

GIOVANNI CANESTRINI

L'AUTOMOBILE

IL CONTRIBUTO ITALIANO
ALL'AVVENTO E ALL'EVOLUZIONE
DELL'AUTOVEICOLO



REALE AUTOMOBILE CLUB D'ITALIA - ROMA 1938-XVII

LEONARDO DA VINCI
E I PROBLEMI DELLA LOCOMOZIONE



Leonardo da Vinci. (1452-1519).

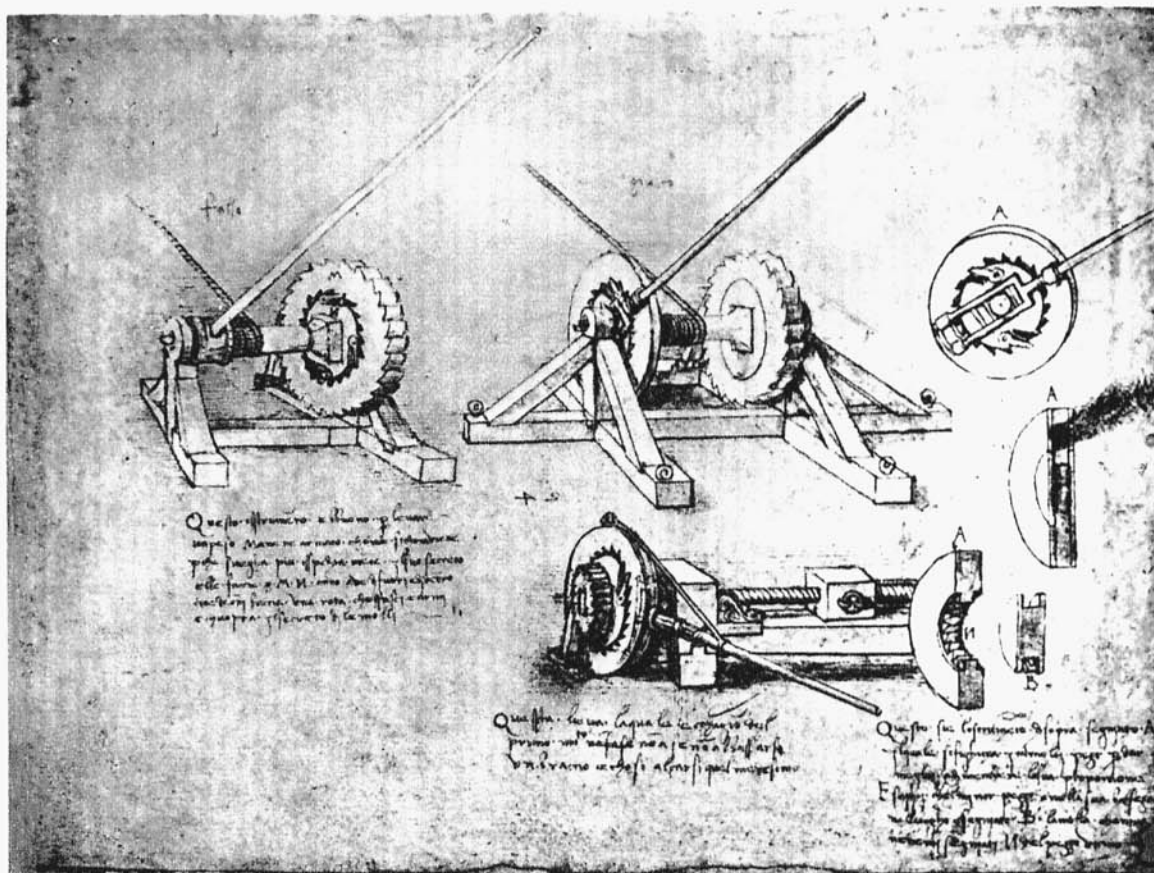
È col Rinascimento, con l'invenzione della stampa, con l'opera poderosa ed eclettica di Leonardo da Vinci (1452-1519), che la meccanica può dirsi entri in una fase decisiva di sviluppo. Con Leonardo si inizia veramente l'era di quella scienza sperimentale che doveva rapidamente diffondersi in Italia e trovare seguaci e sostenitori come Telesio e Campanella e, con Galileo Galilei definitivamente e trionfalmente affermarsi.

Nell'opera, forse non tutta e non abbastanza nota ancora di Leonardo da Vinci, v'è tale vastità di vedute, tale profondità e originalità di concezioni, tale intuito da lasciare sbalorditi. E se in tutto il suo valore è stata apprezzata la attività del sommo toscano nel campo dell'arte, non ancora sufficientemente forse si è valutato — e da pochi solamente — tutto il contributo da lui dato alla meccanica tecnica, ed alla industria di oggi che si basa sulla scienza sperimentale.

Per Leonardo la sapienza è figlia della esperienza, ossia della conoscenza delle leggi che reggono i fenomeni naturali, ed egli sostiene che ad ogni elemento attivo della natura corrispondono effetti determinati, svolgentisi in un ordine determinato. A lui dunque risale quel determinismo meccanicistico che spesso si attribuisce a Francesco Bacone (1561-1626), il quale solo molti anni dopo affermerà la formula: « per comandare alla natura bisogna prima incominciare ad obbedire alle sue leggi ».

La meccanica che per Leonardo « è il paradiso delle scienze matematiche, perchè in essa si viene al frutto matematico », ha avuto veramente in lui, che sembra agire continuamente sotto il fascino delle forze dello spirito e della natura, il precursore più eccelso.

« Tutti i fenomeni esterni, tutte le forze animali ed umane, sono per lui inte-



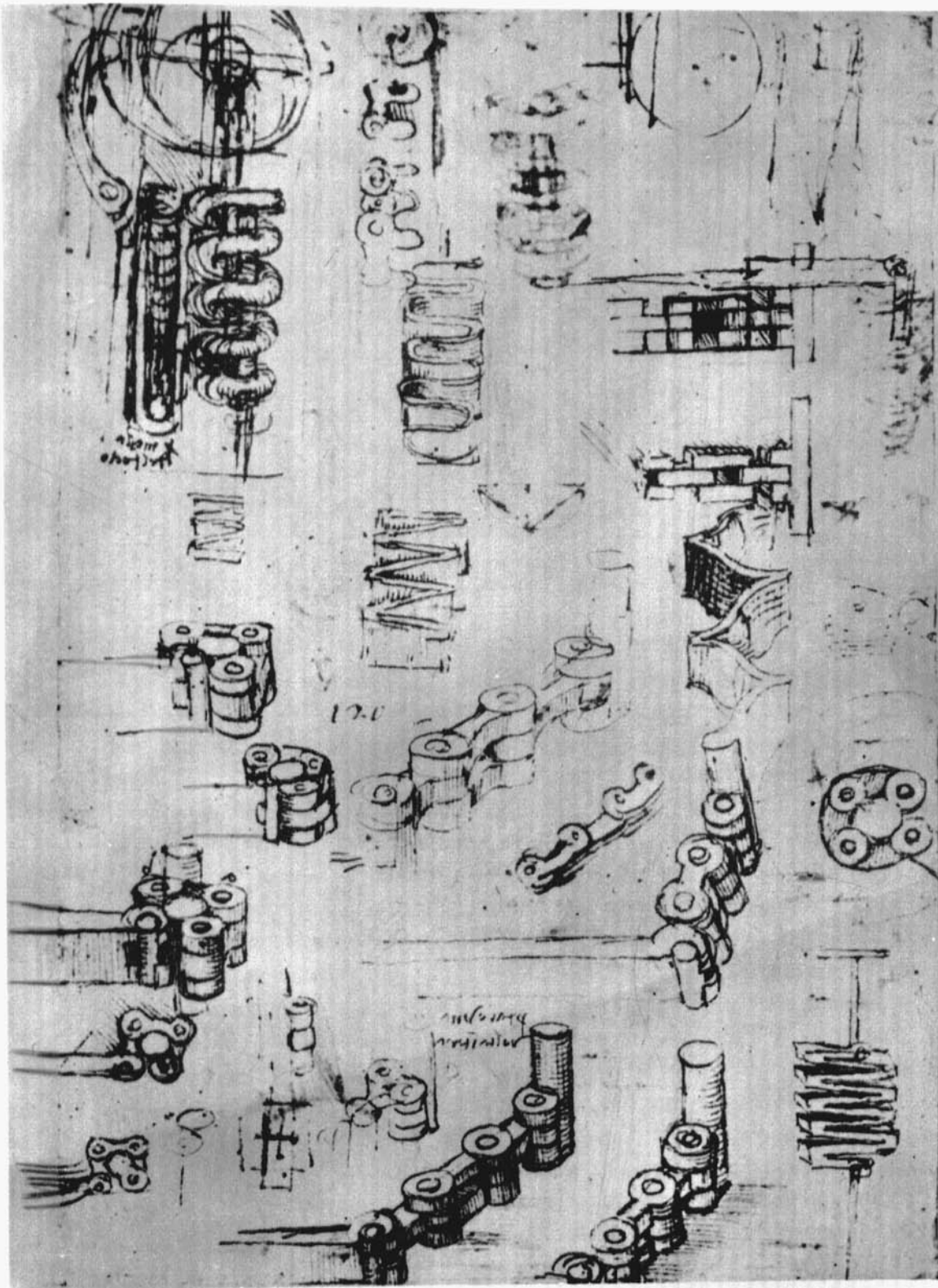
Verricello con arpionismo a cricco. (Cod. Atl. - Fol. 53-Ra).

ressanti perchè sono espressioni di forza», e la sua opera di artista, così come la sua opera di ingegnere ne portano l'impronta chiara ed indiscutibile.

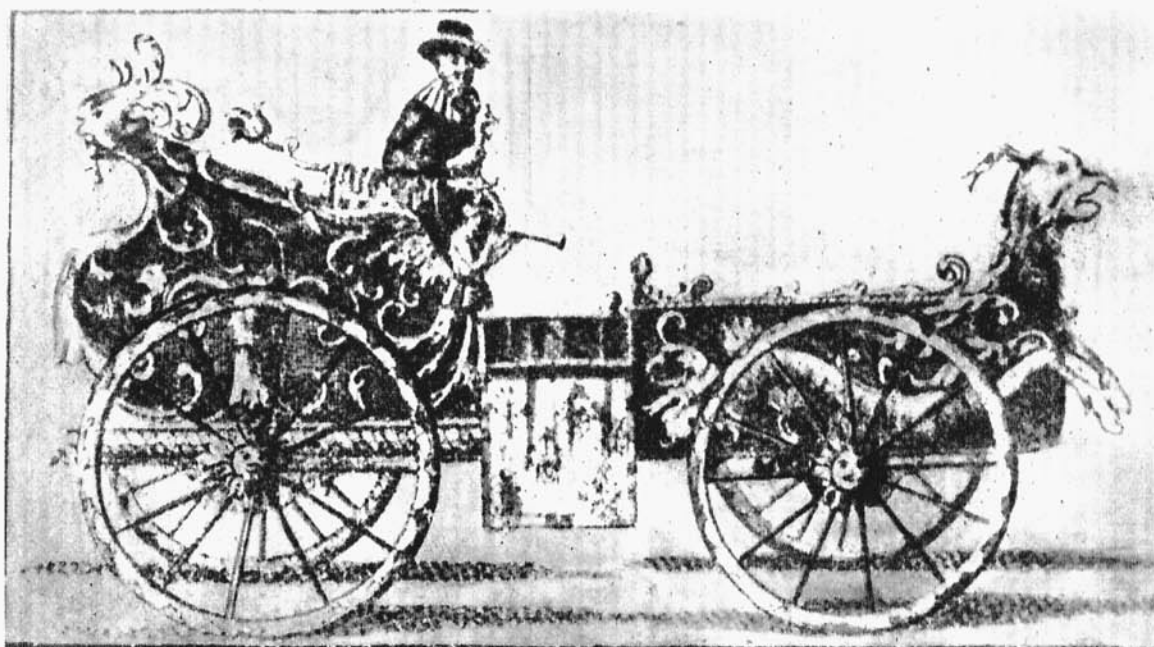
Nel campo della meccanica e della scienza l'influenza di Leonardo da Vinci è decisiva ed appare evidente nel 16° secolo non solo in Italia, ma anche in Germania ed in Francia. Sarà con Galileo e con Keplero che le basi della scienza sperimentale, gettate sia pure in modo incompleto da lui, daranno i risultati più cospicui ed importanti.

Le opere e le applicazioni di Agostino Ramelli (Ponte Tresa (1531-1600), di Jacques Besson (†1569), di Vittorio Zonca (1568-1602), di Benedetto Castelli da Brescia (1577-1643), di Jacopo Strada (1512-1588), rivelano in modo evidente l'influsso di Leonardo, nel quale si trova comunque una chiarezza di disegno e di idee che gli altri non hanno. E basta considerare i primitivi disegni del trattato «De Re Militari» di Roberto Valturio, che è il primo libro di ingegneria dato alle stampe a Verona nel 1472, e cioè Leonardo vivente, per valutare l'enorme divario che esiste fra l'originalità di concezione di Leonardo e quella dei suoi contemporanei.

Nei disegni di Leonardo colpisce in modo particolare la cura che egli poneva nello studio dei diversi elementi e delle varie parti delle sue macchine, cura che è



Diversi tipi di catene disegnati da Leonardo. (Cod. Atl. - Fol. 357-Ra).



La vettura azionata da molle, costruita da Hans Hautsch di Norimberga nel 1649.

propria dei progettisti moderni, e che si rivela specialmente nei suoi progetti riferentisi alle macchine utensili, campo anche questo nel quale va considerato un geniale e fecondo precursore.

Anche se taluni suoi disegni e schizzi siano purtroppo incompleti od appena accennati e non possano esattamente interpretarsi, la sua opera scientifica, poco nota ai suoi contemporanei, e solo incompletamente apprezzata dai suoi moltissimi commentatori, appare oggi in tutta la sua vastità ed importanza e permette di rivendicare al suo nome molte scoperte, erroneamente attribuite ad altri. Ed è significativo che il riconoscimento dell'opera scientifica di Leonardo da Vinci provenga specialmente da studiosi stranieri fra i quali, per la parte che si riferisce alle applicazioni meccaniche, il Beck, l'Usher e il Feldhaus, il quale scrive «nessun ingegno di qualsiasi tempo, di qualsiasi paese, ha avuto tanta penetrazione, come quella di Leonardo»; e l'Hallam, il quale afferma che «Leonardo nell'ambito di poche pagine ha precorso tutte le scoperte».

Non è certo in un capitolo panoramico sullo sviluppo delle applicazioni meccaniche, che si può pensare di affrontare l'imponente opera di Leonardo meccanico: ci limiteremo perciò ad elencare in una sintetica tabella le numerose applicazioni del grande precursore, riportando fra parentesi i nomi con le rispettive date, dei diversi autori o inventori ai quali molte delle innovazioni e delle scoperte di Leonardo sono erroneamente attribuite. La tabella, per quanto certamente incompleta, anche perchè — come è noto — non pochi disegni di Leonardo sono indecifrabili o poco comprensibili, dà una visione sufficiente dell'opera sua e del suo potente contributo al progresso della meccanica.

IL CONTRIBUTO DI LEONARDO DA VINCI

NEL CAMPO DELLA MECCANICA, DELLA FISICA, DELL'IDRAULICA

(STUDI, INVENZIONI, APPLICAZIONI)

RICERCHE GEOMETRICHE

Sulla quadratura delle lunule.
Sulla trasformazione dei solidi.
Sulla geometria del compasso.
Sul problema di Alhazen o « della incidentia ».
Applicazione del parallelogramma articolato a 5 aste
per la soluzione del problema di Alhazen
Sull'inversione del moto (moto duale), principio della dualità Viète, 1593 - Snellius, 1627.

OTTICA

Studi sui fenomeni di diffrazione nella camera oscura.
Precisazione del limite di aberrazione sferica negli specchi sferici.
Invenzione del proiettore Padre Fontana, 1735-1803.
Invenzione del cannocchiale Fracastoro, 1538 - Galileo, 1609.
Enunciazione del principio che va sotto il nome di Fermat Fermat, 1657.
Principio della teoria ondulatoria Huyghens, 1629-1696.
Studi sulla sensibilità luminosa della retina e sulla distanza della visione distinta Keplero, 1604, - Scheiner, 1575-1650.
Spiegazione della percezione degli oggetti in rilievo.
Studio della forma delle lenti per ottenere la minima aberrazione: lenti piano-convesse.
Metodo per l'esame e l'analisi dei sistemi ottici, attribuito ad Hartmann, 1900.

STATICA E DINAMICA

Momento di forza rispetto ad un punto e teorema dei momenti
Condizione di equilibrio su un piano inclinato Stevino, 1548.
Poligono di sustentazione (condizioni di equilibrio di un solido)
Calcoli esatti per la ricerca del centro di gravità
Teoria della vite (derivata dal piano inclinato)
Teoria dei sistemi di pulegge.
Prime esperienze sulla resistenza dei materiali: a) solidi a sezione quadra o circolare caricati di punta; b) trave incastrata ad un estremo e caricata all'altro estremo; c) trave orizzontale a sezione quadra poggiata agli estremi; d) resistenza di travi quadre alla flessione Galilei, 1634 - Navier, 1819.

Enunciazione della prima e terza legge del moto Galilei, 1564 - Newton, 1642.
 Macchine per la prova della resistenza dei fili metallici alla trazione.
 Teoria dell'arco circolare.
 Prime esperienze sull'attrito radente e volvente Amontons, 1669 - Coulomb, 1781.
 Teoria dell'impeto.
 Prima esposizione della resistenza dell'aria (proporzionale alla velocità ed alla superficie del mobile).
 Contributo alla legge dell'inerzia.
 Legge sulla caduta dei gravi verticalmente e sul piano inclinato.
 Moto per l'arco e per la corda.
 Osservazioni sul moto dei proiettili Santbach, 1561 - Tartaglia, 1537 - Ravius, 1582 - Galilei, 1564.

MECCANICA DEI FLUIDI E IDRAULICA

Principio della compressibilità e del peso dell'aria, e applicazione al sostentamento del più pesante.
 Principio della reciprocità aerodinamica.
 Prima esposizione sul centro di pressione in relazione al centro di gravità.
 Principio del flusso delle acque B. Castelli, 1688.
 Teoria del moto ondoso Newton, 1642.
 Pressione nei tubi comunicanti Pascal, 1653.
 Influenza della pressione sulla fluidità Stevino, 1548 - Galilei, 1564.
 Principio della portata costante.
 Studio delle forme idrodinamiche.

APPLICAZIONI IDRAULICHE

Nuovi dettagli di pompe Ramelli, 1588.
 Pendolo applicato alle pompe Ramelli, 1588.
 Coclea con tubo a spirale G. De Rubeis.
 Pompa centrifuga.
 Perfezionamenti nelle conche e dighe.
 Due tipi di draga Besson, 1578.
 Pressa idraulica (disegno incerto). Bramb, 1796.
 Valvole a cerniera (da Erone) ed a cono Ramelli, 1588.

MACCHINE MILITARI

Fortezza poligonale con fortificazioni esterne B. Lorini, 1597 - A. Dürer, 1527.
 Cannone a retrocarica (nella culatta).
 Rigatura nelle armi da fuoco.
 Acciarino a rotella.
 Cannone a vapore (architronito) da Archimede.

APPLICAZIONI MECCANICHE

Giunto articolato Filone di Bisanzio, 250 a. C. - Cardano e Hooke, XVI sec.
 Sopporto con rulli antifrizione.
 Cilindri reggisinta.
 Freno a nastro.

- Studio sui profili di contatto delle ruote dentate.
- Vite con filetti a sezione quadrata.
- Trasmissioni a fune e cinghia diritte ed incrociate Ramelli, 1588 - Zonca, 1568-1602.
- Catena a maglie Vaucanson - Galle, XVIII sec.
- Ingranaggi conici ed a spirale Ramelli, 1588 - Zonca, † 1602.
- Ingranaggi a gradino (disegno incompleto).
- Eccentrico scanalato a doppio filetto su un cilindro
(da Erone)
- Ingranaggi diversi di forma irregolare.
- Manovellismi diversi.
- Perfezionamenti al tornio (moto continuo) Besson, 1569 - Danner, XVI sec.
- Perfezionamenti al trapano e ad apparecchi di foratura , Focq, 1770 - Crillon, 1809.
- Pialla a mano per legno.
- Perfezionamenti a ruote per molare e lisciare. Zonca, † 1602.
- Apparecchi per intagliare viti e dadi.
- Macchina per intagliare lime Mathurin Jousse, 1627 - Duverger, 1699.
- Compassi o seste proporzionali Besson, 1578-Specke, 1589-Bürgi, 1603.
- Compasso parabolico Galilei, 1599.
- Compasso ellittico.
- Apparecchi di misurazione della pressione dell'acqua
e del vento Polhem, 1700 c.
- Movimento di orologeria a peso (applicato al martello meccanico ed al girarrosto)
- Studi sulla turbina Barker, 1745.
- Ruota idraulica (incompleta) Fourneyron, 1823.
- Torre per mulino a vento Verantio, 1617 - Dutch, fine XVI sec.
- Inclinazione dei fusi delle ruote.
- Conicità della ruota.
- Ruote ad assi mobili.
- Macchina per intrecciare trefoli.
- Macchina per incannaggio automatico Zonca, XVI sec.
- Filatura della lana Jürgens, 1530.
- Cardatrice.
- Cimatrice (studi incompleti)
- Ruote a dentatura interna.
- Arpionismi semplici ed articolati.
- Scatto libero.
- Sospensione cardanica applicata alla bussola.
- Tornio ovale Besson, 1578 - De Caus, 1576 - Plumier, 1701.

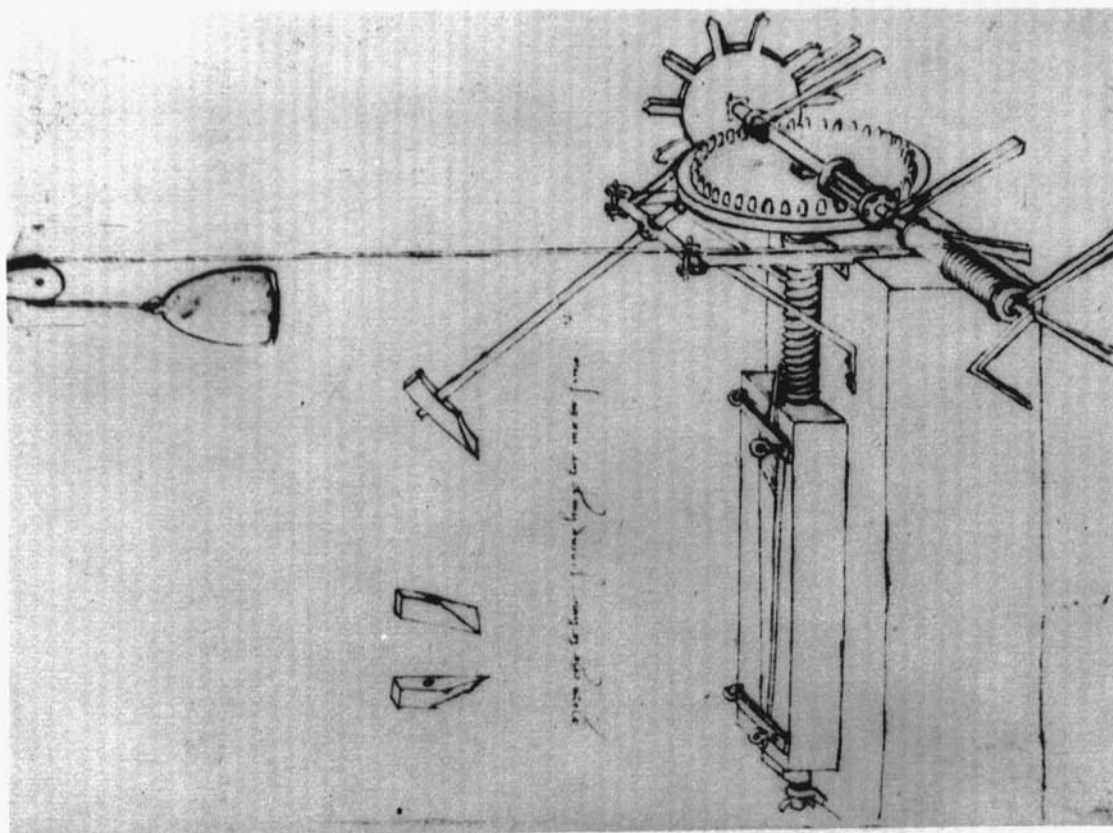
LAVORAZIONE DEI METALLI

Rulli per trafilare doghe di ferro per artiglierie

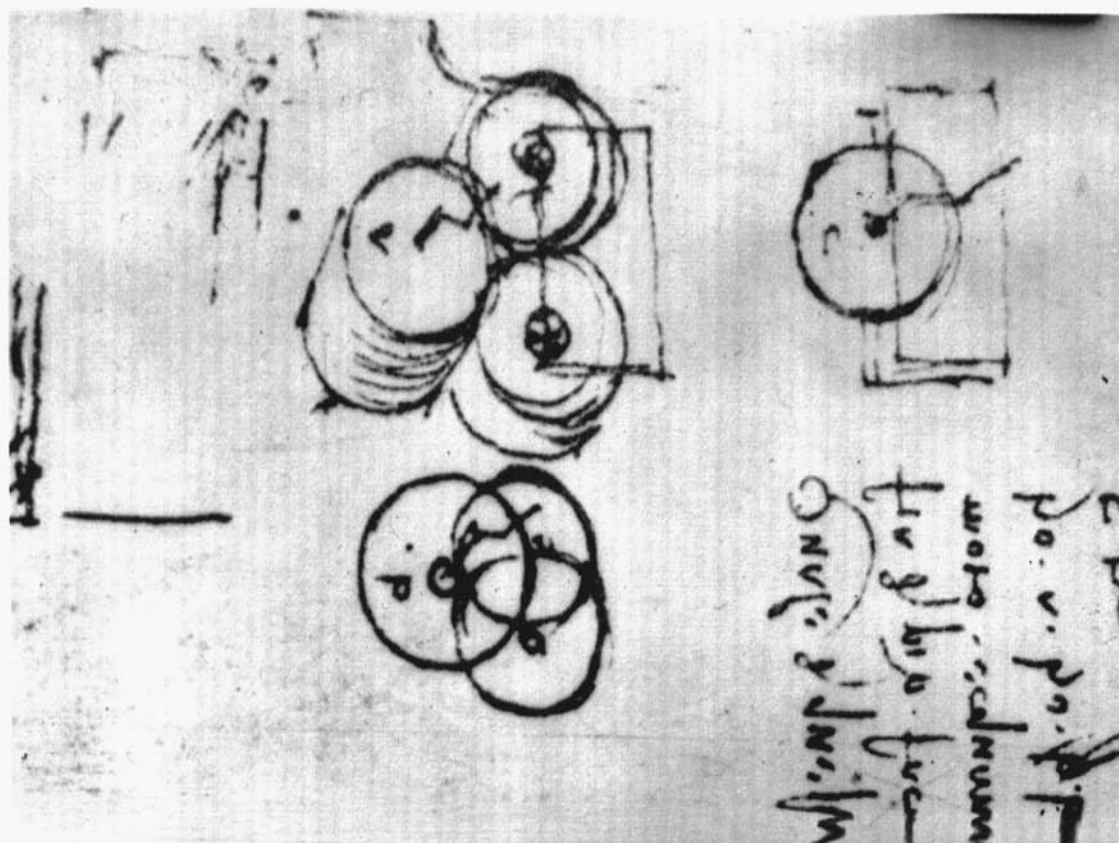
Rulli per formare barre d'oro da conio.
 Punzoni diversi per metalli B. Cellini, 1528.
 Macchine per filettare viti.
 Filiere.
 Laminatoi ad acqua.
 Trivelle - torni - perforatrici - seghe meccaniche Besson, 1578.

APPLICAZIONI DIVERSE

Studi di dettaglio ed assieme per macchine da stampa e tentativo di coordinare il moto della piastra e del torchio.
 Perfezionamenti al battipalo.
 Girarrosto: due tipi (a movimento di orologeria con peso a caduta - e con ventola mossa dalla corrente d'aria calda) Zonca, 1602 - Branca, 1629.
 Ventilatore con movimento di orologeria con peso a caduta Strada, XVI sec.
 Scafandro per palombaro Lorini, 1545.
 Ruspa (carriola) Pascal, 1623-1662 - Agricola, 1550.
 Ventilatore orientabile per camino.
 Solcometro a barchetta.
 Carro mosso ad argano od a molla Hautsch, 1649.
 Macchina per la lavorazione delle superfici ottiche a tre moti combinati
 Moto ipocicloidale applicato alla lavorazione delle superfici ottiche perfettamente piane Bovillo, 1470-1553.
 Paracadute Verantio, 1616 - Lenormande, 1787.
 Elica come organo di propulsione Du Quet, 1731 - Bernouilli, 1752.
 Vettura automotrice a molla con differenziale Pecqueur, 1828.
 Macchine per volo a vela e strumentale.
 Elicottero.
 Battelli con ruote a palette Ramelli, 1588 - Valturio, 1472.
 Studi per sottomarini Tartaglia, 1537.
 Forni fusori.
 Cavafanghi a catena Besson, 1578.
 Studi sulla capillarità.
 Testuggine a 4 ruote direttrici e motrici.
 Carrello per macchina utensile (a moto alterno).
 Rotismo planetario (incompleto).
 Impiego dei gas asfissianti nelle macchine da guerra.
 Studi sul fulmine e sulla calamita.



Macchina per incidere lime automaticamente. (Cod. Atl. 6-R.b).

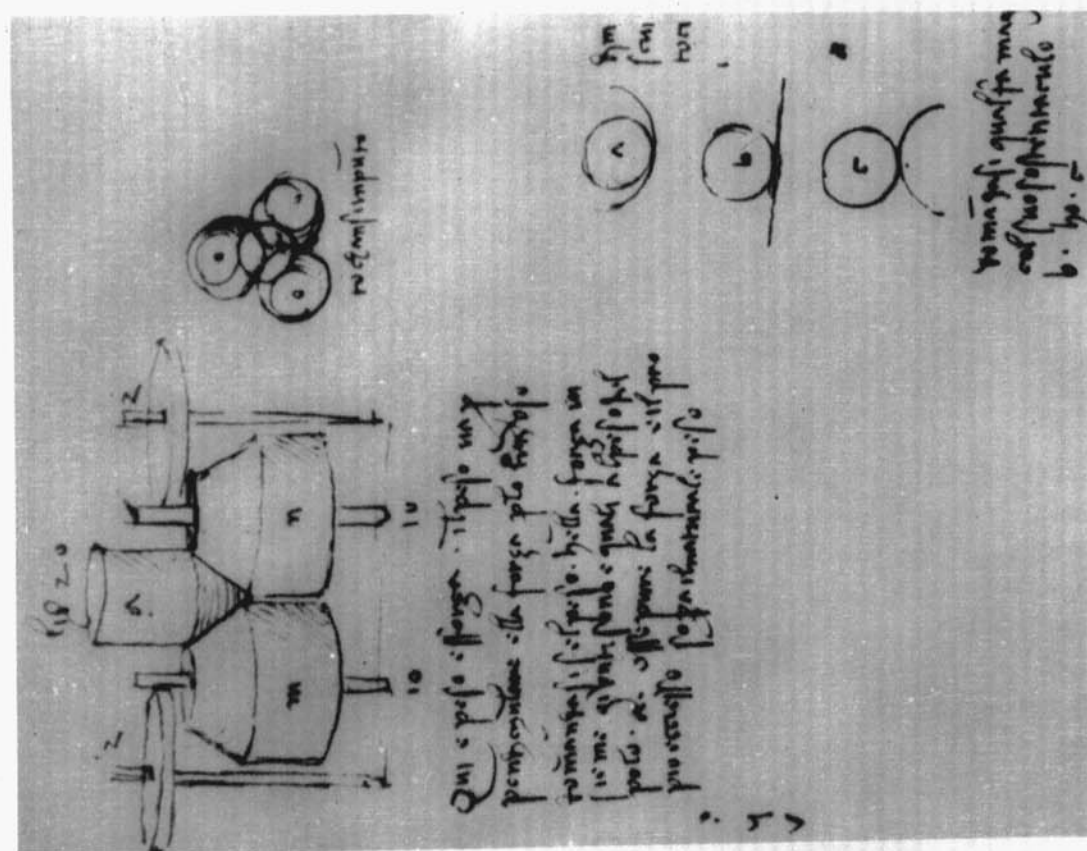
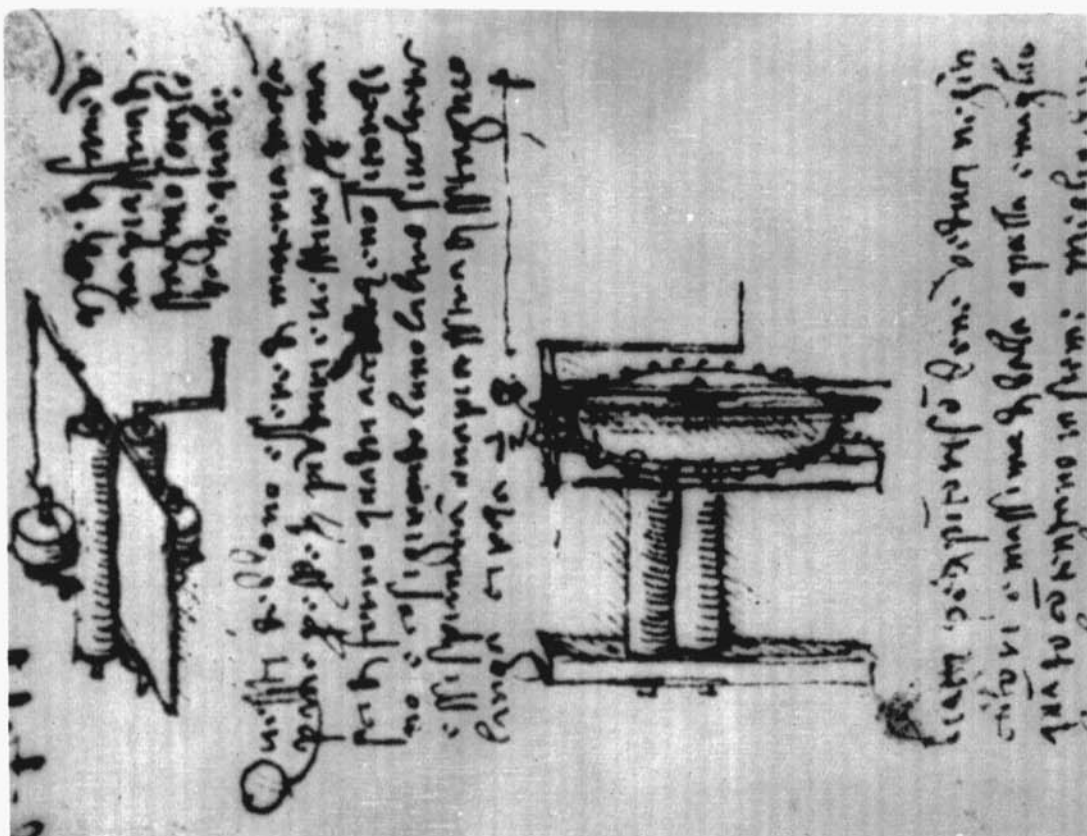


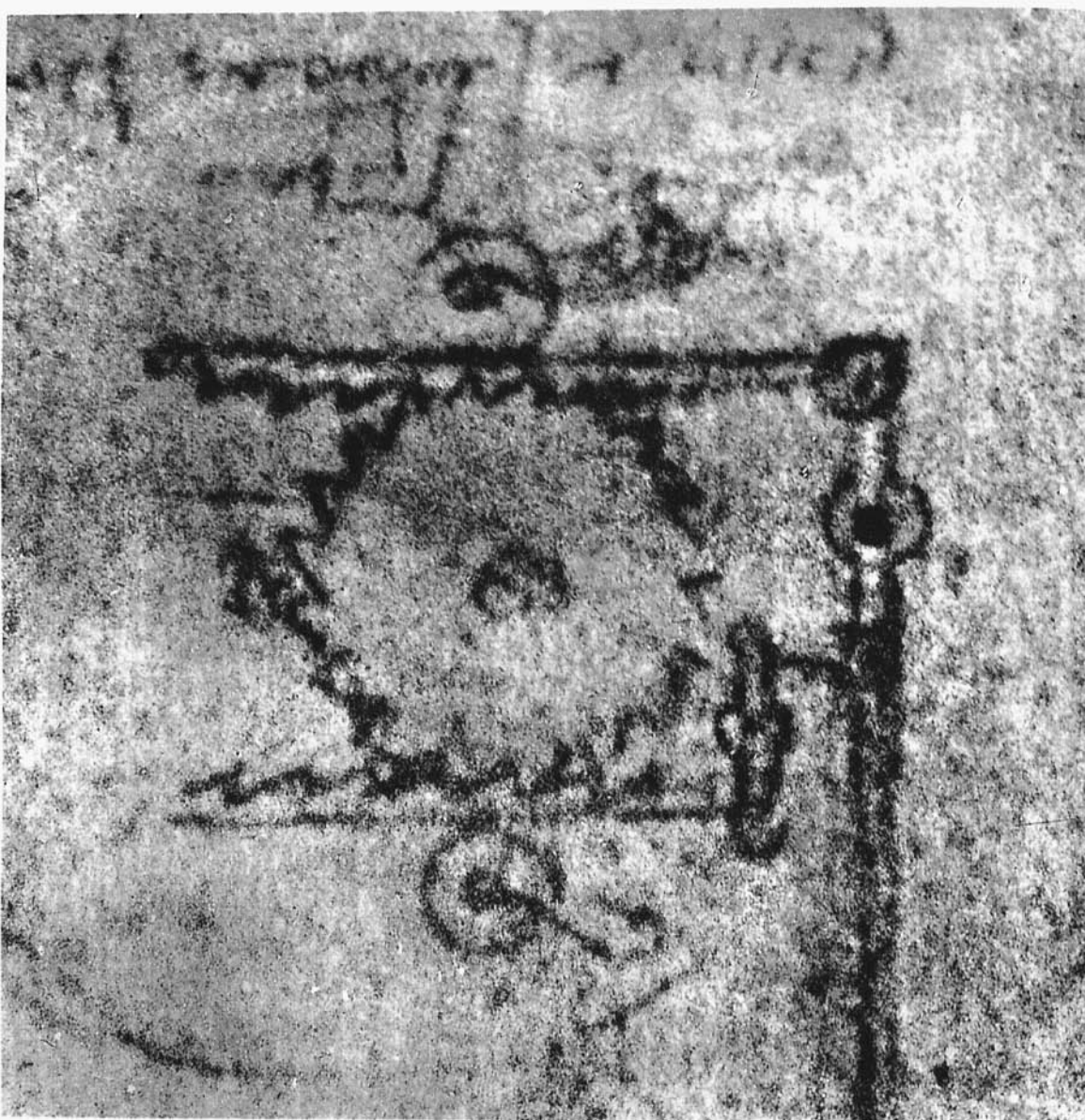
Studi sull'attrito di rotolamento. (Ms. L. - Fol. II v.).



La sega doppia disegnata da Leonardo. (Cod. Inst. de France - Ms. B. D. - Fol. 66-v.).

Questa semplice elencazione delle scoperte, delle applicazioni, delle ricerche, delle soluzioni trovate da Leonardo da Vinci, nel campo fisico-meccanico, dimostra la vastità e la complessità della sua opera e la duttilità del suo genio. Non possiamo dilungarci a considerare diffusamente — come meriterebbe — ognuna delle scoperte e delle applicazioni meccaniche di quello che può considerarsi come il primo ingegnere dell'umanità, ed ai recenti appassionati studi di Roberto Marcolongo lo studioso potrà utilmente ricorrere, ma ci basti rivendicare al nome di Leonardo, e quindi al genio italiano, le molte scoperte che vanno sotto il nome di non pochi inventori stranieri. Delle quali particolarmente ci interessano in questo nostro studio i diversi tipi di catene articolate portanti o di trasmissione, solitamente attribuite a Vaucanson, a Galle, a Renold e che Leonardo ha disegnato con una chiarezza che non ammette dubbi; il giunto articolato che troviamo applicato nel particolare dell'ala della macchina per volare, e la sospensione a snodo per bussola; le diverse macchine utensili attribuite a vari inventori e fra queste il tornio ovale, l'intagliatrice per lime, la foratrice, la trafilatrice, il laminatoio; le molte applicazioni dei rulli antifrizione; i diversi sistemi di trasmissione a funi o cinghie; i più svariati disegni di ruote con dentatura esterna ed interna; l'applicazione dei vari sistemi di molle; la realizzazione del moto oscillante e rotante e di molti tipi di arpionismo; il principio dell'elica come organo propulsore che Leonardo definisce: «strumento a vite che voltato con prestezza, si fa la femmina nell'aria e monterà in alto»; l'accento ai supporti di spinta, l'impiego dello scatto libero; lo studio sul moto planetario e sui profili di contatto delle ruote dentate; uno schizzo purtroppo incompleto di un sistema di trasmissione o di uno sterzo con ruota a piuoli; la soluzione razionale della ruota con fuso inclinato — della quale abbiamo già parlato — e infine il disegno di un carro mosso da un sistema di molle, che specialmente ci

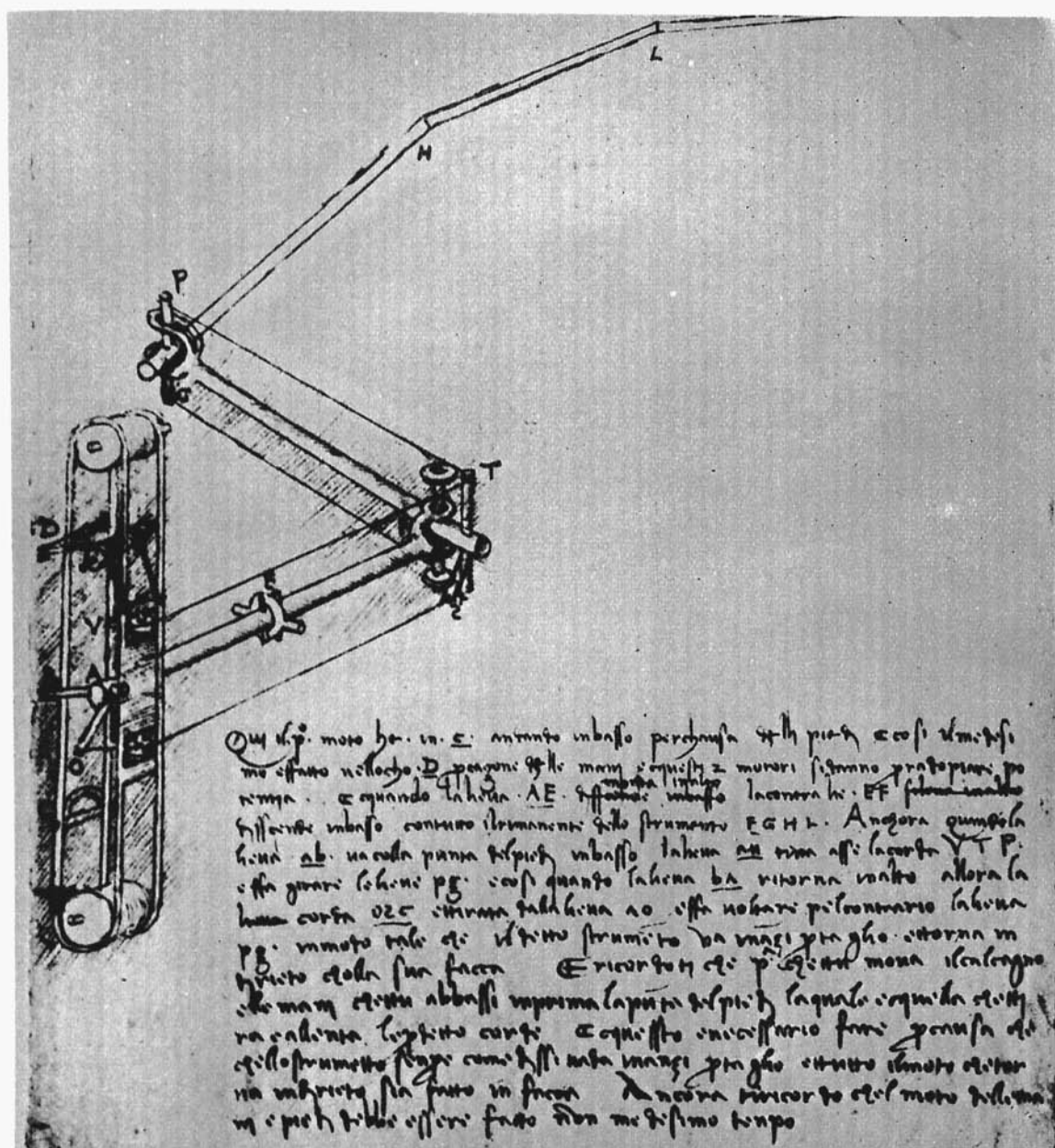




*Come Leonardo ha realizzato la trasformazione del moto oscillante in moto rotatorio.
(Ms. G. L. M. - Fol. 113 v.).*

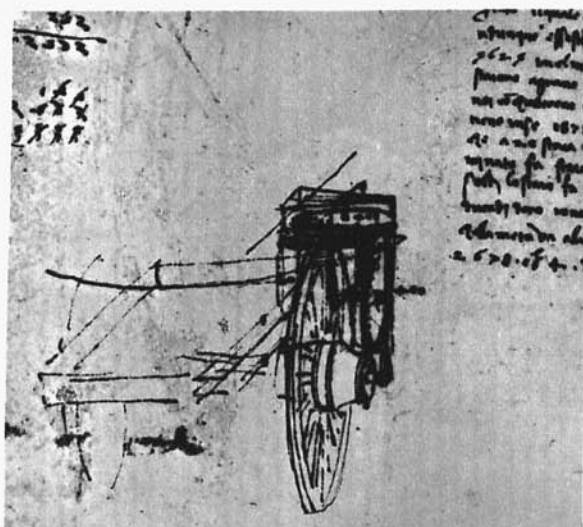
interessa perchè in esso appare la prima realizzazione, sia pure rudimentale, del differenziale, che normalmente si attribuisce al francese Pecqueur. Su questi due ultimi disegni riprodotti dal Codice Atlantico (folio 296 e folio 4 Va), riteniamo del massimo interesse riportare per esteso lo studio critico dell'Ing. Guido Semenza, pubblicato sulle colonne di *Archeion* (Vol. IX n. 1), non solo per avvalorare con la sua autorità questa rivendicazione italiana, ma anche per rendere omaggio alla sua memoria. Ecco quanto ha scritto l'Ing. Semenza su «L'automobile di Leonardo» :

« 1. Nello scorrere il Codice Atlantico, la mia attenzione fu attratta da due disegni, che si trovano sul Verso del folio n. 152 (della vecchia numerazione). Il

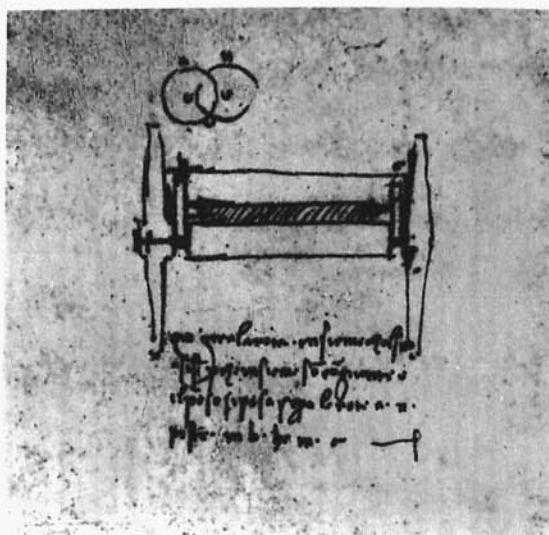


Il giunto a snodo applicato da Leonardo all'ala della macchina per volare.
(Cod. Atl. - Fol. 341 R-C).

folio non porta scritto alcuno. Un disegno in alto rappresenta un carrello visto prospetticamente, formato da un telaio in legno che posa su 4 ruote. Il telaio, schizzato più che disegnato, è formato da due quadri sovrapposti, collegati da un traliccio: fra i due quadri è contenuto un meccanismo di cui appaiono due ruote dentate di egual diametro, orizzontali, che ingranano fra di loro. Su quella che chiamerò di sinistra del carrello, si vede una molla a balestra, tesa da una fune, che sembra diretta all'angolo destro del telaio. L'asse della ruota dentata di sinistra si prolunga sotto il telaio fino ad impernarsi in una trave, appena accennata, cui



Carro con contachilometri
(Cod. Atl. 312 V-a).



Ruote di carro su rulli.
(Cod. Atl. 376 R-c).

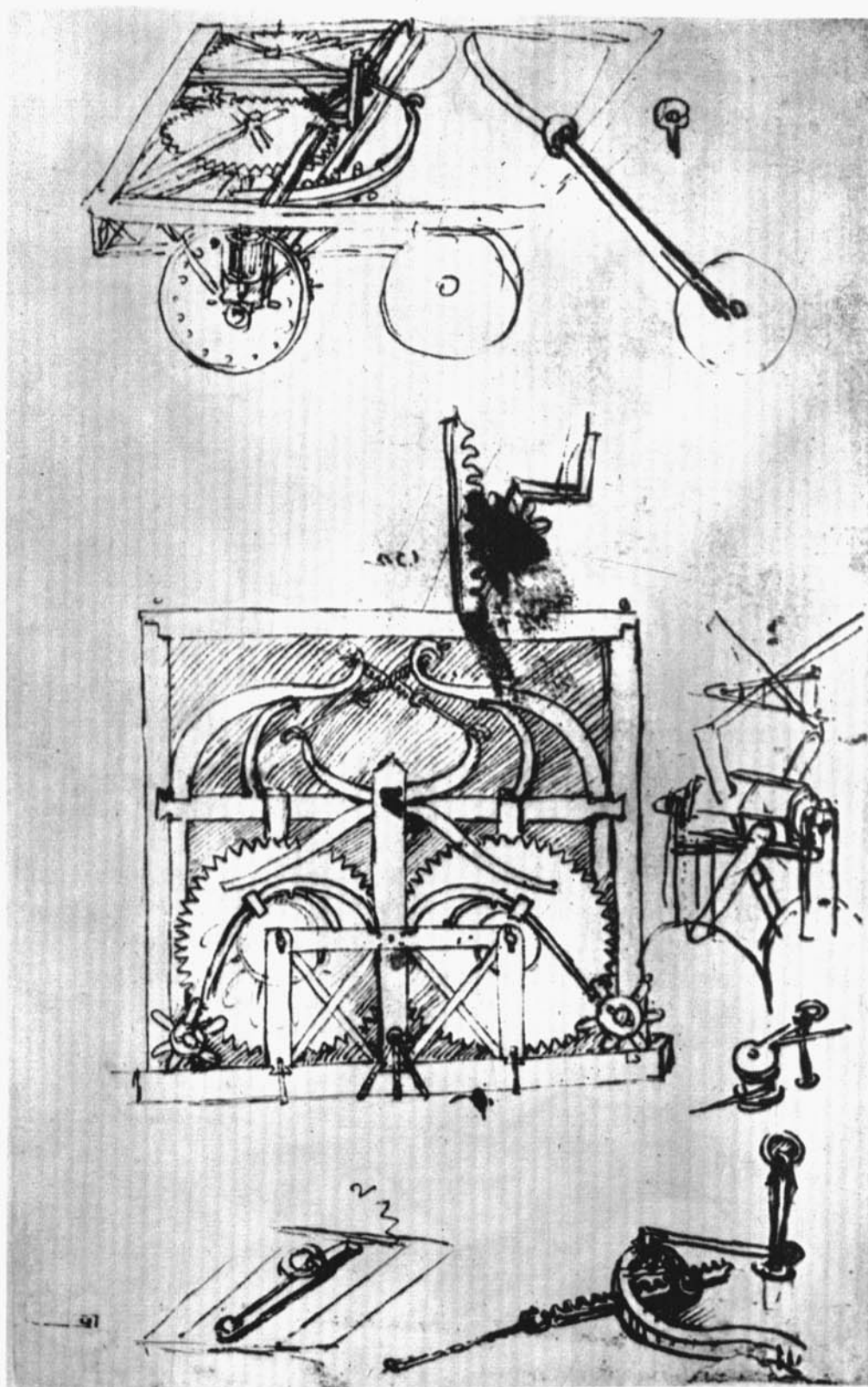
sono assicurati i supporti posteriori del carrello: la trave è collegata al telaio anche da due tiranti inclinati. L'asse porta una ruota a lanterna, nella quale si impegna una corona di piuoli, disposti sulla ruota. La ruota posteriore del carrello è quindi cinematicamente collegata al meccanismo di cui sono parte le ruote dentate; e non vi è ragione perchè a destra non si ripetano gli stessi organi: anzi due tratti curvilinei sembrano indicare una seconda molla simmetrica alla prima, per modo che le due metà del carrello sarebbero simmetriche rispetto all'asse longitudinale.

« 2. Osservando questo disegno si affacciano due ipotesi: l'una che si tratti di un carrello che, trascinato, debba trasmettere un movimento rotativo alle ruote dentate (come sarebbe il caso di un conta-miglia o di un dispositivo per tendere molle), l'altra che le ruote del carrello ricevano movimento dalle molle, attraverso la trasmissione lanterna a piuoli. Nel risolvere il dubbio soccorre l'esame della parte anteriore del carrello e degli altri disegni che si trovano sul foglio.

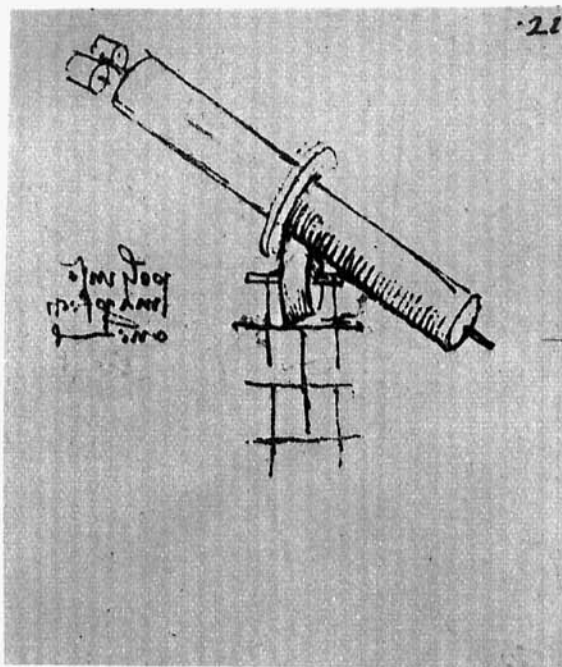
La parte anteriore del carrello è appena schizzata, ma mostra chiaramente uno sterzo, formato da una rotella imperniata all'estremità di un'asta infilata in un anello fisso al telaio, e che finisce in un manubrio. È uno sterzo rudimentale, un timone, da manovrarsi da una persona montata sul carrello: ricorda lo sterzo dei vecchi bicli.

Ho parlato di parte anteriore e posteriore del carrello, supponendo una certa direzione di movimento, e ciò per la disposizione dello sterzo; chè, se dovesse essere l'inverso, le considerazioni fatte e quelle che farò non cambiano.

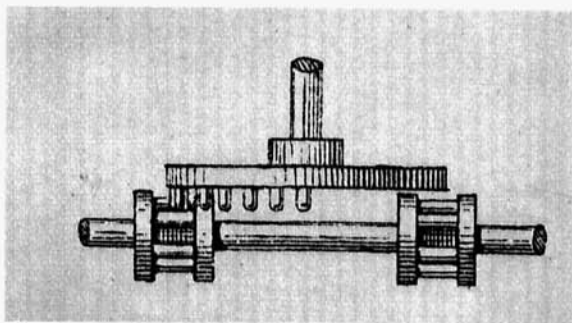
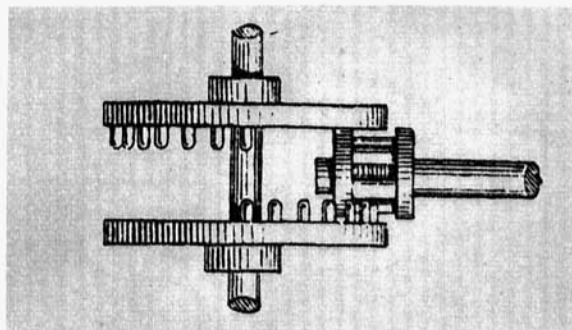
« 3. La seconda figura, sotto quella descritta, rappresenta lo stesso carrello, visto di sopra. A vero dire, questa seconda rappresentazione, non è in ogni particolare identica alla prima: è probabile che Leonardo abbia schizzato intanto che dava forma alla sua invenzione: il primo disegno infatti è meno determinato del secondo, nel quale si trova copia maggiore di organi e di particolari. Vi riscon-



Il carro automotore di Leonardo. (Cod. Atl. - Fol. 296 Va).



Cilindro rotante con perni su rulli e supporto conico con collare reggispinta (Leonardo).
(Ms. I. - 21-r),

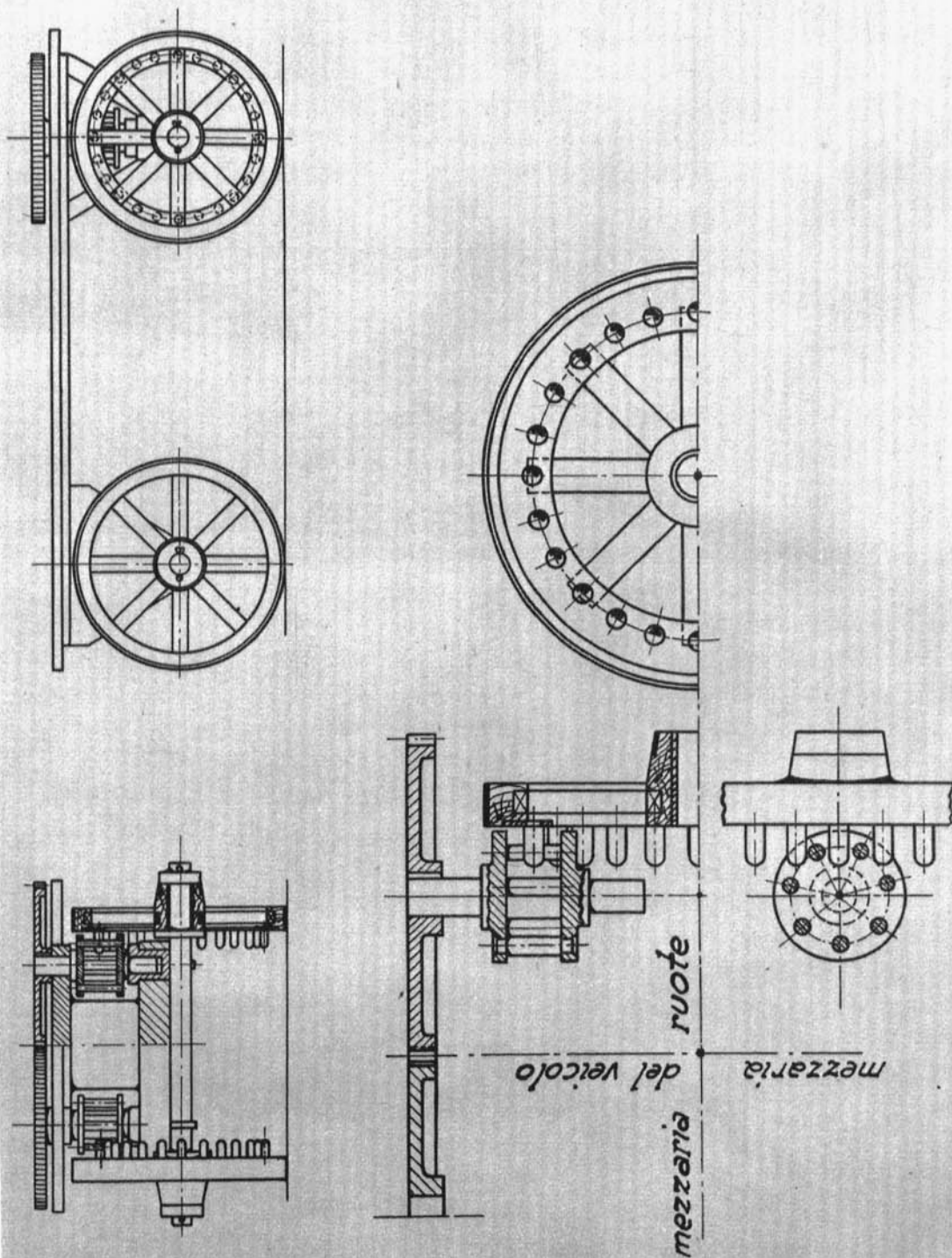


Ruote a lanterna e piuoli per inversione di marcia del Ramelli (1588).

triamo in comune col primo disegno, il quadro di legno, le due ruote dentate e due molle a balestra: vi sono in più altre molle, delle intelaiature per sostenere i perni delle ruote e fissare le molle e due rotelline, che sembrano destinate ad essere mosse a mano.

«4. Prima di procedere, vogliamo soffermarci su un particolare interessante.

Nelle due figure (specie nella prima) si vede che le due ruote dentate orizzontali ingranano una nell'altra, per cui se una ha moto destrorso, l'altra ha moto sinistrorso: considerando il modo di trasmissione del carro, risulta che, mentre le ruote dentate girano l'una inversamente all'altra, le due ruote del carrello si muovono invece nello stesso senso rispetto al piano stradale. Ma ciò non è tutto: questo complesso meccanico costituisce quell'organo che nell'automobilismo moderno si chiama il «differenziale». Esso permette nelle curve una velocità diversa alle due ruote del carro: si supponga infatti, come caso estremo, che la ruota destra sia tenuta ferma, ferma sarà quindi anche la relativa ruota dentata e, se la ruota dentata di sinistra sarà in qualche modo sollecitata a muoversi, girerà intorno a quella di destra, obbligando l'intero carrello a ruotare intorno alla ruota ferma. *Leonardo* si è quindi trovato dinanzi ad un problema nuovo, derivante dalla necessità di rendere solidali nel movimento le due ruote di uno stesso asse del carro, ciò che non è nei carri ordinari, e nello stesso tempo di permettere loro di percorrere le curve senza strisciamenti, problema che si presentò colle prime automobili a vapore intorno al 1770; e lo ha risolto nello stesso modo in cui fu risolto, dopo lunghi tentativi, nel 1836 dal *Pecqueur*.



Tentativo di ricostruzione del carro automotore di Leonardo.

« 5. Esaminiamo ora il complesso delle molle a balestra: ne abbiamo in alto due, che chiameremo principali, ciascuna con contromolla di rinforzo: ve ne sono due altre, che sembrano imperniate sul telaio laddove si incrociano e le cui estremità superiori sono collegate a quelle delle principali, mentre le inferiori sembrano libere. Si notino i due collegamenti fra queste molle e quelle principali: uno di essi è formato da un'asta dentata di cui il dettaglio è disegnato in basso al foglio: l'altro è poco chiaro ma è probabile che sia eguale. Il dettaglio summenzionato sembra indicare un modo di tendere le molle, col girare il rocchetto dentato che trovasi nel riccio della molla e che ingrana coll'asta dentata: e questa ipotesi è avvalorata dallo schizzo che trovasi sopra il disegno del carrello e che quasi lo invade.

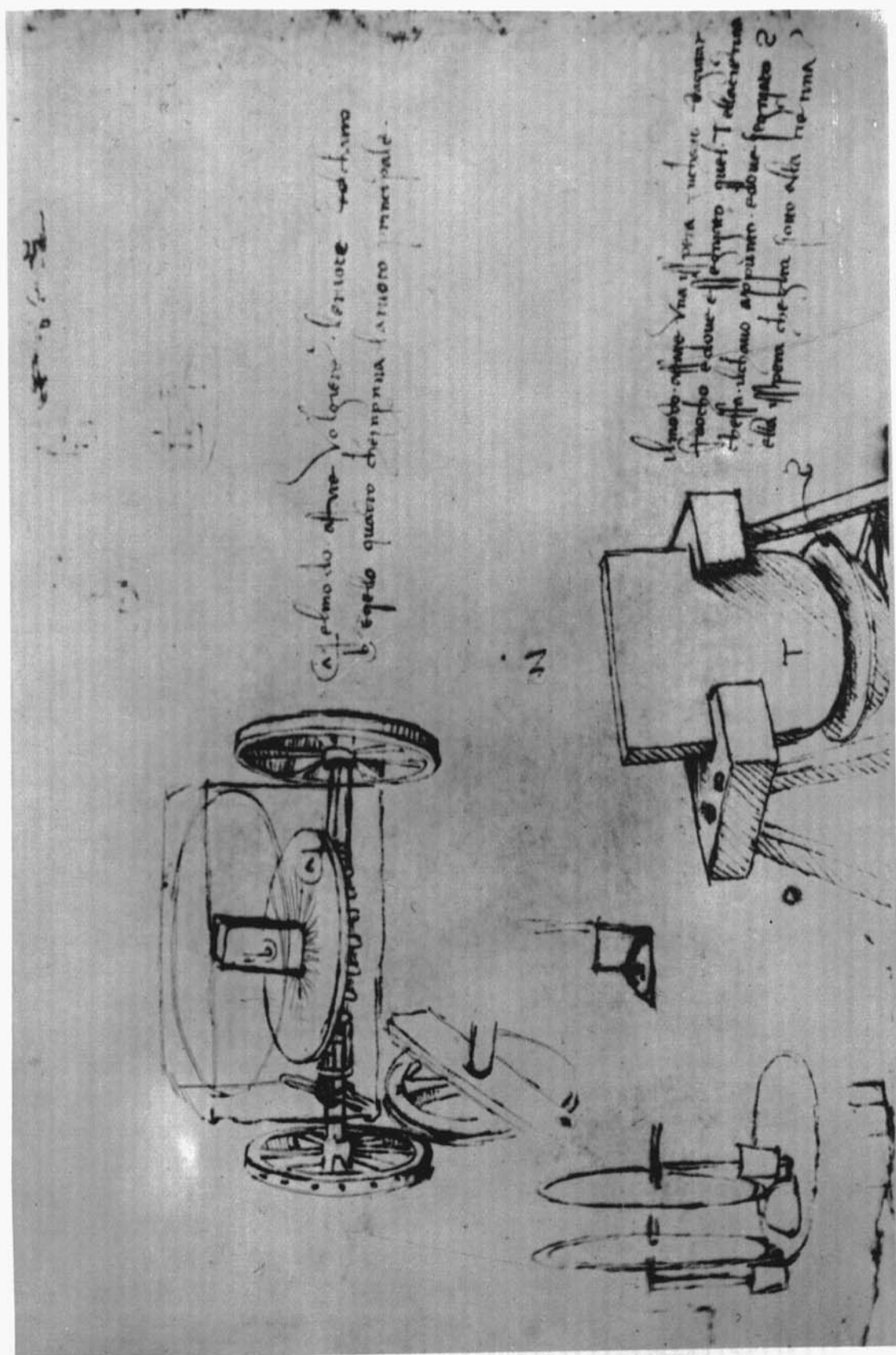
Ci troviamo ora di fronte alle due molle inferiori disposte sopra le ruote dentate; sono due molle curve con contromolla e due appendici di minor curvatura, che finiscono presso i piuoli delle due rotelle, poste negli angoli inferiori del carrello. Nel mezzo portano ciascuna una staffa ed in corrispondenza di questa è segnato un circolo concentrico colla ruota dentata.

Come possono lavorare quelle molle? Le estremità interne sembrano incastrate in una membranatura del carrello, e la disposizione delle contromolle indica chiaramente che sono destinate a lavorare per aumento della loro curvatura, contrastando contro detta membratura, caricandosi quindi coll'avvicinarsi delle estremità inferiori, scaricandosi col loro allontanamento. Evvi qualche collegamento fra queste molle e le sottoposte? Quantunque le due staffe potrebbero lasciarlo supporre, credo che si debba escluderlo. Infatti, se fossero solidali colle ruote, queste non potrebbero avere che spostamenti piccolissimi e non si comprenderebbe il loro scopo. Più probabilmente sembra che queste molle siano destinate a far parte di tutto il sistema di molle disegnato. Supponiamo che, o col sistema del rocchetto o dell'asta dentata, o in qualche altro modo, si accorci il collegamento fra le estremità delle molle principali e quelle delle sottostanti incrociate, se queste sono, come pare, imperniate nel punto di incrocio, le loro code andranno a premere quelle staffe delle molle inferiori mettendole in tensione, e così tutte le molle lavoreranno solidalmente, sommando le loro azioni.

« 6. Ciò ammesso, quale collegamento vi è fra le molle e il sistema meccanico delle ruote? Purtroppo il disegno non ci assiste nel risolvere questa incognita: nessuna indicazione di una qualsiasi relazione fra i due elementi si scorge nei due disegni. Abbiamo soltanto questo: che se il sistema delle molle è teso a mezzo dei rocchetti e delle aste dentate, è probabile che, al distendersi di esse, si profitti della rotazione dei rocchetti per trasmettere il movimento al sistema meccanico per mezzo di una trasmissione sotto il telaio: ma di più non si può dire.

Comunque sembra inammissibile che *Leonardo* abbia messo su un carrello un potente sistema di molle e un meccanismo collegato alle ruote, senza che tali due elementi siano diretti ad uno stesso scopo.

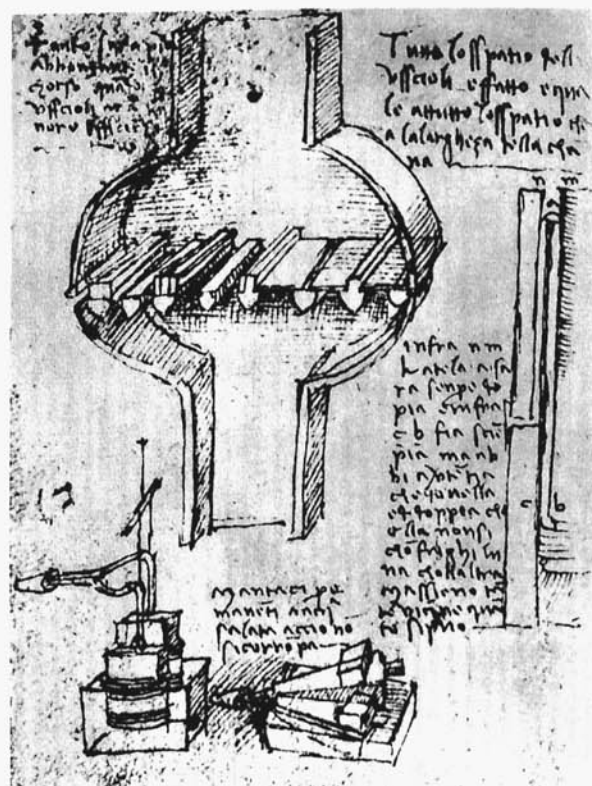
« 7. Rimangono misteriose le due rotelle a piuoli poste negli angoli del disegno: a prima vista si vorrebbe vedere una relazione fra esse e le code inferiori delle



Trasmissione con corona a pioli e ruota a lanterna fissa su un assale. (Cod. Atl. - Fol. 4 Va).



Una applicazione di perni su rulli. In basso: vista in pianta di coppie di rulli. (Ms. I - 58 r).



Valvole a cerniere multiple, (Ms. E - 34 r).

molle che sembrano essere in contatto con esse: ma osservando meglio si vede come manchi qualsiasi accenno ad un collegamento di carattere meccanico. Si deve perciò ritenere casuale l'avvicinamento di questi due elementi: non è impossibile invece che le due rotelle siano collegate col sistema di comando delle ruote e che siano destinate a moderare la velocità di distensione delle molle.

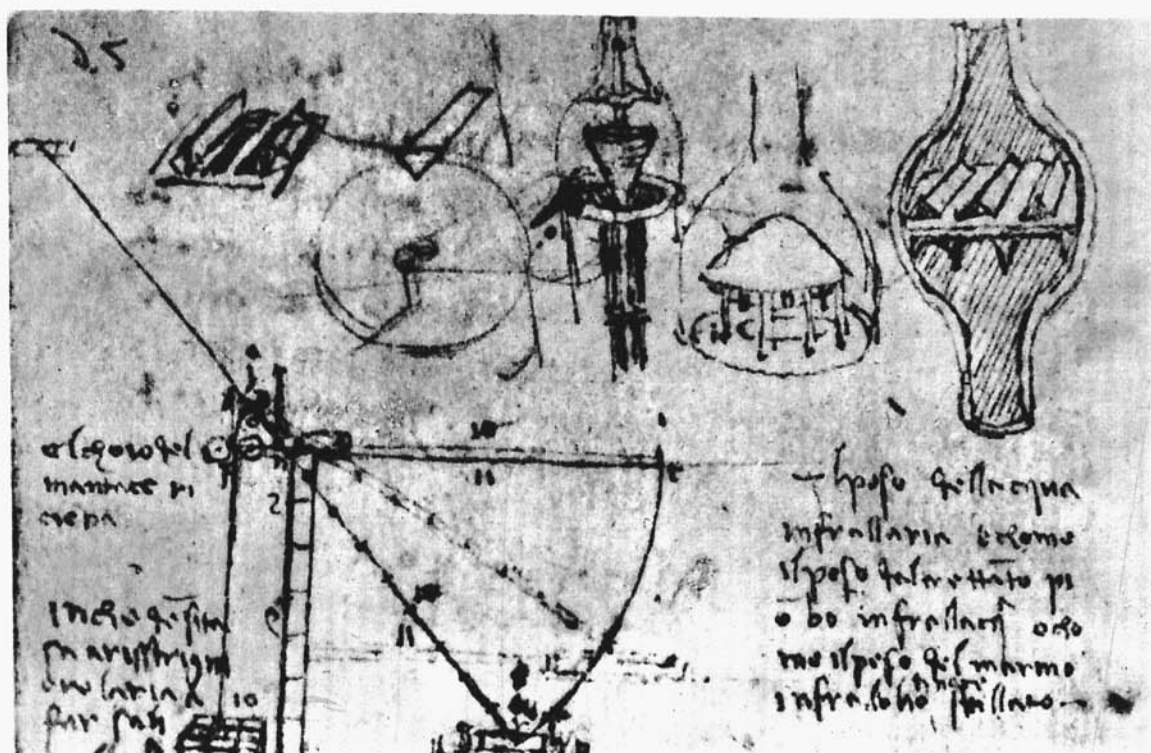
«8. Abbiamo un altro accenno ad un carro con un meccanismo connesso alle ruote nel folio 4 Va, foglio che il Calvi mette fra i più giovanili del «Codice Atlantico». In alto del foglio è rappresentata una fronte di carro di cui si vede un solo asse colle sue due ruote: sopra l'asse sta una ruota orizzontale munita di una corona di pioli sulla faccia inferiore. A destra è disegnata una ruota a lanterna infilata sull'asse delle ruote, che sembrano solidali coll'asse stesso. La ruota a pioli ha il prolungamento superiore del suo asse a sezione quadra. Sulla ruota a pioli è segnato un «a» e sull'asse quadro un «b», e di fianco è scritto:

«a» è il modo di far volgere le ruote del carro;

«b» è quello quadro che impernia la ruota principale.

Che cosa sia questa «ruota principale» non è detto: sul disegno è segnato in prospettiva un circolo che potrebbe indicare la periferia di una ruota orizzontale imperniata sull'asse quadro.

La dicitura che spiega la funzione della ruota a pioli è precisa e chiara:



Valvole coniche ed a cerniera disegnate da Leonardo. (Ms. E 76r).

girando essa fa volgere le due ruote del carro per mezzo della trasmissione formata dalla ruota stessa e dal pignone a lanterna. La «ruota principale» dovrebbe essere la ruota motrice che imprime il moto rotativo all'asse quadro; quale sia la forza motrice non si può arguire; potrebbe essere rappresentata da uno o più uomini che girano delle manovelle, come da un sistema di molle. Quindi, se non si può affermare che si tratti di un vero automobile, non si può negare che siamo in presenza di un meccanismo destinato a muovere le ruote di un veicolo, il che dimostra come nella mente di *Leonardo* fosse già nei giovani anni la concezione del veicolo meccanico.

«9. Nel corso di questa analisi ho obbiettivamente espresso due ipotesi sulla natura del carrello disegnato sul foglio 296 Va: o che sia un carrello destinato ad essere trascinato e a compiere qualche funzione di misura, con caricamento di molle od altro, oppure che sia un'automobile mossa da molle: ad analisi finita il dubbio fra le due ipotesi può permanere, mancando nei disegni alcuni elementi essenziali di giudizio: siamo quindi a quel limite dove il giudizio obbiettivo cessa, per dar luogo a quello soggettivo. Nel dare il quale sono molto perplesso perchè sento il pericolo, comune a tutti gli ammiratori di *Leonardo*, di essere trascinato ad attribuire a Lui piuttosto più che meno: ma, dopo aver molto riflettuto su quel foglio, ho preso posizione concludendo che si tratti veramente di un'automobile. Vi riscontriamo senz'alcun dubbio un giuoco di molle, che costituisce la sola origine di forza motrice meccanica, o se si vuol essere più esatti, il solo modo di accumulare

energia in piccolo spazio che fosse allora a disposizione: vi è, anche questo senza alcun dubbio, un « differenziale » necessario perchè un carro, mosso dalle proprie ruote, giri bene nelle curve: e infine il carrello è provvisto di uno sterzo, un organo di direzione da manovrarsi da chi è sul carro stesso e che non sarebbe giustificato in un veicolo qualunque. Un'automobile dunque, un carrello che cammina senza essere trainato: avrà potuto avere una corsa di qualche diecina di metri, ma il riescire a questo poteva ben essere un problema abbastanza attraente per uno spirito come quello di *Leonardo*: forse era soltanto destinato a far avanzare uno di quei carri d'assalto di cui troviamo numerosi esempi nei suoi disegni (confronta folio 15 R. b.). Che se poi io errassi in questa assunzione, l'aver *Leonardo* disegnato un « differenziale » sarebbe già di per sè solo una nuova pietra al monumento della sua gloria.

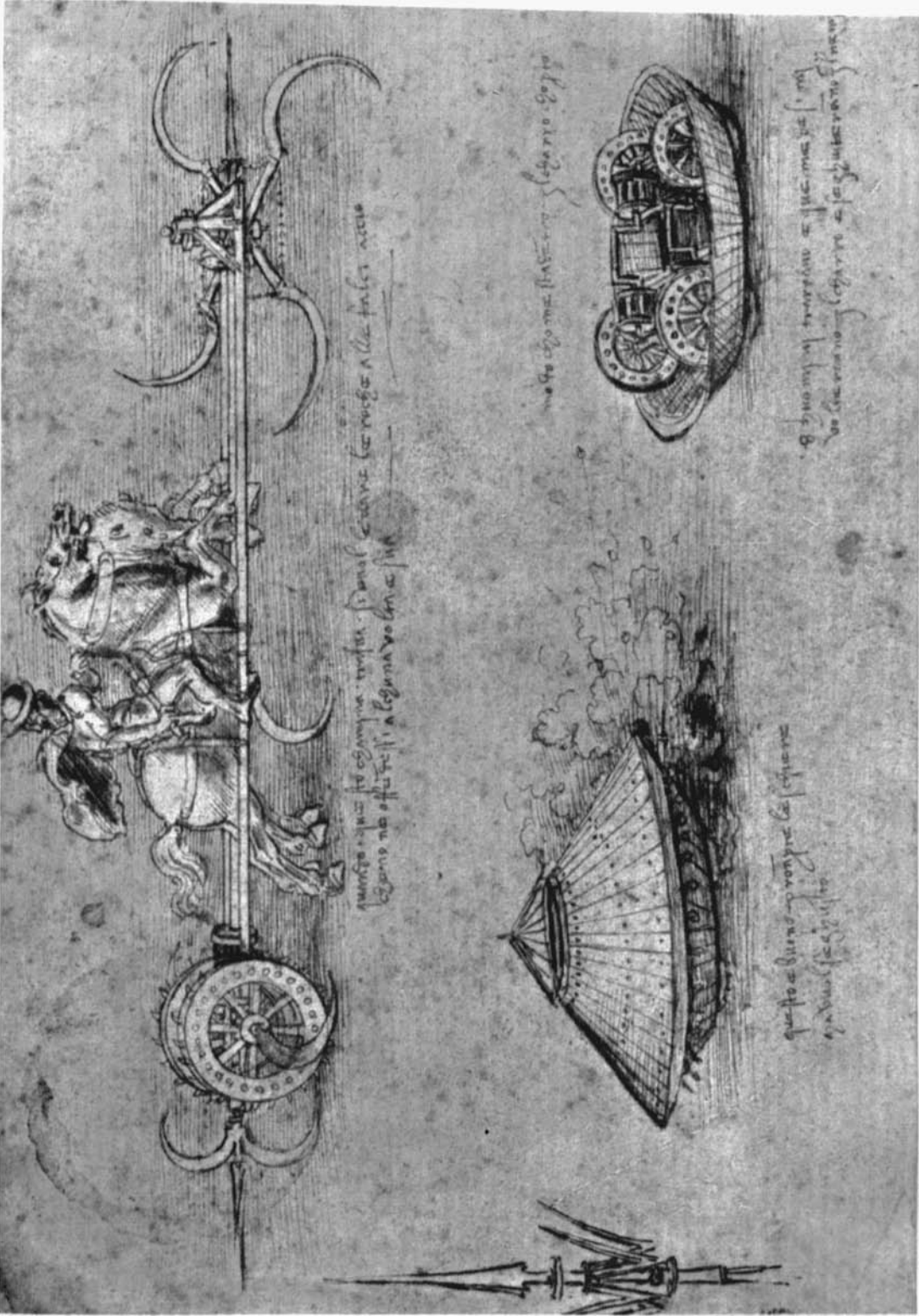
NOTA. - A studio finito ho appreso che il dott. Gerolamo Calvi, in una memoria presentata nel 1905 al Concorso Tomasoni dell'Istituto Lombardo, e sgraziatamente rimasta inedita, aveva accennato alla possibilità che il disegno del 296 V.a. si riferisse ad un carro automotore. Non occorre dica quanto io sia lieto di questa coincidenza di interpretazione ».

La particolareggiata ed acuta descrizione che di questo carro leonardesco fa l'ing. Semenza, non abbisogna certo di ulteriori considerazioni, specie per quanto riguarda le conclusioni, la più importante delle quali è la non discutibile attribuzione a *Leonardo* della prima idea del differenziale applicato al veicolo. Riteniamo peraltro non inutili alcuni rilievi ai quali siamo giunti, proponendoci la ricostruzione di questo carro automobile (tav. a pag. 307).

Nel disegno prospettico del carro, che è quello in alto nella tavola, la ruota a lanterna o rocchetto, che dovrebbe trasmettere il moto alla ruota motrice, è disegnata all'esterno, ossia in primo piano. Ora — come lo stesso Semenza ritiene — questa ruota a lanterna è sul prolungamento dell'asse della grande ruota dentata orizzontale; ne consegue che, in pratica, disponendo le due ruote a lanterna, così come si vedono nel disegno lasciatoci da *Leonardo*, le due ruote motrici verrebbero a trovarsi entrambe al centro del carro, così avvicinate all'asse longitudinale del carro stesso, da rendere problematica la sua stabilità.

Se infatti assumiamo per le ruote di questo carro un diametro di 60 cm., attenendoci alle proporzioni del disegno leonardesco, avremmo un diametro di 70 cm. circa per ciascuna delle due ruote a denti orizzontali, fra di loro ingrananti, e quindi una distanza dei centri e degli assi verticali di queste ruote di 70 cm. Poichè su questi assi sono infilate le due lanterne di cm. 20 di diametro circa — e c'è da tener conto delle due corone a piuoli interne a queste ruote a lanterna alle quali sono collegate — ne verrebbe che le due ruote del carro, finirebbero per trovarsi ad una distanza di non più di 40 cm. una dall'altra, distanza che dovrebbe costituire la carreggiata non certo conveniente di questo veicolo (tav. a pag. 309).

Osservando d'altra parte attentamente il disegno della ruota a piuoli motrice, si vede distintamente che i piuoli della corona non sono all'esterno, ma all'interno, ciò che induce a concludere che in realtà *Leonardo*, non esternamente, ma internamente avesse in animo di porre le due ruote a lanterna, e che esternamente le abbia



Carro falcato e testuggine a quattro ruote motrici e direttrici disegnati da Leonardo. (British Museum) (Venturi - Fasc. III).

disegnate unicamente per maggior chiarezza e comprensione. Questo rocchetto o ruota a lanterna insomma, che Leonardo ha disegnato in primo piano, un disegnatore meccanico d'oggi lo avrebbe disegnato punteggiato, essendo un organo disposto in secondo piano, e cioè dietro la ruota motrice del carro.

Questa osservazione, alla quale fummo portati proponendoci la realizzazione di questo veicolo, può avere la sua importanza nella interpretazione di altri disegni meccanici leonardeschi.

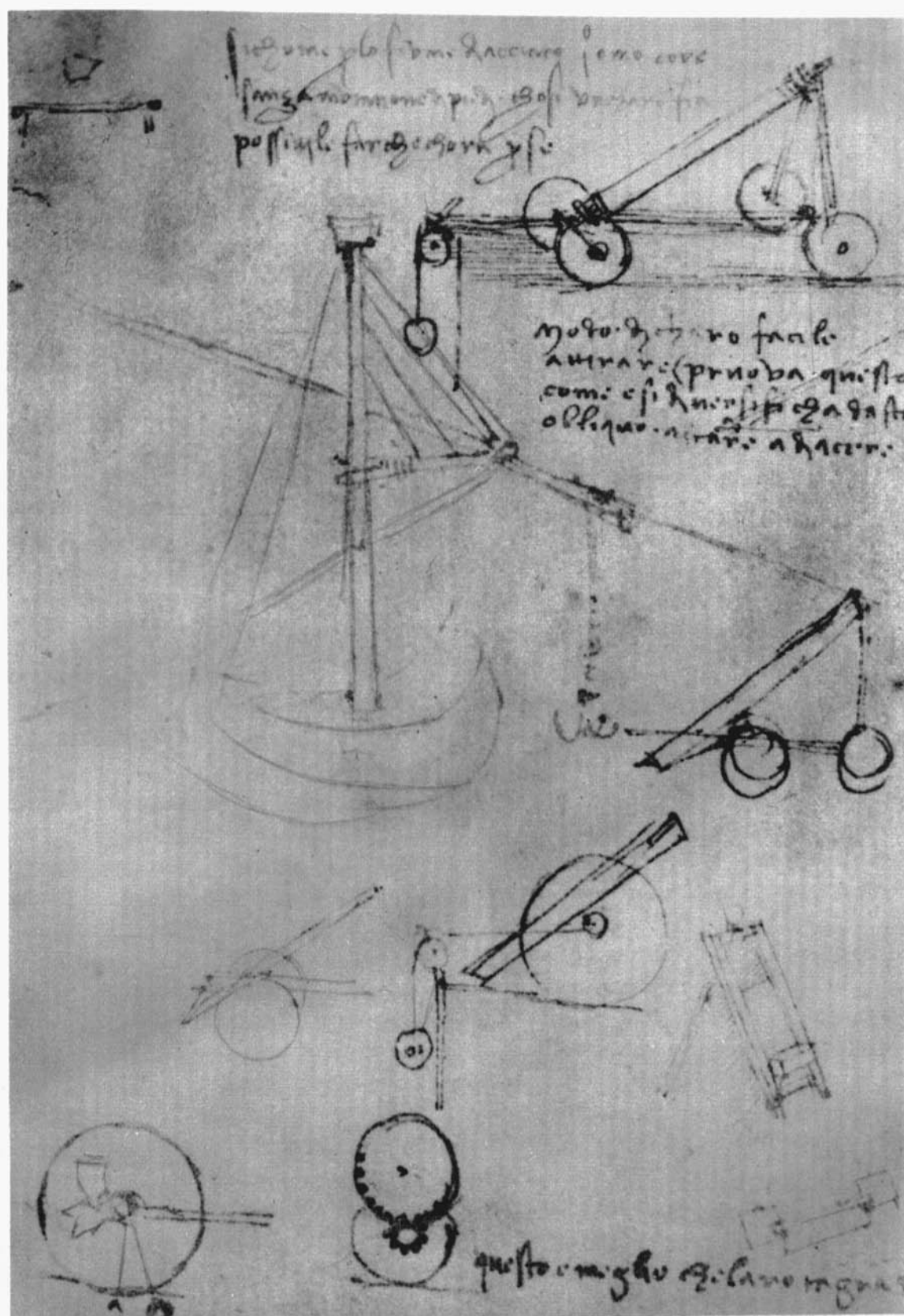
Se ci riferiamo infatti all'altro curioso veicolo che troviamo disegnato in una delle tavole che sono in possesso del British Museum (Vol. 73-1860-6-16-99), e che rappresenta un carro da guerra blindato di forma ellittica, avente 4 ruote motrici e direttrici, vediamo che il sistema di trasmissione di questo carro, così come appare dal disegno, non sarebbe realizzabile. Infatti la manovella di ciascuno dei due alberi motori, facendo girare nello stesso senso i due rocchetti ingranati con le corone a piuoli delle due ruote dalla stessa parte, imprimerebbe a queste moto contrario, rendendo irrealizzabile la trasmissione del movimento al carro (tav. a pag. 315).

Deve perciò ritenersi probabile che, anche in questo caso, Leonardo abbia inteso dare al suo disegno maggior evidenza, ponendo in primo piano entrambi i rocchetti dello stesso albero di trasmissione, mentre in realtà essi verrebbero a trovarsi uno all'interno e l'altro all'esterno, in modo da far girare le ruote nello stesso senso. Non c'è comunque dubbio che Leonardo, in questo carro, intendesse adottare le quattro ruote *motrici e direttrici*, impiegando il sistema di trasmissione interno al carro, nel quale i «motori» erano, come lui stesso indica, «8 huomini».

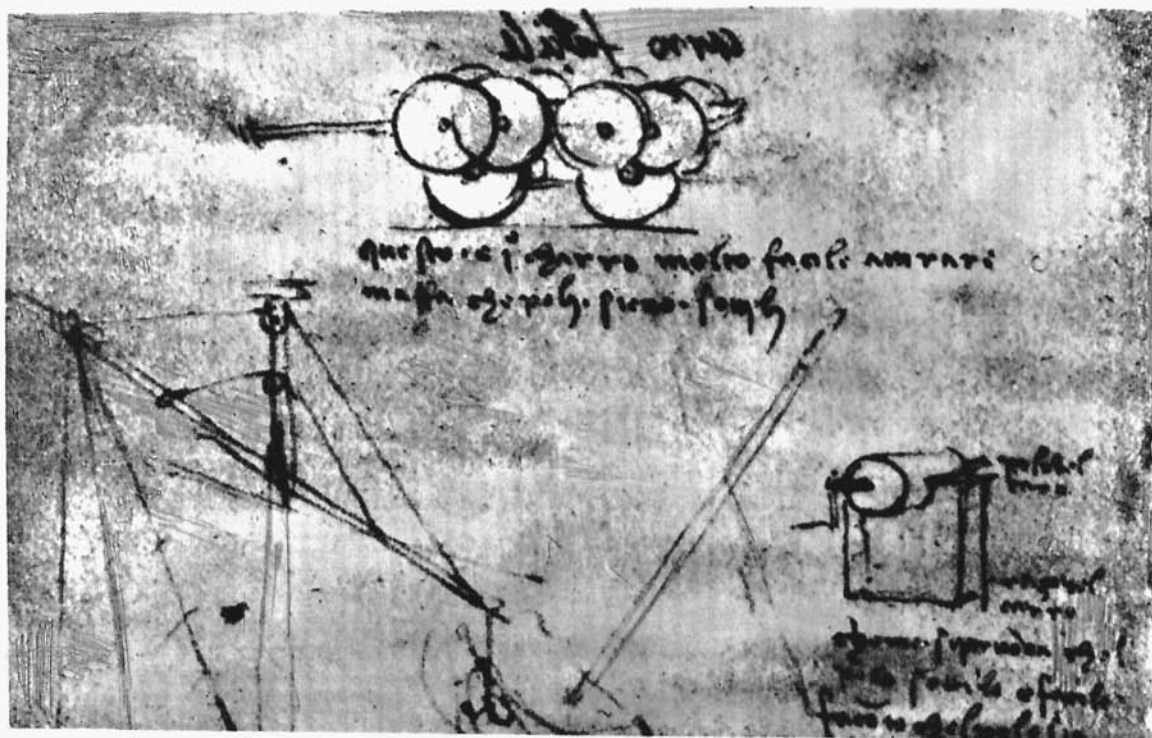
Considerando ancora più attentamente i tre disegni di veicoli sopra citati e cioè: la trasmissione con corona a piuoli e ruota a lanterna del folio 4 Va del Cod. Atl., il carro automotore del folio 296 verso a del Cod. Atl. ed il carro blindato o testuggine con 4 ruote motrici e direttrici del disegno del vol. 73 della raccolta del British Museum, abbiamo tratto la convinzione che essi rappresentano tre tappe distinte degli studi di Leonardo sulla autolocomozione o per lo meno sulla trasmissione del moto alle ruote di un veicolo.

Nella trasmissione del primo disegno, che è direttamente applicata all'asse delle ruote, Leonardo ha adottato la corona a piuoli come conduttrice, e la ruota a lanterna come condotta. La prima, a quanto può arguirsi dal disegno, ha 24 denti, la seconda 8 o 10; il rapporto di trasmissione è dunque $24/8$, ossia $3/1$. Per ogni giro della ruota conducente, la condotta, e cioè l'assale delle ruote, fa tre giri e, per conseguenza, sempre assumendo per le ruote del carro un diametro di 60 cm., per ogni giro della ruota conduttrice, il carro dovrebbe avanzare di m. 5,65.

Ora è probabile che Leonardo, se ha realizzato o tentato di realizzare questa trasmissione, abbia incontrato notevoli difficoltà a far marciare il carro anche per le sensibili resistenze di attrito che si hanno, e al rotolamento, e fra i denti della trasmissione, e ai perni delle ruote. Maestro nei problemi della leva e delle sue applicazioni, appare naturale che egli abbia pensato di risolvere per altra via il problema della trasmissione, invertendo gli organi della trasmissione stessa: adottando cioè la ruota a lanterna — avente minor numero di denti — come elemento condut-



Abbozzo di un carro mosso da un peso a caduta. (Ms. 2037 Bibl. Nation. - Fol. 2V).

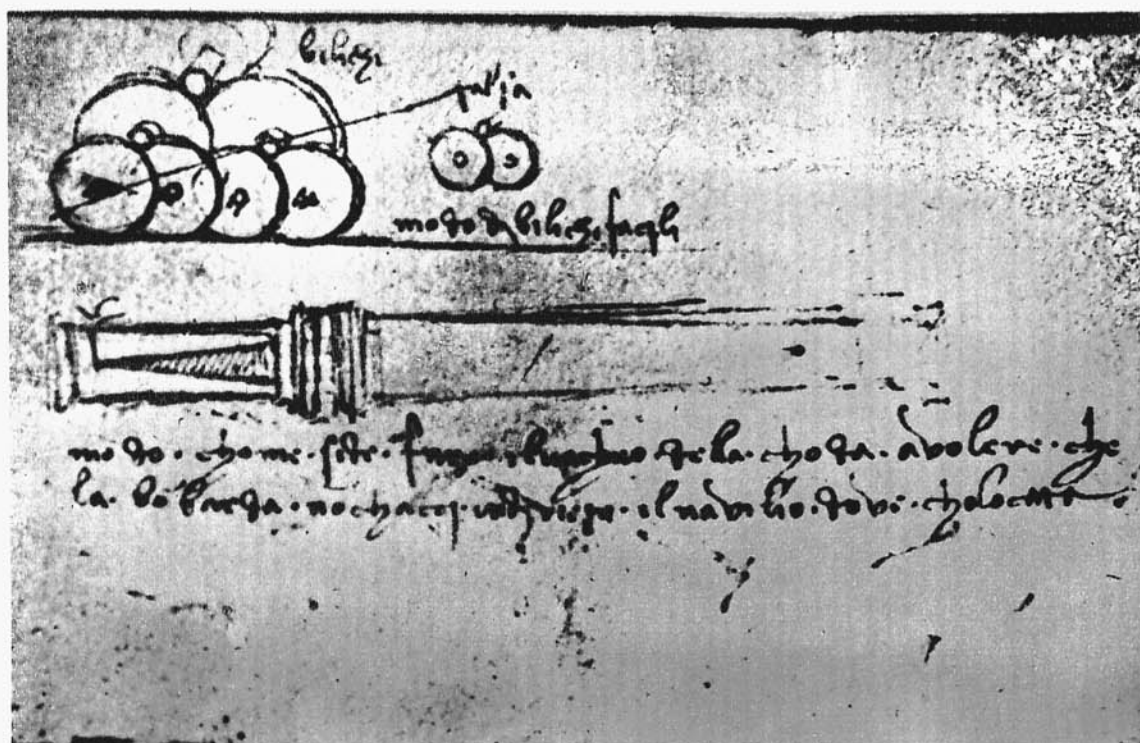


Carro su sistemi di rulli, dai Codici dell'Inst. de France - Ms. B. Fol. 33 v.

tore, e la ruota a piuoli come condotta. È quello che ha fatto appunto nel suo carro automotore del folio 296 del Cod. Atl. che è stato sopra descritto. La trasmissione di questo carro è costituita appunto da una ruota a lanterna, conduttrice, di 8 o 10 denti e di una corona a piuoli (ruota del carro) di 18 o 20 denti, avente dunque un rapporto di $1/2$; tale che per ogni giro della ruota a lanterna conduttrice, la ruota condotta del carro, qualora abbia 60 cm. di diametro, avanza di mezzo giro, ossia di m. 0,94 e di 9 centimetri per ogni dente. Se si pensa di poter far girare il rocchetto conduttore a lanterna alla velocità di un giro ogni due secondi, se ne deduce, che il carro avanzerà alla velocità di 1693 metri all'ora, che è certo molto modesta. Ma evidentemente Leonardo pensava più che alla velocità, alla possibilità di realizzazione del moto senza traino, e non solo ha adottato una trasmissione con rapporto di riduzione, diminuendo quindi — a parità di condizioni del veicolo — lo sforzo necessario alla ruota conduttrice; ma ha applicato ad ognuna delle due ruote del carro una trasmissione indipendente rendendone più agevole il moto.

Appunto seguendo questo processo mentale, riteniamo che Leonardo abbia pensato alle due trasmissioni indipendenti alle ruote, e quindi alla necessità di un differenziale, così come è stato disegnato in questo suo carro automotore.

Continuando poi in questa sua concezione deve essere arrivato al terzo dei carri da noi considerati, e cioè, al carro blindato o testuggine, con 4 ruote motrici — oltre che direttrici — rese vieppiù necessarie per la mole ed il peso del carro stesso, per muovere il quale egli ha appunto previsto l'impiego di 8 uomini, ai due alberi a manovella che comandano due ruote ciascuno.



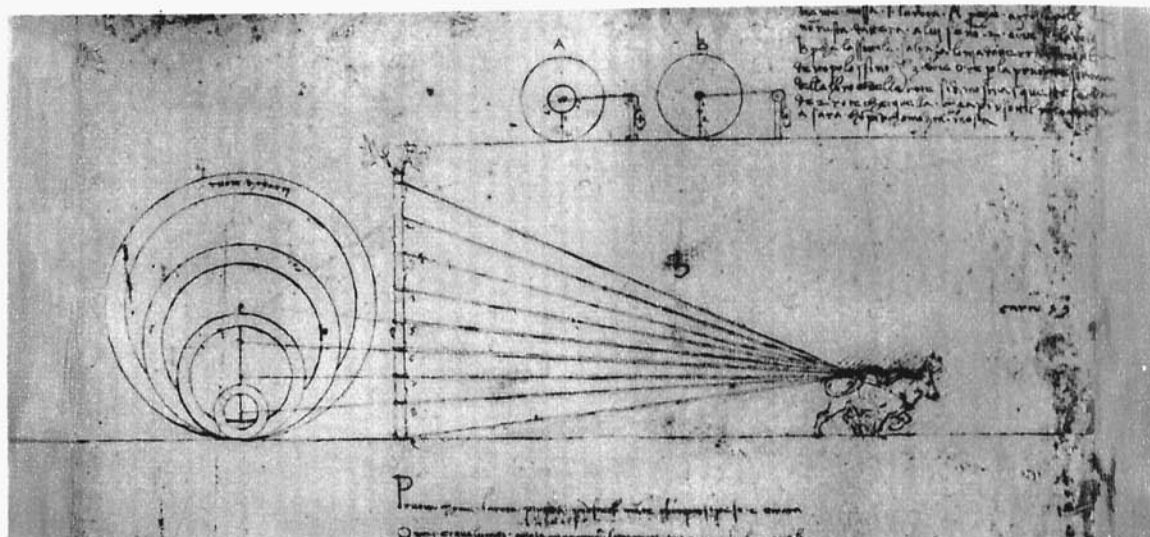
Sistema di rulli o bilichi, dai Codici dell'Inst. de France - Ms. 2037 - Fol. 9r (Bibl. Vaticana).

Non sono naturalmente solo questi i veicoli disegnati da Leonardo, il quale fra l'altro ha ideato una ingegnosa ruspa che par uscita dalla matita di un moderno ingegnere, ma essi ci sembrano costituire un gruppo a sè, nel quadro dei problemi della locomozione trattati dal grande Maestro, e l'uno dall'altro derivati per quel processo mentale che ci sembra naturale in questo genio il quale nessun problema mai s'è posto, che non abbia risolto o esattamente prospettato:

I problemi della locomozione del resto occupano nella vastissima opera di Leonardo un posto certo non secondario, ed il suo spirito pratico ed acuto li ha chiaramente tutti impostati. Da un lato egli studia i mezzi di ridurre la resistenza e gli attriti all'avanzamento del veicolo, dall'altro cerca la fonte di energia che gli permetta di arrivare alla autolocomozione ed alla abolizione della trazione animale.

Nelle sue tavole, infatti, numerosi sono gli accenni, i disegni, gli schizzi, i calcoli riferentisi ai problemi della locomozione. Oltre ai due carri citati, uno automotore e l'altro semovente, oltre ai molti sistemi di trasmissione ed ai veicoli da trasporto di diverso genere, che Leonardo studia e disegna, un altro carro automotore troviamo al verso del «folio 2» del Ms H della Raccolta dell'Institut de France, nel quale è schizzato un veicolo a 4 ruote che parrebbe mosso per mezzo di un peso a caduta, secondo un sistema che egli chiama «modo di carro facile a tirare», e che è purtroppo appena accennato.

Attraverso lo studio della disposizione dei pesi ed attraverso i più vari sistemi di trasmissioni e di rinvii, Leonardo ha cercato di superare gli ostacoli posti dai tra-



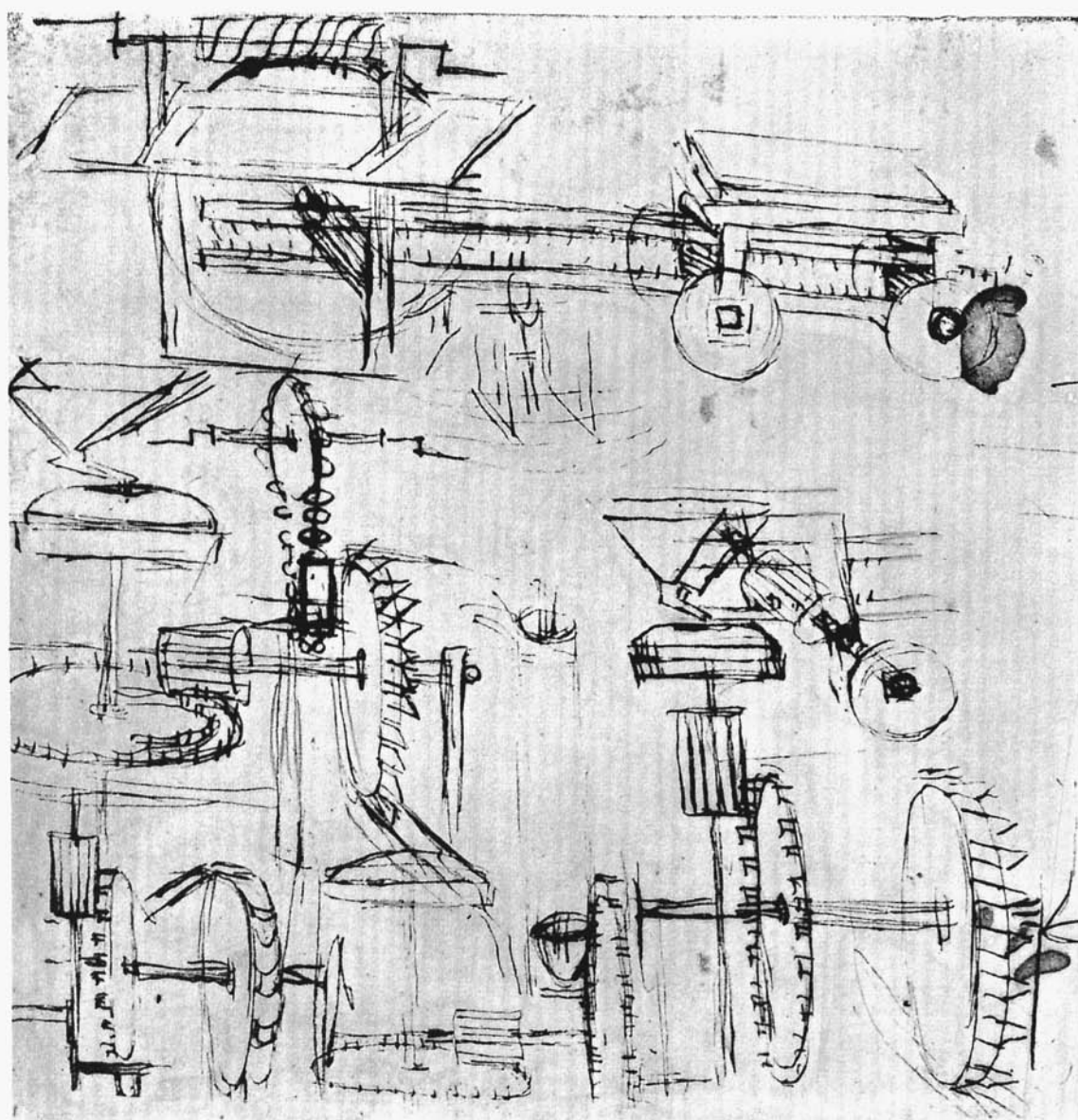
*Dimostrazione grafica di Leonardo sullo sforzo di trazione e sull'attrito di rotolamento.
(Cod. Atl. - Fol. 211-Ra).*

sporti pesanti, e ai fogli 33, 76 e 77 del Ms B ed al foglio 9 del Ms H della stessa Raccolta dell'Institut de France, egli ci descrive altri «carri di facile e comodo movimento». Obbligato a considerare e ad impiegare forze di trazione limitate, egli si impegna per sfruttarle il più razionalmente ed il più proficuamente possibile. E inventa «i bilichi» che diventeranno poi i rulli; e getta le prime basi sullo studio degli attriti nei perni, ed imposta il problema sulla direzione più conveniente dello sforzo di trazione nel veicolo, ed intravede — pur senza enunciarle in forma esauriente e completa — le leggi sull'attrito di rotolamento.

Leonardo ha chiaramente distinto l'attrito radente da quello volvente e, nelle sue esperienze, ha preceduto certamente Guglielmo Amontons (1663-1705) e Charles Augustin Coulomb (1736-1806), il quale ha ripetuto le disposizioni leonardesche.

L'attrito radente è, come si sa, indipendente dalla velocità relativa degli elementi fra i quali si sviluppa e dalla estensione del contatto, e cresce proporzionalmente alla pressione. Ora Leonardo nei suoi scritti sulla «confregazione» afferma che: «la confregazione facta da un medesimo peso sarà d'eguale resistenza nel principio del suo moto ancora che 'l contatto sia di diverse larghezze e lunghezze» (Cod. Forster II-2 Fol. 132 verso); e che la «confregazione si fa di duplicata fatica in duplicato peso» (Cod. Forster III Fol. 72 recto); che «'l moto facto dai pesi per linia equidiacente, non da di sè altra difficoltà al suo motore che la propria sua confregazione che ffa col piano dove si tocca; il qual moto fia tanto più difficile quanto il piano fia più rivido e asspro. E che sia vero, movila, com'è decto, sopra palle in pian perfetto: vedrai che ssanza fatica si moverà» (Cod. Forster II, 2 Fol. 85 verso), riconoscendo anche esplicitamente che la resistenza d'attrito dipende dal grado di lavorazione delle superfici a contatto.

Generalmente egli assume per il coefficiente di attrito il valore di $1/4$ per tutti

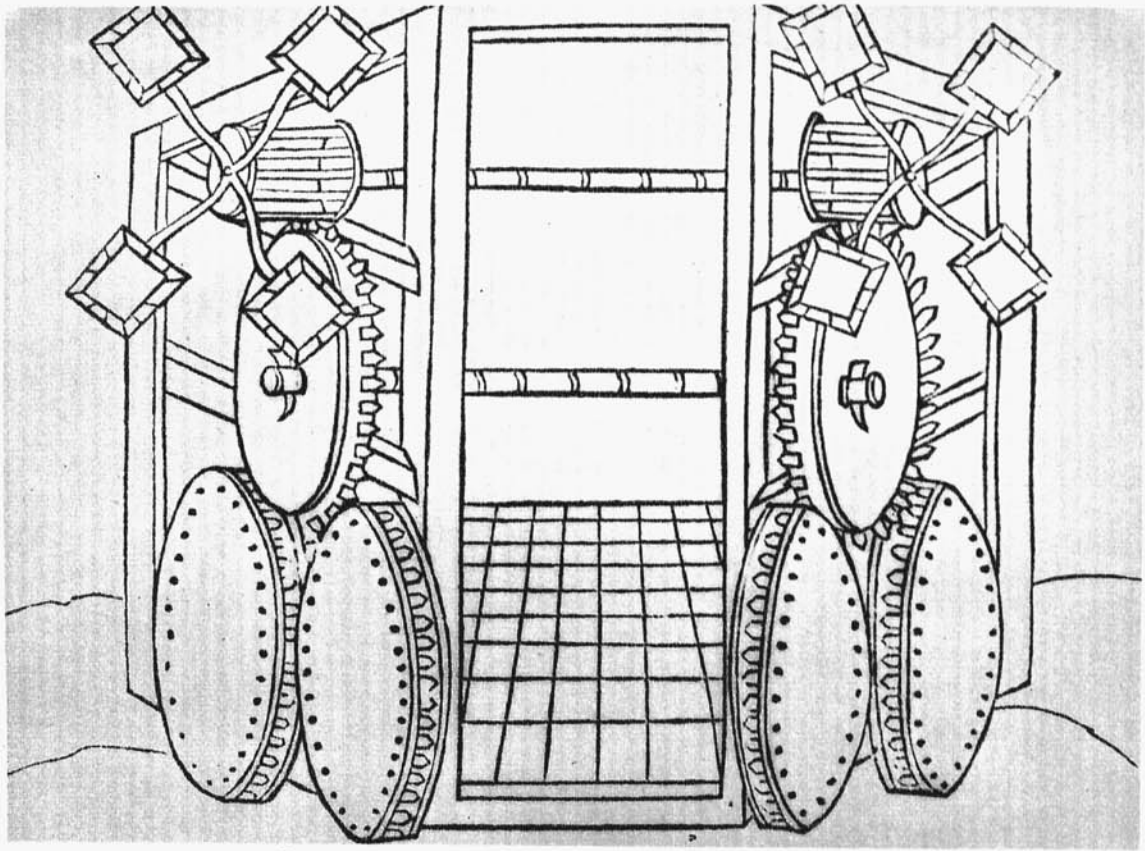


*Carrello scorrevole comandato da cremagliere ed altri meccanismi.
(Fol. 204 v. - Galleria degli Uffizi).*

i corpi in contatto, ma nella nota del folio 41 r del Codice Arundel scrive «le confregatio dei pesi pi son di tante varie resistentie quanto sono vari e' corpi chensieme siconfregano, e se elle superfitie decorpi chensieme siconfregano saranno dense e di resistentia planitia, allora il contatto grande fia dequal resistentia acquel del piccolo».

Riconoscendo in tal modo — nella prima parte — quanto la esperienza ha in seguito confermato.

Egli intravede dunque le leggi principali dell'attrito radente e la applicazione delle sfere e dei rulli per diminuire questo attrito, come al foglio 132 dello stesso Codice Forster conferma chiaramente scrivendo: «omnia e qualunque cosa per sottile ch'ella sia, la quale s'interponga in mezzo infra lle cose insieme confregate,



Carro automotore di Valturio, azionato da ventole.

alleggeriscie la difficoltà di tale confregazione», e più oltre: «meglio e più facile la rendano (la confregazione) i graniculi di miglio, e più le palle del legno o curi, cioè rote cilindrali; e quanto tali curi fieno maggiori, tanto i movimenti fiano più facili».

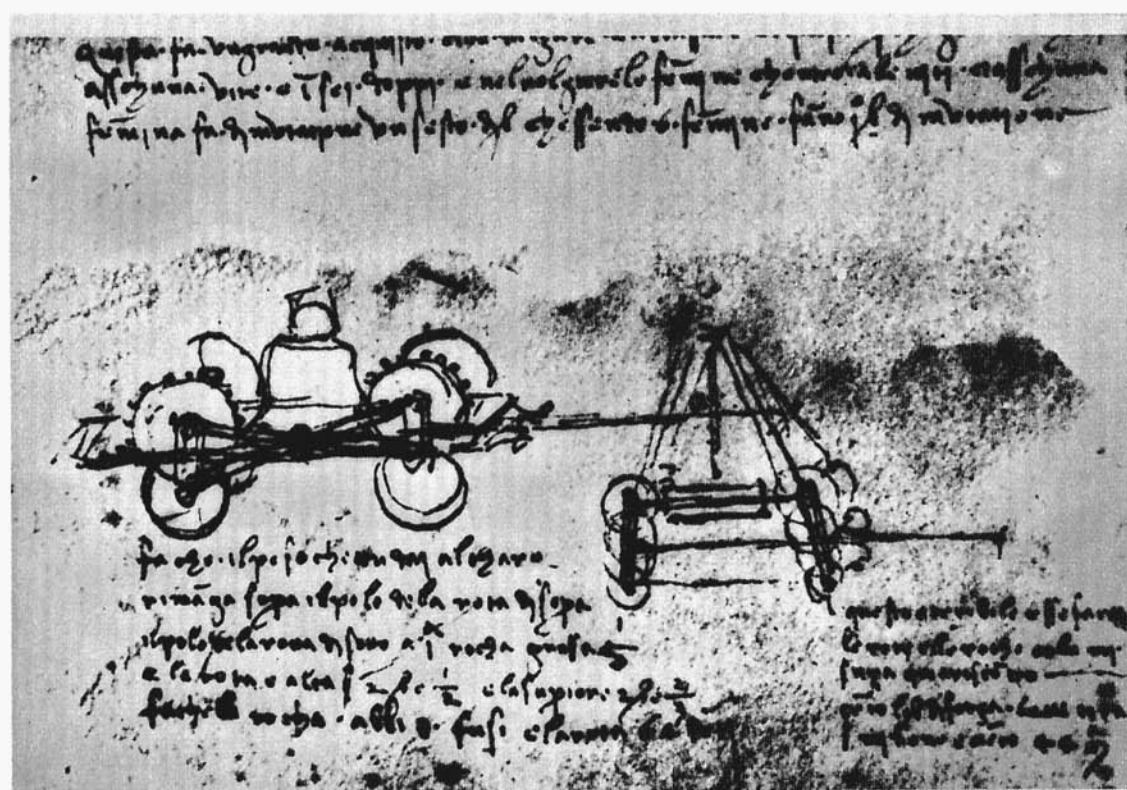
Non meno importanti sono gli studi di Leonardo sulla resistenza alla trazione e sull'attrito di rotolamento, ed egli arriva infatti alle conclusioni praticamente esatte: che nelle ruote gli assi più sottili offrono meno resistenza, e che più alta è la ruota e «più facilmente con pari peso viene tirata» (Cod. Atl. fol. 211 R.a.).

È noto infatti che per gli assi dei veicoli la resistenza alla trazione diminuisce quanto più piccolo è il rapporto fra il diametro dei perni dell'asse e quello delle ruote e che i grandi diametri nelle ruote riducono la resistenza alla trazione. In questo caso Leonardo è andato però oltre nelle sue affermazioni ritenendo che quanto più alto è applicato nella ruota lo sforzo di trazione, tanto meglio è — paragonando la ruota ad un solido incastrato ad una estremità (alla base), e all'altra estremità sollecitato a flessione — ma nella pratica s'è avvicinato alle condizioni più favorevoli di rendimento, adottando le ruote di grande diametro. In realtà è noto che il diametro delle ruote deve essere tale da permettere di esercitare lo sforzo di trazione in direzione parallela all'asse della strada (fig. a pag. 320).

Si può dunque affermare che anche nel campo della locomozione il contributo



Carro falcato di Leonardo. (Ms. B - Fol. 10 R.).



Carro per trasporto di grandi pesi. (Ms. B. - Fol. 77 R.).

di Leonardo è fondamentale e geniale e tale da aprire nuovi orizzonti ai successori.

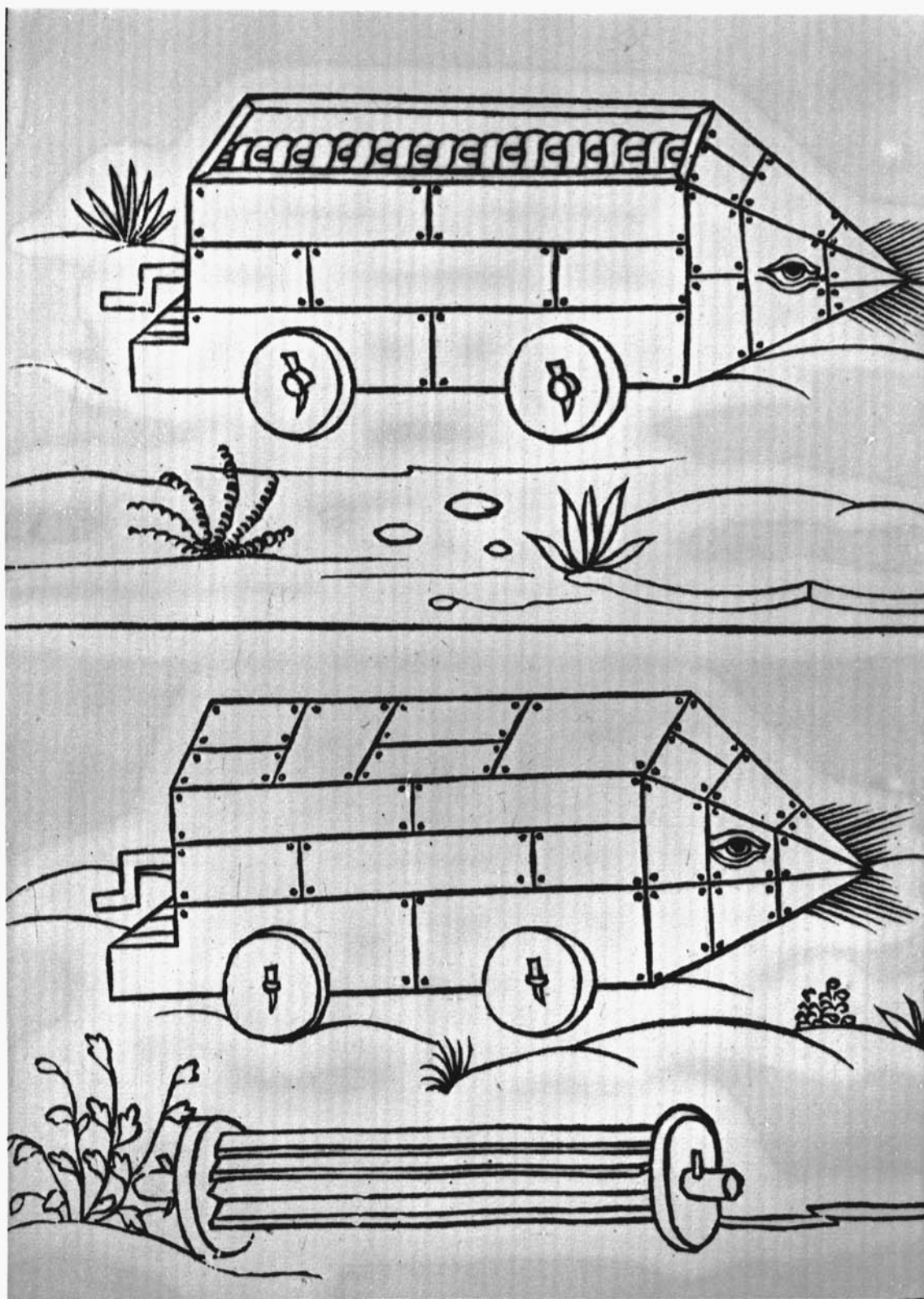
Ben diverso da quello di Leonardo è, nella concezione e nel disegno, il carro che ci ha lasciato Roberto Valturio (1413-1483) nella sua nota pubblicazione «*De Re Militari*», dedicata a Sigismondo Pandolfo Malatesta, signore di Rimini. Questo primitivo e rudimentale disegno di Valturio, pure rivelando in embrione una idea successivamente sviluppata nei carri a vela per usufruire della forza del vento, dimostra nell'autore un semplicismo puerile, specialmente nelle dimensioni delle pale delle sue ruote motrici a vento, ed una certa superficiale conoscenza degli attriti che si avrebbero nei due sistemi di ruote dentate (fig. a pag. 322).

Altrettanto primitivo è l'altro disegno del Valturio riferentesi ad un «*muscolo*» o macchina d'approccio, che è peraltro interessante per l'accennata trasmissione a vite senza fine sulle quattro ruote, mossa a mano, pel tramite di una manovella, a mezzo di due assi scanalati, un particolare dei quali è riportato nello stesso disegno in basso. Pure interessantissimi sono i disegni del Valturio riferentisi: ad un battello smontabile in compartimenti stagni, ad un'altra imbarcazione mossa a mezzo di ruote a palette azionate con manovelle, ed infine ad un tipo di battello con ruote a palette verticali.

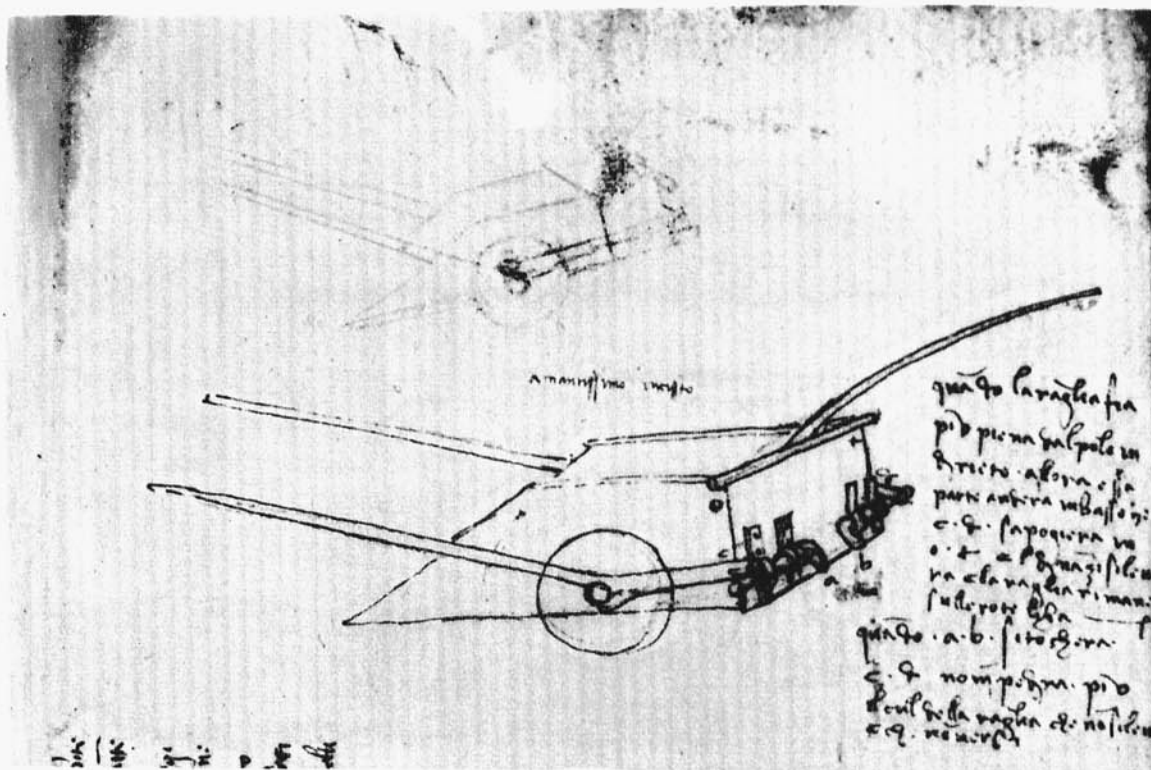
Il Valturio suo contemporaneo, come Francesco Giorgio Martini senese, Jacopo Mariano, detto il Taccola, pure di Siena (XV sec. prima metà) autore del «*De Machinis*», dove sono disegnate macchine diverse: argani, battelli a ruote, sifoni, e dove si trova il più antico disegno di un palombaro con scafandro; Giovanni Fontana, il milanese Pietro Monti, il tedesco Corrado Kyser, fondatore dell'arte militare tedesca (1366-1405), Egidio Colonna, detto anche Egidio Romano (1257-1316), che scrisse sulle opere di Aristotele, e ancora Biringuccio Vannoccio (1480-1539) da Siena maestro di fonderia, considerato uno dei maggiori esponenti del metodo sperimentale, appunto nel campo metallurgico, Leon Battista Alberti (1404-1472), Marco Greco Vegezio (fine IV sec. d. C.), Vitruvio (27 a. C.), Luca Pacioli (1445-1509?) che lo orientò verso la geometria, tutti Leonardo quasi certamente conobbe e studiò almeno in parte delle loro opere.

Sulle fonti alle quali ha attinto Leonardo e sulla influenza che ebbero, nel campo della statica e della dinamica le sue concezioni, molto s'è scritto, specialmente in questi ultimi anni. Pierre Duhem, Edmondo Solmi, Roberto Marcolongo, hanno trattato con autorità indiscussa questa materia, sulla quale noi dobbiamo limitarci a dare qualche cenno necessario per lumeggiare l'importantissimo contributo che, specie nel campo della dinamica, ha dato Leonardo, il quale va considerato come il più autorevole e geniale precursore di Galileo.

Dopo il Filopono, che abbiám visto essere il primo nel VI secolo a schierarsi contro la concezione aristotelica del moto, è verso la fine del duecento che si inizia il movimento avverso alle teorie delle scuole peripatetica e neoplatonica, e che Guglielmo Occam (morto nel 1347), scolaro del francescano Duns Scoto (morto nel 1304) dell'Università di Oxford, si erge contro la teoria del moto dei proiettili emessa da Aristotele. L'Occam non fa che ripetere la teoria dell'«*impeto*», ossia



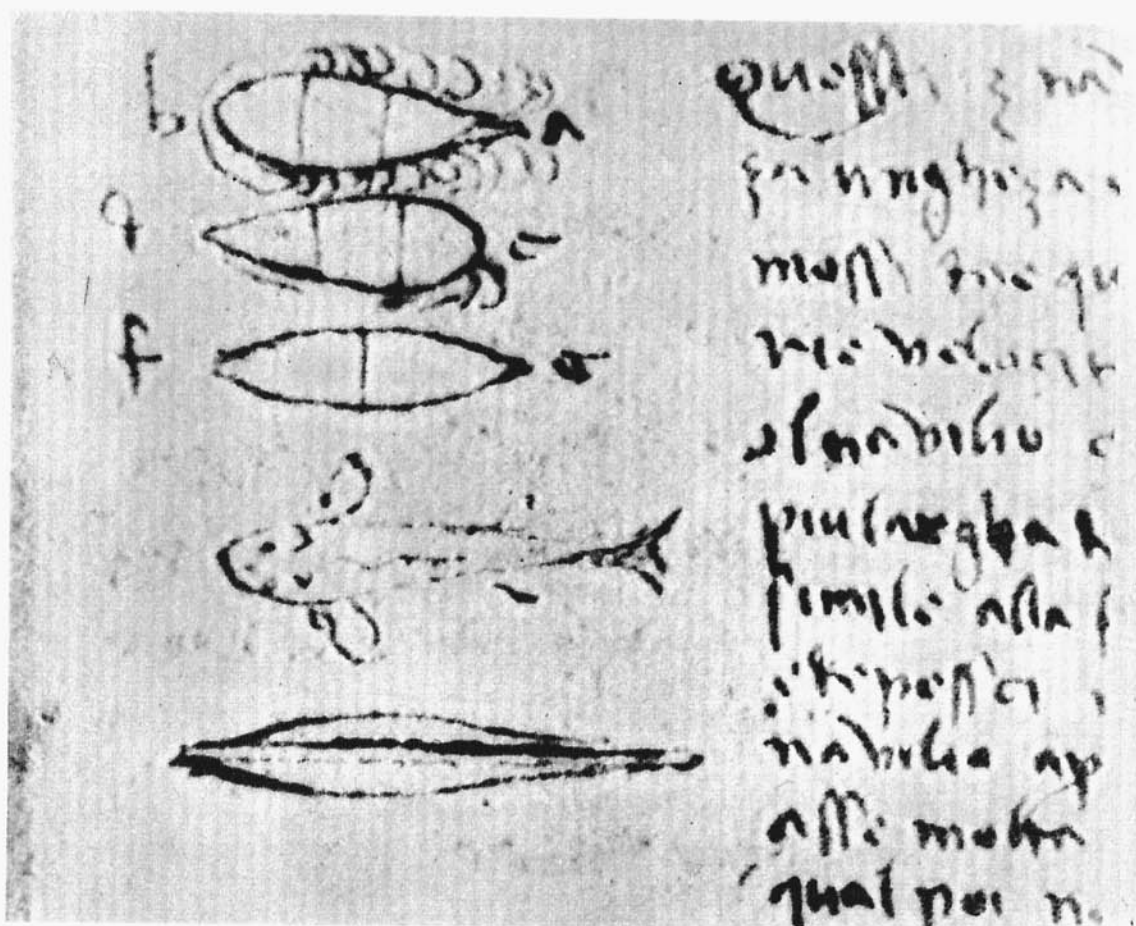
"Muscolo" a quattro ruote motrici azionate da una vite senza fine, secondo Roberto Valturio



La ruspa di Leonardo con fondo apribile. (Cod. Atl. - Fol. 389 Vc.).

della energia motrice, ma in effetto non porta alcun contributo costruttivo; sarà invece un suo scolaro, Giovanni Buridan, divenuto poi rettore della Sorbona, ad intuire la legge dell'inerzia, ossia la continuazione del moto del proiettile se venisse a mancare la resistenza dell'aria, ed a fondare virtualmente quella dinamica che «s'accordi con tutti i fenomeni». In seguito «l'impetus» di Buridan — proporzionale alla velocità del motore ed alla quantità di materia del mobile — diventerà «l'impeto» o «momento» di Galileo, «la quantità di moto» di Descartes, «la forza viva» di Leibnitz.

La dinamica di Buridan è ripresa ed insegnata dai due suoi migliori discepoli: Alberto di Sassonia e Nicola Orèsme, i quali, pur perfezionandola, non arrivano ancora a concetti chiari e definitivi, specie per quanto riguarda la caduta dei gravi. Il contributo di questi studiosi, così come quello delle Scuole di Parigi e di Oxford, allo sviluppo della dinamica è certo notevole — ma non tale da oscurare — come vorrebbe il Duhem trascinato dal suo entusiasmo — l'opera e le scoperte di Galileo e di Leonardo. Quest'ultimo che indubbiamente conosceva le teorie dei suoi predecessori e della Scuola di Parigi in particolare — «è tra i primi» — come scrive il Marcolongo — «che abbiano avuto una nozione chiara e generale della legge dell'inerzia — pur riattaccandosi alle tradizioni della Scuola parigina, e ne abbia «fatte applicazioni concrete alle leggi del moto e sia quindi andato più innanzi di Galileo, che non seppe innalzarsi alla considerazione generale ed astratta del «corpo libero — come invece seppe fare Giuseppe Ballo» (Palermo 1576-1640)

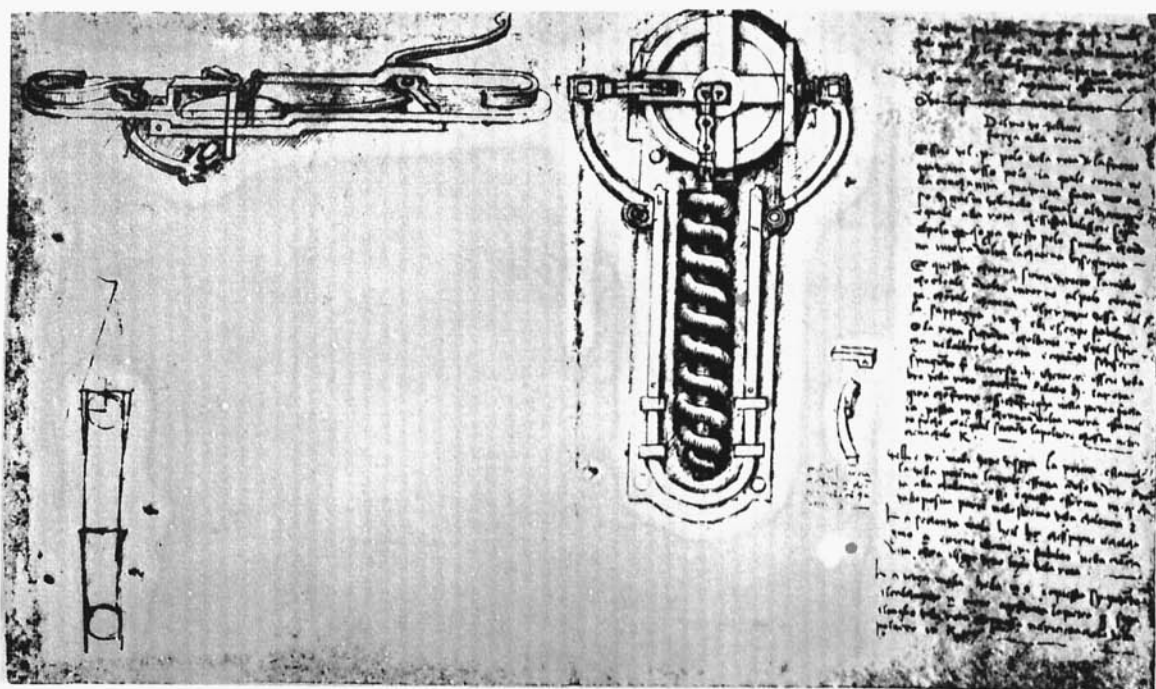


Studi sulle forme idrodinamiche. (Cod. Inst. de France - Ms. G. L. M. - Fol. 50 V.).

il quale è il primo nella sua opera «*Demonstratio de motu corporum naturali*» (1635) ad enunciare, senza possibilità di equivoci, il principio generale della legge di inerzia, applicandolo al moto accelerato dei gravi nel vuoto, indipendentemente da Descartes (1629).

La prima legge del moto che oggi è così espressa: «un corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo ed uniforme finchè non agisca su di esso qualche causa esterna», da Leonardo, nel Codice Atlantico folio 109-Va, è così definita: «ogni corpo seguirà tanto la via del suo corso per retta linea, quanto durerà in esso la natura della violenza fatta dal suo motore», e nel Codice sul volo degli uccelli 13 r, pag. 106, come segue: «ogni moto attende al suo mantenimento, ovvero ogni corpo mosso sempre si move, in mentre che la impressione della potenza del motore in lui si riserva».

Sulla seconda legge della dinamica o della quantità di moto, secondo la quale «ogni variazione di moto è proporzionale alla forza agente, ed avviene nella direzione della retta lungo la quale la forza agisce», Leonardo non ci dà — invece — alcun nuovo contributo perchè segue la concezione di Aristotele, per la quale «in natura non si dà vacuo», affermando che la velocità è proporzionale alla potenza.



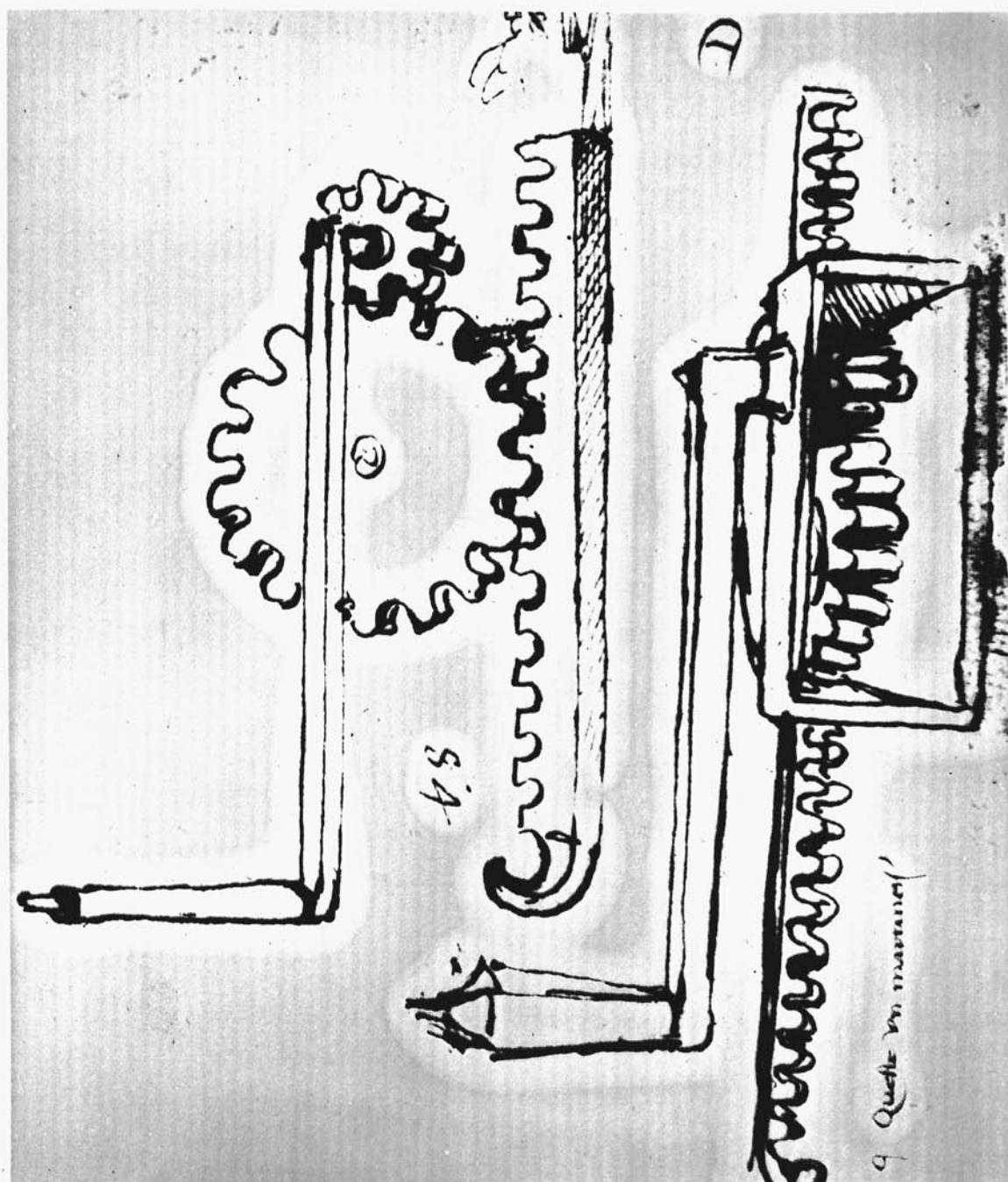
Apparecchio per l'accensione automatica dei cannoni. (Cod. Atl. 56-Vb).

Chiaramente ed esplicitamente Leonardo enuncia invece la terza legge del moto che viene normalmente attribuita a Newton, secondo la quale «ad ogni azione che un corpo esercita sopra un altro, corrisponde sempre una reazione eguale e contraria».

Egli infatti scrive: «tanta forza si fa colla cosa incontro all'aria, quanto l'aria incontro alla cosa», ed ancora (Atl. 175 R c.) «in quanto al moto dell'acqua, tanto fa muovere il remo contro l'acqua immobile, quanto muovere l'acqua contro al remo immobile», e così (Atl. 395 R b. - maggio 1503): «tanto fa il moto dell'aria contro alla cosa ferma, quanto fa il moto del mobile contro all'aria».

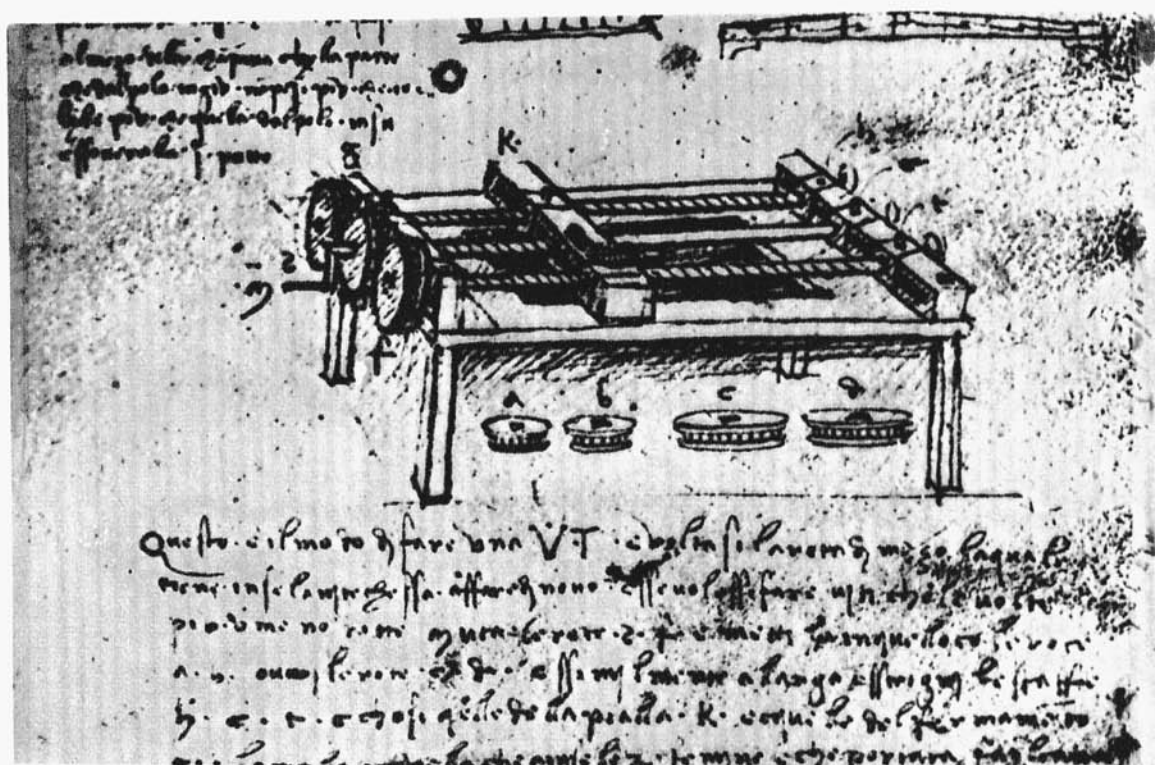
Egli ha dunque senza possibilità di equivoci definita ed enunciata questa legge fondamentale della dinamica e resta solo da rilevare la incertezza dimostrata da Leonardo riguardo alla velocità di caduta dei gravi. Non è comunque da trascurarsi però il fatto che egli non essendo arrivato a stabilirne le leggi aveva peraltro compreso di non essere nel giusto.

Per contro Leonardo ha intravisto le leggi che regolano il moto dei gravi per archi di cerchio, precedendo anche in questo le geniali ricerche di Galileo, ed ha avuto l'idea della rotazione della terra e della deviazione dei gravi dalla verticale. Con Roberto Marcolongo possiamo dunque concludere che egli «è senza alcun dubbio il più grande precursore di Galileo» che supera «nella formulazione netta della prima e terza legge del moto e ancora nella retta interpretazione della caduta dei gravi, tenuto conto della rotazione terrestre» nella quale precorre Borelli e Newton.



Martinetto disegnato da Leonardo. (Cod. Atl. - Fol. 359-Rc).

Se con Leonardo Fibonacci — come vedemmo — s'era iniziata la rinascita in Europa delle matematiche, senza peraltro avere quel seguito che era lecito sperare, non essendosi progredito, nei tre secoli che lo seguirono, che nell'arte del calcolo e nella trigonometria, con Leonardo da Vinci, lo spirito più universale del Rinascimento, si inizia e si afferma, nel tumultuoso periodo intellettuale nel quale visse, quell'abito mentale di osservazione e di esperienza che doveva estendersi rapida-

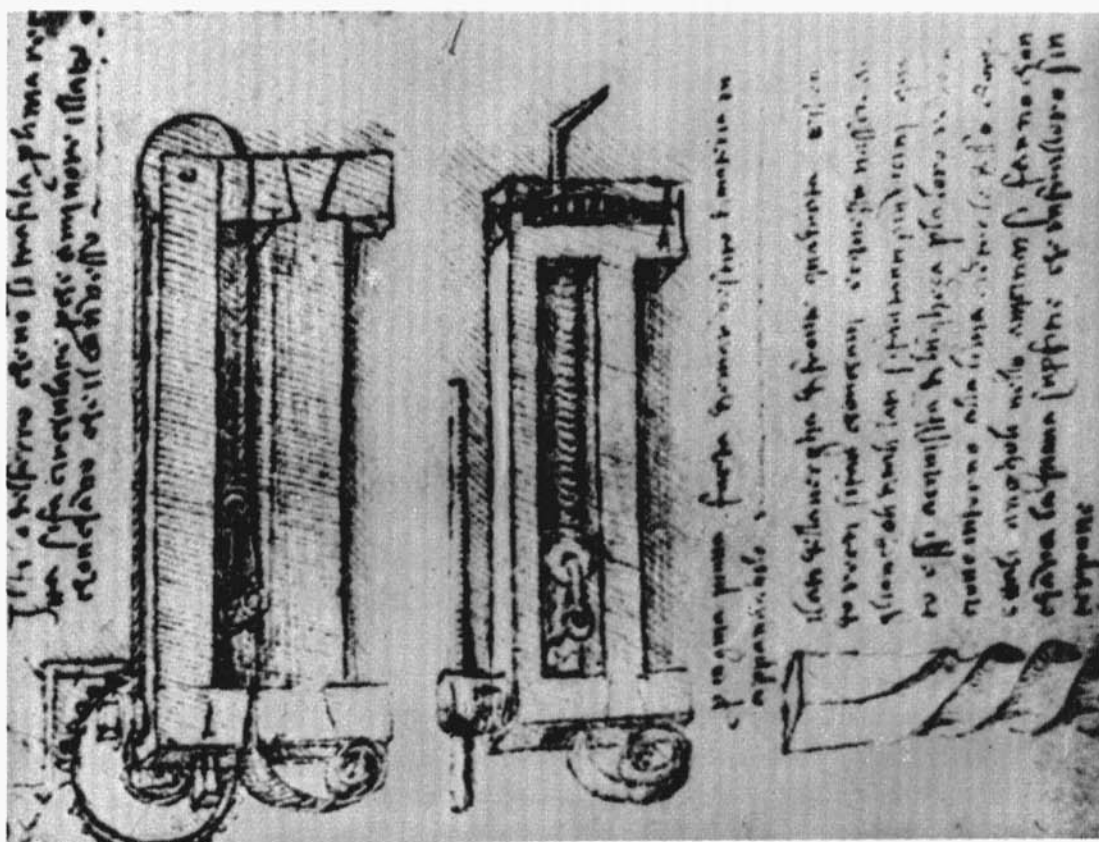


Macchina di Leonardo per costruire viti. (Ms. B. - Fol. 70-v).

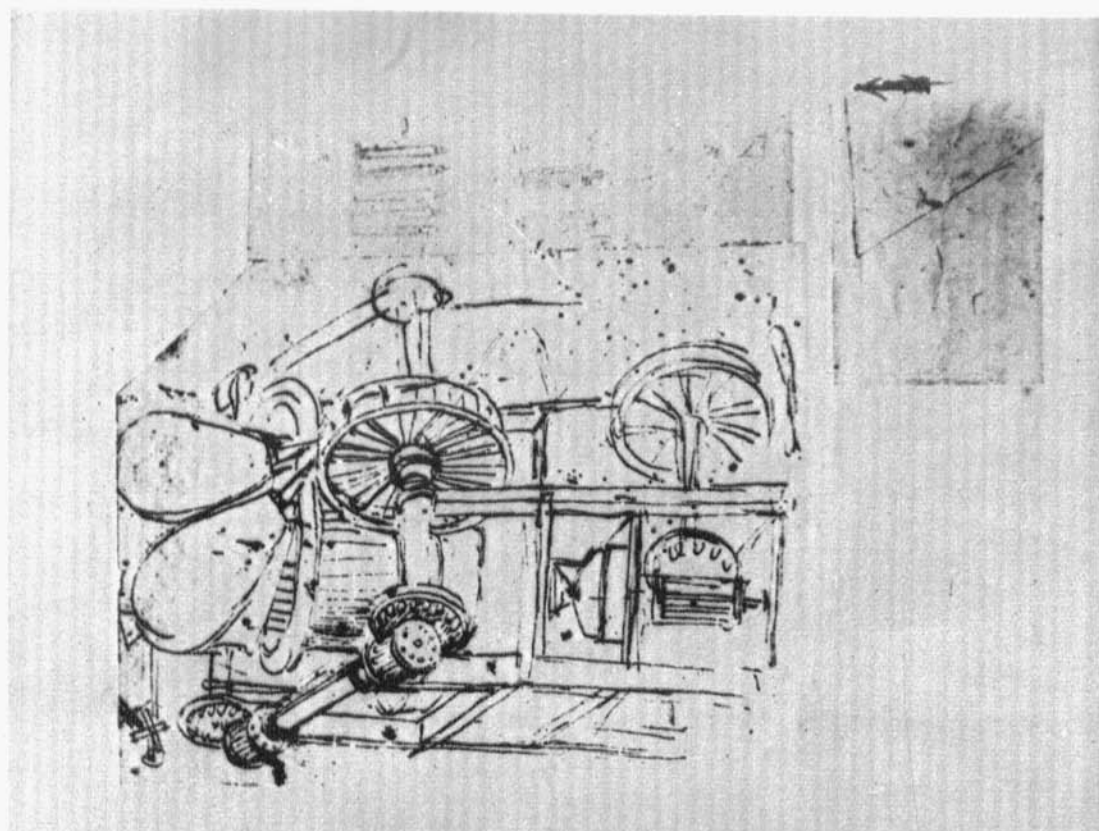
mente in Italia e portare ai principî ed ai metodi della scienza moderna, gettati da Galileo Galilei.

È naturale che la vasta, poderosa e geniale attività di Leonardo abbia profondamente influito sugli sviluppi della meccanica e del pensiero scientifico, anche se non tutta nota ai suoi contemporanei. Nicolò Tartaglia da Brescia (1499-1557) e Gerolamo Cardano di Pavia (1501-1576) sono i primi e più eminenti seguaci dell'opera vinciana, ed i due protagonisti di una delle tante disfide matematiche che distinguono questo periodo. Al primo di essi è attribuita la scoperta della equazione di terzo grado, che indipendentemente trovava pure Scipione del Ferro di Bologna (1455-1526), mentre la risoluzione della equazione di quarto grado spetta a Ludovico Ferrari (1522-1565) allievo del Cardano, che le pubblicò entrambe. Tartaglia, pure seguendo la teoria aristotelica, contraddicendosi anzi nella esposizione della sua dinamica, ha però il grande merito di avere lasciato una opera di innegabile valore e portata nel campo matematico, e di avere nel suo volume «Quesiti et Inventioni diverse» applicato per primo (1537) il ragionamento matematico al tiro delle artiglierie, deducendone che il proiettile descrive una traiettoria curva dall'origine al punto di caduta, contrariamente alle teorie precedenti, che consideravano questa traiettoria rettilinea nei due tratti iniziale e finale, tra loro raccordati da un arco di cerchio.

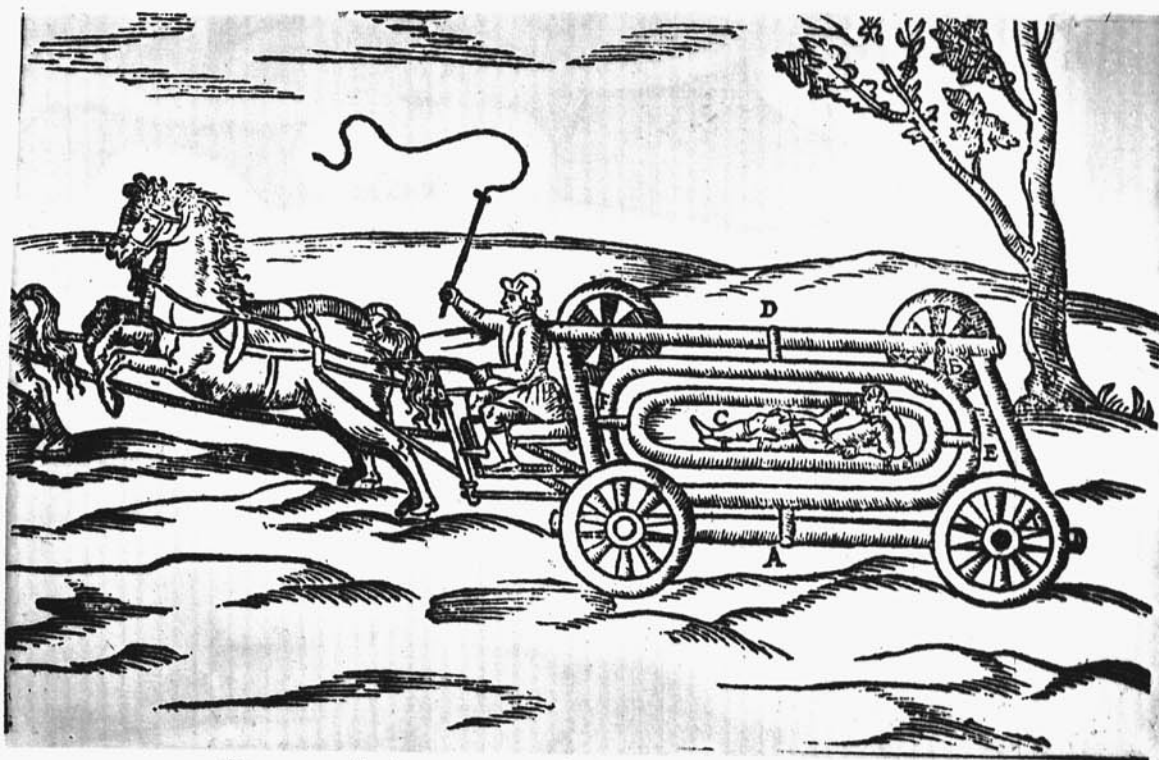
Per quanto il Duhem,⁽¹⁾ si scagli violentemente contro il Tartaglia, che egli accusa di plagio e di scorrettezza — senza tener conto delle condizioni passionali



Trasfila per fogli di metallo. (Fol. 72-R).



Ruota azionata da mantici. (Leonardo - Cod. Atl. - Fol. 13-Vb).



Carro con lettiga su sospensioni cardaniche. (Branca, 1629).

di ambiente nelle quali il grande bresciano visse e, dalle quali non furono immuni neppure altri suoi contemporanei – e il Cardano fra questi – è fuor di dubbio che egli resta una delle figure preminenti del gruppo dei seguaci di Leonardo, e di lui ricorderemo anche il progetto di una campana pneumatica subacquea. Anche Gerolamo Cardano, nella sua vasta ed enciclopedica opera nel campo della matematica e della fisica, segue Leonardo e studia la diversa resistenza del mezzo ai proiettili, ma resta impreciso e spesso oscuro, ammirevole comunque per il suo spirito polemico che non si piegò neppure davanti ai violenti attacchi di Giulio Cesare Scaligero di Verona (1484-1558) fautore fanatico della Scuola parigina.

Più vicino a Leonardo è Bernardino Telesio (1509-1588), che attribuisce all'«impetus» impresso al proiettile la continuità del suo moto, e che sul metodo induttivo basato sull'esperienza fonda le sue osservazioni, così come può considerarsi lo sia Francesco Maurolico di Messina (1494-1575), che fa una allusione all'«impetus» creato dal peso e che nella sua dottissima ed enciclopedica opera si occupa anche in modo particolare delle ricerche di Archimede sui centri di gravità.

Se da una parte dalla scuola di Contarini e di Vicomercati escono Andrea Cesalpino (1519-1603), al quale pare debba attribuirsi la scoperta della circolazione del sangue, e Girolamo Borro (1512-1592) entrambi di Arezzo ed entrambi seguaci delle teorie di Aristotele in dinamica, dall'altra i germi gettati da Leonardo danno i loro frutti nel pensiero scientifico italiano e: Alessandro Piccolomini senese (1508-1578), Bernardino Baldi da Urbino (1530-1617) e Giambattista Bene-



Gerolamo Cardano di Pavia. (1501-1576).

detti di Venezia (1530-1590) in questa fine di secolo possono a giusta ragione porsi fra i fondatori della meccanica moderna. E particolarmente importante va considerato il contributo di G. B. Benedetti, il quale riprendendo un esempio citato da Alberto di Sassonia a proposito della mola di un fabbro che giri orizzontalmente poggiata su un punto, spiega che questa mola si ferma per quattro ragioni: la 1^a, perchè questo moto non è naturale alla ruota, la 2^a, perchè essa deve riposare su un perno che genera attrito e quindi resistenza, la 3^a, perchè l'aria contigua a questa ruota la frena continuamente opponendosi quindi al moto; la 4^a, perchè le diverse particelle, di cui la ruota si compone, hanno tendenza, una volta lanciate, a muoversi rettilinearmente e non circolarmente «soffrendo così violenza quando sono mosse in cerchio». Affermazione quest'ultima che troviamo in Leonardo quando dice che «ogni grave che si muove sia per sua natura, sia per violenza desidera naturalmente muoversi in linea retta», che è un principio essenziale della dinamica di Leonardo e che G. B. Benedetti riprende concludendo che «in un corpo animato da movimento rotatorio, ogni parte tende, in ogni istante, a muoversi in linea retta».

Questa affermazione formale si ritrova anche (1577) in Guidobaldo dal Monte (1545-1607) che perfeziona il concetto della forza centrifuga introdotto

da Anassagora, secondo il quale un corpo, quando cessi l'azione della forza centripeta, sfugge per la tangente. Nel campo della meccanica il dal Monte occupa un posto di primo piano sia perchè completa lo studio della leva, sia perchè afferma che i corpi leggeri — in contrasto con la teoria di Aristotele — non cadono meno velocemente dei corpi pesanti, sia perchè infine, anche secondo l'opinione di Lagrange, è il primo che abbia espresso il principio dei lavori virtuali nella leva e nella carrucola. Del pari Tommaso Campanella (1568-1639) afferma che nel vuoto tutti i corpi cadono con la stessa velocità ed enuncia inoltre il principio che di due corpi di egual peso, il più piccolo incontrando minor resistenza nell'aria cade più velocemente.

Ancora Giordano Bruno (1548-1600) interverrà con il suo spirito chiaro-veggente e battagliero a combattere la teoria di Aristotele sul moto dei proiettili, ad opporsi alla teoria geocentrica nella sua «Cena de le Ceneri»; poi su tanti secoli di lotte, di dispute, di studi, di sacrifici, splenderà il genio di Galileo Galilei, che darà ali alla meccanica moderna.

Eguale vasta è stata la influenza di Leonardo nel campo della meccanica applicata e della ingegneria. Per quanto la sua opera scientifica ed i suoi manoscritti e disegni siano per molto tempo rimasti pressochè sconosciuti — e solo da pochi anni siano stati raccolti, pubblicati e studiati — non c'è dubbio che i suoi contemporanei abbiano almeno avuta cognizione della sua attività di ingegnere ed abbiano conosciute non poche applicazioni meccaniche e idrauliche da lui fatte e realizzate, e se ne siano serviti e le abbiano sviluppate. Autorevoli studiosi di Leonardo hanno messo in dubbio che i suoi disegni e le sue applicazioni siano stati conosciuti da suoi contemporanei o da altri successivamente, ma non si può negare che — oltre a testimonianze certe che provano il contrario — esistano alcune concordanze di disegno e di concezione che permettono di affermare che, almeno in parte, l'opera sua di costruttore meccanico sia stata nota e continuata o ripresa da tutti i più noti ingegneri meccanici del secolo di Leonardo: da Gerolamo Cardano ad Agostino Ramelli, da Bonaiuto Lorini a Jacopo Besson, da Vittorio Zonca a Fausto Verantio.

(1) In questo caso, come in quello di Torricelli, il Duhem, che pure è storico di vastissima cultura e di grandi meriti, è dolorosamente ingiusto.