le macchine di guerra, le macchine tessili, gli apparecchi per il volo. Attualità ed inconfondibilità dell'opera leonardesca nel progetto e nella rappresentazione delle macchine.

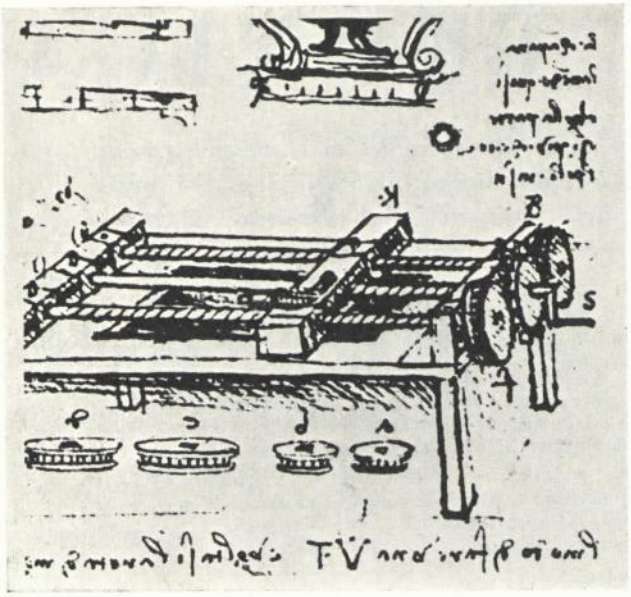
Festosa e fastosa fu la Corte del Principe Lodovico Sforza; Corte privata dapprima, durante la vita del misero duchino Gian Galeazzo, ma che non tarderà ad essere la Corte del vero Duca di Milano; è detta la più splendida d'Europa dopo il crollo di quella di Borgogna. Splendida per il fasto de' cavalieri, per l'avvenenza delle dame, per il ricco stuolo degli ambasciatori delle varie Corti che si onorano d'aver rappresentanza presso quella Casa che per un ventennio saprà attirare lo sguardo ammirato dell'Europa tutta, per la folla di tutti coloro che ambiscono d'essere chiamati al servizio dell'inclita schiatta Sforzesca e che, per converso, ancor più e ben più graziosamente, l'onoreranno nei secoli.

Ma ahimè! la vita di questi artisti — artefici o architetti o artigiani o ingegneri (i « machinari », si diceva allora) — magistralmente tratteggiata dal Malaguzzi Valeri, è faticosa e grama a Milano, come del resto a Firenze, a Napoli, a Torino, a Roma; costoro, al fine di evitare la concorrenza e e di istituire una sorta di assicurazione, si congiungono spesso in società di due, tre, quattro e anche più; sì da poter meglio, o meno peggio, riuscire a fronteggiare il mal vezzo, assai diffuso tra la nobiltà milanese, di tirare in lungo il pagamento dell'opera commessa per mesi ed anche per anni; difatti contar non si possono i casi di artisti, artefici e « machinarii » condotti al più disperato bisogno.

Pietro Marchesi, il quale ha dipinto la sala verde « a fazoli » del Castello, è obbligato a scongiurare il Podestà di difenderlo dai creditori che egli non può soddisfare, creditore insoddisfatto egli stesso, a sua volta, essendo. Così Zanetto Bugatto è ridotto a tali estremi da dover scongiurare il Duca di pagargli finalmente i numerosi ritratti fatti a lui, alla Duchessa, al primogenito, alle amanti sue e perfino al cane chiamato « Bareta ». Stefano Fedeli, il Montorfano, Vincenzo Foppa, Cristoforo Moretti si lamentan che tante loro fatiche non abbiano fruttato che parole. Un poco più di sollecitudine dimostrano i Duchi quando si tratti di obbligare altri a pagare quegli artefici od artisti i quali, per avventura, siano anche loro creditori, quasi che il costringere altri ad un determinato obbligo annulli o diminuisca il proprio; oppure quando si tratti di pagare, almeno in parte, il debito contratto col mettere il creditore nelle condizioni di non pagare i proprii. Così Giorgio della Corgna è, in parte, pagato dal Duca Lodovico per mezzo di un ordine da lui impartito al Podestà di Cremona, nella cui giurisdizione si trova il misero Giorgio, di fargli un salvacondotto per proteggerlo dalle molestie dei suoi creditori.

E poichè l'esempio vien dall'alto, gli Imprenditori, gli Agenti, i Commissari ducali trattano del pari i loro sottoposti. Bartolomeo Gadio, da Galeazzo Maria preposto alle opere civili e militari, riduce a tali strettezze l'architetto Danesio Maineri e l'ingegnere Maffeo da Como, posti alle sue dipendenze, che il primo, nel 1468, ammalato e povero, è costretto a chiedere aiuto al Duca affermando che, in caso di rifiuto, non gli resta se non darsi « nelle mani del Turco per uscire dalle mane d'esso Bartolomeo »; e il secondo sarebbe morto se non avesse avuto pietà di lui quel Cicco Simonetta, provvido ministro di due Duchi Sforzeschi, che perderà la testa per la sua fedeltà al terzo; costui nel pieno splendore del suo prestigio, come della sua onnipotenza, aiuta Maffeo da Como, quel « poverelo » di ingegnere, il quale a casa sua, come dice Cicco, « tra fioli, mogliera ed altri » ha nientemeno che « bocche undeci » che « moreno de fame ». Anche lo stesso Bramante, che il discepolo suo Cesare Cesariano denomina « patiente figlio de paupertate », rivolge al Moro del quale, del resto, è tra gli amici e tra i protetti, non infrequenti querele; e, al fine di renderle più accette, le stende perfino in rima.

Ma, non ostante tutto ciò, la Corte di Ludovico il Moro, che segna pur sempre un periodo fulgidissimo della storia milanese, è peraltro l'ambita mèta di artisti, architetti, ingegneri, artefici, artigiani. Tra tutti, un giovane toscano giunto nella Capitale del Ducato non si sa bene come e perchè; se mandato da Lorenzo il Magnifico al Moro a richiesta di questo principe o ad iniziativa di Lorenzo o venutosene di volontà propria. Se solo o accompagnato da altri, come un certo Atalante o

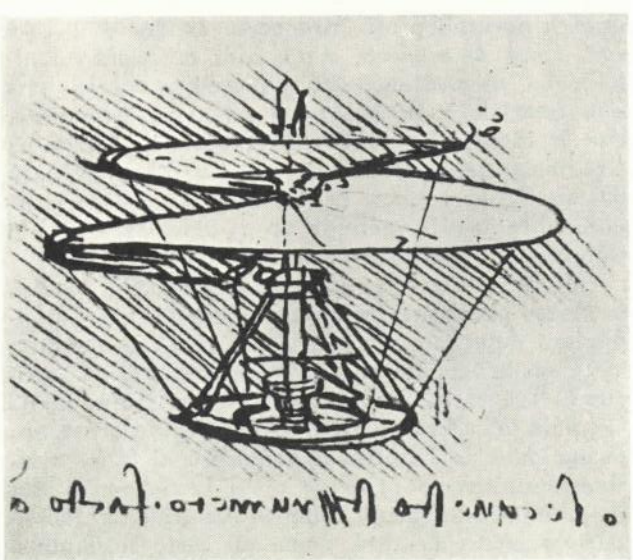


Manuscritto B foglio 70 verso - *Macchina per filettare.*

un certo Tommaso Masini, strano tipo, quest'ultimo, mezzo mago e mezzo avventuriero, che sa e che tratta di tutto un po'.

Anche il giovane artista toscano è un « poverelo »; tutta la sua ricchezza sta nel ricavato dalla vendita di una catasta di legna da ardere avuta, prima di partire da Firenze, dai Monaci di San Donato a Scopeto, in compenso dell'abbozzo di una « Adorazione dei Magi ». È figlio di un Piero notaro e di una Cattarina che non è sua moglie e che sposerà poi in fretta e furia un certo Accattabriga — un bel nome programmatico per un marito! —; ha lasciato, fanciullo, il luogo natio, un paesino a mezza strada tra Empoli e Pistoia, per andarsene a Firenze dove si è guadagnato da vivere nella bottega di un certo Andrea di Cione detto il Verrocchio; obliato ed abbandonato dal padre il quale, forse per far dimenticare la sua svista con Cattarina — svista per la quale i Posteri, di fronte alla legge umana, gli concederanno le circostanze

Manuscritto B foglio 83 verso - *Il primo elicottero.*



attenuanti — ha condotto all'altare, questa volta legittimamente, una dopo l'altra, ben quattro mogli, tutte e quattro mogliettine dai 15 ai 18 anni: Albiera di Giovanni Amadori, Francesca di Giovanni Lanfredini, Margarita di Francesco di Jacopo di Guglielmo, Lucrezia Cortigiani.

Sa far tante cose questo figlio di Piero e Cattarina venuto da Firenze! Ma è così presuntuoso da osare — poco tempo dopo, a quanto pare, il suo arrivo a Milano — di indirizzare una lettera al Principe Ludovico, nella quale non scrive cosa che non affermi di saper fare; e per ismuover meglio l'incredulità dell'eccellentissimo destinatario, aggiunge con mirabil sicumera: « E se alcune delle sopradette cose ad alcuno paressino impossibili e non fattibili, mi offro paratissimo a farne esperimento in parco vostro, o in qual luogo piacerà a Vostra Eccellenzia ».

Il Moro ne ride, poi sorride, poi ascolta, poi crede, poi l'ammirerà, poi lo compenserà da principe: generosamente ma quando sarà quasi tardi. Gli è che questo diavolo di toscano dipinge, suona, disegna, parla in modo da incantare; e, quando parla, par che sottolinei ogni sua parola con certi gesti suasivi e tanto pieni di grazia e di garbo delle sue belle mani che sembrano possedere ciò che gli ospiti stranieri venuti di Francia con Re Carlo, del Moro amici ma in breve volger d'anni, sotto Re Luigi, di lui nemici, vincitori e carcerieri, denominano la « èloquence des mains ».

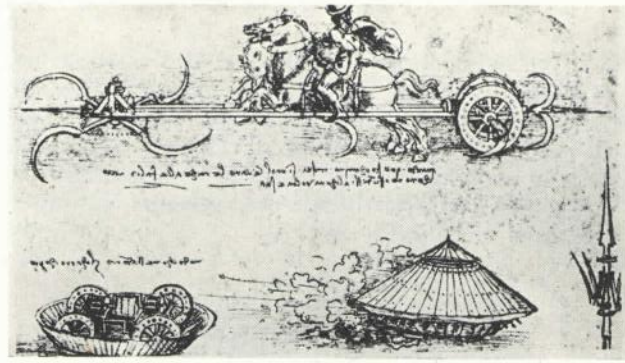
Questo strano e interessante tipo sa poi fabbricare tanti complicati meccanismi, tanti curiosi aggeggi, tanti utili apparecchi e tanto ingegnosi strumenti che il Moro incomincia a credergli e un po' per questo motivo e un po', forse, per collaudarlo, pensa di affidargli, come gli affida, l'organizzazione tecnica della « Festa del Paradiso » in onore della Duchessina Isabella d'Aragona che ha lasciato il limpido sole e l'azzurro mare di Napoli per sposare il Duchino Gian Galeazzo e divider con lui il freddo e nebbioso Castello pavese. Qui Lodovico, Principe ma non ancor Duca, fa il tutore di Gian Galeazzo e il Re Maggiordomo in casa di lui e quindi deve pensare a tutto organizzare e, tra l'altro, anche la festa del « Paradiso ». Si tratta di una specie di mitologico planetario ove le stelle, i pianeti e gli dèi, rappresentati da danzatori, danzatrici e mimi, presi nei vortici di una complicata e fantasiosa ma ordinata giostra, ripetono quasi quella degli astri del firmamento, donde il nome di « Paradiso ». Ma non è tutto; chè vi sono anche piattaforme che girano, quinte che si alzano, nuvole che veleggiano, scenari che si sostituiscono in piena azione. E tutto, regole del moto, figurazioni, costumi degli abitatori dell'Olimpo risuscitati e scritturati per l'occasione, armamentari ed apparecchiature per dar vita a tutta quella baracconeria, è uscito dalla mente fervida, dalla ingegnosa fantasia, dalle mani fatate di quel Leonardo. I versi soltanto sono frutto della penna, più che della testa, del Bellincioni, un non del tutto ignorato poeta — poeta di Corte — che aveva lasciato — anch'egli — la stenterella Corte fiorentina per quella più prodiga, in certi casi, mila-

nese; ma astri, ninfe, divinità e tutti adattano quanto dicono o cantano a quanto fanno e a quanto avviene attorno ad essi; e quel che fanno e quel che avviene è stabilito e mosso da Leonardo.

Il successo del « Paradiso » è splendido. Tra i più entusiasti sono il Duchino Gian Galeazzo e la Duchessina Isabella che alla Corte spagnolesca di Napoli tronfia e pigra non aveva mai visto nulla che rassomigliasse a quel ben ordinato seppur complicato e scapigliato armeggìo; il Moro, il quale è soddisfatto nel veder la sua pensata così meravigliosamente realizzata, anzi magnificata e nell'udire che il popolo, divertito e soddisfatto, incomincia ad abituarsi a gridar « Moro, Moro », ed infine gli Ospiti stranieri che, ritornati in patria, avran mirabili cose da narrare. Ma non aspetta a ritornare alla sua Ferrara, l'ambasciatore estense per riferire, perchè già la sera stessa o, meglio, forse, la mattina stessa, invia al suo Signore, per il di lui personale sollazzo, una ghiotta ed accurata relazione sulla festa. E per nostra fortuna! Perchè essa è il documento più completo che noi possediamo su quell'avvenimento storico che rappresenta l'ingresso — come dire — omologato di Leonardo nel dominio affascinante della Meccanica e delle Macchine nel quale così plendidamente e trionfalmente saprà costituirsi in seguito Dominatore e Signore.

Il successo raggiunto da Leonardo col suo « Paradiso » dovette essere veramente lusinghiero perchè immediatamente dopo ricevette un incarico simile. Galeazzo Sanseverino Capitano sforzesco, ma già votato alle fortune di colui che sarà l'Usurpatore, tanto che nel 1479 gli aveva consegnata la città di Tortona centro militare del Ducato affidato alla sua sorveglianza, incarica l'instancabile artefice di organizzargli una giostra. Per nostra ventura in quell'epoca Leonardo tiene al suo servizio un piccolo mariuolo — Jacomo — il quale gliene fa di tutti i colori, sì che l'adirato suo padrone riversa la piena della stizza in amare constatazioni che affida alla carta. I posteri vengono così a sapere, insieme alle mariuolerie di Jacomino, alcuni importanti particolari sulla vita di Leonardo. Vengono cioè a sapere che il ragazzo è « ladro, bugiardo, ghiotto », che una sera a « ciena » versa il vino, rompe tre ampolle, « mangia per due e fa male per quattro » e che ruba « un grafio de la valuta di 22 soldi a Marco ». Ma son mescolate a queste notizie altre ben più importanti: per esempio che in quell'epoca son compagni di Leonardo Mastro Giacomo Andrea da Ferrara, Agostino da Pavia, un Giovanni Antonio — forse il Boltraffio — un Marco d'Oggiono; che la festa del « Paradiso » ha avuto luogo nel 1490, che quella in casa Sanseverino ha luogo nel 1491, che anche qui si tratta, tra l'altro, di piattaforme girevoli, di carrelli che si muovono in piani verticali descrivendo circonferenze, di pavimenti che si muovono sotto i piedi degli invitati obbligandoli a fare i conti con le forze d'inerzia, insomma di tutte quelle cose che, per quanto i tempi mutino, si ritrovano ancor oggi nei baracconi e nelle fiere carnevalesche.

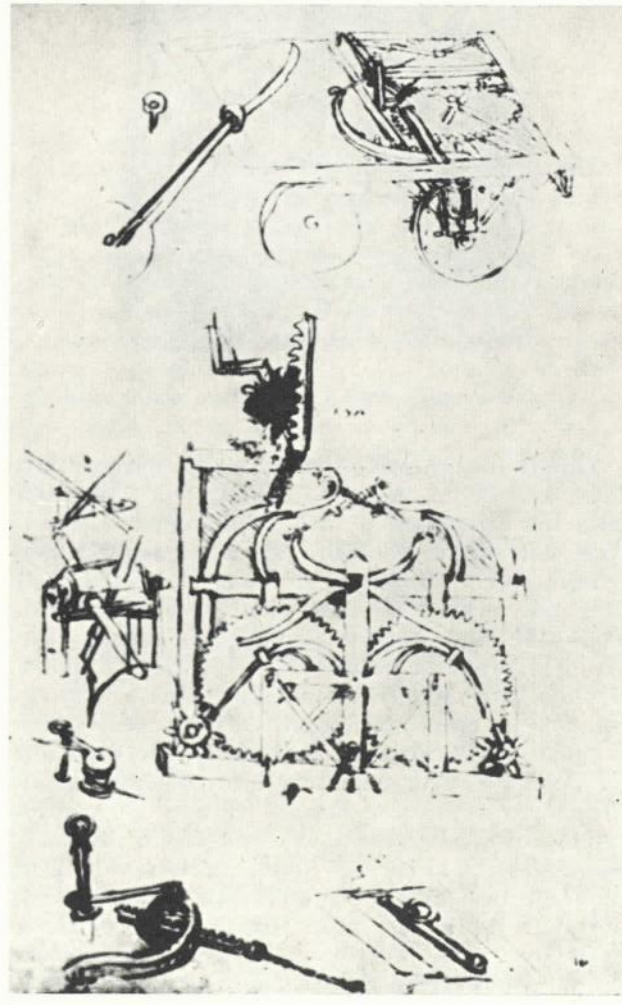
Ma in tutto ciò sta soltanto una specie di scher-



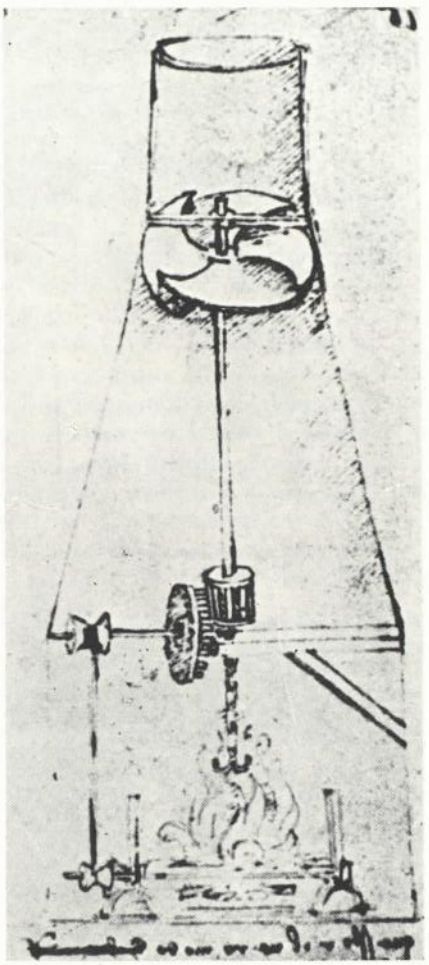
British Museum - *Carro armato e carro falcato a mulinello.*

maglia in quel cimentarsi di Leonardo con la Meccanica e le Macchine; non è ancora quell'impegnarsi a fondo che fa sì che in ogni luogo nel quale Leonardo ponga la sua non instabile dimora, accanto al camerone adibito a studio di pittura, ne stia un altro adibito allo studio ed alla costruzione di macchine. E nell'uno e nell'altro discepoli che ascoltano, che osservano il Maestro, che si cimentano nei primi tentativi, che si perfezionano e spiccano il volo. Uno solo tra questi non lo abbandonerà e lo accompagnerà poi in quel suo peregrinare che sarà la dolorosa ventura degli ul-

Cod. Atl. foglio 296 verso a - *Carro automobile mosso da molle e munito di un differenziale.*



timi anni della sua vita: Francesco Melzi; questi ne raccoglierà l'ultimo respiro e, per quel diritto di testare dalla sua nascita illegittima negato a Leonardo ma dal favore sovrano restituitogli, potrà ricevere nelle sue mani il corpo dei manuscritti leonardeschi oggi testimonianza perenne dell'opera di quel Grande.



Cod. Atl. foglio 5 verso a - *Girarrosto ad aria calda.*

Questa disposizione d'animo di Leonardo a diffondere l'anelito del suo pensiero ed i resultati delle sue esperienze a tutti coloro che collaboravano con lui ha conferito all'opera sua un ben definito spirito didattico; il codice Atlantico e gli altri suoi manuscritti sono pieni di massime e di didascalie. Sotto questo aspetto l'opera di Leonardo si presenta in una luce diversa da quella di molti altri Maestri suoi predecessori e contemporanei che erano gelosissimi dei loro ritrovati ed insegnavano l'imitazione delle forme ma non « li principia » e la ragione generale delle cose quand'essi, per avventura, fossero riusciti a carpirla. Per avere un altro esempio di un vivaio di consapevoli realizzatori come quello dei discepoli di Leonardo bisogna risalire nella Storia delle Scienze, ed in particolare nella storia delle macchine, molto ma molto indietro: addirittura alla Scuola del meccanico greco-alessandrino Ctesibio che visse in Egitto circa un secolo prima di Cristo sotto il regno di Tolomeo Evergete. Costui versatissimo, per quanto allora si poteva essere, nella meccanica in generale e nell'idraulica in particolare, si contornò di discepoli prima tra i quali fu la stessa sua moglie Taide pure distintasi per cognizioni in cose di meccanica e il più illustre dei quali divenne poi Erone il vecchio le cui opere sole ebbero la ventura di riuscire a fendere le nebbie medioevali e ad essere note, almeno in parte, già ai tempi del primo Rinascimento.

Della scienza delle macchine — « Scienza strumentale over machinale », scrive Leonardo, « che è nobilissima e sopra tutte l'altre utilissima, conciossiachè mediante quella tutti li corpi animati che hanno moto fanno tutte le loro operazioni » —, Leonardo ha un concetto stranamente e mirabilmente moderno, difatti egli se ne ripromette l'economia massima nella fatica, nell'impegno, ossia, in una parola, nell'intervento dell'uomo; la massima precisione il meno possibile da quell'intervento dell'operatore influenzata e il massimo rendimento ossia la « disciplina delle forze », com'egli dice.

Appunto quell'economia dell'impegno e della fatica dell'uomo sono il suo fine ultimo, la mèta suprema; e, per ottenerla, egli si preoccupa, prima di tutto, di creare strumenti che gli offrano l'energia motrice — la « forza », com'egli dice — e mezzi per diminuire le resistenze ed evitare gli sprechi di energia.

Le sorgenti di energia motrice sono da Leonardo ravvisate nell'energia muscolare di uomini e di animali, nella trasformazione in cinetica dell'energia potenziale di pesi che sian lasciati cadere, in quella contenuta nelle grandi masse d'aria che tende a salire, nelle cadute d'acqua o nelle correnti d'acqua con piccola caduta ma con grande massa, nella attitudine ad occupare un assai più grande volume dell'acqua che si trasforma in vapore, e, infine, nell'energia immagazzinata da molle fortemente deformate.

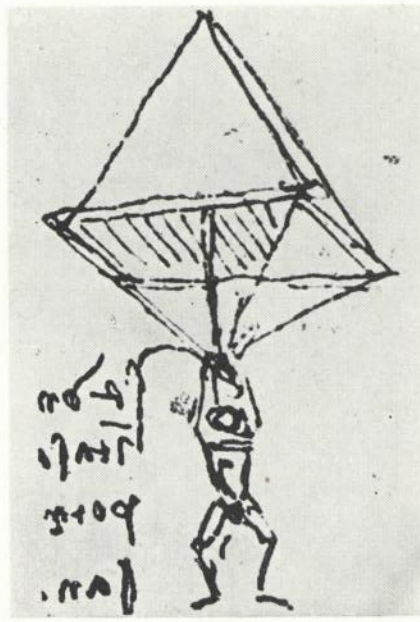
Se Leonardo non conobbe i carri motori progettati da Giovanni Fontana, fratello di Domenico il grande architetto dell'altrettanto grande Papa Sisto ed anch'egli ingegnere famoso, perchè morto ventun anni prima della nascita di lui, Leonardo conobbe certamente quelli proposti da Roberto Valturio eclettico ideator di meccanismi. E, senza dubbio, per primo disegnò un qualche cosa che possa storicamente e tecnicamente accettarsi come il progenitore dell'automobile e particolarmente del carro armato. Dapprima pensò ad utilizzare l'energia sviluppata da uomini contenuti nel veicolo i quali, attraverso sistemi demoltiplicatori di velocità e quindi moltiplicatori di sforzo, mettevano in moto una ruota motrice; poi disegnò la famosa testuggine con quattro ruote motrici e direttrici mosse da otto uomini; poi ancora giunse alla trasmissione indipendente per ciascuna ruota proponendo anche un roteggio che può riguardarsi come il progenitore del differenziale. In un secondo tempo tentò di utilizzare l'energia sviluppata da molle fortemente deformate ma, mentre i particolari delle varie da lui ideate trasmissioni

sono accuratamente descritti col disegno, i dispositivi escogitati per utilizzare l'energia delle molle rimangono ancora alquanto oscuri.

Caratteristica utilizzazione della prevalenza dell'aria calda sulla fredda è il famoso girarrosto nel quale lo spiedo è mosso in rotazione continua appunto dalla corrente d'aria calda — scaldata dallo stesso fuoco che cuoce l'arrosto — la quale sfogandosi nel camino ostruito da una specie di elica, per poter proseguire il suo moto ascensionale è costretta a mettere in rotazione l'elica; questa, mediante un ingranaggio di ruote coniche, mette in rotazione lo spiedo. Ma si noti che questo apparecchio ha in sè una certa attitudine autoregolatrice in quanto ad una maggior vivezza del fuoco corrisponde una maggior violenza di fuoriuscita dell'aria calda per il camino, un maggior momento di rotazione applicato all'elica che si traduce in una maggiore velocità angolare di essa e quindi anche in una maggior velocità angolare dello spiedo. Leonardo ha disegnato un altro girarrosto, ma questa volta azionato dalla forza muscolare di un operatore. È inutile! Anche i più grandi uomini non hanno trascurato del tutto la gastronomia. Anche gli eroi d'Omero — com'ebbe a dire lo Stecchetti, ossia Olindo Guerrini, pensando a quelle tremende mangiate descritte nell'*Iliade* e nell'*Odissea* — « a tempo e loco, sanno fare da eroe come da cuoco »!

Abbiamo anche il disegno di un mulino a vento con la sua brava banderuola per orientarlo nel modo più conveniente, fronte al vento; peraltro altri aveva già disegnato prima di Leonardo un apparecchio simile.

È invece merito di squisita priorità sua il disegno di una caldaia con una parete mobile funzionante da stantuffo nella quale per essere portata ad ebollizione una massa d'acqua, questa si trasforma in vapore e tende ad occupare un volume molto maggiore con la conseguenza che lo stantuffo viene spostato e si genera energia meccanica. Generalmente sono indicati come antesignani nella storia delle macchine a vapore Salomone di Caus, Dionigi Papin e Giorgio Stephenson. Salomone di Caus, nato a Dieppe 27 anni dopo la morte di Leonardo cioè nel 1756 e morto a Parigi all'età di 50 anni, scrisse bensì varie opere tra le quali la più notevole è intitolata « La raison des forces mouvantes avec diverses machines tant utiles que plaisantes » nella quale descrive diversi apparecchi mossi dalla forza espansiva del vapore, tutti fondati però sul principio già espresso, nel suo spirito e nella sua applicazione, dal disegnino di Leonardo. Papin, invece, nato a Blois in quella prestigiosa regione che può ben dirsi il giardino dei Re tanto è costellata di località celebri nella storia della Francia del Rinascimento, Blois, Cloux, Amboise, Loches, Remorantin, Marmoutier e così via, nato a Blois, dicevo, nel 1647 e morto in Inghilterra nel 1714 era dapprima stato medico, ma poi innamoratosi della Fisica, oggi diremmo più precisamente della Fisica Tecnica, alle lezioni di Cristiano Huyghens che aveva aperto scuola a Parigi su invito di Colbert, divenne uno tra i più apprezzati discepoli del Maestro Avricense. Se non che nel 1680, in causa di uno di quei decreti contro i calvinisti che precedettero e prepararono la revoca dell'editto di Nantes, il nostro Papin, il quale era calvinista, dovette emigrare in Inghilterra che accoglieva volontieri i perseguitati anche semplicemente per fare un dispetto alla Francia. Qui divenne discepolo e dimestico di Roberto

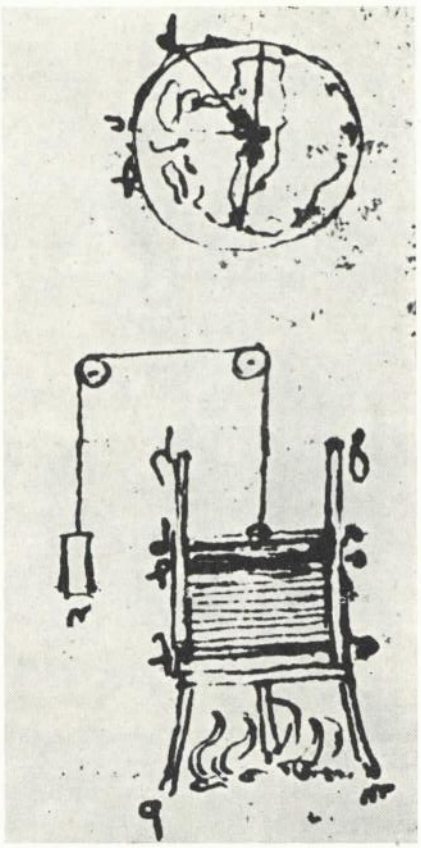


Cod. Atl. foglio 381 verso a - *Paracadute.*

Boyle il quale, per aver trascorso qualche anno della sua giovinezza a Ginevra, aveva probabilmente contatti con personalità calviniste; tranne un breve periodo di tre anni dall'81 all'84 vissuto nelle vicinanze di Venezia, rimase il Papin in Inghilterra fino al 1867 nel quale anno fu chiamato ad insegnare nella Università di Marburgo dal Langravio d'Assia. Qui fabbricò tra l'altro la sua famosa macchina nella quale, dopo aver sperimentato senza successo la deflagrazione della polvere pirica come sorgente di energia, sfruttava la forza espansiva del vapore secondo i concetti di Leonardo e di Simone di Caus. Pertanto la priorità di Papin non consiste nell'aver pensato al vapore come mezzo procacciatore di energia, piuttosto nella utilizzazione di questa energia come mezzo di propulsione di battelli. Sono noti i particolari della disavventura toccata al Papin il quale per dimostrare le applicazioni della sua arte, appunto esposte nella « Ars nova », aveva costruito un battello con propulsione a vapore che dai contadini ignoranti, stupefatti e spaventati fu distrutto presso Brema sul Weser. Anche il merito essenziale dello Stephenson non consiste nell'aver riconosciuto la possibilità di utilizzare la forza espansiva del vapore, bensì nell'averla indirizzata alla propulsione terrestre.

Abbiam detto più sopra che altro fine di Leonardo era quello di ottenere il maggior rendimento delle forze applicate alle sue macchine, cioè di

disciplinarne nel modo migliore l'azione e nel ridurre al massimo le resistenze passive. E, in queste sue ricerche, è evidente l'impostazione scientifica dei suoi procedimenti. Così ad esempio è diventata famosa una figura contenuta al foglio 211 recto a) del Codice Atlantico nel quale è messa in relazione l'altezza del tiro (di un paio di buoi nel caso della figura) con l'altezza del mozzo delle ruote del



Cod. Leicester foglio 10 recto - *La caldaia a vapore con coperchio mobile.*

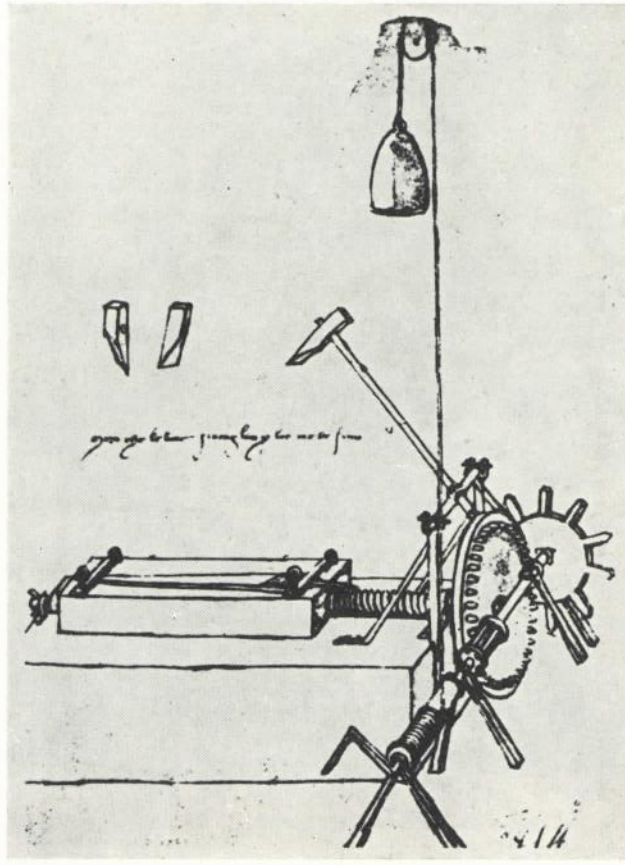
veicolo di diametri diversi. Ma ancor più sorprendente è il modo rigorosamente scientifico nel quale è impostata la questione dell'attrito, sia radente tra due porzioni di superficie piane a contatto, sia volvente sia di un qualche cosa che — forse — può farsi stare in mezzo tra i due cioè di quello che si produce su rulli o sfere o perni. Le figure con le quali Leonardo accompagna le sue elucubrazioni sono già quelle che ancor oggi si osservano in un moderno testo di Macchine nel capitolo riservato alle resistenze d'attrito. Le conclusioni poi alle quali Leonardo giunge sono già quelle che, ancor oggi, la teoria dell'attrito ci addita e possono come appresso esprimersi: La resistenza d'attrito dipende dalla natura dei materiali posti a contatto; dipende dal grado di polimento — Leonardo dice « lubricità » — delle superficie stesse; dipende dall'esistenza di una estranea materia interposta tra le due superficie e di qui tutta la gamma delle materie lubrificanti che agiscono come minutissime sferette o minutissimi cilindretti interposti; è indipendente dell'estensione della superficie comune tra i due corpi a contatto. Ed è pur vero che quest'ultima legge, quantunque soltanto in parte confermata dall'esperienza, è completamente accettata in sede teorica anche oggi. È poi veramente interessante osservare di quale perspicacia fosse lo spirito speculativo di Leonardo rivelantesi in uno specialissimo se pur importantissimo caso particolare; difatti, al foglio 132 verso del Codicetto Förster, Leonardo parla della più vistosa « confregazione di un peso al principio del suo moto » il che ci permette di riconoscere come Leonardo abbia colto il fenomeno detto dell'attrito di primo distacco. Il coefficiente d'attrito, espresso dal rapporto tra la resistenza massima di attrito generata tra due superficie e lo sforzo perpendicolare alle medesime che causa l'attrito può, anche secondo Leonardo, mutare da caso a caso, ma egli ne considera un valore medio atto anche soltanto ad impostare una prima orientazione di eventuali calcoli; e questo valore medio è per lui circa 1/4.

La naturale esiguità dell'energia a disposizione ebbe per conseguenza di spingere Leonardo verso lo studio delle macchine operatrici ed è precisamente in questo campo che il genio suo ebbe modo di splendere di più vivida luce. È notissimo il grosso argano per sollevamento e trasporto di gravi pesi come artiglierie contenuto in uno dei codici di Windsor, un completo cavafanghi ove tanto l'apparecchio escavatore come le secchie sono minutamente disegnate, il castello progettato per trasportare l'imponente statua di Francesco Sforza; ahimè il povero Duca morì, il suo quarto successore perdette il trono, la inclita schiatta Sforzesca andò in isfacelo, il castello per trasportare il monumento fu disegnato, ma il monumento non fu fuso. « Il duca perse lo stato, la roba e la libertà e nessuna cosa si fece per lui » commenta amaramente Leonardo riferendosi a Ludovico il Moro che gli aveva commesso il monumento; ma un poco colpevole di non aver fatto la « cosa » o, almeno, di non averla terminata fu anch'egli, Leonardo; fatto il modello, precisate le modalità di fondita, prescritto ogni particolare di realizzazione, il monumento aveva perso per lui quasi ogni interesse; era fatto così! La macchina per incidere lime nella quale ad un acuminato martello che cadeva sul pezzo da incidere ad intervalli regolari era affidato il movimento di lavoro, mentre ad un carrello porta-pezzi che si spostava ad ogni rialzamento del martello di « costante tratta » era affidato il movimento di alimentazione; torni di vari tipi tra i quali il modello di un tornietto da orologiaio con punta, contropunta regolabile, menabrida, volano e pedale sul tipo di quello degli arrotini per imprimere il movimento rotatorio al pezzo da tornire e un modello di tornio per fabbricare viti ove l'utensile veniva trasportato da un carrello spostato per l'alimentazione da due grosse viti dello stesso passo di quella da creare e il moto di lavoro era conferito al pezzo con velocità angolare eguale a quella dei vitoni di comando del carrello; un tornio per tornire ovale o elitticamente. Quest'ultimo tornio del quale non conosciamo bene

il funzionamento perchè la descrizione, annunciata, non ci è pervenuta, dovette essere di costruzione particolarmente delicata perchè egli la affidò ad uno dei suoi artefici da lui più vivamente apprezzato in lavori di precisione: un certo Giulio tedesco.

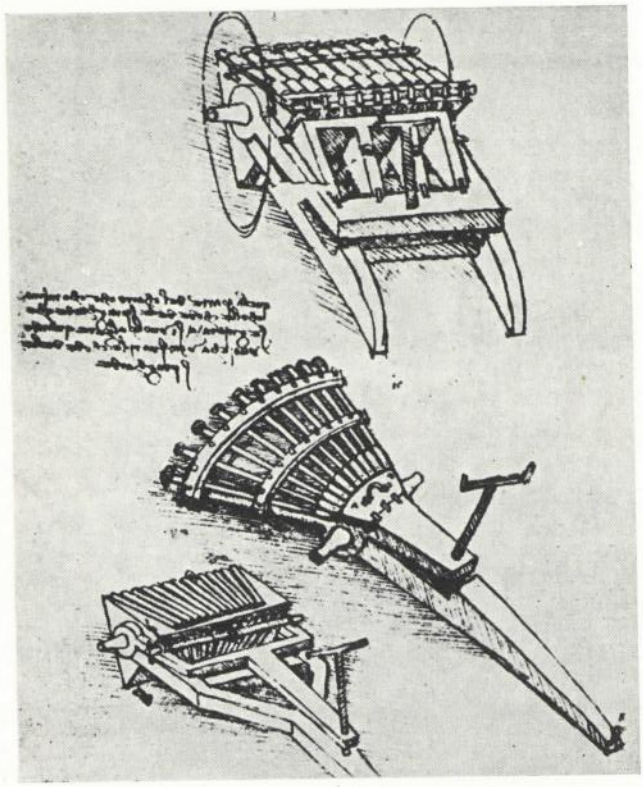
Era impossibile che Leonardo si disinteressasse dell'arte tessile; a quell'epoca, e specialmente nella sua Firenze eran chiamate nobilissime le arti della lana e della seta e le corporazioni relative erano state industrialmente e finanziariamente tanto potenti da assumere anche importanza politica eminente. Leonardo si afferma nell'arte tessile con due importanti innovazioni una nel campo della filatura, e l'altra in quello della tessitura e precisamente con l'incannaggio e con la cimatura. La prima operazione è quella indirizzata all'avvolgimento del filo su rocchetti a forma di cilindro, bombato o no, o a forma di un doppio cono con basi affacciate (C. A. 393 verso a); in questa operazione occorrono due moti: quello di avvolgimento, rapido, e quello alterno, lento, del guidafilo da sincronizzarsi col precedente nel senso che il secondo deve invertirsi dopo un determinato e fisso numero di giri nel primo. Di qui gli studi di Leonardo relativi alla conversione del moto circolare continuo in moto rettilineo alterno e viceversa. Leonardo disegna anche batterie di rocchetti (C. A. 2 verso a) che si differenziano dagli attuali « ring » soltanto per il motore. In un certo senso le batterie di Leonardo possono riguardarsi anche come le progenitrici, in parte, dei moderni filatoi automatici comunemente detti *self-acting* e dei « rings ». La cimatrice è una macchina di rifinimento, ossia, come dicono molti tecnici dell'arte, di « finissaggio » con voce barbarissima, brutta ed indigeribile; e precisamente serve a rasare i tessuti facendo scorrere su di essi una tagliente lama. La cimatrice di Leonardo (C. A. 397 recto a) era in sostanza una macchina a quattro cilindri a due a due affacciati che prendevano tra loro il panno e lo obbligavano a passare sopra i coltelli che lo rasavano. Caratteristica fondamentale della macchina era la grande precisione del lavoro e il grande risparmio di mano d'opera: un operaio in luogo di quattro o cinque. Non risulta che la macchina di Leonardo sia stata diffusa allora. Come accadde per molte invenzioni di Leonardo, anche la cimatrice fu riscoperta in Inghilterra nella seconda metà del '700 e tanta era l'economia ch'essa permetteva di realizzare in fatto di mano d'opera che le maestranze videro in essa un pericolo e si abbandonarono a proteste violente giungendo perfino ad una organizzata sommossa. La cimatrice di Leonardo fu nuovamente scoperta in America verso la fine dell'800 con relativo scandalo degli operai e relativa sommossa. E chissà che ai tempi di Leonardo proprio questo stesso motivo sia stato quello di impedire il diffondersi, in una Società immatura, di un ritrovato proposto da una mente troppo avanti rispetto ai suoi tempi.

In un'epoca nella quale l'ambizione di coloro nelle mani dei quali stavano le sorti dell'Italia continuamente percorsa dal fremito della guerra,



Cod. Atl. foglio 6 retro b - *Macchina per intagliare lime azionata da peso caduta.*

era sempre alla ricerca di nuovi mezzi di distruzione, Leonardo non poteva non essere richiesto di indirizzare il suo genio alla creazione di nuovi e sempre più micidiali strumenti di guerra. Fondamentalmente Leonardo non era un uomo di guerra, bensì un uomo di pace; giudicava la guerra come una pazzia e scriveva: « E tu uomo, che consideri in questa mia fatica l'opere mirabili della natura, se giudicherai essere cosa nefanda il distruggerla, or pensa essere una nefandissima cosa il tôrre la vita all'uomo; se questa sua composizione » — cioè la vita del corpo — « ti pare di meraviglioso artificio, pensa questa essere nulla rispetto all'anima che in tal architettura abita » nel quale brano Leonardo presenta la vita dell'uomo, animata dall'anelito e nobilitata dalla simiglianza divini, come dono supremo da custodire e da proteggere. Nel progetto e nella costruzione delle armi, Leonardo ebbe lontani ed anche prossimi precursori. Tra questi ultimi è degno di particolare menzione il già ricordato Roberto Valturio da Rimini, vissuto alla fine del 1400 che era una specie di consigliere e Maestro delle armi, ossia una specie di Ministro della guerra in miniatura, di Sigismondo Pandolfo Malatesta signore di Rimini. Il nome di Roberto Valturio rimase acquisito alla Storia in causa dell'opera di lui « De re militari », opera voluminosa in 12 libri stampata per la prima volta a Verona nel 1484 e nella quale sono disegnate macchine, attrezzi, strumenti bellici e perfino un sommergibile; tutti questi disegni ebbero evidente



Cod. Atl. foglio 56 verso a - *Mitragliatrice.*

influenza su Leonardo perchè in certi particolari i disegni di lui a quelli evidentemente si richiamano. Citeremo, tra le altre creazioni belliche di Leonardo, semplicemente i cannoncini disegnati nel C. A. al foglio 26 verso b, muniti di carrello e di dispositivi per imprimere alla bocca da fuoco la necessaria inclinazione in modo agevole e rapido, i modelli di bombarde disegnati sempre nel C. A. al foglio 1 verso a, il primo esempio di cannone a retrocarica con dispositivo d'accensione automatico a percussione ottenuto dallo scatto di una molla fortemente deformata disegnato nel C. A. foglio 1 verso b, il modello di un cannone che lancia un proiettile utilizzando la forza espansiva del vapor d'acqua disegnato nel Ms. B al foglio 33 recto, il modello di un cannone a molte canne disposte a raggiera e, occorrendo anche in diversi strati, disegnato nel C. A. al foglio 26 recto b, un apparecchio per insidia sottomarina disegnato al foglio 336 del C. A.

Sul proiettile lanciato dalla forza espansiva del vapore è interessante notare, a semplice titolo di curiosità, ch'esso è già citato in un'opera del Petrarca il quale non poteva aver avuto conoscenza nè dei ritrovati del Valturio nè di quelli di Leonardo perchè vissuto prima di loro. Nel cannone a canne multiple, denominato cannone ad organo, possiamo agevolmente ravvisare il progenitore della moderna mitragliatrice. Relativamente all'apparecchio che permetteva di lavorare sott'acqua così nel senso reale di « sotto alla superficie » come nel senso figurato di « nascostamente, insidiosamente », Leonardo comincia col dire che non vuole manifestarlo, tanto gravi dice essere i malanni ch'esso può produrre a danno degli uomini, ma poi finisce col disegnarlo al foglio sopra indicato senza dimenticare però di aggiungere, accanto al disegno, due frasi che sono tutto un programma. Una è la seguente: « Guasterò il porto »; l'altra è gravida di minaccia: « Se infra quattro ore non vi renderete, n'andrete a fondo ». E il protagonista e la causa di tutte queste belle cose è una specie di scafandro.

Non possiamo dimenticare, dacchè parliamo di guerre, di aggressioni e di terribili mezzi apportatori di morte, di ricordare, quantunque abbia poca attinenza con le macchine, se non nei mezzi per realizzarla, ossia nei trabocchetti, che Leonardo può riguardarsi come uno dei pionieri nella micidiale tecnica dei gas asfissianti. Al foglio 69 verso del Ms. B scrive: « Sia gitato infra i navili nimichi con trabocchetti chalcina e orpimento sottile e verderame in polvere e tutti quelli che nello anelito piglieranno della polvere coll'anelito si tramortiranno; ma guarda tu avere il vento che non ti mandi la polvere incontro overamente avere al naso e la bocca una sottile peza bagniata acciò la polvere non passi ». E questa « peza bagniata » è naturalmente la prima maschera antigas.

Sono noti gli studi e le esperienze di Leonardo in fatto di volo; un codicetto speciale è dedicato a questa materia. Egli appare assai più figlio di Icaro che padre dei fratelli Giuseppe e Stefano Montgolfier fabbricanti di carta ad Annonay, difatti egli si è dedicato — si può dire esclusivamente — al volo ottenuto mediante la portanza delle ali, piuttosto che a quello permesso dalla prevalenza dell'aria calda o di un gas leggero.

Ma egli è ben lungi dall'accontentarsi, come Icaro, di copiare dalla natura le forme; egli ne indaga invece il segreto, carpendo dei vari organi lo spirito e il contenuto funzionale. Non dunque le ali incollate con la cera come aveva fatto il povero Icaro, ma ben precise snodature rigorosamente disegnate ed appropriate tendinature. Egli annuncia così l'aeroplano: « Dal monte » — egli intende il monte Ceceri presso Fiesole sulle pendici del quale Leonardo, dopo il crollo della Casa Sforzesca, si era ridotto ad abitare — « che tiene il nome del grande uccello, piglierà il volo il famoso uccello ch'empierà il mondo di sua gran fama ».

L'inventore del paracadute è generalmente indicato in Fausto Veranzio nato nel 1551 a Sebenico e morto a Venezia nel 1617; era costui nipote di Antonio Veranzio diplomatico imperiale, fatto in seguito, in riconoscimento dei suoi meriti, arcivescovo di Strigonia e primate d'Ungheria e, infine alcuni giorni prima della sua morte, creato Cardinale. Per mezzo di questo potente protettore, il nipote Fausto potè dedicarsi in tranquillità ai suoi studi preferiti, cioè agli studi delle macchine pubblicando nel 1595 un trattato intitolato « Machinae novae » col quale si segnalò per anticiparvi alcune nozioni ed alcuni ritrovati relativi all'aeronautica; tutto ciò non gli impedì di fare anche una certa carriera ecclesiastica e venne difatti nominato Vescovo « in partibus ». Leonardo riprendendo scientemente o inscientemente la questione del

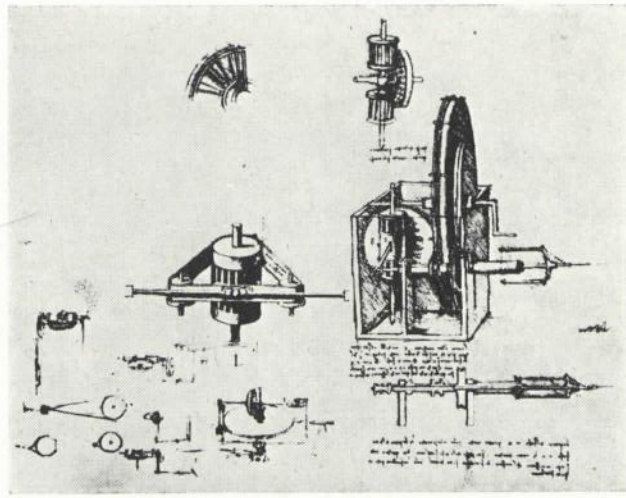
paracadute al foglio 381 verso a del C. A. scrive: « Se uno uomo à un padiglione di pannolino intasato che sia 12 braccia per faccia e alto 12, potrà gittarsi d'ogni grande altezza senza danno di sè ». Sapeva Leonardo che esistono in natura animali dotati di un vero e proprio paracadute come i così detti " pleurotteri " nei quali gli arti posteriori sono collegati alla coda da una membrana a forma di vela che l'animale può aprire stendendo ed allargando le zampe? È difficile dare risposta a questa domanda.

È invece assolutamente certa la priorità di Leonardo in fatto di elicotteri. Difatti al foglio 83 verso del Ms. B scrive: « Strumento a vite che voltato con prestezza si fa la femmina nell'aria e monterà nell'aria ». Io credo che nessuna definizione del comportamento dell'elicottero potrebbe essere più chiara e più suggestiva; possiamo dire che a Leonardo si riferirono direttamente il La Cierva autore del così detto autogiro e Vittorio Isano l'autore dell'elicogiro che furono i progenitori dei moderni elicotteri.

I disegni di Leonardo conferiscono la loro impronta a tutta la progettazione meccanica uscita nei secoli XVI e XVII cui sono particolarmente legati i nomi di Agostino Ramelli, Fausto Zonca, Gerolamo Cardano e il già ricordato Fausto Veranzio.

Agostino Ramelli nato a Ponte Tresa nel 1531 e morto nel 1600 si trovò a militare sotto il re di Francia Carlo IX nelle guerre di religione ma, nel 1572 seguì Enrico, fratello di Carlo, in Polonia dove era stato eletto ed acclamato Re. Nel '74 seguì nuovamente Enrico in Francia dove questo principe dovette succedere al fratello brevissimo tempo sopravissuto alla strage di S. Bartolomeo da lui stesso ordinata. Nel 1588 mise fuori un trattato intitolato « Diverse e artificiose macchine del Capitano Agostino Ramelli » ove descrisse un mulino idraulico, un mulino a vento, un carro da guerra anfibio, una teleferica con carrelli mobili su rotaie di legno, pompe di tipi vari a moto rotatorio e alternato. Nel 1560 si trova in Piemonte dove prende parte alle fazioni tra Francesi che occupavano ancora Torino, Chivasso, Chieri e Pinerolo, e Spagnoli che occupavano Asti e Santhià. Dalle valvole coniche disegnate da Leonardo nei manuscritti oggi conservati presso l'Istituto di Francia nascono le così dette « sopate » del Ramelli il cui termine francese (*soupape*) italianizzato altro non significava che valvola; dai « mantici senza corame » di Leonardo nascono le « ruote eccentriche dentro le sopracoperte » ossia i capsulismi delle pompe del Ramelli. Ancora dai medesimi mantici di Leonardo, dai suoi torni, dai suoi torchi, nascono le soffierie, le macchine utensili, le macchine da stampa dello Zonca; nel foglio 288 recto b del C. A. Leonardo disegna addirittura quel giunto o sospensione che poi si chiamerà cardanica; dalle sue macchine per incannare discendono direttamente quelle per la torcitura delle funi inventate dal Veranzio.

Ma se nell'opera di Leonardo dobbiamo riconoscere, com'è giusto, sviluppata o perfezionata qual-



Cod. Atl. foglio 393 - *Particolare e sezione della macchina per filare ad aletta.*

che idea di alcuni meccanici suoi predecessori, se in quelli che gli succedettero appare evidente e chiara l'influenza sua, è peraltro doveroso riconoscere che nei disegni di Leonardo è contenuta una certa qual impronta, un certo qual cachet, che rendono quei disegni caratteristici ed inconfondibili. E, quel che più conta, la maniera d'espressione tecnica leonardesca prelude all'odierno disegno d'officina.

Non vi è semplicemente rappresentata — anche chiaramente — la macchina nel suo complesso come si trova nei suoi immediati predecessori o contemporanei o immediati successori, il Kyeser, il Taccola, il Valturio, il Veranzio, il Ramelli, bensì la macchina scomposta in ciascuno dei suoi elementi con sezioni e prospetti spesso — nonostante il disordine naturale di Leonardo — messi in stretta e giusta relazione tra loro, accompagnati poi da una bella e rigorosa rappresentazione prospettica del tutto. Leonardo può dirsi essere il primo che considera la macchina come un appropriato complesso di elementi fondamentali, il che apre la via a nuove e quasi inaspettate aggregazioni, cioè a nuove macchine. Per tutti gli altri la macchina era ancora un qualche cosa di rigidamente compiuto che doveva uscire tutto dalle mani di uno stesso sia pur sperimentatissimo artefice; per Leonardo è una ben premeditata composizione di elementi particolari usciti, ciascuno, dalle mani di ben specializzati artefici, i quali possono perfino ignorare come e dove il prodotto delle loro mani andranno ad inserirsi con gli altri a formare un per loro ignoto ma certamente ben predisposto, animato organismo. È insomma già l'avvio verso quello che sarà il metodo di produzione moderna. Mentre per tutti gli altri la macchina era un complesso inscindibile di elementi come l'accordo musicale è un complesso statico più o meno gradevole di note che contemporaneamente vibrano, per Leonardo l'elemento di macchina è un qualche cosa già in se stesso transeunte, vivente, un qualche cosa che segue il suo destino nel giuoco degli accostamenti meccanici e che, ad ogni accostamento con

altri elementi, genera i più svariati organismi-macchina, come la nota, nel seguire il suo melodico cammino, genera, nei suoi accostamenti con le altre note che seguono il loro, la più varia successione di accordi. Insomma potrebbe ben dirsi che, mentre per tutti gli altri la meccanica applicata è un più o meno complesso accordo armonico di note, per Leonardo è una più o meno complessa ma disciplinata ed ordinata melodia di accordi.

A questo modo di concepire la Meccanica applicata alle macchine Leonardo potè giungere soltanto in quanto potè liberarsi dalle astruse, involute e spesso inutili polemiche tanto di moda ai suoi tempi nelle quali gli altri erano immersi ed invischiati; e ciò perchè egli fu essenzialmente un autodidatta ossia soltanto discepolo di una grande Maestra, sola capace di insegnargli i valori generali ed eterni e non semplicemente quelli fugaci e caduchi di epoche determinate o di mode imperanti o imperversanti. Egli ebbe per Maestra la Natura sola ed ad essa potè avvicinarsi in piena libertà di ragionamento e di spirito senza gli impacci di più o meno impegnative eredità o di più o meno doverosi riguardi alle esigenze dei tempi. Per questo tutta la vita e tutta l'opera di Leonardo sono un anelito nuovo e puro, una melodia che trae dalla fonte eterna donde si sprigionò il dono divino della intramontabile giovinezza, dell'attualità perenne.

Giuseppe Maria Pugno

Ausilio dei modelli nello studio del comportamento statico e dinamico delle costruzioni (*)

GUIDO OBERTI, Direttore della I.S.M.E.S. di Bergamo e Professore nel Politecnico di Torino, *ricordate le conclusioni del recente Congresso Internazionale di Venezia sui modelli nella tecnica, riassume alcune fondamentali nozioni sulla teoria dei modelli strutturali e l'evoluzione subita in Italia dai metodi sperimentali su modelli accennando — infine — ai più recenti sviluppi nel campo delle esperienze dinamiche.*

1. - *Lo scorso ottobre ebbe luogo a Venezia il « Convegno Internazionale sui Modelli nella Tecnica » organizzato dalla Accademia Nazionale dei Lincei in occasione del cinquantenario della fondazione della Società Adriatica di Elettricità.*

Il Convegno risultò imponente sia per gli intervenuti, scienziati e tecnici di ogni parte del mondo, sia per le memorie presentate riguardanti tutti i settori dell'ingegneria: dall'idraulica all'aereodinamica, dall'acustica all'elettricità. Esso venne a costituire autorevole conferma della importanza assunta dai modelli per la risoluzione dei problemi più vari interessanti l'ingegneria moderna. E ben si può col Weber, che già l'aveva pronosticato 30 anni or sono, parlare oggi di una Modell-Wissenschaft *(scienza dei modelli).*

In particolare hanno avuto in tale Convegno il primo riconoscimento quei modelli strutturali che, fecondamente impiegati da più di 20 anni per lo studio del comportamento statico di importanti costruzioni, sono ancora poco diffusi anche in Italia pur essendo noi — sotto vari aspetti — all'avanguardia della loro tecnica. Ciò probabilmente perchè, come osservava Danusso nella sua relazione generale al Convegno, rimane agli studiosi delle costruzioni un dissenso sulla fusione di due termini che dovrebbero completarsi in vicendevole armonia: la visione sintetica dell'intuito che guarda il fenomeno nell'insieme della sua obiettività fisica, e la visione analitica della scienza che, entro i confini degli schemi ideali di cui dispone, controlla, precisa ed afferma. Ne segue che alcuni, legati per tradizione a questi schemi trovino nei calcoli il riposo della perfezione logica e vi si adagino diffidando dell'intuito, mentre altri lo tengono in prima linea come strumento di ispirazione, strumento che andrà però alimentato e controllato scientificamente con l'esperienza.

Orbene le memorie sui modelli strutturali presentate al Convegno hanno certificato l'importanza che, a tal fine, ha assunto la ricerca su modelli, ed effettivamente dalla loro lettura si ha la conferma che almeno nel caso di costruzioni di particolare importanza (dighe, ponti, grattacieli) è doveroso esaminarne il comportamento — statico e dinamico — con tutti i mezzi offerti dalla scienza e quindi non solo col calcolo ma anche con ricerche sperimentali: ricerche da svilupparsi in primo luogo in laboratorio, non soltanto sui materiali ma anche sui modelli, e successivamente sulla costruzione compiuta, ossia sul modello al vero, per trarne ammaestramento alle progettazioni future.

2. - *La sperimentazione su modelli consente l'esame e la disciplina accurata delle variabili in gioco in quanto si sviluppa nell'ambiente tranquillo del laboratorio e rende la pur sempre delicata indagine sperimentale meno onerosa e meno difficile che sulla costruzione reale, sul « prototipo », che sarebbe invece — sotto altri aspetti — il modello ideale in quanto in vera grandezza.*

L'idea di ricorrere ai modelli si presenta di speciale interesse quando non si conosca la soluzione matematica del problema o quando pur conoscendola essa non consente, per l'estrema laboriosità o per la difficoltà di dare ve-

(*) Da una Conferenza tenuta presso la Società Ingegneri e Architetti di Torino il 27 febbraio 1956.

Prof. ing. dott. Giuseppe Maria PUGNO

DA DANTE A LEONARDO
SVILUPPO BICENTARIO DEL PENSIERO SCIENTIFICO

CONFERENZA TENUTA NELL'AULA MAGNA DELLE
SCUOLE DI APPLICAZIONE D'ARMA IL 18 FEBBRAIO 1959

Prof. ing. dott. Giuseppe Maria PUGNO

DA DANTE A LEONARDO
SVILUPPO BICENTARIO DEL PENSIERO SCIENTIFICO

CONFERENZA TENUTA NELL'AULA MAGNA DELLE
SCUOLE DI APPLICAZIONE D'ARMA IL 18 FEBBRAIO 1959

Una recente disposizione del Generale Comandante di queste Scuole di Applicazione d'Arma, tra gli scopi dell'insegnamento, ne indicava particolarmente due: contribuire alla formazione spirituale degli Ufficiali allievi e assicurare le basi della loro preparazione culturale nei vari campi: scientifico, militare, umanistico.

Desiderando di volonterosamente aderire a queste disposizioni, ho manifestato il proposito di offrire il mio povero contributo, già sotto il primo dei tre indicati aspetti - lo scientifico - giornalmente conferito, anche sotto il terzo: quello umanistico. Alla attuazione di questo proposito fui confortato inoltre dalla speranza di riuscire in qualche modo a rendere anche Loro, signori Ufficiali che mi ascoltate, partecipi di quella viva letizia che viene donata a colui che si avvicina ai fenomeni naturali, quali sono quelli oggetto dei nostri studi e delle nostre sollecitudini, con spregiudicatezza rigorosa, ma sincera, pura, onesta, con riconoscenza verso la Natura che, alle volte, quasi in benevola comprensione, quasi in generoso compenso apre i suoi segreti più reconditi con ammirato stupore per le naturali leggi che spesso straripano oltre i limitati confini entro i quali uomini dall'occhio miope, ma ancor più dal cuore freddo, le ritengono costrette. Ossia con spirito - diciamo pure la parola - umanistico. Non già di quell'Umanesimo conchiuso semplicemente e puramente in una riesumazione formale di classiche espressioni e maniere, di un Umanesimo deteriore alla Bracciolini, o alla Valla, o alla Platina, o alla Cortese gente che avrebbe scambiato tutti i tesori della Scienza e della Dogmatica con il ritrovamento di una orazione di Cicerone non prima nota, o, peggio, alla Beccadelli il quale non du-

bitò servirsi degli ornamenti letterari per coonestare pensieri fallaci o sentimenti impuri, ma di un Umanesimo di spirituale sostanza e quindi veramente degno di questo nome quale fu annunciato da un San Tommaso e da un Dante Alighieri, costruito da un Tommaso Parentuccelli, da un Enea Silvio Piccolomini, da un Giuliano della Rovere per citare soltanto coloro attorno ai cui trono gli altri si raccolsero, perfezionato da un Leonardo, come strumento convertitore degli ormai informi ruderi del Medioevo nella meravigliosa costruzione rinascimentale.

E poichè l'Umanesimo, che rinnovò, trasformandolo fin nelle sue impostazioni, il pensiero scientifico in quei duecento anni che vanno dal '300 al '500, inizia, si può dire, la sua missione con il fantasioso viaggio di Dante nel regno ultraterreno e trionfa già saldamente affermato e vigorosamente operante negli ultimi anni di vita di Leonardo, Dante può riguardarsi come il punto di partenza e Leonardo come il punto d'arrivo di quel tanto prestigioso processo.

Scipione Dal Ferro, Luca Pacioli, Gerolamo Cardano, Niccolò Tartaglia, Luigi Ferrari che onorarono le matematiche; Realdo Colombo e Andrea Cesalpino, i fondatori della biologia moderna; Giovanni Musa Brasavola e Giovanni Manardo, i creatori della moderna botanica; il Cardinale Bessarione, Gherardo da Cremona e Giovanni Campano i quali riesumarono le antiche conoscenze dando materia e spunto a nuove conquiste e utilizzando i contatti con l'Oriente riallacciati dal Concilio di Ferrara - Firenze - Roma per l'unione tra latini e greci; Cristoforo Colombo e Amerigo Vespucci, i colossi della Cosmografia che le altre Scienze sa alimentare e promuovere, non sono tutti forse figli dell'Umanesimo e, approssimativamente o rigorosamente contemporanei di Leonardo?

Dante, assiomatico, tradizionalista, assoluto, dogmatico, asciutto, ottimate del pensiero, conchiude in sè le conoscenze umane al tramonto del Medioevo; la sua patria, la sua famiglia, la sua posizione sociale, i suoi studi gli dettero tutto quanto a que' tempi potevano dargli, sí che fecero di lui il prezioso e completo scrigno delle conoscenze dell'epoca. Leggeremo il pensiero di Dante aprendo qua e là soprattutto la «Divina Commedia», il «Convivio» e la «Questio de acqua et

terra»; più raramente il «De vulgari eloquentia» e il «De Monarchia».

Leonardo, plebeo, spregiudicato, incredulo, venuto al mondo da una distrazione di Ser Piero da Vinci «notaro al Palagio del Podestà» a Firenze - ma per questa distrazione i Posteri, giudicandone gli effetti, concederanno volontieri al signor «notaro» le circostanze attenuanti e altrettanto volontieri gliele abbia concesse Iddio - nulla sa e nessuno lo ammaestra. Ma ha la fortuna d'essere assunto, poco più che bambino, nella Bottega d'un grand'Uomo - il Verrocchio, scultore e pittore - e quella ancor più preziosa di possedere innumerevoli e rare doti ed in sí eminente grado che una sola d'esse sarebbe bastata a farlo ammirare per sempre. Questa sua capacità lo fa sensibile a tutte le cose che lo circondano e le leggi naturali cui quelle cose ubbidiscono sa penetrare nel loro intimo; presto ne sarà ammirato, e poi rapito dalla loro rigorosa perfezione, dalla loro inderogabilità, dalla loro gerarchia organica(dalla loro gerarchia organica) dalla loro generalità, dalla loro eternità; e, dalla conoscenza delle leggi a quella del loro divino Fattore passando, giungerà faticosamente ma fatalmente e carico di un enorme fardello di notizie e di concezioni nuove e, pur essendo l'aggettivo fin troppo malmenato, oso dire, rivoluzionarie, là dove Dante, pur privo di quel prezioso corredo, già si trova; là dove si conosce Dio.

Faremo parlare Leonardo sfogliando qua e là il copioso e disordinato materiale raccolto nelle sue opere: il Codice «Atlantico», il codice maggiore, consegnato dal Maestro al discepolo Francesco Melzi, messo assieme da Lelio Gavardi maestro di umanità in Casa Melzi, ereditato da Pompeo Leoni, lo scultore delle statue dei sepolcri dell'Escuriale, e da Cleodoro Calchi, lo storico, comprato dal Conte Arconati, illustre bibliofilo, ricevuto in dono dal Cardinale Federigo Borromeo, il fondatore della «Ambrosiana» che appunto in questa biblioteca lo deporrà; i codici detti «Arundelliano» e di «Windsor» fogli staccati dall'Atlantico e forse venduti dal Leoni, durante il suo soggiorno spagnolo, direttamente o indirettamente al più grande incettatore di roba vecchia di tutti i tempi, l'inglese Tommaso Howard, conte di Arundel che li portò in Inghilterra dove sono tuttora; il codice «Trivulziano» preso a prestito dal Conte Arconati dalla biblioteca Ambrosiana e poi non più restituito ma sostitui-

to con altro; il Codicetto sul volo degli Uccelli bravamente asportato dalla biblioteca dell'Istituto a Parigi da Giacomo Libri, acquistato poi dal conte Giacomo Manzoni e dai due bibliofili Teodoro Sabachnikoff ed enrico Fatio e da essi donato alla Regina Margherita che lo depositò nella Biblioteca reale di Torino dove tuttora di trova; infine codicetti e manuscritti vinciani conservati in vari luoghi e particolarmente a Parigi ove furono portati in seguito alla razzia napoleonica dopo la campagna del '96 e non più restituiti alla « Ambrosiana ».

*

* *

Dante osserva la Natura sotto le fattezze di un meraviglioso assioma da accettarsi come opera e dono di Dio. Egli dice:

« Tu troverai
che l'arte vostra quella (cioè la Natura) quanto puote
segue come 'l Maestro fa il discente;
sí che vostr'arte a Dio quasi è nepote »
(Par. XI 102);

ma già ha fatto dire a Beatrice:

« le cose tutte quante
hann'ordine tra loro; e questo è forma
che l'Universo a Dio fa simigliante »
(Par. I 103)

Nulla lo indispone di più di coloro che si rifiutano di accettare senz'altro l'ordine, l'armonia; i principi naturali; a questo proposito cita alcune parole del suo caro Aristotile:

« Contra quelli che nega li principi disputar non conviene »

ma egli non fa come questo suo Maestro che guarda e passa, sprezzante: egli invece si ferma, ma per perdere addirittura le staffe ed aggiunge:

«E di questi cotali sono molti idioti che non saprebbero l'a. b. c. e vorrebbero disputare in geometria, in astrologia e in fisica»
(Conv. 4-XV-16).

Non fa dunque stupire che Dante, sulle orme di Aristotile, consideri dapprincipio l'esperienza come un complemento utile, consigliabile a meglio definire le modalità con le quali i fenomeni naturali si manifestano o per chiarire altri fenomeni o pensieri o concetti che ad altri più semplici si richiamino o a più noti s'informino. Cosí egli si sofferma, trattenuto dalla irresistibile forza del suo desiderio di osservare, ed animato da quella soave della sua arte, a descrivere

«i fioretti chinati e chiusi dal notturno gelo»
(Inf. II 127)

che gli servono tanto bene ad esprimere un moto dell'animo, o lo

«stizzo verde ch'arso sia»
(Inf. XIII 40)

che gli serve altrettanto bene ad esprimere un supposto fenomeno fisico. Ma presto Dante si corregge per riconoscere nel fatto sperimentale che la Natura produce e l'Uomo riproduce, non soltanto il valore quasi statico della definizione, bensí anche quello, quasi dinamico, produttivo, della applicazione; e; giunto al secondo Canto del Paradiso, ammette:

«Da questa instanza può deliberarti
esperienza, se mai la pruovi,
ch'esser suol fonte ai rivi di vostr'arti».
(Par. II 94)

Ma v'è di più; Dante finisce per non escludere il controllo, la critica sperimentali; finisce per accettare il dubbio purchè costruttivo e

fecondo; finisce per riconoscere che qualsiasi legge scientifica può essere sottoposta al tribunale dell'esperienza al fine di venir controllata, selezionata, meglio definita nel suo impostarsi e nel suo attuarsi. Egli dice del dubbio scientifico:

«Nasce a guisa di rampollo, a piè del vero».

(Par. IV 130)

Per la verità qui, Dante è già ben lontano da Aristotile e s'inspira a S. Tommaso per il quale:

«Il dubbio buono e fecondo, quello che viene da istinto di Natura e che serve all'ascensione dell'anima umana, è il dubbio che nasce ai piedi del vero ed è germe di quello».

Leonardo par faccia il cammino inverso; egli parte proprio dall'esperienza cui dapprincipio riconosce un valore applicativo, direi utilitario e chiaramente lo dimostrano le sue numerose invenzioni in tutti i vari campi del sapere; dal cannone a retrocarica al girarrosto mosso dalla forza ascensionale dell'aria riscaldata dallo stesso fuoco che cuoce lo arrosto e infinite altre delle quali facciam grazia a chi tanto benevolmente ci ascolta perchè non intendiamo ridire ciò che altri ripetutamente ridisse. Ma Leonardo non tarda a riconoscere all'esperienza il valore speculativo nella ricerca affannosa, assillante delle leggi generali delli «principia» dai quali Dante partí; è noto a tutti che egli si proclama:

«Discepolo dell'esperienza»

(Cod. Atl. 119 v.a)

la quale è:

«Comune madre di tutte le scienze ed arti»

(Cod. Atl. 221 v.d).

Ma tanto è radicata in lui l'idea che l'esperienza serva essen-

zialmente alla ricerca della ragione dei fatti, che essa perde, per lui, molto del suo interesse quando tal ragione sia per avventura già nota e non dubita d'affermare:

> «Nessun effetto in Natura è senza ragione: intendi la ragione e non ti bisogna l'esperienza».
>
> (Cod. Atl. 147 v.a)

Ma, affinchè l'esperienza raggiunga davvero lo scopo di scovrirla legge, è necessario ch'essa sia, come diciamo noi oggi, probativa, ossia rispecchi davvero il fenomeno che vuol riprodurre, che non sia influenzata da altri fenomeni concomitanti che soffochino il principale, che sia eseguita su materia appropriata e con procedimenti a Natura fedeli.

> «Chi si promette dall'esperienza quel che non è in lei, si discosta dalla ragione»
>
> (Cod. Atl. 299 r.b)

Per es. si rimane impressionati dalla precisione, quasi meticolosità con la quale Leonardo descrive la prova - oggi diremmo: impartisce le prescrizioni tecniche per la prova - diretta a misurare la consistenza di una pasta precorrendo l'attuale prova di presa sui cementi detta anche prova di Vicat (Man. A 47 c); oppure la prova di trazione:

> «E fa più volte questa pruova; e questa pruova farai di ciascun metallo, legnami, pietre, corde ed ogni cosa che sia atta a sostenere; e fa di ciascuna cosa regola generale».
>
> (Cod. Atl. 82 r.b)

Quella regola generale - la legge - che sta sempre nei desideri di lui. E in tutta la cura che Leonardo pone nel definire le modalità d'impostazione e di esecuzione dell'esperienza facilmente si scorge nascere quella metodologia cui dovrà in eterno legarsi il nome di Galileo Galilei.

Nei modi di procedere della Natura, Dante riconosce giustamente che nessuna parte ha il caso ma che essa agisce secondo un ben preciso magistero ed una rigorosa gerarchia conseguenziale: egli osserva:

«Causa prima est magis causa»

(Epist. XIII 56)

«Quanto causa est universalior, tanto magis habet rationem causse»

(De Mon. 1-XI-17)

«Cum Natura semper faciat et velit quod melius est»

(Quest. 28).

Leonardo aggiunge qualche cosa alla precisazione di questo «melius» ed afferma:

«Ogni cosa è generata dalla Natura nel più brieve modo che trovar si possa»

(Cod. Atl. 112 v«a)

«Nessuna azione naturale si può abbreviare»

(Cod. Atl. 112 v.b)

«Ogni azione naturale è fatta da essa Natura nel più brieve modo e tempo che sia possibile»

(Man. D 4 r).

Le scienze fisiche moderne hanno ulteriormente precisato questo «melius» di Dante e questo «più brieve modo» d'agir della Natura di Leonardo, nei quali è già implicitamente ma indubbiamente contenuta una condizione di limite. Per es. quando i solidi subiscono deformazioni per effetto di forze esterne, queste deformazioni avvengono in modo che i solidi assorbono il minor lavoro possibile. Questa proprietà è conosciuta nell'Elasticità con la denominazione di Teorema di Menabrea,

perchè fu proprio questo famoso generale del Genio - l'assediatore di Ancona e di Gaeta sul crepuscolo dei Borboni napoletani e diventato poi Marchese di Valdora, ministro, Presidente dei Ministri e Senatore - ad enunciarlo nel 1857 in una sua celebre memoria letta all'Accademia delle Scienze di Torino.

Nelle Matematiche, Dante sa sovrapporre al concetto aristotelico inspirazioni che stanno già più avanti dei suoi tempi. Egli raffigura la Aritmetica - l'Arismetica - com'egli dice - al Sole perchè l'occhio non lo può mirare. Questo concetto è spiegato da Dante stesso; la proprietà di abbagliare, egli dice,

> «ancor si vede nel numero ... chè l'occhio de lo 'ntelletto nol può mirare; però che 'l numero, quand'è in sè considerato è infinito e questo non potremo noi intendere».
>
> (Conv. 2-XIII-15)

E si noti il valore della precisazione: «Quand'è in sè considerato» perchè quando è messo al servizio di un fatto naturale per esprimerlo, definirlo, valutarlo, misurarlo, divien partecipe necessariamente della limitatezza propria al fatto naturale stesso. Cosicchè l'uomo, che pur è capace di accettare l'idea dell'infinito in causa della sua divina generazione, non può, in causa della sua umana costituzione, nè maneggiare nè operare sull'infinito o sul numero, quando questo non sia collegato, mi si permetta di dire «incollato», al caso pratico ben definito in quel più o meno piccolo intorno nel quale l'uomo respira, vive, s'agita, s'affanna e s'arrovella e riesce finalmente - presto o tardi, bene o male - a dominare o ad adattarsi.

In fatto di Geometria, convien dirlo, Dante e i suoi Contemporanei fanno una ben meschina figura; colpa loro? E chi oserebbe affermarlo, quando tutta la letteratura specifica si era sprofondata nel mare dell'oblio medioevale dal quale poi il Rinascimento avrebbe dovuto a pezzi ripescarla? Dante, in fatto di Geometria piana non conosce che

il cerchio e la retta che, del resto, è il cerchio di raggio infinitamente grande; in fatto di Geometria solida non conosce che la sfera ed il piano che, del resto, è la sfera di raggio infinitamente grande. Eppure quali ricchezze in fatto di elementi geometrici e, in particolare, di curve algebriche e trascendenti avevan possedute le due Grecie!

Di strumenti geometrici, Dante non conosce che la riga, necessaria a tracciare la retta o meglio un segmento di retta e il compasso, necessario a tracciare il cerchio. Per verità conosce anche il quadrante che risulta dalla «lista», cioè dalla retta, e dal settore quadrato cioè dal cerchio; egli ne fa menzione quando vuol far intendere la ripidità di una salita:

«Lo sommo er'alto che vincea la vista;
e la costa superba più assai
che da mezzo quadrante a centro lista».

(Purg. IV 40)

Per Dante la Geometria è la Scienza che traduce la perfezione; egli dice che è bianchissima in quanto è:

«senza macula d'errore e certissima per sè e per la sua ancella che si chiama Prospettiva».

(Conv. 2 - XIII - 25)

Tanto che, per esprimere l'impossibile, ricorre alla negazione di qualche proprietà geometrica; che un angolo inscritto in un semicerchio ad es. non sia retto:

«O se del mezzo cerchio far si puote
triangol sí che retto non avesse»

(Par. XIII 101)

o che un triangolo possa possedere due angoli ottusi:

«Come veggion le terrene menti
Non capere in triangolo due ottusi»:

(Par. XVII 14)

E' poi merito specialissimo di Dante l'aver riconosciuto che la impossibilità della quadratura del cerchio

- «lo cerchio per lo suo arco è impossibile a quadrare perfettamente» -

(Conv. 2-XIII-27)

e la incommensurabilità del cerchio rispetto al diametro

- «Quel è geometra che tutto s'affige
per misurar lo cerchio e non ritrova
pensando quel principio ond'egli indige» -

(Par. XXIII 123)

sono l'una cosa conseguenza dell'altra.

I duecento anni che sono passati dal '300 al '500 non hanno tolto nulla allo splendore che Dante riconosceva alle Scienze matematiche, ma l'han fatto più vivo. Leonardo non soltanto vede nel processo matematico il solo ed unico mezzo per raggiungere la soluzione esatta

- «Chi biasima la somma certezza della Matematica si pasce di confusione ... la matematica porrà silenzio alle contradizioni delle sofisiche scienze con le quali si impara un eterno gridore» - ,

(Cod. R 1157)

ma riconosce anche che la matematica offre il potente suo aiuto a qualunque scienza estendendo di questa meravigliosamente possibilità e dominio ed afferma che la

«proporzione non solamente nelli numeri e misure fia ritrovata,ma etiam nelli suoni, pesi, tempi e siti e 'n qualunque potentia si sia».

(Codice K 49 r)

Ma appunto per questo Leonardo non gradisce la matematica sem-

plicemente come puro esercizio di astrazione e addita invece il suo alto valore applicativo al servizio dei problemi naturali di qualsiasi tipo ed in tutti i campi del sapere. Parlando della Meccanica dice che essa rappresenta il

> «Paradiso delle scienze matematiche perchè in quella si viene al frutto»
>
> (Cod. Atl.

quel frutto che è l'autentica e concreta metà dell'Uomo affannato nel vivere. Insomma, in Leonardo è già vivo il concetto moderno secondo il quale i procedimenti matematici, più o meno complessi ch'essi siano, non sono che un mezzo - meraviglioso, invero ma mezzo - per economizzare il pensiero, non già per creare il pensiero. La Matematica invero, in sè non ha mai creato nulla, nè crea nulla, nè creerà nulla in eterno; essa è invece una potentissima luce che illumina la via che conduce da una verità ad un'altra sua conseguenza; è insomma una trasformatrice, una sublime trasformatrice che sa trarre da un germe invisibile, quasi da un seme nascosto, resultati spesso inaspettati ed impensabili, alle volte con sorprendente poca fatica. E, come tale, la Matematica non è ancora stata - e forse non lo sarà mai - sbalzata dal suo trono.

Piuttosto che ricordare l'enorme corredo geometrico del quale Leonardo è già venuto in possesso, soffermiamoci un istante su un semplicissimo concetto. Consideriamo, cioè l'esattezza con la quale Leonardo, perfezionando un pensiero già espresso da Dante, colpisce giusto nel cogliere la differenza tra l'interpretazione astratta e quella concreta di un medesimo termine: cioè tra il «punto geometrico» o «matematico» e il «punto materiale». Del primo egli dice:

> «E' quel che non ha mezzo e i cui termini sono il nulla»
>
> (Cod. Atl. 91 v.a)

> «E' solo in sua generazione e non ha altezza, lunghezza, larghezza»
>
> (Cod. Atl. 132 r.b)

«E' il luogo senza occupazion di luogo»;

(Cod. Atl. 176 v.c)

«E' il contatto di un corpo sferico con un piano»;

(Cod. Atl. 176 v.d)

«Non ha mezzo ma lui è esso mezzo e i suoi termini ricadono in lui»;

(Cod. Atl. 289 r.a)

Aggiunge ancora - e qui con Dante - che il punto matematico non è divisibile. Del punto materiale egli dice invece che è divisibile in infiniti punti.

Che strano ma suggestivo modo d'affrontare un problema di qualità, riguardandolo come un problema di quantità ma esacerbato al limite! Il punto matematico è un punto non divisibile affatto; quello materiale è divisibile infinitamente; per esser due cose, nel rispetto quantitativo, infinitamente distanti, sono nel rispetto qualitativo, di natura diversa. Cosí un cubo potrà essere tagliato in numerosissime fettine il cui insieme non diverrà mai una superficie, in quanto il loro spessore sarà piccolissimo, ma non nullo; mentre un'area, per es. una delle facette del cubo avendo spessore nullo, non potrà dar presa ad una pur sottilissima lama ideale che tenti ulteriormente sfogliarla. Cosí il cubo ammette in grado infinito una proprietà che l'area ammette in grado nullo;per ciò il cubo e la sua faccetta sono qualitativamente diversi,di natura diversa, sono inconfrontabili, sono insommabili, difatti l'uno è un volume e l'altra una superficie.

Relativamente al moto dei gravi, Dante mantiene ancora idee tradizionaliste, stranamente mescolate, però, a concetti del tutto moderni; invero, dopo d'aver accettata la definizione classica di corpo pesante - che è quello che naturalmente tende a sollevarsi - (e qui ripete forse le parole del suo Aristotile,

«Grave et leve sunt passiones corporum simplicium, que moven-

tur motu recto; et levia moventur sursum, gravia vero deorsum»,)
(Quest. 25)

non soltanto riconosce la rettilinearità della traiettoria dei corpi cadenti semplicemente per il proprio peso, ma avverte - e questo è particolarmente degno di nota, - che i concetti di pesantezza e leggerezza sono del tutto relativi, in quanto un pezzo di sughero, ad es. nella aria cade e quindi, secondo la definizione, sarebbe un corpo pesante; mentre nell'acqua sale e quindi sarebbe un corpo leggero. Per questo motivo, si sente in dovere di aggiungere, nel medesimo luogo:

«Diversa ratio gravitatis erit in acqua et in terra - ossia nell'acqua e sulla terra, cioè nell'aria - et cum diversitas rationis cum identitate nominis equivocationem faciat ... sequitur quod gravitas equivoce predicetur».
(Quest. 25)

Per evitare dunque l'equivoco che deriva dalla diversita' di comportamento non avvertita dalla uniformità del modo di dire, occorre riferire i corpi che si considerano all'ambiente nel quale essi si trovano.

La Scienza del moto si trasmette da Dante a Leonardo senza sostanziali progressi; ma quando Leonardo se ne appropria, non soltanto assume le fattezze di una Scienza organizzata e definita, ma rivela già atteggiamenti tanto avanti con i tempi da venir spesso attribuiti a posteri di Leonardo.

Ecco già la prima legge della Dinamica:

«Ogni moto attende al suo mantenimento, ovvero: ogni corpo mosso sempre si move in mentre che la impressione de la potenzia del suo motore, in lui si riserva»;
(Cod. R. 859)

veramente qui fa già capolino il principio della conservazione dell'energia. Ed ancora:

«Ogni moto naturale è continuo (e) desidera conservare suo corso per la linia del suo principio».

(Codice F. 74 v.)

Ma Leonardo si presenta davvero come un antesignano proprio laddove, avendo Aristotile falsamente insegnato, Dante s'arresta dubbioso e tace: nella definizione dinamica della forza, ossia davanti alla seconda legge della Dinamica. La forza d'inerzia non dipende, come si credeva dapprima, dalla velocità del corpo, bensí dalla variazione di tal velocità, ossia da ciò che oggi noi denominiamo accelerazione. Egli dice della forza:

«Sempre si contrappone ai desideri naturali, costringe ogni corpo a mutazioni di forma, vive per violenza e muore per libertà»;

(Cod. Atl. 302 v.b.)

Ma poichè Leonardo non è uomo da lasciar le cose a mezzo, esaspera, pur di spiegarsi bene, le cose e si intrattiene a considerare il fenomeno che, ai suoi fini, è, tra tutti, il più espressivo: il colpo, l'urto. Qui invero la velocità del corpo urtante che si porta in un tempo brevissimo, nel tempo cioè per il quale dura l'urto, dal valore ch'essa aveva prima dell'urto al valore nullo, passando cosí dalla massima libertà alla massima costrizione soggiacendo quindi a violenza, subisce una accelerazione (in questo caso una accelerazione negativa cioè una decelerazione) teoricamente infinita, praticamente vistosa. Ne consegue che vistoso ne sarà pure l'effetto, cioè la forza d'inerzia.

«Nessuna cosa fia più brieve nè di maggior potentia».

(Cod. Atl. 270 v.)

La terza ed ultima legge della Dinamica - quella detta della azione e della reazione - è già chiaramente espressa da Leonardo:

«La forza della cosa - egli dice riferendosi ad un corpo, ad una cosa moventesi nell'aria - contro l'aria è tanta quanto l'aria con-

tro la cosa».

(Cod. Atl. 381 v.a)

Ecco ancora l'anticipazione che egli, novello Aristarco di Samo, il quale fin dal 250 a.C. si dichiarava per la teoria eliocentrica fa di quella che sarà la gloria attribuita a Copernico:

«Centro del mondo è immobile per sè, ma il sito dove si trova è sempre in moto»;
Dunque rotazione ma anche cammino lungo un'orbita.

(Cod. Atl. 102 r.b.)

«Come la terra non è nel mezzo del cerchio del sole nè nel mezzo del mondo ... questa nostra Terra parrebbe e farebbe offizio, tal quale fa la luna a noi».

(Cod. F. 25 v.)

Dunque già per Leonardo la terra è un satellite.

Nel codicetto sul volo degli uccelli conservato presso la biblioteca reale di Torino, a pag. 13, sul recto, si leggono le seguenti parole con le quali Leonardo dice di immaginare di forare la terra secondo un diametro, scavando cioè un pozzo che la traversi tutta da un antipodo all'altro, e di gettare in quel pozzo un corpo come una pietra:

«E se possibile fussi dare un diametro d'aria a questa sfera della terra, a similitudine d'un pozzo, e per esso pozzo si lasciassi cadere un corpo grave; ancora che esso corpo si volessi al centro fermare, l'impeto sarebbe quello che per molti anni glielo vieterebbe».

(Cod. Volo degli Ucc. 13 r.)

Quante cose si affacciano alla mente del meccanico moderno! Forza d'inerzia, moto armonico, oscillazione e oscillazione smorzata; sí, perchè se non esistesse lo smorzamento derivante per es. dalla resistenza dell'aria - un diametro d'aria, Leonardo scrisse - egli non a-

rebbe precisato: per molti anni; bensí: per sempre!

E non soltanto nella Dinamica generale, ma anche nel campo stesso nel quale Galileo raccolse i maggiori allori, Leonardo precorre il grande Fisico pisano. Spesso mostra di accorgersi che le clessidre ogli orologi ad acqua - i soli allora usati - non gli permettono quella misura esatta del tempo che le sue ricerche esigono; donde la necessità di studiare nuovi congegni per la misurazione del tempo. A questo scopo escogita il bilanciere e, a quanto appare da alcuni schizzi disegnati nel Codice Atlantico come da alcune osservazioni sulla relazione tra le oscillazioni pendolari ed il tempo pure in quel codice contenute, sembra ormai fuori dubbio ch'egli abbia, almeno, pensato ad utilizzare il pendolo come scappamento regolabile.

In fatto di volo, Dante e Leonardo sono più figli di Icaro che Padri dei Fratelli Giuseppe Michele e Stefano Montgolfier fabbricanti di carta in Annonay. Invero ambedue hanno pensato a realizzare il movimento nell'aria - la navigazione aerea, diciamo noi - mediante la sostentazione ottenuta con la reazione dell'aria sull'ala e non hanno affatto pensato, come credo se non sbaglio, a realizzarla mediante la sostentazione col mezzo più leggero, aria calda o gas adatto.

L'aquila dalle penne d'oro che nel sogno dantesco prende la figura reale di Lucia:

- «con l'ali aperte ed a calare intesa» -

(Purg. IX 20)

e le colombe che

- «dal disio chiamate,
con l'ali alzate e ferme, al dolce nido
vengon per l'aer dal voler portate» -

(Inf. V 82)

possono riguardarsi come le poetiche annunciatrici del volo e, si noti, del volo a vela; con l'ali alzate e ferme; chè se l'ali sbattessero, avrebbero anche funzione di propulsione.

Io credo che Dante volesse scherzare un poco quando si pose a descrivere la sua discesa dal settimo all'ottavo cerchio in groppa a Gerione, il quale invece sbatte bravamente le ali

«e con le branche l'aria a sè raccolse» - ;

(Inf. XVII 105)

vi si legge difatti la preoccupazione non soltanto di Dante, che al pensiero di dover fare un viaggetto come quello divien pallido come colui che ha la febbre quartana - è lui che lo dice - ; ma anche quella di Gerione preoccupatissimo ed impacciatissimo bestione che, dovendo questa volta portare un peso che è davvero un peso - le anime dannate non pesano - non sa bene come la andrà a finire.

La descrizione dantesca mi ricorda quando , bimbo di pochi anni, venni portato a vedere uno dei primi tentativi di volo nella piazza d'armi - il Campo di Marte - della mia nativa Firenze; c'erano i Fratelli Wright i quali, con un apparecchio o meglio con un trabiccolo tutto ali, alette, fili, tenditori e con un bel seggiolino sporgente in avanti sul quale stava appollaiato l'eroico trasvolatore dei cieli, facevano al cospetto di 250.000 fiorentini attoniti e trasecolati , dei voletti di qualche metro riuscendo perfino a passare sopra ad un asinello che, fermo nel prato, non degnava d'uno sguardo il nuovo Gerione che lo sorvolava come il carducciano suo confratello, quello del cardo rosso e turchino.

Che a fondamento della Scienza del volo stia la Dinamica dei fluidi, è indicato chiaramente in un passo di Manuscr. E:

«Per dare vera scienzia del moto degli uccelli infra l'aria è necessario dare prima la scienzia dei venti, la quale proverem mediante moti d'acqua in se medesima.

E questa tale scienzia sensibile farà di sè scala alla cognizione de' volatili infra l'aria».

(Man. E 54 v.)

L'Aerodinamica è dunque la propedeutica dell'Aeronautica; verità fuori d'alcun dubbio che dà ordine e disciplina alle moderne teorie del volo. E perchè Leonardo vuol prima studiare il moto nell'acqua? Manifestamente per due motivi. Prima di tutto perchè il fenomeno dell'equilibrio dinamico di un corpo che si muove nell'acqua vi può essere seguito anche per velocità basse in causa della maggior densità dell'acqua. Allo stesso artificio ricorrerà più tardi Galileo che, con lo studiare il moto dei gravi correnti lungo un piano inclinato, anzichè liberamente cadenti, rallenterà il fenomeno del loro moto, cioè lo diluirà nel tempo permettendo non a tutta l'accelerazione di gravità ma ad una sua componente soltanto di agire. Il secondo motivo per il quale Leonardo suggerisce di analizzare prima il moto nell'acqua, consiste nel fatto per il quale l'acqua non è compressibile ed il fenomeno risulta più semplice. Invero la sostentazione dovuta alla reazione dell'aria e la penetrazione in essa possono essere studiate sia non tenendo conto, sia tenendo conto - e ciò costituisce un avvicinamento alla realtà tanto più necessario quanto la velocità del volante raggiunga alti valori - della compressibilità dell'aria. Quanto su questo argomento il nostro Leonardo dice è meravigliosamente profondo.

> «L'aria con più velocità di mobile è percossa, con maggior somma di se medesima si condensa ... E per questo, essendo l'aria corpo atto a condensarsi in se medesima, quando essa è percossa da moto di maggior velocità che non è quella della sua fuga, essa si prieme in se medesima».
>
> (Cod. Atl. 77 r.b)

Ciò avviene davanti al mobile; dietro, ove l'aria non fa a tempo a riempire lo spazio lasciato libero dal mobile che fugge, si rarefà.

Importante è poi l'osservazione che la sostentazione non deriva dalla velocità assoluta del volante bensí dalla velocità relativa di quello in seno all'aria e poichè tal velocità sarebbe la medesima qualora si tenesse fermo il volante e si facesse muovere soltanto l'aria in senso contrario, Leonardo si presenta come il primo uomo che abbia avuto il concetto di quella che oggi vien denominata la «galleria del vento» o

«galleria aerodinamica» nella quale precisamente si immerge il modello dell'apparecchio fermo in seno alla corrente d'aria mobile.

> «Ma quando l'uccello si trova infra 'l vento, esso po' sostenersi sopra di quello senza battere l'alie, perchè quello offizio che fa l'alia contro l'aria, stando l'aria senza moto, tal farà l'aria mossa contro l'alie, essendo quelle senza moto.»
>
> (Cod. Atl. 77 r.b)

La convergenza di Dante e di Leonardo alla stessa mèta - la perfezion della dottrina in cui i confini tra l'arte e la scienza svaniscono quasi a ricordare la unicità della divina fonte dalla quale e la arte e la scienza direttamente derivano - l'uno per la via dei principi rivelati, l'altro per quella della ragione controllata, si fa assai più chiara e suggestiva quando si considerino questi due grandi uomini di fronte alla luce ed ai suoi problemi.

Di fronte alla luce il Poeta assume anche atteggiamenti scientifici; lo scienziato, penetrando sempre più nella sua scienza, vi scorge inaspettate bellezze, ne sente l'armonia e la poesia.

Ora, se Dante parla o canta, non è semplicemente per quel bisogno, per quella spirituale ed infrenabile esigenza interna che tutti i poeti autentici fa parlare o cantare, come altrove anche Dante; sibbene per qualche cosa che è più d'un bisogno; quasi per un preciso obbligo, per un dovere che lo sospinge. Per assolverlo bene e rigorosamente, Dante pensa che tutti debbano chiaramente capirlo, facilmente, subito, senza sforzo o dubbi. Egli allora schematizza il suo pensiero, controlla il suo periodo ed il suo verso, che si fanno semplici, nitidi, tersi, perfettamente dosati e precisi. Qui Dante si sente anche Uomo di Scienza, si sente un Definitore.

> «Dico che l'usanza ... è di chiamare «luce» lo lume, in quanto esso è nel suo fontale principio; di chiamare «raggio» in quanto esso è per lo mezzo, dal principio al primo corpo dove si termina; di chiamare «splendore» in quanto esso è in altra parte alluminata

ripercosso».

(Conv. 3 - XV - 5)

E' questo lo stralcio del verbale di un qualche Comitato magari internazionale di illuminazione? No; è un brano del Convivio di Dante.

«Et in coloribus, omnes albo mensurantur».

(De Vulg. Eloq. 1 - XVI - 2)

E' forsequesta una riga estratta da un trattato d'ottica - latino, scritto magari per un seminario - dove il color bianco venga presentato come sintesi di tutti gli altri, come il colore per eccellenza? No; è un brano del «De Vulgari Eloquentia».

«Come quando da l'acqua o da lo specchio
salta lo raggio a l'apposita parte
salendo su per lo modo parecchio
a quel che scende, e tanto si diparte
dal cader della pietra in ugual tratta,
sí come mostra esperienza ed arte; ...»

(Purg. XV 16)

Qual più fedele descrizione del fenomeno della riflessione della luce e qual più precisa esposizione della sua fondamentale legge sulla uguaglianza degli angoli di incidenza e di riflessione desiderar si potrebbe?

Ma anche altri fenomeni relativi alla luce ed alla sua propagazione sono avvertiti e descritti da Dante. La trasparenza:

«Com'acqua recépe
raggio di luce permanendo unita».

(Par. II 35)

La velocità meravigliosa della luce:

«E se pensassi come al vostro guizzo

guizza dentro allo specchio vostra image».
(Purg. XV 25)

L'arcobaleno:

«E come l'aere quand'è piorno,
per l'altrui raggio che in sè si riflette,
di diversi color diventa adorno»
(Purg. XXV 91)

L'ombra:

«lo sol che retro fiammeggiava roggio,
rotto m'era dinnanzi alla figura
che aveva in me de' suoi raggi l'appoggio».
(Purg. III 16)

Ma se la luce ha compiuto il miracolo di trasformare il Poeta in Scienziato, sa pure operare quello di convertire lo Scienziato in Poeta; chè dall'«omo sanza lettere» come Leonardo denomina se stesso, da lui pure dalla luce affascinato, ammaliato, sedotto, quasi a divinazione delle scoperte dei secoli futuri, sa trarre accenti commossi ed appassionati.

Nella Fisica ottica, Leonardo sa quanto Dante sapeva e molto più ancora, tanto che egli riesce a scrivere un qualche cosa che ha la pretesa di sembrare già un trattato di ottica organizzato (gran cosa per lui, disordinato per eccellenza!) intitolato «Delle ombre e dei lumi». Ma questi argomenti sono visti da Leonardo in un modo, anzi con un peritoso e trepidante rispetto tutt'affatto speciali; dice esser la luce fatta soltanto per «li contemplanti» e la riguarda come passo in una scala ideale e superba i cui gradini sono: Matematica, Fisica, Gloria, Luce, Dio. La luce tra la gloria e Dio, al di sopra e al di fuori della Fisica; qual Fisico accetterebbe ciò s'egli non fosse anche poeta?

Per Leonardo invero lo studio della luce non è più Fisica, ma qualcosa già di ben oltre in piena Metafisica; da quell'osservatorio al-

tissimo, nel quale egli sa porsi, può abbracciare con lo sguardo, nella immensa piana della Fisica che si stende ai suoi piedi, quanto i Fisici stessi, che in quella piana stanno, vedere non possono o non sanno. Relazioni tra manifestazioni della Natura in apparenza assai lontane; definizioni particolari che ben vengono ad adattarsi a fenomeni di più esteso tipo; concezioni nuove relativamente alla natura ed alla costituzione della materia e dell'energia. La luce, il calore, il suono, l'odore, il magnetismo e perfino il pensiero sono da Leonardo messi insieme quali derivati dal medesimo principio: la vibrazione; e quali partecipi del medesimo modo di diffondersi: la propagazione per onde.

La meravigliosa audacia di simil generale concezione, da sola, sarebbe sufficiente a far di Leonardo un Sovrano, ma non soltanto nella Fisica, bensí nella Filosofia nel suo più ampio significato di «Amore del sapere» in ogni campo da Dio aperto all'Uomo.

E l'uomo moderno in ciò che Leonardo dice o fa non soltanto rivede il proprio passato, riconosce il proprio presente, ma si sente addirittura nel proprio futuro stesso sospinto.

> «Moti più veloci che siano, cioè quelli dell'occhio, del raggio solare e della mente»,
>
> (Cod. Atl. 204 v.a)

egli osa affermare. Ecco, il batter d'occhio, la velocità della luce, la rapidità del pensiero, messi assieme a costituire una privilegiata gamma di velocità eccezionali. Ecco che i baluardi posti tra materia ed energia, tra energia e spirito crollano e si sfanno dinnanzi a quest'uomo, scienziato, artista, poeta mosso alla conquista degli arcani tesori del mondo!

E allo sguardo che spazia da un cosí alto punto di vista non si cela la minuzia del particolare. Forse Leonardo fu il primo a sottolineare i rapporti correnti tra la luce e la fiamma che, in certe condizioni, possono impunemente scambiarsi l'ufficio di causa e di effetto, l'una dell'altra. Egli mostra che, come la luce può in certi casi divenir causa di fiamma - e già Archimede lo sapeva e lo insegnò ai marinai

romani dei quali bruciò le navi, ma non a Dante dal quale fu ignorato - la fiamma non è senz'altro e sempre causa della luce. E, per dimostrare ciò, suggerisce la famosa esperienza dell'intercettare i raggi del sole pioventi sopra uno schermo con una candela accesa; sullo schermo apparirà non soltanto l'ombra della candela, ma anche quella della fiamma che diverrà cosí addirittura causa di ombra ossia negazion della luce.

Luce, Dio!

Ancora un passo, affinchè l'ultimo gradino della fantasiosa scala sia varcato. E l'Uomo che dapprima non sprezza, ma forse non si cura di leggere le «lettere incoronate» - le Sacre Scritture - nè s'interessa di ciò che sia sentimento, spirito, anima - tutta roba ch'egli stimò fosse da lasciare ai frati «padroni dei popoli, li quali per inspirazione san tutti li segreti», egli scrisse in un lontano dí - s'arresta ad ogni passo nel suo pellegrinaggio. Il ruscello bisbiglia, la fronda stormisce ed egli li ascolta; la terra palpita e geme nell'esprimere i virgulti ed egli vi si inginocchia e l'accarezza; agli animali del bosco, agli uccelli dell'aria chiede il segreto del balzo, del volo; la tempesta che stride, il tremuoto che i monti commuove vigile osserva ed indaga. Sempre attento, sempre proteso alla ricerca affannosa della legge, della legge generale, di quella che è «più causa» perchè «causa prima», irresistibilmente attratto, quale novello Saulo, dalla luce divina in ogni cosa attorno a lui riflessa, lungo la via della sua vita, quasi via di una novella Damasco!

Allora Leonardo domanda:

> «Si degnerà il Signore, luce di ogni cosa, illustrare me tratatore della luce?»;
>
> (Cod. Atl 203 r.a)

e dalla luce in fantasmagorico turbinio vien rapito dinnanzi al trono

della «Prima mente» (Conv. 2 - III - 11)

della «Somma Sapienza» (Inf. XXIX - 10)

dell' «Ineffabile e sommo bene» (Purg. XXVIII - 91)

dell' «Alta luce che da sè è vera» (Par. XXX - 54)

dalla «Giustizia sempiterna» (Par. XXIX - 58)

al «Culmen totius entis»; (De Mon. 3 - XVIII - 1)

è sempre l'amico Dante che, inconsciamente, ha profetizzato e definito per lui. Ora Leonardo comprende d'esser giunto alla sua meta, alla soddisfazione infinita, alla causa prima e si proclama dal Creatore delle sue conquiste conquistato:

«Io t'ubbidisco, Signore, ... per l'amore che ragionevolmente portare ti debbo».

(Cod. Forst. III 29 r.)

Ora il desiderio di consegnarsi a questo suo Signore si impossessa di lui:

«Saggezza nel vivere, dolcezza nel morire»

(Cod. Triv. 34 r.);

«Quando io credevo imparare a vivere, e ho imparato a morire»

(Cod. Atl. 252 r.a);

«Sí come una giornata bene spesa dà lieto dormire, cosí una vita bene usata dà lieto morire»

(Cod. Triv. 27 r.).

E Leonardo muore e muore dolcemente; nelle braccia di un gran

Re ha tramandato la leggenda; ma mai leggenda fu cosí vera perchè Leonardo morí davvero nelle braccia d'un gran Re; d'un gran Re il cui Regno è e sarà assai più bello ed ampio del pur bello ed ampio regno di Francia. Muore dolcemente perchè sa di consegnarsi a quella possanza arcana, a quella causa prima della quale, inconsciamente dapprincipio matenacemente sempre, era andato alla ricerca. Di quella possanza arcana nella definizione della quale, della sua onnipotenza, onniscienza, onnipresenza e eternità, egli e Dante avevan profferito la medesima breve, meravigliosa ed eterna parola: Amore.

«Amor che move il sole e l'altre stelle»
(Par. XXXIII 145)

son le ultime parole dell'ormai stanco poeta divenuto «contemplante» della disciplina rigorosa, matematica, scientifica dell'ordine naturale;

«Amor qui omnia vincit et nos cedamus amori»
(Cod. Atl. 273 r.a)

è costretto a confessare il «Figliol dell'esperienza» soggiogato e vinto dalla poesia armoniosa ed eterna della Creazione infinita, esperienza di Dio!