

IMPIANTI IGIENICI - TERMICI - SANITARI



**Radiazione diffusa a minima inerzia  
Riscaldamento - Raffrescamento  
Protezione acustica  
(sistema brevettato)**

**Organizzazione Internazionale,  
con propri Laboratori Scientifici  
per studi e ricerche a Zurigo  
e con Sedi in Austria,  
Francia, Germania,  
Italia, Inghilterra, Olanda,  
Spagna e Svizzera**



LICENZIATARIO:  
PIEMONTE E LAZIO

Studio ed esecuzioni impianti:

**g. SARTORIO ef.**  
IMPIANTI TERMICI - RADIAZIONE - CONDIZIONAMENTO  
VENTILAZIONE - IDRAULICI SANITARI

**TORINO**  
SEDE: C. RACCONIGI, 26  
TELEF. 70.149 - 73.649  
C. C. I. A. TORINO N. 51921

**ROMA**  
FILIALE: VIA ARDEA, 18  
TELEFONO N. 754.787  
C. C. I. A. ROMA N. 28401

## "SHUNT"

SISTEMA BREVETTATO

**CANNE - COMIGNOLI  
PER LA VENTILAZIONE  
DEGLI AMBIENTI**

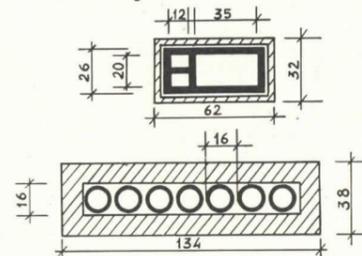
La canna "SHUNT" sostituisce le canne singole di ogni appartamento che occupano troppo spazio nelle moderne case di abitazione.

Con le canne "SHUNT", ogni appartamento di ogni piano ha la propria canna di ventilazione che si estende solo per l'altezza del piano stesso, e sbocca in un condotto generale per tutta l'altezza del fabbricato. Tali canne sono formate da elementi prefabbricati.

Le dimensioni delle canne "SHUNT", sono tali da assicurare il tiraggio per case di qualunque altezza. Alla sommità delle canne "SHUNT", viene posto un comignolo ad alto potere di aspirazione.

Ogni caso costituisce un problema speciale, e una soluzione soddisfacente è possibile solo se bene considerata da competenti.

Confronto tra le dimensioni del sistema a canne singole e il sistema "SHUNT".

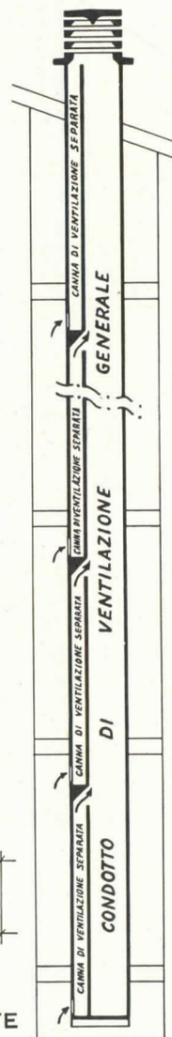


CONCESSIONARIO  
ESCLUSIVO PER IL PIEMONTE  
(PROVINCIA DI NOVARA ESCLUSA)

**g. SARTORIO ef.**  
IMPIANTI TERMICI - RADIAZIONE - CONDIZIONAMENTO  
VENTILAZIONE - IDRAULICI SANITARI

**TORINO**  
SEDE: C. RACCONIGI, 26  
TELEF. 70.149 - 73.649  
C. C. I. A. TORINO N. 51921

**ROMA**  
FILIALE: VIA ARDEA, 18  
TELEFONO N. 754.787  
C. C. I. A. ROMA N. 28401



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.

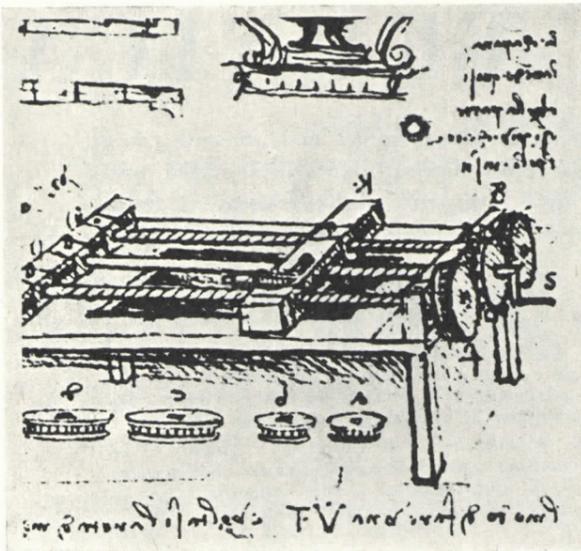
Ma ahimè! la vita di questi artisti — artefici o architetti o artigiani o ingegneri (i «machinari», si diceva allora) — magistralmente tratteggiata dal Malaguzzi Valeri, è faticosa e grama a Milano, come del resto a Firenze, a Napoli, a Torino, a Roma; costoro, al fine di evitare la concorrenza e di istituire una sorta di assicurazione, si congiungono spesso in società di due, tre, quattro e anche più; si 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 «machinari» 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 lamentano 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 «poverello» 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 «pauertate», 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

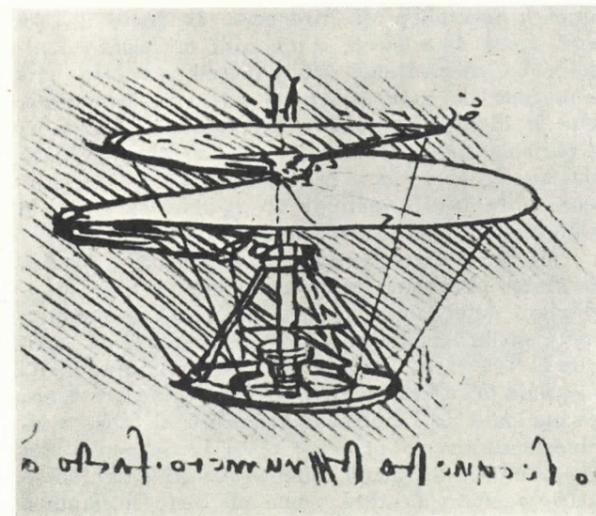


Manoscritto B foglio 70 verso - Macchina per filettare.

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 « poverello »; 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 notaio 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 Posterì, di fronte alla legge umana, gli concederanno le circostanze

Manoscritto 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 Eccellenza ».

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 suavis 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 « éloquence 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 armeggio; 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 splendidamente 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 posterì 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 gragio 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.

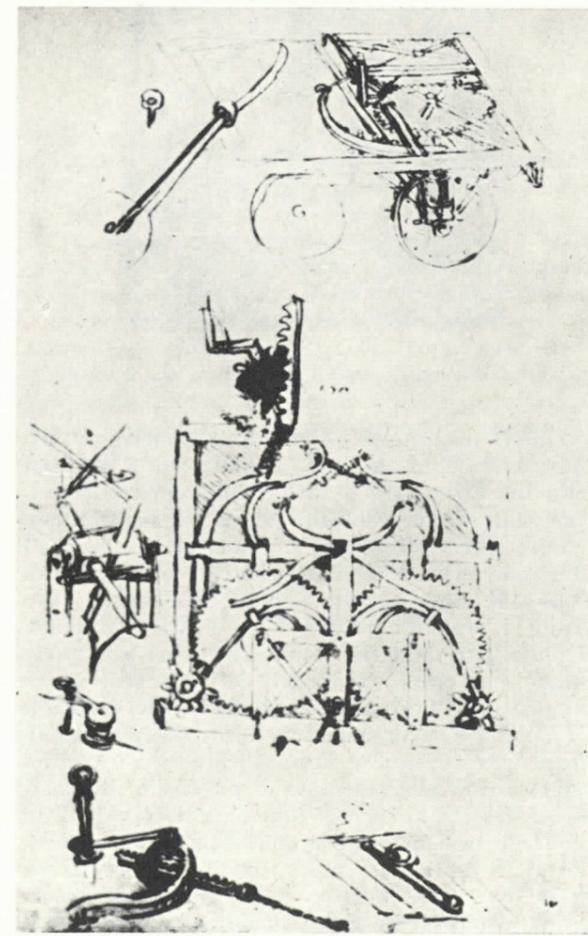
Ma in tutto ciò sta soltanto una specie di scher-



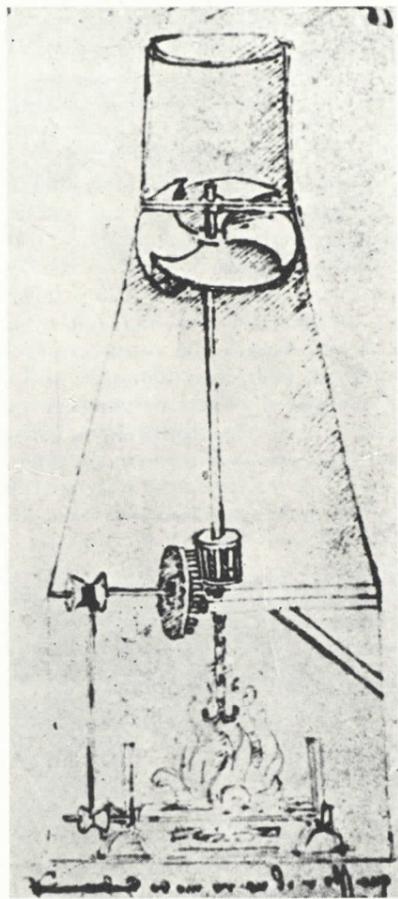
British Museum - Carro armato e carro falcato a mulinello.

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 manoscritti 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 risultati 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 manoscritti 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 quando essi, per avventura, fossero riusciti a carpirle. 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 ideatore 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

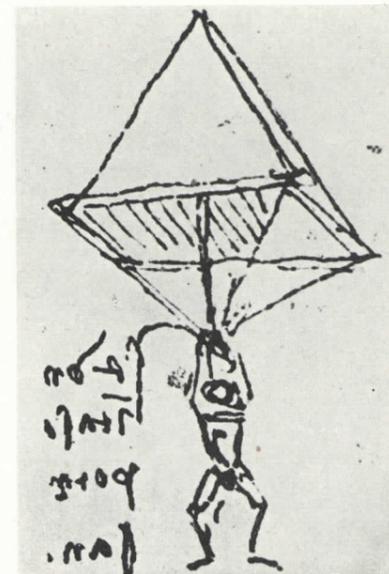
sono accuratamente descritti col disegno, i dispositivi escogitati per utilizzare l'energia delle molle rimangono ancora alquanto oscuri.

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 sé 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 disegnano 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 volentieri i perseguitati anche semplicemente per fare un dispetto alla Francia. Qui divenne discepolo e domestico di Roberto

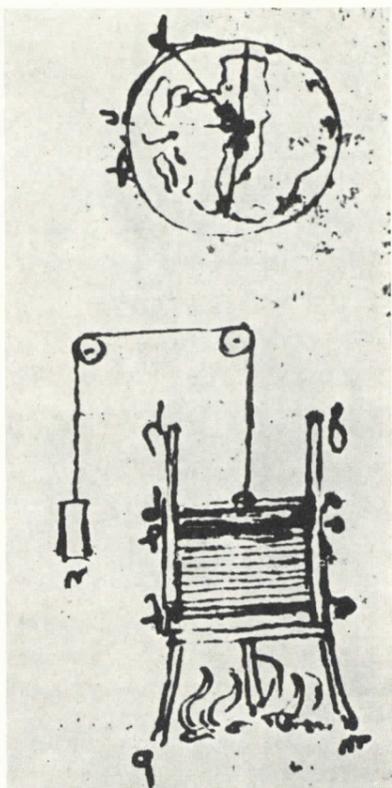


Cod. Atl. foglio 381 verso a - Paracadute.

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

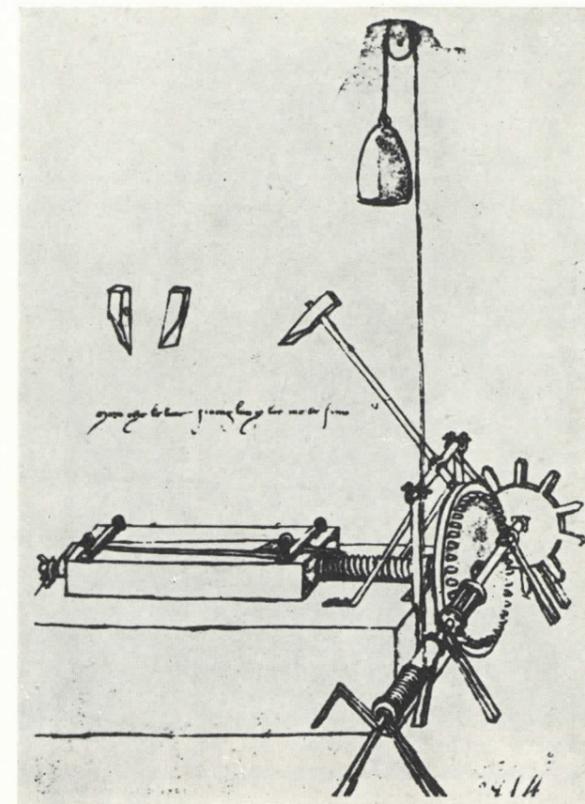
della superficie comune tra i due corpi a contatto. Ed è pur vero che quest'ultima legge, quantunque soltanto in parte confermata dall'esperienza, è completamente accettata in sede teorica anche oggi. È poi veramente interessante osservare di quale perspicacia fosse lo spirito speculativo di Leonardo 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 perdetto 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 orologeria 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 ellitticamente. 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.

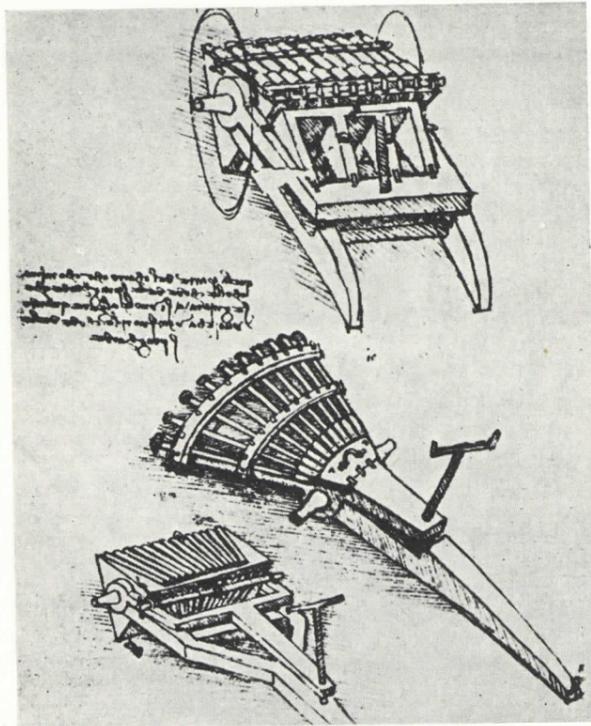
Era impossibile che Leonardo si disinteressasse dell'arte tessile; a quell'epoca, e specialmente nella sua Firenze eran chiamate nobilissime le arti della lana e della seta e le corporazioni relative erano state industrialmente e finanziariamente tanto potenti da assumere anche importanza politica eminente. 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 rifinito, 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 torre 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 veridame 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 bagnata acciò la polvere non passi ». E questa « peza bagnata » 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, carpando 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 poté 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

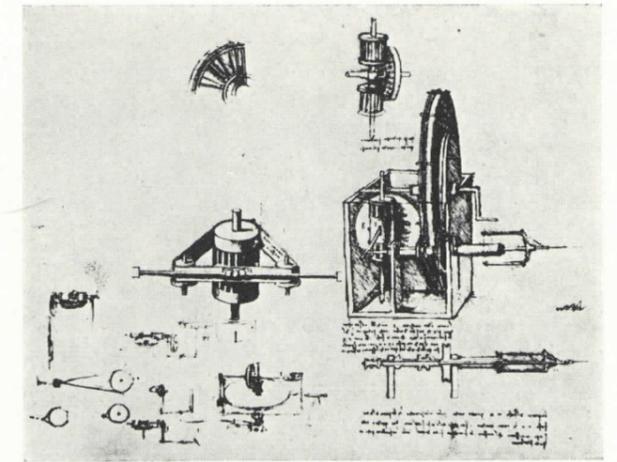
paracadute al foglio 381 verso a del C. A. scrive: « Se uno uomo à un padiglione di pannolino intasato che sia 12 braccia per faccia e alto 12, potrà gittarsi d'ogni grande altezza senza danno di sè ». Sapeva Leonardo che esistono in natura animali dotati di un vero e proprio paracadute come i così detti « 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 sopravvissuto 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 manoscritti 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 Taccolla, 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 sperimentalissimo 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 poté giungere soltanto in quanto poté 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 poté 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, ricardate 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'aerodinamica, 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 impor-

tanti 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-

ste matematica alle soluzioni al contorno che definiscono il problema, di giungere ai risultati numerici che soli interessano l'ingegnere.

La teoria dei modelli si fonda notoriamente sul principio di similitudine per cui due sistemi si dicono fisicamente simili quando, esistendo la corrispondenza geometrica tra i punti dei due sistemi, le grandezze della stessa natura fisica abbiano nei punti corrispondenti rapporto costante. Come si sa la completa similitudine fisica tra prototipo e modello è raggiunta quando siano rispettate tutte le relazioni fra le « scale » con cui il modello riproduce le grandezze fisiche (costanti o variabili) da cui dipende il problema che si persegue; ovvero (se si vuol seguire con tendenza moderna il «  $\pi$  theorem » di Riabucinski-Buckingham che è del tutto equivalente) quando i rapporti adimensionali che caratterizzano il nostro problema assumono nel modello l'identico valore numerico che presentano nel prototipo.

E precisamente è noto che se  $n$  sono le grandezze fisiche da cui dipende il problema e tra queste si scelgono le  $q$  grandezze fondamentali dimensionalmente indipendenti, che corrispondono in sostanza ai gradi di libertà dimensionali del problema (3 pei pro-

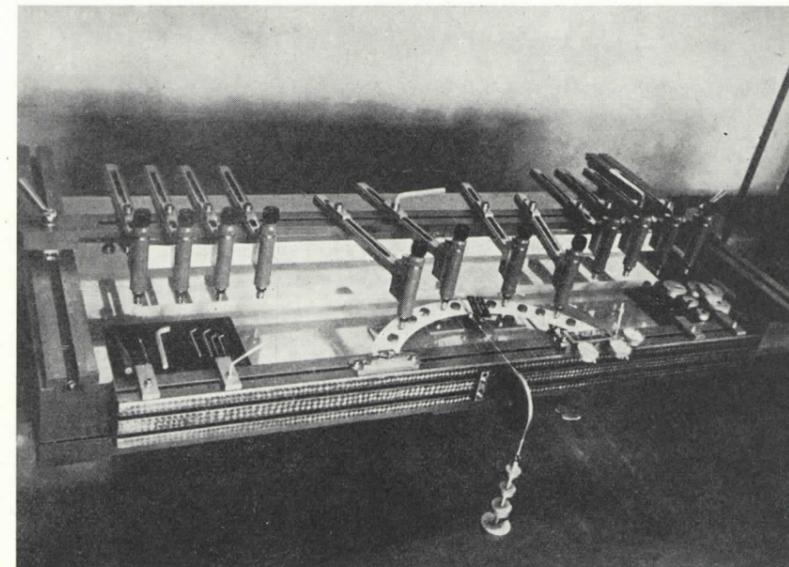


Fig. 1 - Influenzografo dell'Istituto di Costruzioni in ferro, legno e c. a., del Politecnico di Torino. Recentemente costruito è un perfezionamento dell'influenzografo Magnel.

blemi meccanici), si possono sempre formare  $n - q = m$  rapporti adimensionali  $\pi_k$ , corrispondenti alle  $m$  grandezze « derivate », tra ciascuna di queste e le grandezze assunte come fondamentali. Scelto allora il rapporto adimensionale  $\pi_1$  relativo alla grandezza che particolarmente interessa di conoscere, tale rapporto risulta funzione dei restanti  $m - 1$  rapporti adimensionali  $\pi_2 \dots \pi_m$ . Il modello sarà appunto rigorosa-

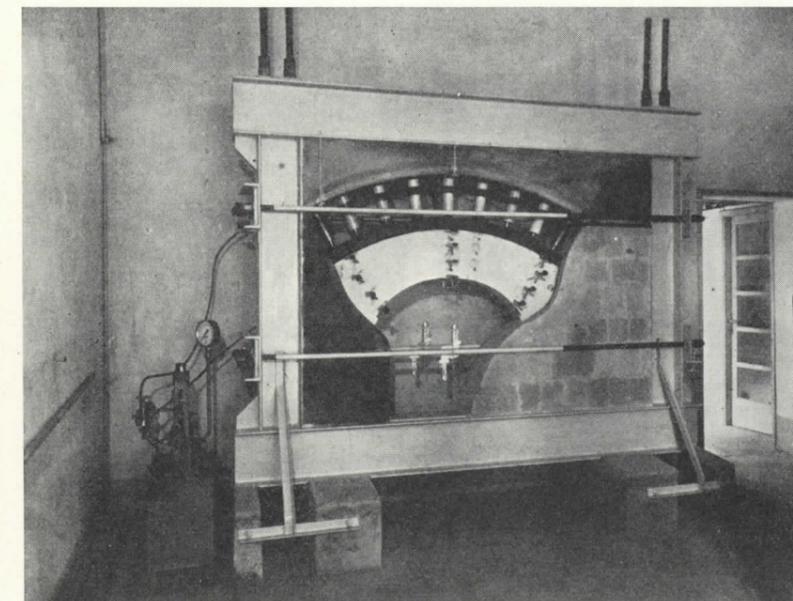
mente simile al prototipo se rimangono immutati i valori di tutti questi altri rapporti nel passaggio dal prototipo al modello. E sarà allora <sup>(1)</sup>  $\pi_1 \pi_1^* = 1$  relazione che consente, misurata la grandezza sul modello, di ottenerne il ricercato valore sul prototipo.

Anche le caratteristiche grandezze fisiche, in se stesse adimensionali, dalle quali può dipendere il problema, dovranno conservarsi nel passaggio dal prototipo al modello; così ad esempio, il rapporto di Poisson, i coefficienti d'attrito tra i vari materiali e così via.

Giova tenere distinto il caso in cui si vogliono studiare col modello fenomeni di cui si possiede una teoria esauriente, da quelli in cui ciò non sia. Esempio classico del primo caso è offerto dallo studio del comportamento elastico di una qualunque struttura costituita di materiale omogeneo isotropo e vincolata in modo staticamente determinato, in quanto la matematica offre allora la soluzione teorica completa del problema, riconducendolo ad un sistema di note equazioni alle derivate parziali nelle incognite fondamentali (componenti del tensore degli sforzi). Anche se la soluzione numerica di tale sistema risulta, in via generale, estremamente laboriosa, co-

<sup>(1)</sup> Detto  $\pi_1^*$ , il valore del rapporto fondamentale sul modello.

Fig. 2 - Modello arco (diga Beauregard) provato al carico idrostatico con fondazioni diversamente cedevoli: rapporto moduli 1:10.



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