

LEONARDO DA VINCI

VOLUME II

ISTITUTO GEOGRAFICO DE AGOSTINI • NOVARA

LE MACCHINE DI LEONARDO

Lontano dagli ambienti delle « università », e dai cenacoli culturali del suo tempo, estraneo alle clamorose disfatte polemiche sui più astrusi e, spesso inutili argomenti, che erano di moda allora, Leonardo, che fu un autodidatta, poté in piena libertà di spirito e di ragionamento evolvere il suo pensiero scientifico e seguire quel suo mirabile istinto di osservazione ch'è alla base di tutta la sua opera di ingegnere, di studioso, di artista.

Nella meccanica applicata, egli sopra tutti i predecessori ed i contemporanei si eleva, più che per le sue invenzioni, perchè è il primo che analizza la macchina, che la studia nei suoi particolari, che cerca di conoscerne i meccanismi e gli elementi, che infine ne comprende l'effettiva funzione.

Ed è appunto da questa comprensione della macchina e dei suoi organi che può passare alla concezione di nuove applicazioni e di nuovi meccanismi.

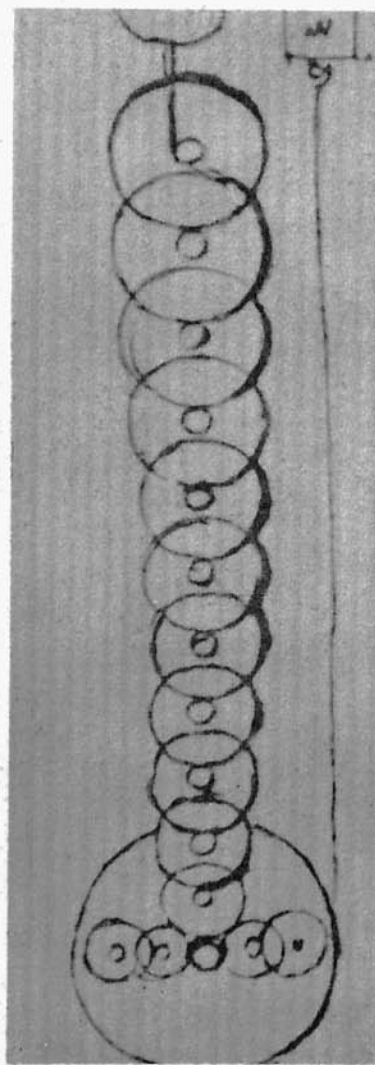
Per i meccanici che lo precedono invece, la macchina è rimasta — secondo la definizione aristotelica — il prodotto di un'arte particolare, di un artigiano, e quindi un complesso a sè stante, formato di organi che le sono propri, che non si sanno scindere ed analizzare e che — meno ancora — si disegnano e si studiano o si calcolano distintamente. Ed ancora nei successori di Leonardo, ciascuna macchina viene considerata a sè e, di volta in volta, interamente descritta, come nel Ramelli, nel Lorini, nel Besson — ad esempio — i quali ripetono descrizioni di congegni simili, e ripetutamente applicati, quasi che fossero sempre nuovi.

Con Leonardo la rappresentazione grafica della macchina assume una fisionomia, che prelude ai procedimenti moderni del disegno di macchine. Il più delle volte è appunto sui particolari dei congegni che egli si sofferma, e si direbbe che alcuni fogli dei suoi codici siano altrettanti fogli di officina che egli passava ai suoi artigiani incaricati della costruzione dei meccanismi che progettava.

Quasi sempre alla potenza espressiva del disegno egli affida le sue idee, ed a meno che non si tratti di calcoli o di enunciati, che riassumano le sue esperienze, non si perde in descrizioni particolari. Anche quando riproduce macchine già note, o riprende applicazioni meccaniche già impiegate, Leonardo imprime al progetto ed al disegno l'orma possente della sua personalità di artista, e del suo genio multiforme, e se ai disegni delle sue macchine si paragonano quelli del Kyeser, del Taccola, degli anonimi che lo precedono, o dello stesso Valturio, che è suo contemporaneo, balza all'evidenza l'abisso che esiste tra questi meccanici della decadenza, e colui che è ormai considerato il vero iniziatore del metodo scientifico, e che si può considerare come il precursore della meccanica tecnica.

A quali fonti egli si sia prevalentemente ispirato — nel campo della costruzione di macchine — sarebbe arduo stabilire, tanto più che da Erone a lui si può dire esista un vero deserto storico; ma è comunque certo che egli riprende, ridisegna, modifica e perfeziona alcune macchine che già si trovano in alcuni dei grandi meccanici che lo hanno preceduto. È anzi in questo studio della meccanica antica che si rivela quel suo spirito di critica e di ricerca, che sta alla base di tutta la sua opera di meccanico tecnico; ed è precisamente in questo suo sistematico applicarsi alla comprensione delle macchine esistenti, ed al loro perfezionamento, che rifugge, a nostro avviso, il suo genio meccanico ed il suo spirito realizzatore e positivo.

Su queste solide basi, Leonardo ha potuto costruire l'imponente edificio delle sue costruzioni meccaniche e di quella « scienza strumentale over machinale » che egli definisce: « nobilissima e sopra tutte l'altre utilissima, conciosiachè mediante quella tutti li corpi animati che hanno moto fanno tutte le loro operazioni », chiaramente determinando gli scopi e la funzione della macchina, la quale serve a disciplinare le forze di cui si dispone, in modo da ottenere, con la maggiore esattezza possibile, e con il minor impiego dell'opera diretta dell'uomo, un determinato lavoro.

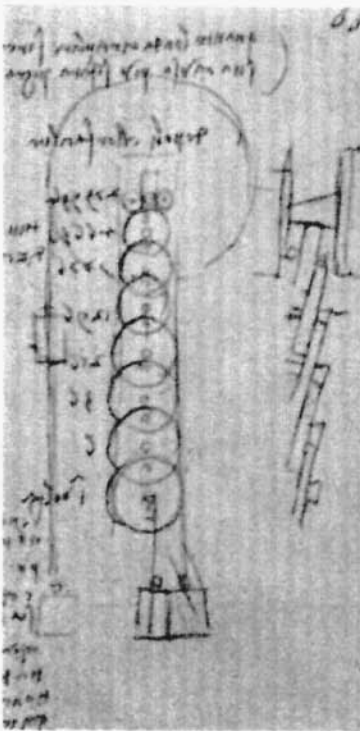


Sopra e sotto: Studi di dispositivi anti-frizione — Ms. I, fol. 58 recto

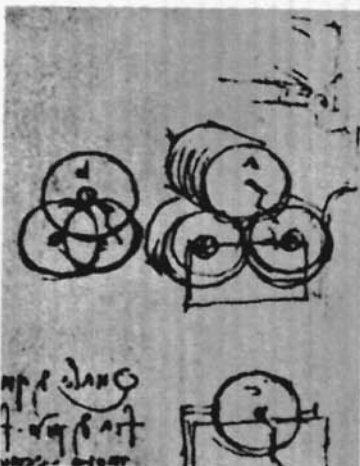
Esperienze ed annotazioni sull'attrito dei perni e sull'equilibrio nei piani inclinati - Cod. Atlan., fol. 305 verso-b



Campana con armatura montata su rulli



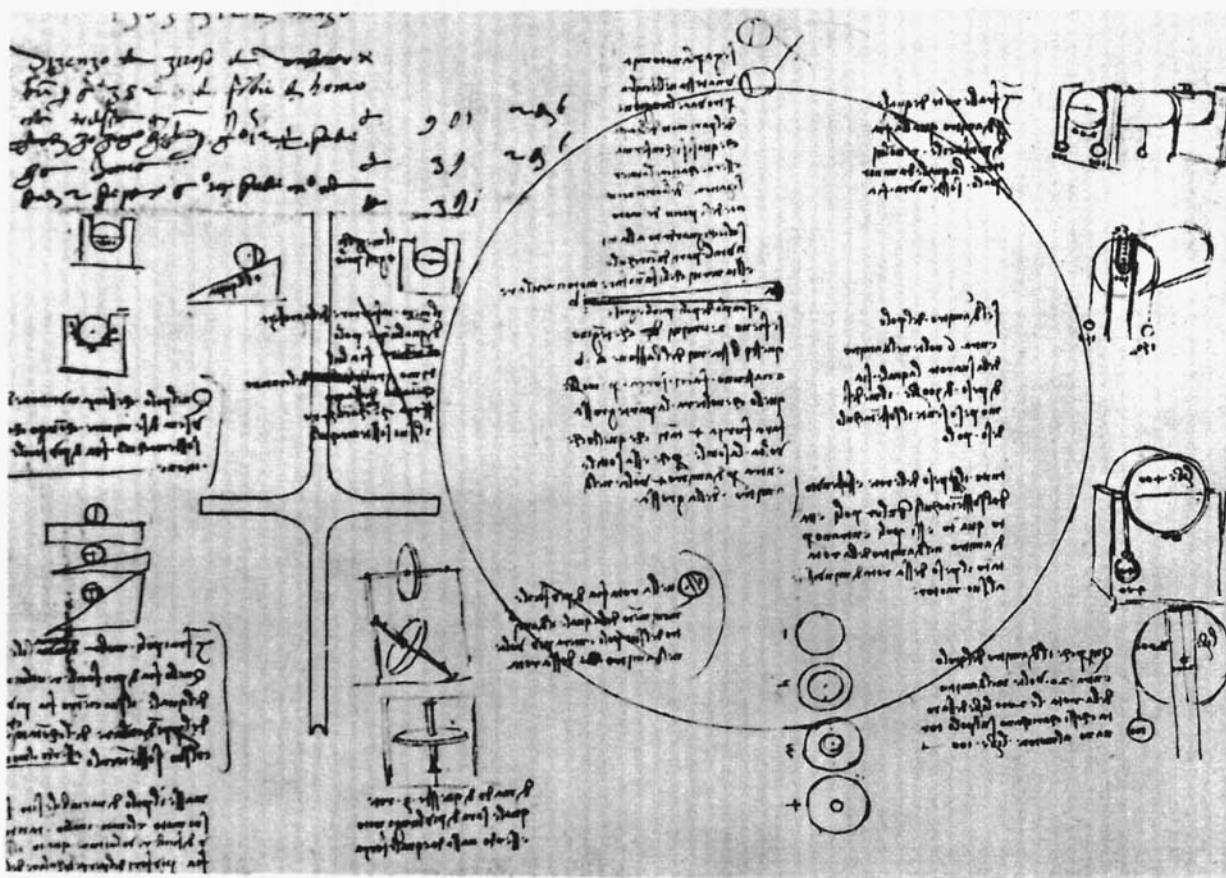
Altro sistema di ruota motrice con perno su rulli inclinati - Ms. I, fol. 114 recto



Perni rotanti su rulli - Cod. Atlan., fol. 9 recto



Particolare di un piccolo banco sperimentale per l'attrito dei «poli» - Ms. 2037, fol. 9 recto



Ora, in tutta l'opera di Leonardo, disegnatore e costruttore di macchine, è evidente questo suo sforzo tendente a ridurre il lavoro dell'uomo, a sfruttare le fonti di energia di cui era in possesso, ad ottenere dai suoi meccanismi la maggior precisione di movimenti, ed il maggior rendimento, a giungere alla realizzazione di quel suo grande sogno di « far strumenti dove essa forza generar si potessi, perchè con essa infiniti mondi si moverebbero ».

S'è fatto a Leonardo l'appunto di aver disegnato macchine e congegni ineseguibili; s'è detto anche che la maggior parte di questi suoi disegni non sono che il parto della fantasia accesa di un artista. Ma se è vero che non sempre gli appunti vinciani sono chiari o completi, se è vero che alcuni meccanismi rimangono incomprensibili, perchè non perfezionati, è anche vero — e lo dimostrò clamorosamente la Mostra milanese di Leonardo — che parecchie delle molte macchine disegnate dalla miracolosa « sinistra mano » sono facilmente realizzabili, razionalmente congegnate e perfettamente funzionanti.

Leonardo stesso, del resto, quando scrive: « a ciascuno strumento si richiede di essere fatto colla speranza » ci conferma che sua costante preoccupazione, nella impostazione delle macchine che progettava, era precisamente quella di realizzare e sperimentare i meccanismi che aveva ideato. Ma nei suoi scritti ci sono anche le prove dirette di questa sua attività di costruttore di macchine; da essi infatti risulta che, accanto al suo studio di pittore, c'era il laboratorio di meccanica, nel quale lavoravano artigiani e specialisti.

In una sua annotazione del 1493 egli scrive: « A di primo novembre facemmo conto. Giulio restava a rimettere mesi quattro e maestro Tomaso mesi nove. Maestro Tomaso fece poi sei candelieri: di 10. Giulio, in certe molle, di 15. Lavorò poi per sè in sino a di 27 maggio, e lavorò per me uno martinetto da di 18 luglio insino a di 17 agosto, e in questo un mezzo di per una donna, e poi per me in due serrature insino a di 20 agosto ».

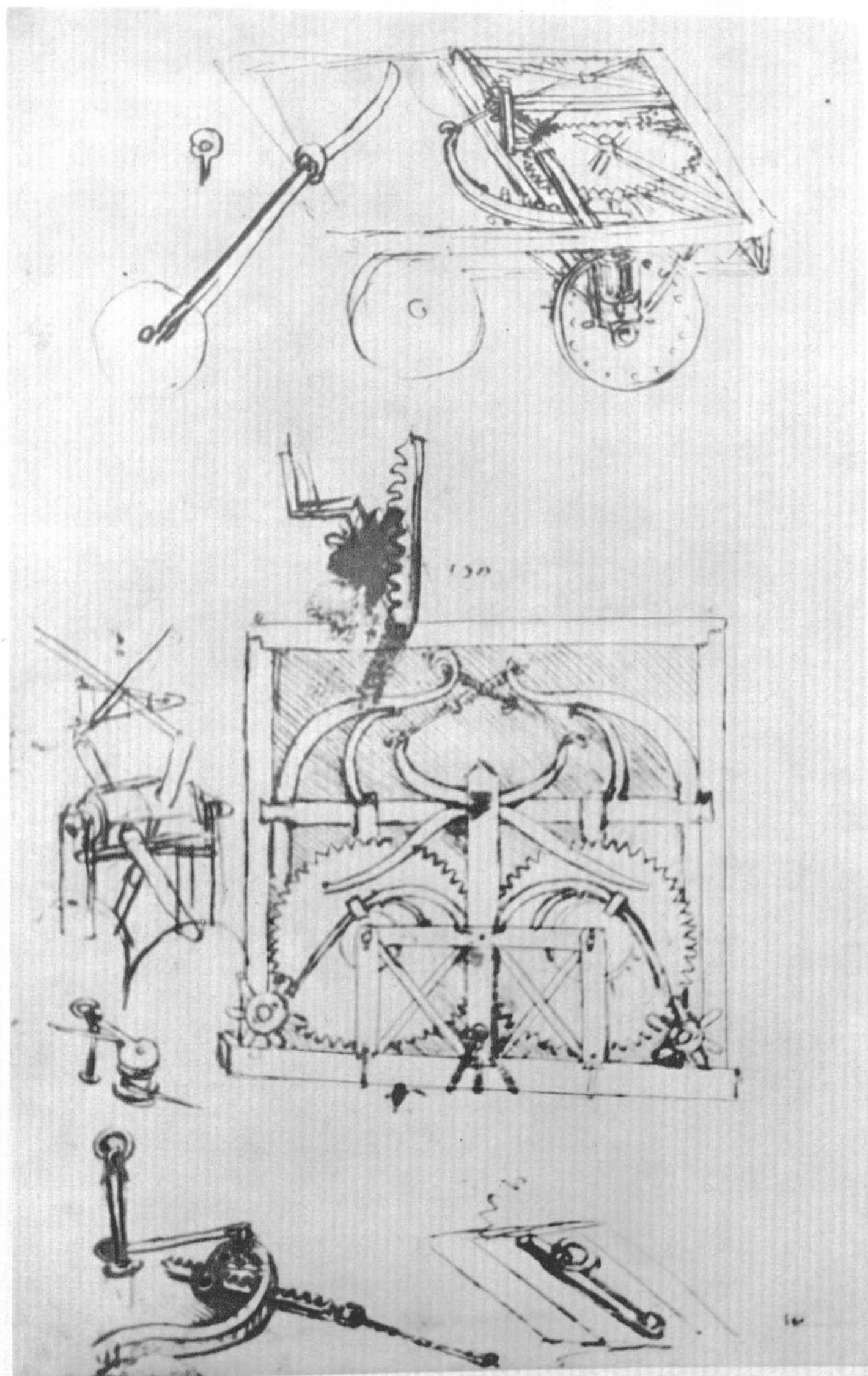
Il maestro Tomaso di cui si parla, è il Masini, detto Zoroastro, artigiano specializzato nei lavori in legno, un meccanico tedesco, che s'occupava di lavori di precisione.

A Roma, in Belvedere, lo studio di Leonardo, che era composto di diverse stanze o reparti, è frequentato da allievi, che con lui e per lui lavorano, specialmente occupandosi di studi di meccanica, di ottica, di matematica; e da artigiani tedeschi specializzati, che con lui collaborano alla realizzazione di meccanismi e macchine.

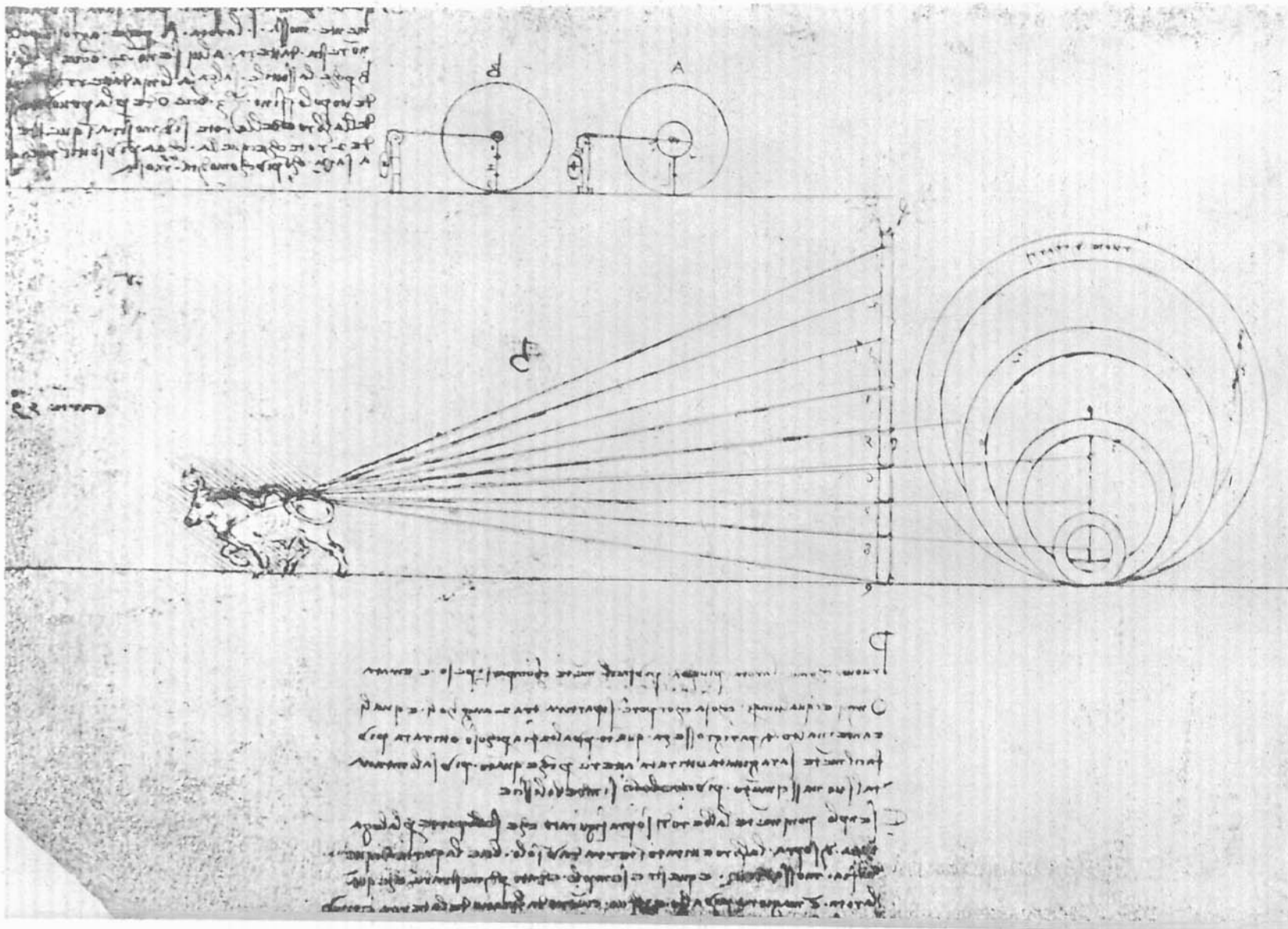
Dalle male arti di uno di questi meccanici, un certo Giorgio, il quale sembra, fra l'altro, che tentasse di appropriarsi delle sue applicazioni e dei suoi trovati, Leonardo ebbe anzi a difendersi.

Ma a parte queste notizie precise sulla sua attività di ingegnere meccanico, resta tutta l'opera dei continuatori, in questo campo, a provare come i disegni di Leonardo non fossero semplici fantasie di artista, ma progetti che erano frutto di ricerche, di esperienze, di calcolo.

Nel Ramelli, nel Cardano, nello Zonca, nel Besson, per non citare che i più noti, l'influsso dell'opera vinciana appare evidente, od almeno tale da non potersi negare. E anche se questa opera non ebbe la divulgazione della stampa, anche se i suoi manoscritti e le sue annotazioni — prima di



Disegno prospettico ed in pianta di un carro automotore, mosso da un sistema di molle, e munito di un sistema differenziale alla trasmissione -
Cod. Atlan., fol. 296 verso-a



Procedimento grafico per lo studio dello sforzo di trazione - Cod. Atl., fol. 221 recto-a

andare disperse — rimasero a conoscenza dei pochi che gli erano vicini, non si può ammettere che i contemporanei abbiano ignorato l'attività di Leonardo meccanico. Osservando i disegni dei più noti meccanici del XVI e del XVII secolo, s'è continuamente e naturalmente portati ad avvicinarli alle disposizioni ed alle applicazioni vinciane, alle quali in molti casi restano anzi tecnicamente inferiori.

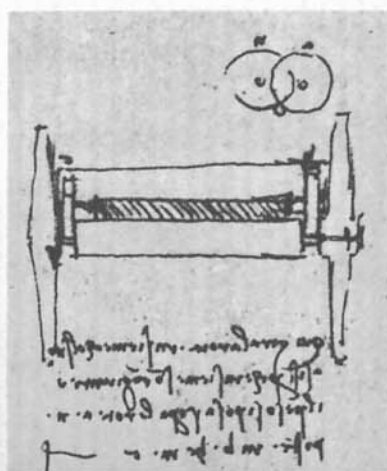
I «currolotti» del Ramelli, ad esempio, non sono altro che i «curi o bilichi» o rulli di Leonardo, dal quale lo stesso Ramelli copia le «sopate» delle sue pompe, che non sono che le valvole coniche disegnate nei manoscritti dell'Istituto di Francia; e dai leonardeschi «mantaci senza corame», le «ruote eccentriche dentro le sopracoperte», o capsulismi, delle sue pompe.

Le soffierie, i manovellismi, le macchine utensili, i torchi da stampa, i fusi di Fausto Zonca, la ventola a fumo o la ruota a cricco di Cardano, i ponti a travatura parabolica, la cintura di salvataggio, la ruota per la torcitura delle funi del Verantio, i carrelli scorrevoli ed i torni del Besson, non sono forse tutte derivazioni più o meno dirette delle applicazioni vinciane?

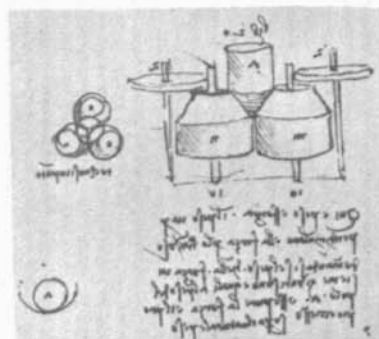
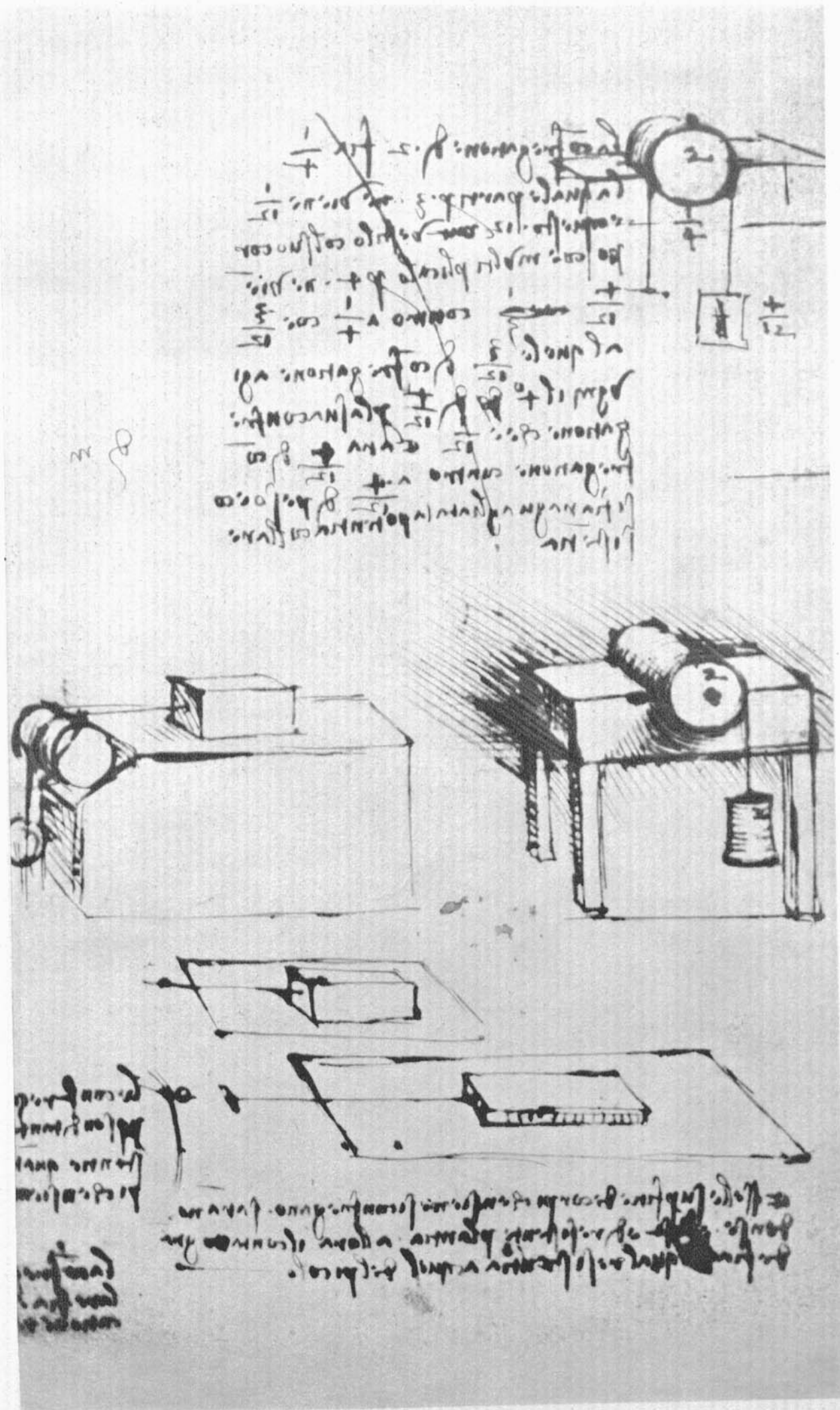
Anche facendo astrazione da quella che può essere stata l'influenza del pensiero e dell'opera di Leonardo meccanico sui suoi contemporanei e successori, è indubbio che egli tutti li sovrasta per la vastità e la varietà della sua attività di ingegnere, ma specialmente perchè egli è il primo che ha penetrato l'essenza della macchina, e ne ha valutato la vera funzione.

E quando nega la possibilità del moto perpetuo, sulla scorta di esperienze da lui fatte su un dispositivo proposto dal Taccola, implicitamente riconosce il grande principio della conservazione dell'energia; e quando scrive: «la gravità, la forza, insieme con la percussione son genitrici del moto, perchè esso senza queste creature non si può. Ma ciascuna delle dette potenzie non può in pari moto generare potenza simile a sè», anticipa la limpida premessa di Galileo alle sue Meccaniche «... la credenza che i detti artefici hanno avuta ed hanno continuamente, di potere con poca forza muovere ed alzare grandissimi pesi, ingannando in un certo modo, con le loro machine la natura; istinto della quale, anzi fermissima costituzione, è che niuna resistenza possa essere superata da forza che di quella non sia più potente».

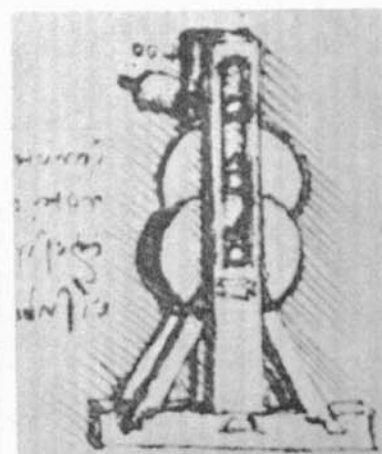
È con Leonardo infatti che si iniziano le ricerche e le investigazioni sulle cause dell'attrito; è con lui che se ne conoscono le prime leggi, è con lui che si introduce pertanto nella scienza delle macchine



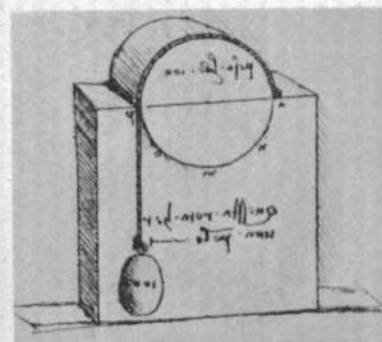
Abbozzo di assale di un carro poggato su rulli. In basso piccolo carrello con assale su rulli - Cod. Atl., fol. 376 recto-c



Sistema di coppie rotoidali con rulli reggispira ai perni - Cod. Atlant., fol. 390 verso-b

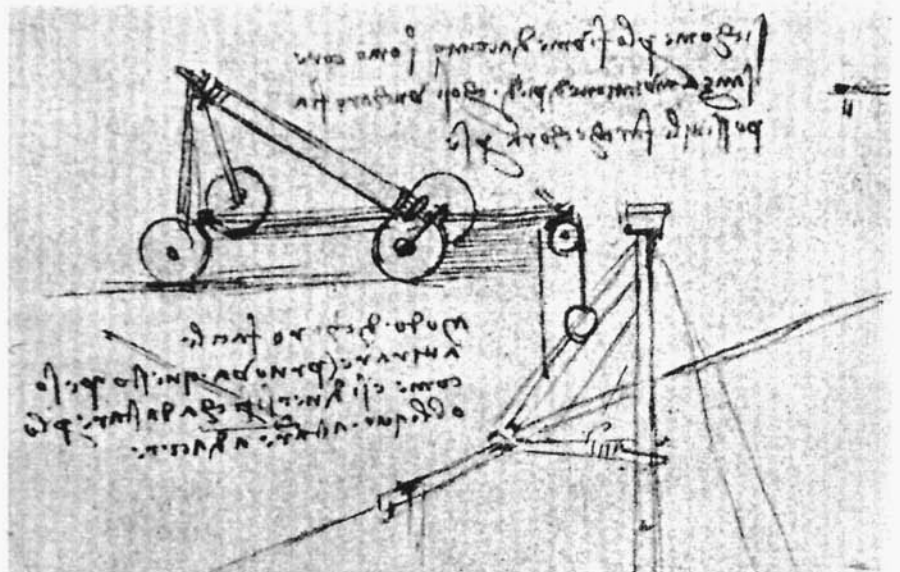
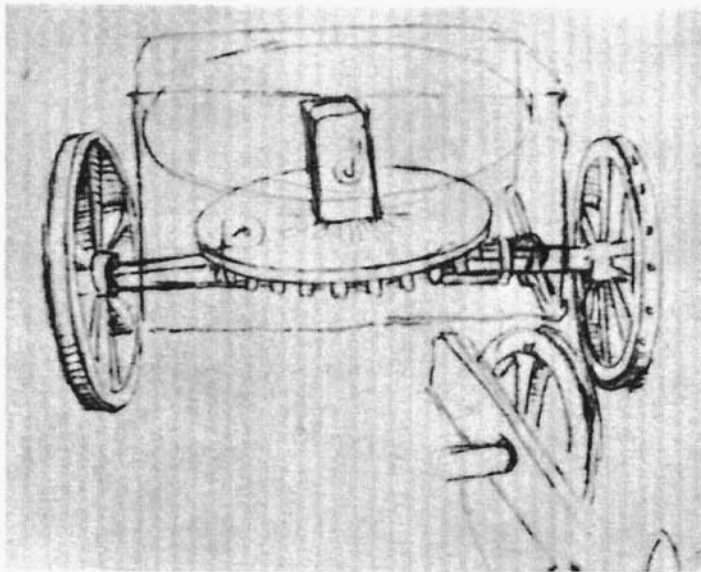


Cavalletto con sopporti a rulli per verricello - Cod. Atlant., fol. 348 verso-a



Banco per il rilievo pratico delle resistenze di attrito in un perno - Cod. Atlant., fol. 363 verso-c

Leonardo è il primo che affronta lo studio sistematico delle cause di attrito sia nel caso di superfici piane, che nel caso dei perni precedendo di due secoli Amontons (1699) e Coulomb (1781), il quale riprodurrà, per le sue esperienze, il banco che troviamo disegnato al fol. 41 recto del Codice Arundel

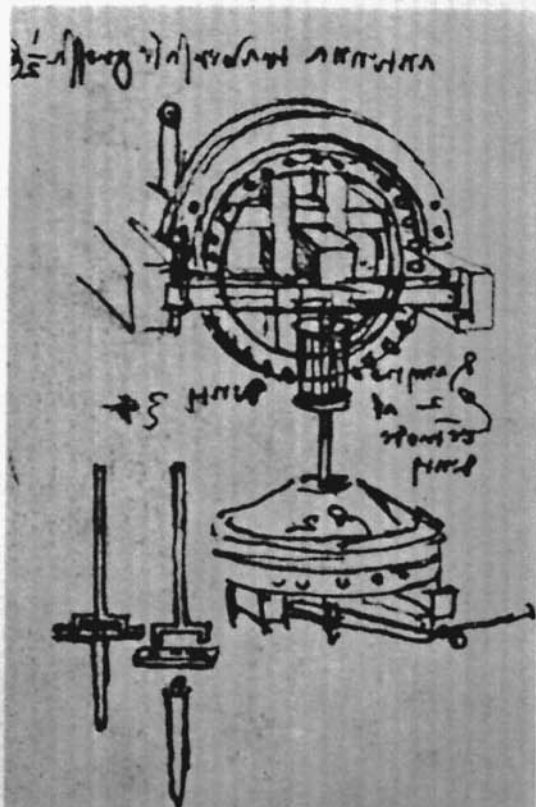
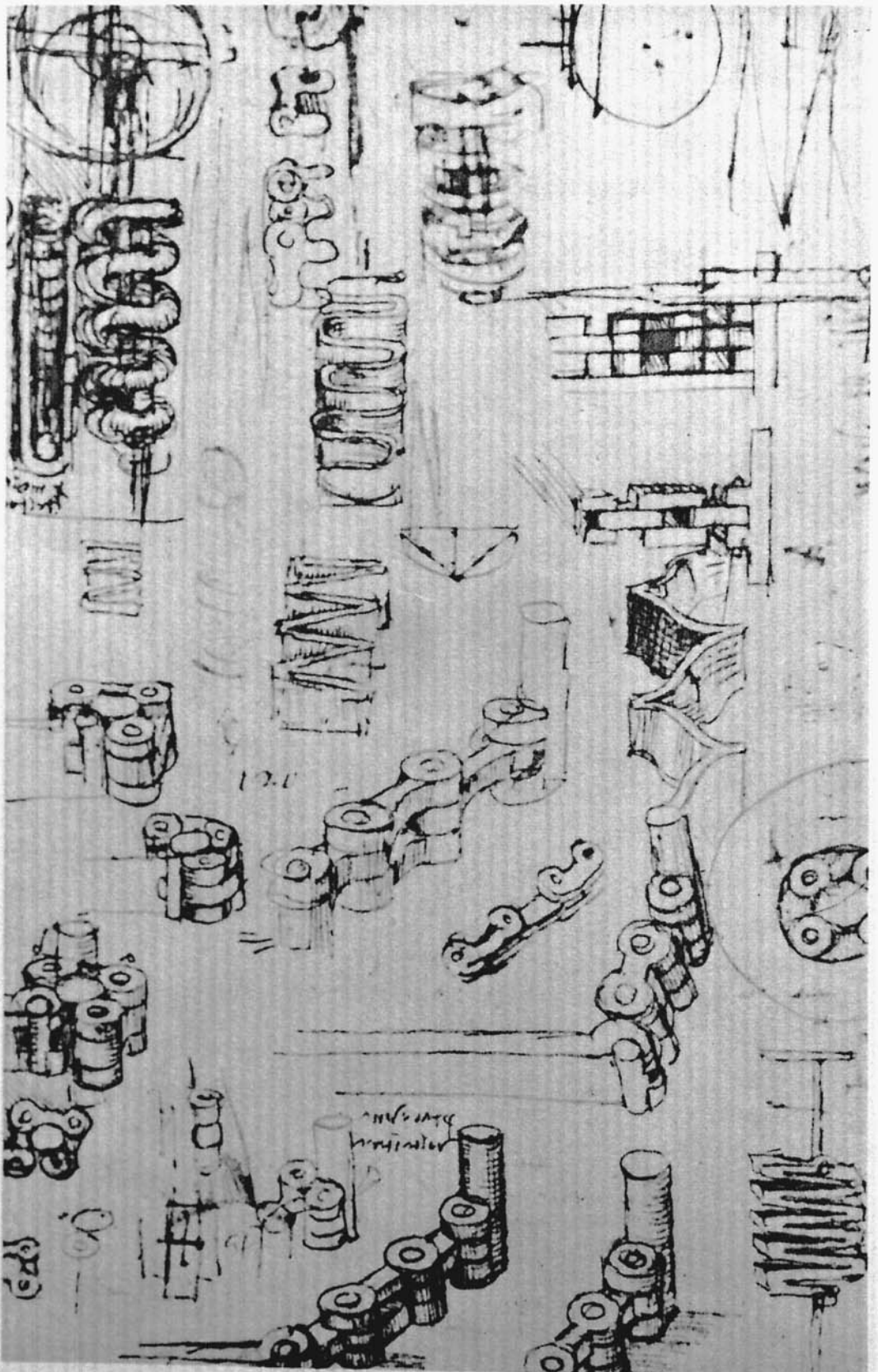


In alto a sinistra: Una trasmissione con rapporto moltiplicatore, per assale di un carro - Cod. Atlant., fol. 4 verso-a

In alto a destra: Carro semovente a mezzo di un peso a caduta - Ms. 2037, fol. 2 verso

In basso a sinistra: Trasmissione di una ruota per macina con freno a nastro - Ms. L, fol. 34 verso

A destra: Una delle più belle tavole di disegni meccanici è quella nella quale Leonardo disegna particolari di catene articolate — precedendo Galle e Vaucasson — e molle cilindriche ed a libro - Cod. Atlant., fol. 357 recto-a



il concetto di rendimento, e che essa — per dirla col Mach — comincia ad assumere quel carattere economico che è proprio della meccanica moderna.

Leonardo ha subito intuito la grande importanza che, nella macchina, assumevano le resistenze passive e, stando alle date assegnate ai diversi codici, fin dal 1487, deve avere iniziato le sue ricerche sull'attrito, che egli chiama « confregazione », continuandole fino oltre il 1505.

Annotazioni, citazioni, enunciati riferentisi all'attrito, troviamo infatti nel Codice Atlantico, nei Codicetti Forster, nei Manoscritti dell'Istituto di Francia, nel Codice Arundel. E il complesso di questi studi costituisce, a nostro avviso — assieme alle esperienze sullo sforzo di trazione — una delle trattazioni più complete ed originali della meccanica vinciana.

In realtà l'Amontons (1699), il Muschbrœk (1729), il De Camus (1722), il Désaguilliers (1751), lo stesso Coulomb (1781), ai quali si debbono, assieme al Morin, gli studi più importanti sull'attrito, non andranno oltre, nelle loro conclusioni fondamentali, alle leggi generali già trovate ed annunciate da Leonardo.

Egli, non solo ha considerato e studiato l'attrito nei solidi, distinguendo esplicitamente e compiutamente l'attrito radente o di strisciamento, da quello volvente o di rotolamento e da quello dei perni o poli, ma ha anche considerato e sperimentato le diverse specie dell'attrito, a seconda della natura dei materiali a contatto, e della eventuale interposizione di lubrificanti o di rulli tra le superficie. Ed ha particolare importanza il fatto che, in una annotazione del fol. 209 verso-a del Codice Atlantico, egli altrettanto esplicitamente accenni all'attrito fra « liquido e liquido », intuendo l'esistenza di una resistenza nel moto dei fluidi.

Dal complesso delle esperienze compiute, delle quali numerose testimonianze rimangono anche nei disegni dei banchi sperimentali e degli apparecchi impiegati, che si trovano nei diversi codici, si può sicuramente concludere che Leonardo ha riconosciuto:

- 1°) che la resistenza d'attrito dipende dalla natura dei materiali a contatto;
- 2°) che la resistenza d'attrito dipende dal grado di lavorazione o di « lubricità » delle superficie a contatto;
- 3°) che la resistenza d'attrito dipende dalla eventuale presenza di un fluido o di altro materiale interposto fra le superficie;
- 4°) che la resistenza d'attrito cresce con il crescere della pressione che preme un corpo contro l'altro;
- 5°) che la resistenza d'attrito è indipendente dalla estensione delle superficie di contatto.

E con l'accento che si trova nel fol. 132 verso del secondo Codicetto Forster circa « la confregazione di un peso nel principio del suo moto », risulta anche che Leonardo ha enunciato correttamente tutte le principali leggi dell'attrito, intuendo anche quella dell'attrito di primo distacco.

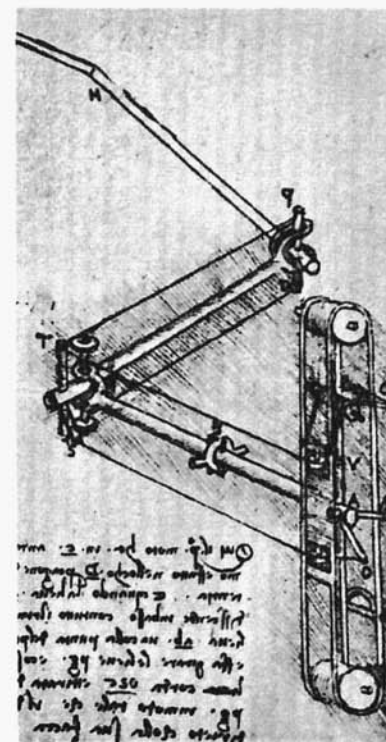
Quanto al valore del coefficiente d'attrito nei suoi calcoli, egli comunemente assume il valore uniforme di $\frac{1}{4}$, ma è ben chiaro che questo valore egli considera solamente nel caso di superficie levigate a contatto, come conferma al fol. 198 verso-a del Codice Atlantico, scrivendo: « dà la speranza che la cosa pulita, stracinata per pulito piano, resiste nel moto al suo motore con potenza eguale alla 4^a parte della sua gravezza ».

È pertanto probabile che il valore di $\frac{1}{4}$ egli assumesse per comodità di calcolo, anche in considerazione del fatto che, in realtà, tale cifra era molto prossima agli effettivi valori dei coefficienti riferentisi ai materiali da lui usualmente impiegati.

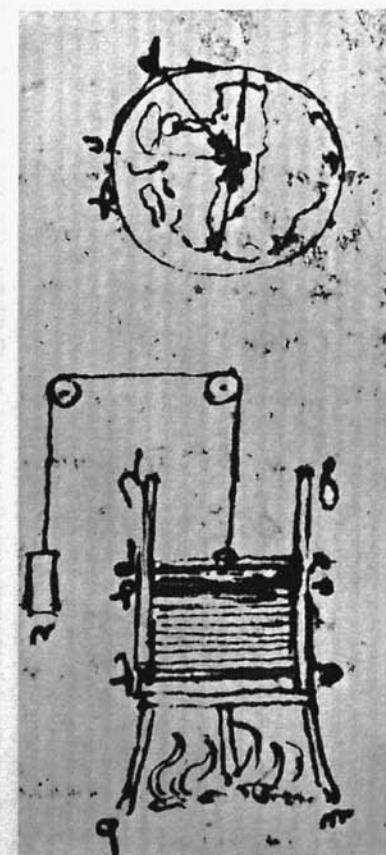
Normalmente, comunque, nella risoluzione dei problemi di equilibrio del piano inclinato, delle carrucole o delle bilancie, Leonardo tiene conto delle resistenze d'attrito, con particolare riferimento all'attrito nei perni portanti delle ruote dei veicoli.

I problemi della locomozione hanno anzi particolarmente attratto la sua attenzione, e ne fan fede i moltissimi disegni e schizzi di carri e veicoli, che ovunque si trovano nei suoi codici. Si può anzi affermare che nessuno prima di Leonardo ha così ampiamente e compiutamente studiato le più diverse applicazioni ai veicoli, ed in particolar modo ai carri da guerra, o adibiti ai trasporti pesanti, prospettandosi la soluzione di nuovi sistemi di propulsione e della riduzione delle resistenze passive. A diverse riprese egli scrive infatti sotto i suoi veicoli: « carri di facile movimento », o « carro facile », rivelando la sua costante preoccupazione di ridurre lo sforzo di trazione, sia applicando rulli o « bilichi » agli assi delle ruote, sia ideando particolari ed originali trasmissioni, sia infine stabilendo — attraverso ricerche ed esperienze — le più favorevoli condizioni di « tiro » del veicolo o le razionali modalità costruttive. Ed anche se — in questo campo — le sue dimostrazioni non siano sempre esattamente impostate, specie per ciò che riguarda l'angolo di tiro, l'aver potuto sperimentalmente stabilire che la resistenza alla trazione diminuisce con l'aumentare del diametro delle ruote, e con il decrescere del rapporto fra il diametro del perno e quello della ruota, rappresenta indubbiamente una delle più notevoli conquiste del genio vinciano.

Non c'è dubbio che, come ha pensato al volo, egli ha pure pensato alla possibilità di un veicolo automotore. E se non ha avuto notizia dei progetti di veicoli meccanici di Giovanni Fontana, ha certamente conosciuto quelli di Valturio, che gli ha appunto suggerito l'idea dei « carri coperti, sicuri e inoffensibili », di cui parla nella lettera a Ludovico Sforza.

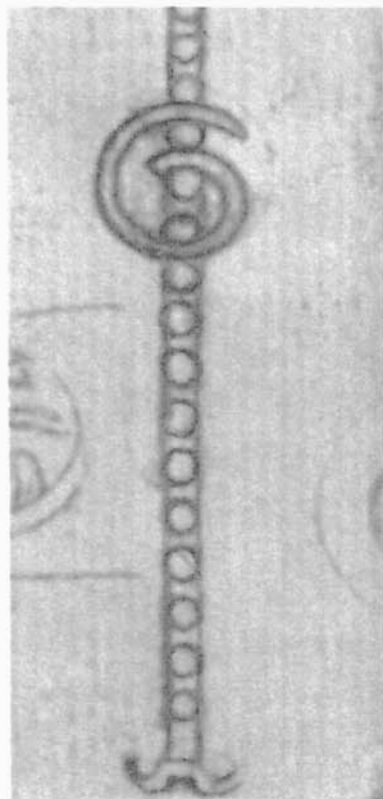


Particolare del giunto articolato dell'ala - Cod. Atlant., fol. 341 recto-c



Dispositivo per sperimentare la dilatazione del vapore d'acqua. Papin adotterà nel suo primo motore la stessa disposizione vinciana - Cod. Leicester, fol. 10 recto

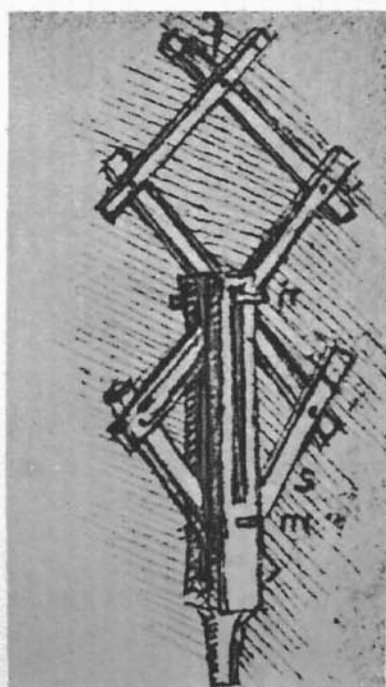
Complesso motore con peso a caduta e dispositivo a cricco con dentature interne alle ruote - Cod. Atl., fol. 8 verso-b



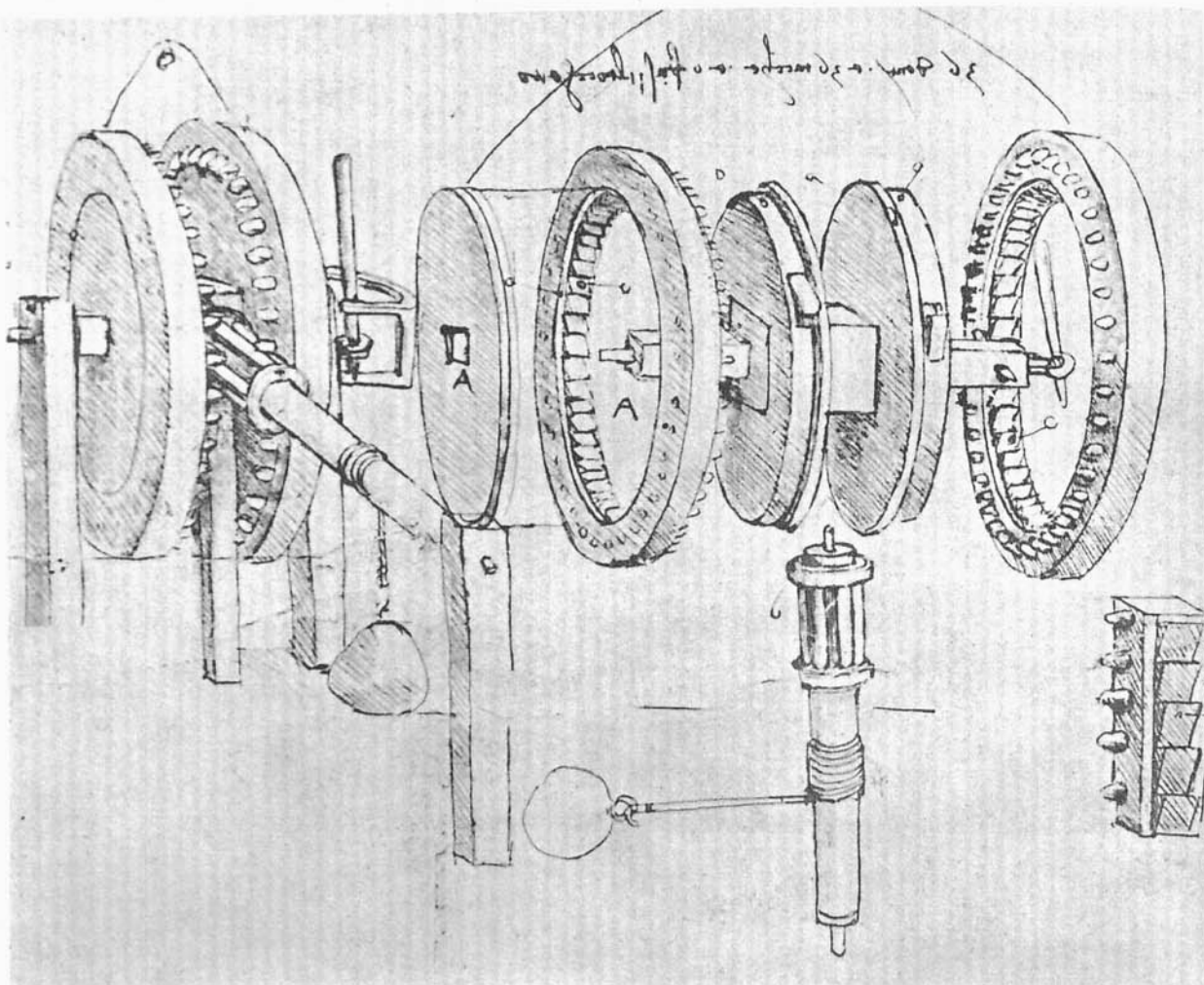
Coppia composta da un'asta dentata e da una ruota a spirale per martinetto - Ms. H, fol. 103 verso



Ruota dentata con denti a sezione trapezia - Ms. B, fol. 73 verso



Dispositivo detto a forbice di Norimberga - Cod. Atlant., fol. 396 verso



È appunto perseguendo questa idea di arrivare a costruire dei veicoli da guerra nei quali si abolisse il cavallo, facilmente vulnerabile in combattimento, che egli disegna i più svariati tipi di trasmissioni, alla ricerca del sistema che meglio gli permettesse di sfruttare l'energia dell'uomo o quella potenziale di pesi, e che — probabilmente per primo — pensa alla possibilità di sviluppare e di accumulare sullo stesso veicolo l'energia necessaria al moto.

Anche se — come è probabile — Leonardo non ha realizzato questo suo carro automotore, che il Calvi ha segnalato, ed il Semenza ha descritto e studiato, gli resta in ogni modo il vanto di aver tentato di impiegare l'energia immagazzinata in un sistema di molle, per muovere un veicolo; idea che, ancor oggi, alletta le menti dei tecnici.

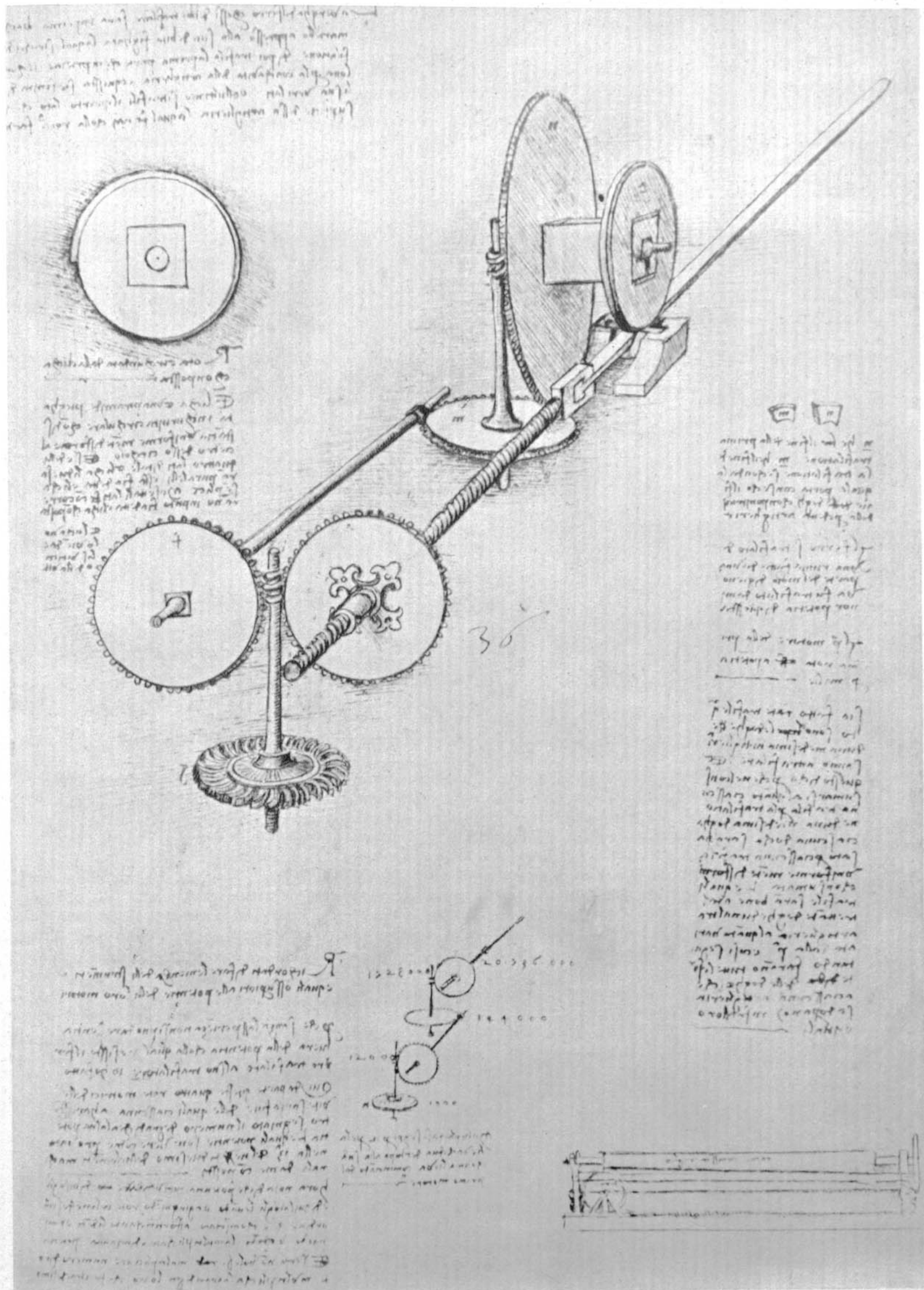
Questo carro, che va considerato come l'antico progenitore delle moderne automobili, rappresenta probabilmente l'ultima tappa di un processo evolutivo, che sembra evidente attraverso i disegni ed i progetti di altri veicoli. Leonardo infatti, dopo aver pensato e disegnato una trasmissione per carro, con rapporto moltiplicatore, con ruota conduttrice, mossa evidentemente da forza umana; dopo avere adottato nella sua « testuggine » le 4 ruote motrici e direttrici, azionate da « 8 huomini » a mezzo di manovella e di un rapporto di trasmissione riduttore, è arrivato, nel carro automotore, alla trasmissione indipendente per ciascuna ruota, ed alla ideazione di un ruotismo epiciclico, antesignano del moderno differenziale.

Ma quanto chiara è nel disegno questa parte del veicolo, tanto meno lo è quella riferentesi al sistema delle molle, che dovrebbe fornire l'energia necessaria al moto del carro. Leonardo la lascia incompleta ed è probabile che abbia dovuto rinunciare a perfezionare questo suo veicolo, di fronte agli ostacoli che presentava il collegamento delle molle con le ruote motrici.

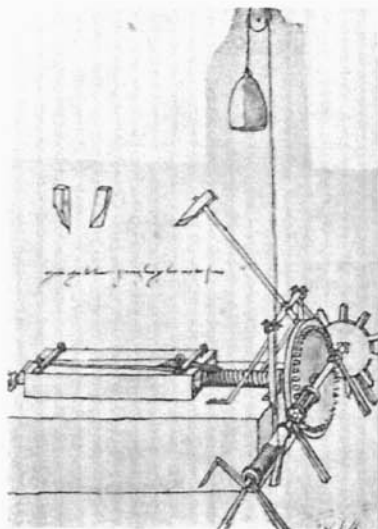
Proponendomi la ricostruzione di questo veicolo, ho avuto modo di fare, inoltre, un'altra interessante osservazione, che ha una certa importanza per l'interpretazione dei disegni vinciani. Qualora infatti si adottasse la disposizione delle ruote del carro e dei pignoni di trasmissione a lanterna, che ha disegnato Leonardo, si verrebbe ad avere una carreggiata di non oltre 40 centimetri, tale cioè da rendere molto precaria la stabilità del veicolo. D'altra parte, un più attento esame del disegno, attraverso un ingrandimento fotografico, ha permesso di stabilire che, in realtà, i denti della corona delle ruote motrici del carro sono volti all'interno e non all'esterno, onde è chiaro che Leonardo ha effettuato volutamente una trasposizione di piani nella rappresentazione grafica dei meccanismi.

E poichè anche in altri suoi disegni di macchine si nota questa trasposizione, se ne deve concludere che egli seguisse questa pratica per rendere più comprensibili taluni particolari dei suoi congegni meccanici.

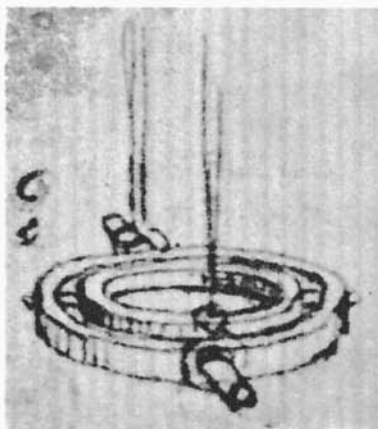
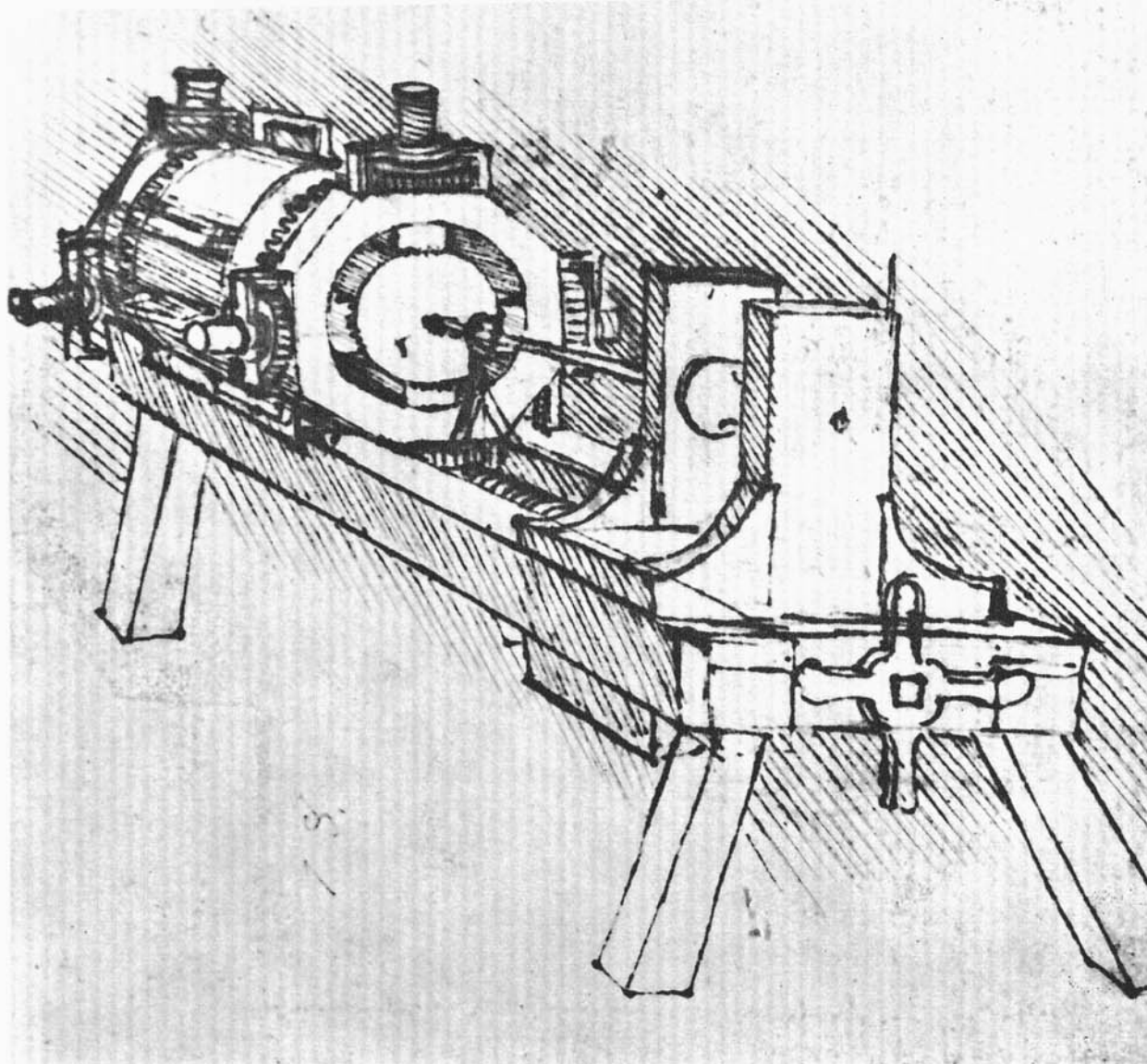
A questo proposito, la realizzazione di talune macchine vinciane ha pure rivelato che non sempre la disposizione di alcuni elementi cinematici è corretta, ma non bisogna dimenticare che i disegni



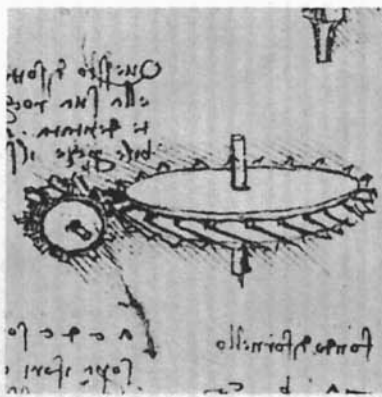
Macchina per trafilare doghe da cannone azionata da una ruota idraulica orizzontale - Cod. Atlant., fol. 2 recto-a



Macchina per intagliare lime azionata da un peso a caduta, con dispositivo di arresto - Cod. Atlant., fol. 6 recto-b



Anello a sospensione cardanica - Cod. Atlant., fol. 288 recto-b



Ruote dentate a denti elicoidali - Cod. Atlant., fol. 396 recto

che conosciamo non sono, in genere, che semplici abbozzi nei quali, più che l'impostazione costruttiva della macchina o del meccanismo, è tracciata l'idea generale.

Ed in realtà, nei disegni di macchine di Leonardo, più che i progetti d'insieme, di solito completi solo in alcune parti, sono interessanti gli studi dei particolari. La ricchissima miniera di appunti e di disegni di macchine, rappresentata dai suoi manoscritti, può dirsi costituisca un vero trattato di cinematica applicata, e di arte del disegno meccanico.

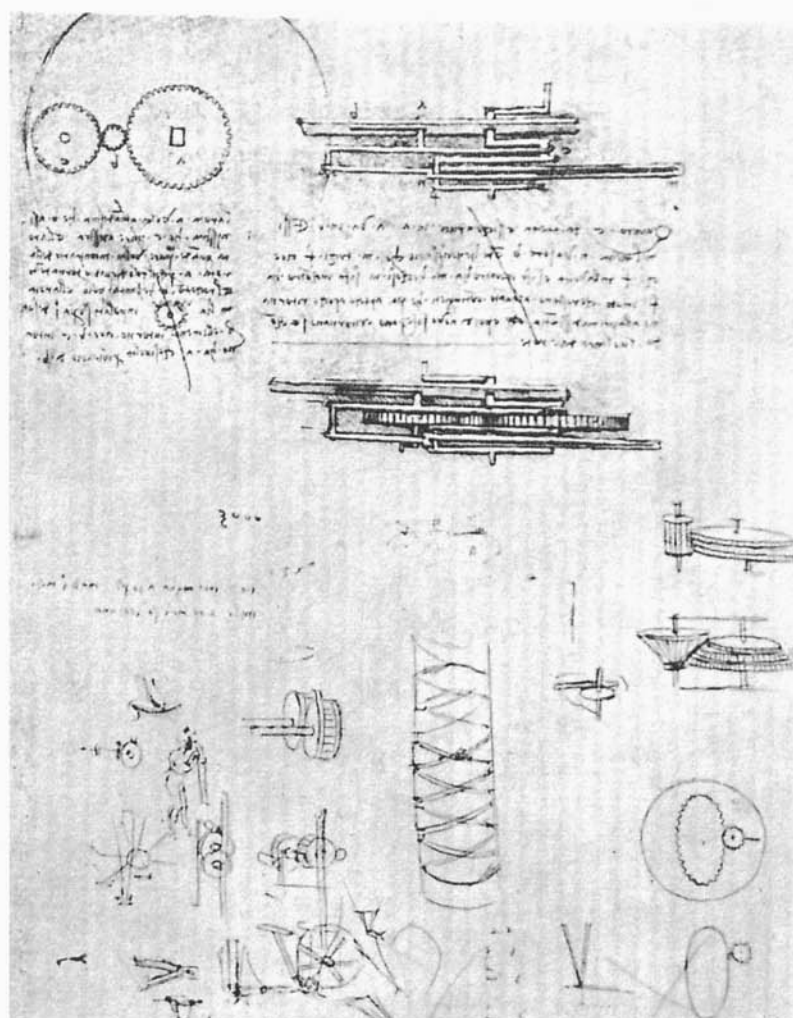
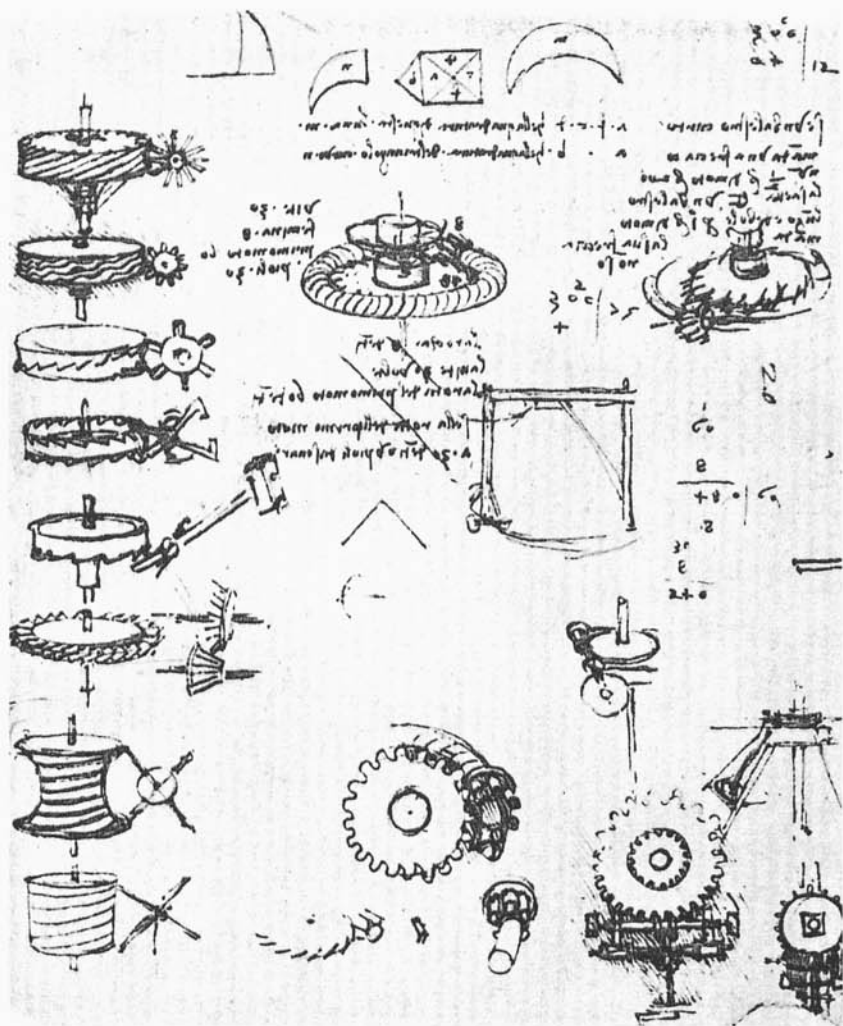
Come abbiamo già avuto occasione di rilevare, la caratteristica che distingue la meccanica vinciana da quella dei suoi predecessori sta appunto nel fatto che Leonardo è il primo — a quanto risulta — che consideri la macchina come un complesso di elementi cinematici, che egli analizza, descrive, calcola e disegna — nei limiti delle sue conoscenze — abbandonando l'empirismo dei meccanici del suo tempo, e gettando le basi di una nuova concezione della macchina e di un nuovo metodo.

È in realtà con Leonardo che si può cominciare a parlare di progresso nella macchina, nel senso moderno, e che s'aprono i nuovi orizzonti della tecnologia con le ingegnossime macchine utensili ed operatrici, che si trovano numerose fra i suoi disegni.

Le limitate fonti di energia di cui poteva disporre lo hanno naturalmente portato ad occuparsi più di macchine operatrici che di macchine motrici, ma egli ha pensato a «strumenti dove essa forza generar si potessi» e, fra l'altro, ha pensato alla forza di espansione del vapore, abbozzando una rudimentale macchina motrice, con una disposizione che ricorda molto da vicino il primo apparato motore di Papin.

Leonardo non è arrivato — e non poteva arrivarvi — a servirsi del vapore come forza motrice, ma non è men vero che nei due apparecchi che disegna e descrive, ai fogli 10 e 15 del Codice Leicester, egli in realtà realizza due rudimentali motori a vapore, ideando una disposizione che verrà esattamente riprodotta sia da Huyghens che da Papin. In questi due apparecchi che Leonardo ha ideato per «misurare quanto cresca l'acqua convertendosi in aria», egli precede comunque le esperienze di Giambattista Porta e di Salomon de Caus.

Le fonti di energia alle quali egli normalmente si rivolge sono: quella muscolare, quella dell'acqua, quella potenziale di pesi opportunamente disposti, qualche volta quella del vento (e pare anzi precedere di 50 anni i primi mulini a vento olandesi), spesso quella immagazzinata da molle; ma nel girarrosto a ventola, ci lascia anche un esempio di impiego dell'aria calda come motrice di un ventilatore ad elica, che può ritenersi il primo del genere.



Nello sfruttamento di queste limitate fonti di energia, l'ingegnosità di Leonardo si esplica attraverso le più originali disposizioni, i più diversi accoppiamenti cinematici, le più varie ed a volte sorprendenti applicazioni.

Tra gli organi di moto i ruotismi occupano, naturalmente, una parte preminente nelle macchine vinciane. Leonardo impiega spesso la ruota a corona di piuoli e pignone a lanterna, o le ruote a denti triangolari, note anche agli antichi, le quali, evidentemente, erano di comune impiego e di costruzione corrente ai suoi tempi; ma dai numerosi disegni di ruote dentate, e di particolari di ruotismi che ci lascia, è chiaro che egli s'è preoccupato ed ha studiato esaurientemente i problemi della resistenza e del rendimento di queste coppie cinematiche, tanto necessarie alle sue macchine.

Al fol. 61 verso del Codice Atlantico, ad esempio, si applica allo studio dei profili di contatto delle ruote dentate e cilindriche, e scrive: «sempre le ruote che si vogliano con denti, si pigliano e lasciano con tali denti; ma quelli che s'impigliano, sempre la linea de lor contatti debbe essere diritta infino ai poli di ciascuna rota; e questo accade ne' denti che sono con i termini delle lor grossezze piramidati al centro delle lor ruote».

Svariatisime sono le dentature che disegna e fra le altre bellissime quelle elicoidali per ruote ed assi sghembi, quelle a sezione trapezia, quelle per ruote coniche.

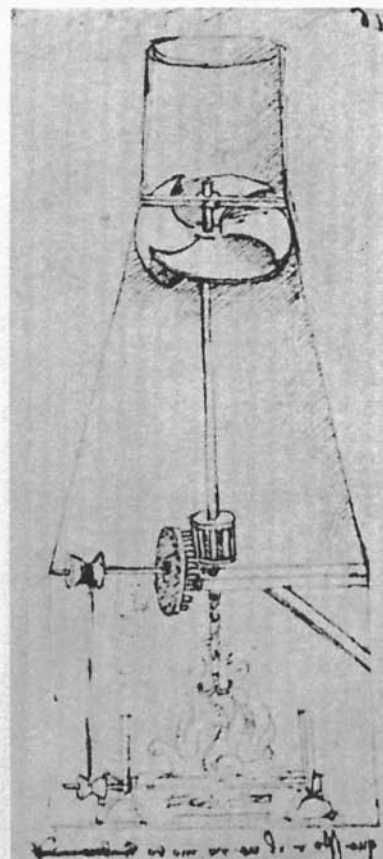
Frequente è pure nelle sue macchine l'impiego della coppia vite senza fine-dentiera, e vite senza fine-ruota cilindrica, così come della coppia elicoidale, nella quale sembra — probabilmente per ragioni costruttive — preferire la vite a filetto rettangolare ad uno o più filetti. Appunto trattando della vite come organo di moto, nel Codice Forster scrive: «intra le viti d'equal grossezza, quella sarà più difficile al suo motore, la quale arà in sè più strade. E tra quelle d'equal lunghezza, grossezza e strade troverai più facile moto che arà in sè più numero di volte di sua strada».

Una interessantissima serie di rotismi, fra i quali figura una coppia di ruote coniche, troviamo al fol. 372 recto del Codice Atlantico, tanto chiari da non richiedere particolari spiegazioni. E non si può senza un senso di sorpresa non ammirare al fol. 27 verso dello stesso Codice lo studio di un manovellismo con glifi e l'accenno ad un ruotismo epicicloidale, che ritroviamo anche al fol. 205 recto. In altre occasioni egli disegna ingranaggi a ritorno rapido, un ruotismo composto da un pignone e da una ruota ellittica, coppie di ruote con curve primitive di diversa natura; sistemi di rotismi complessi fra i quali quelli di tre ruote ad assi paralleli azionate da una unica ruota cilindrica, ed un altro pure a tre ruote aventi lo stesso asse, e condotte da un'unica ruota conica nei quali è il principio del cambio di velocità a tre rapporti.

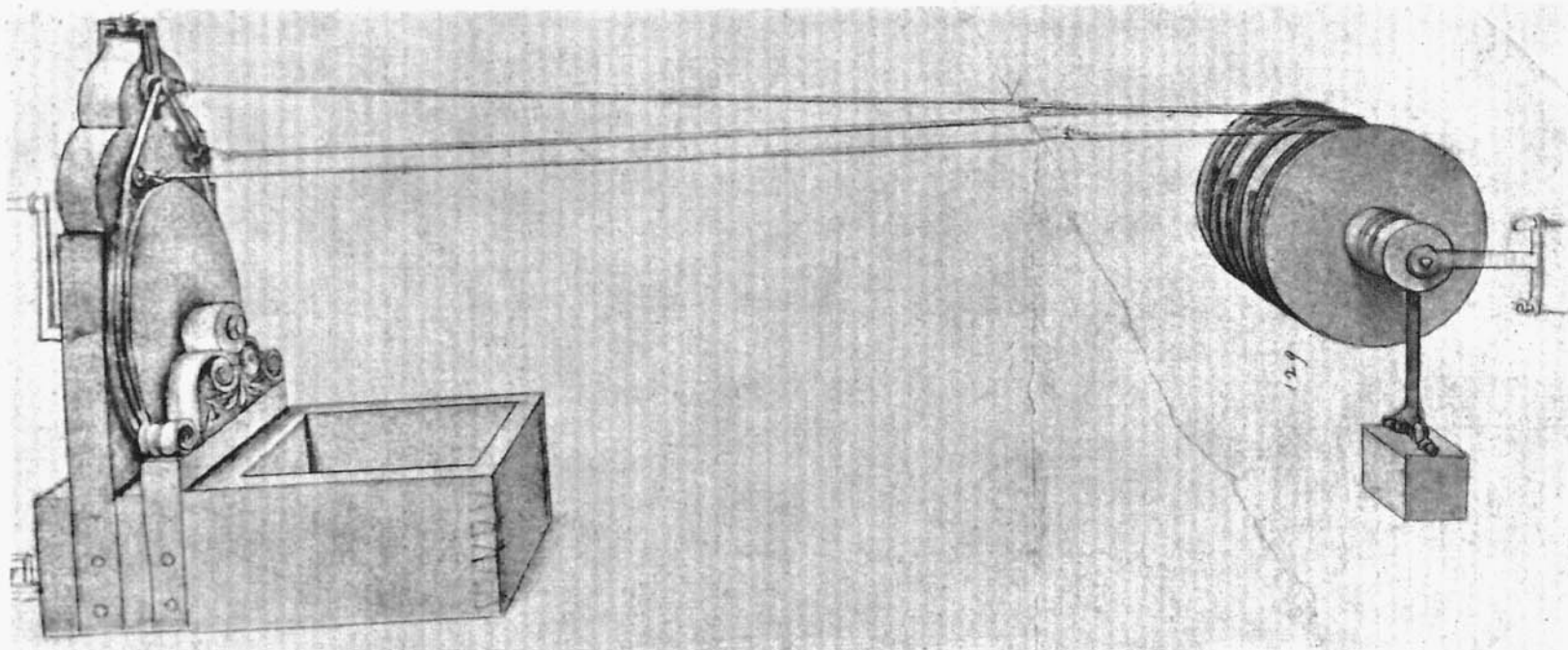
Con altrettanta originalità e spigliatezza Leonardo passa dalle ruote dentate agli arpionismi ed ai congegni a scatto — che impiega in modo particolare nelle sue macchine motrici a caduta di peso — ed ai diversi modi di trasformazione del moto, tra i quali hanno un particolare interesse: il disegno

A sinistra: Diversi tipi di ruotismi e di arpionismi - Cod. Atlant., fol. 372 recto-b

A destra: Studi di moto planetario e di cambi di velocità - Cod. Atlant., fol. 27 verso-a

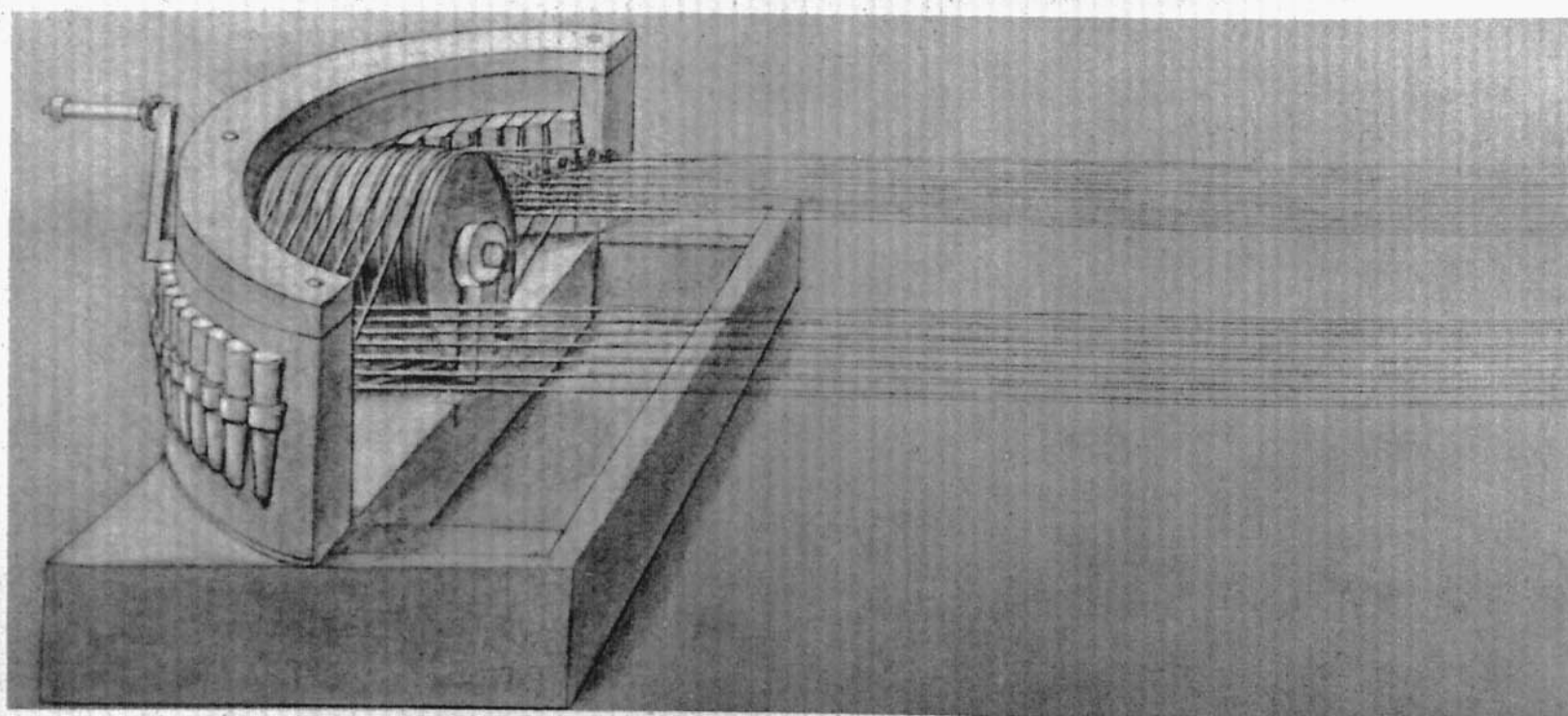
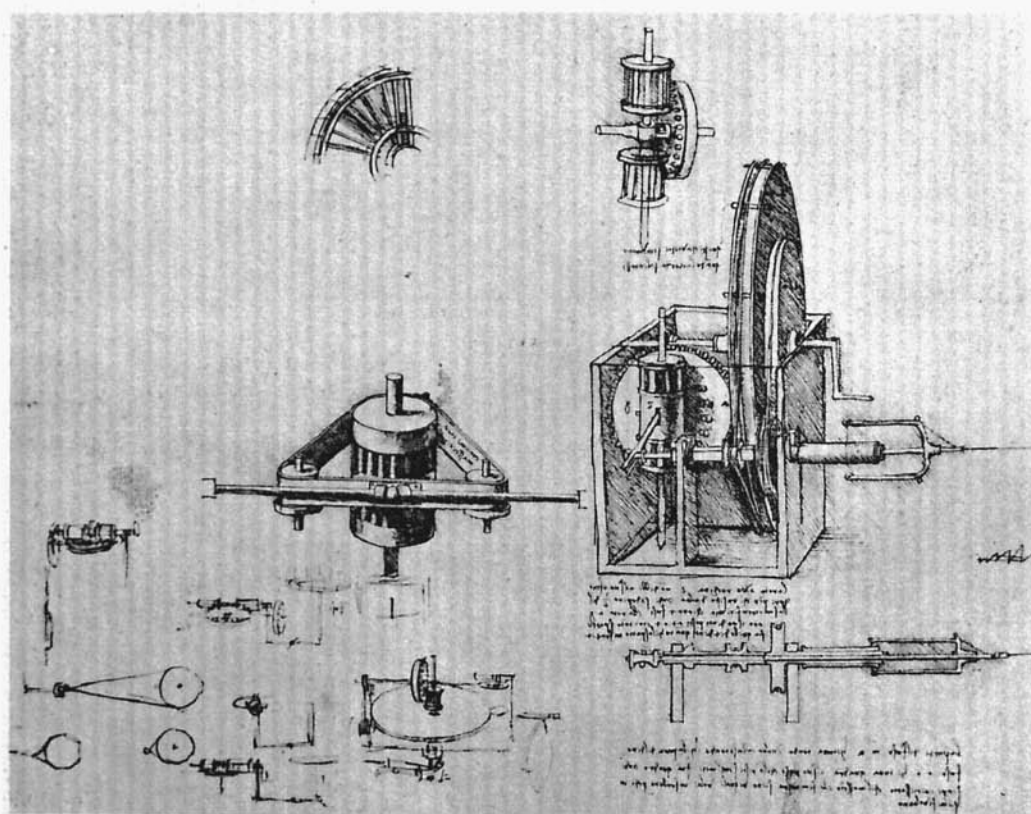


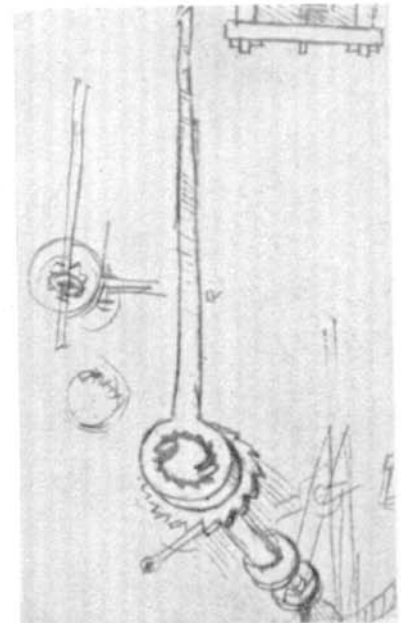
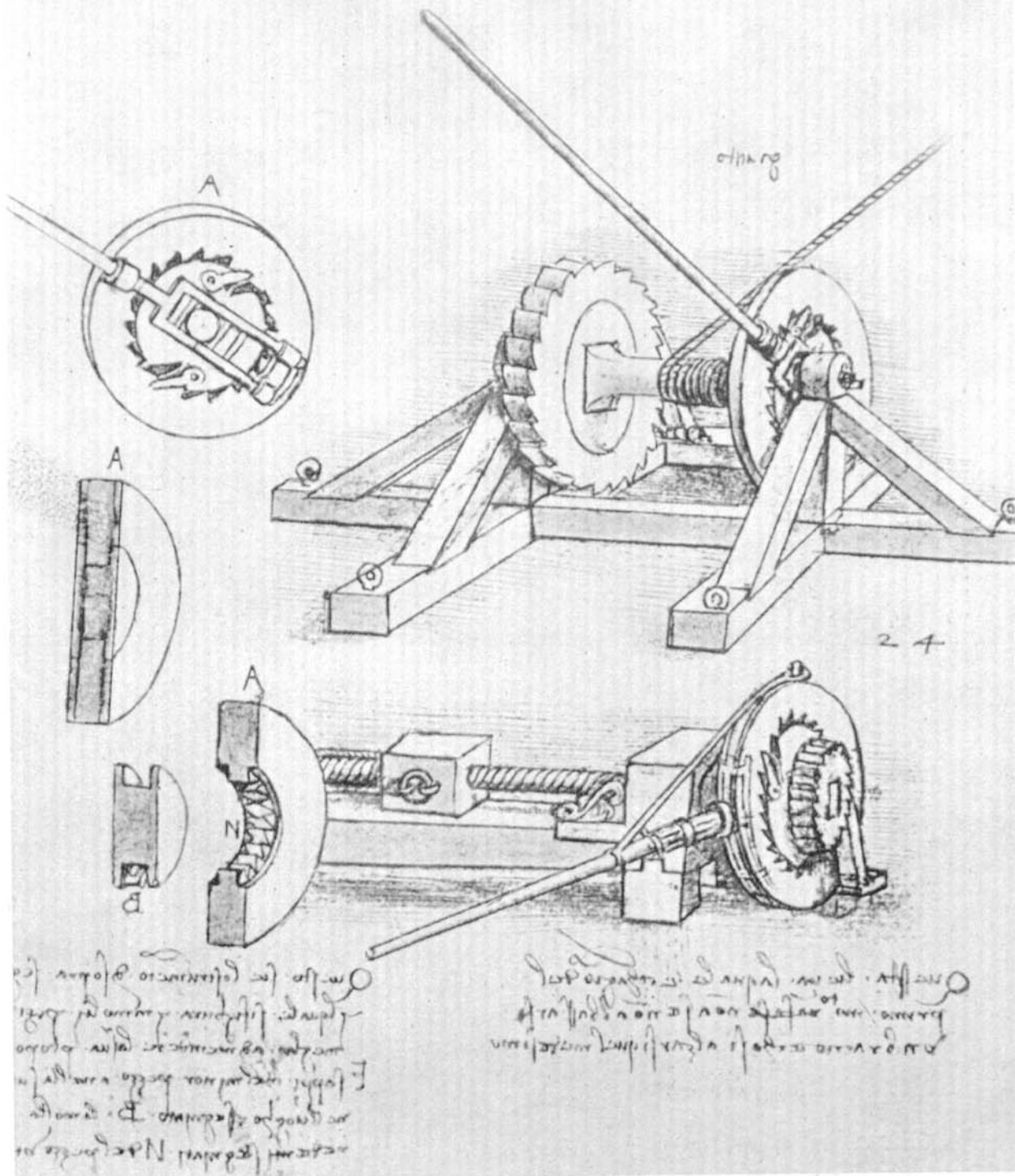
Girarrosto meccanico azionato da una ventola ad aria calda - Cod. Atlant., fol. 5 verso-a



Nella meccanica tessile il contributo di Leonardo è fondamentale. Egli infatti precede Johann Jürgen (1530) disegnando almeno trent'anni prima, sul fol. 393 del Codice Atlantico, la macchina per filare con fuso ad aletta, del quale nello stesso foglio schizza un particolare sezionato.

Leonardo in questa macchina già impiega l'aletta come organo di incannatura ed il dispositivo per la distribuzione automatica del filo, che non verrà scoperto ed applicato in Inghilterra che nel 1794 (figura al centro). Sempre tra i disegni del Codice Atlantico, troviamo inoltre al fol. 2 verso-b una macchina per corde a tre fusi (figura in alto), ed al fol. 2 verso-a una macchina per corde a 15 fusi (figura in basso).





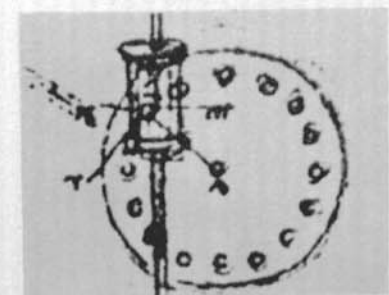
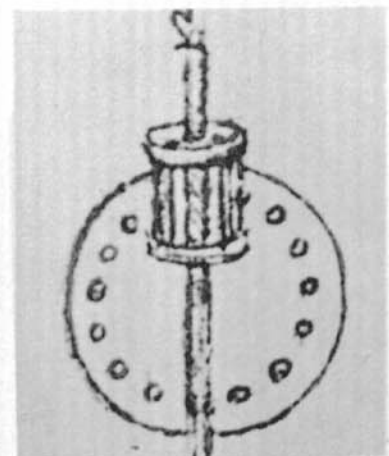
Albero con dispositivo di arresto e manovella a cricco - Ms. B, fol. 72 recto

del fol. 113 del Ms. G, che indica un complesso meccanico per trasformare il moto oscillante in moto rotatorio, ed un altro disegno nel quale una guida cilindrica è impiegata per ottenere il moto alternativo di una pompa a stantuffo.

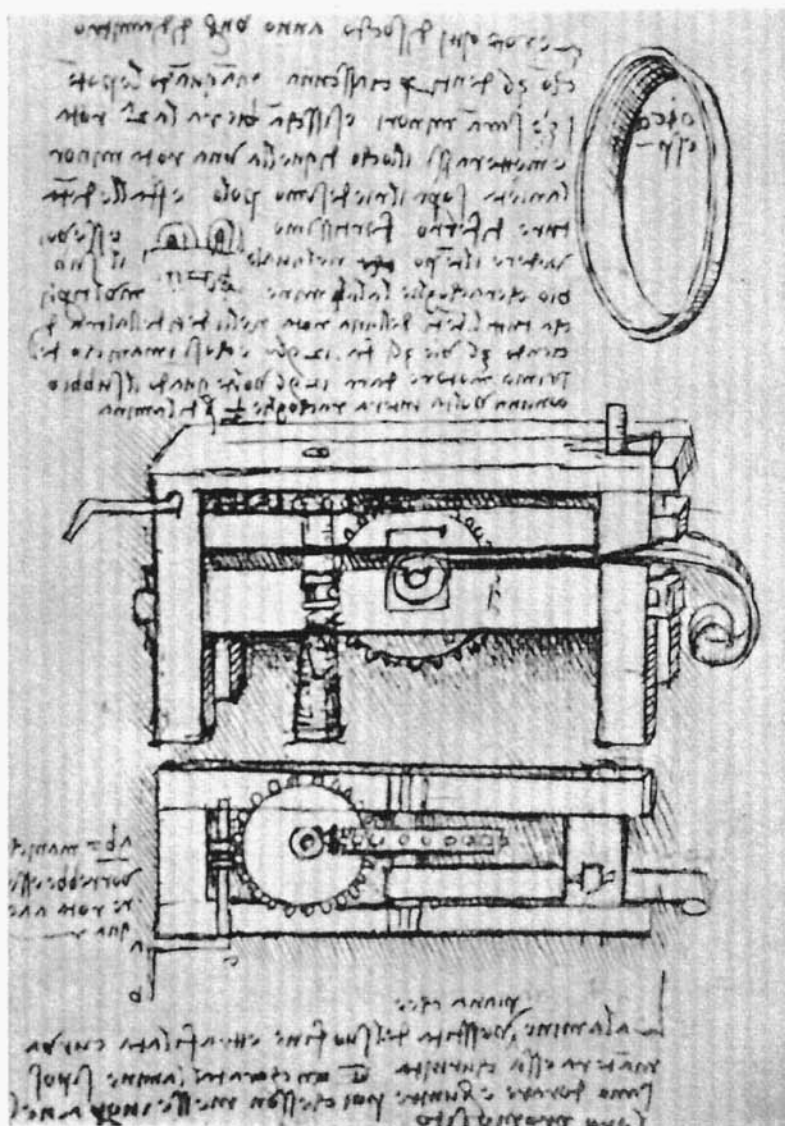
Tra gli organi di moto applicati e studiati da Leonardo, sono inoltre: perni portanti e perni spingenti, come quelli che adotta nella coppia rotoideale di una macina, o delle coclee; sistemi a parallelogramma articolato; manovellismi diversi, guide rettilinee e cilindriche; il giunto articolato, che fa parte del particolare dell'ala della macchina per volare; le numerose trasmissioni a fune, a cinghia od a catena. E di queste ultime Leonardo ci offre un magistrale disegno di catene articolate al fol. 357 recto del Codice Atlantico, che prova inconfutabilmente come egli abbia preceduto e Vaucanson e Galle, ritenuti gli inventori di questi tipi di catena.

La riduzione delle resistenze di attrito nei perni ha attratto particolarmente l'attenzione di Leonardo costruttore di macchine e moltissime sono le applicazioni che egli fa dei rulli sia nei veicoli, sia in carrelli scorrevoli, sia in parecchi tipi di meccanismi oscillanti o rotanti ed in sistemi di sospensione di campane. A questo proposito egli parla anche di «movimenti meravigliosi» e di meraviglie dell'arte meccanica, illudendosi forse eccessivamente circa i sistemi a rulli da lui concepiti, ma comunque dimostrando, con tali applicazioni, di avere intraveduto l'importanza che i supporti a rulli ed a sfere dovevano poi assumere nelle macchine moderne. Per contro ha pensato anche ai freni e, nel fol. 37 verso del Ms. L, ha disegnato un freno a nastro che sarà poi ripreso dal Ramelli.

Tutti questi studi e progetti di elementi cinematici, di meccanismi, di congegni costituiscono il materiale fondamentale delle sue applicazioni nelle macchine. È appunto attraverso il perfeziona-

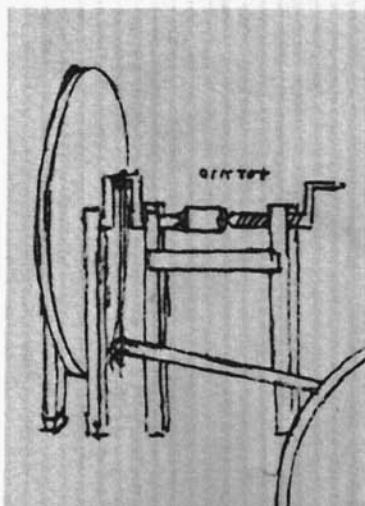
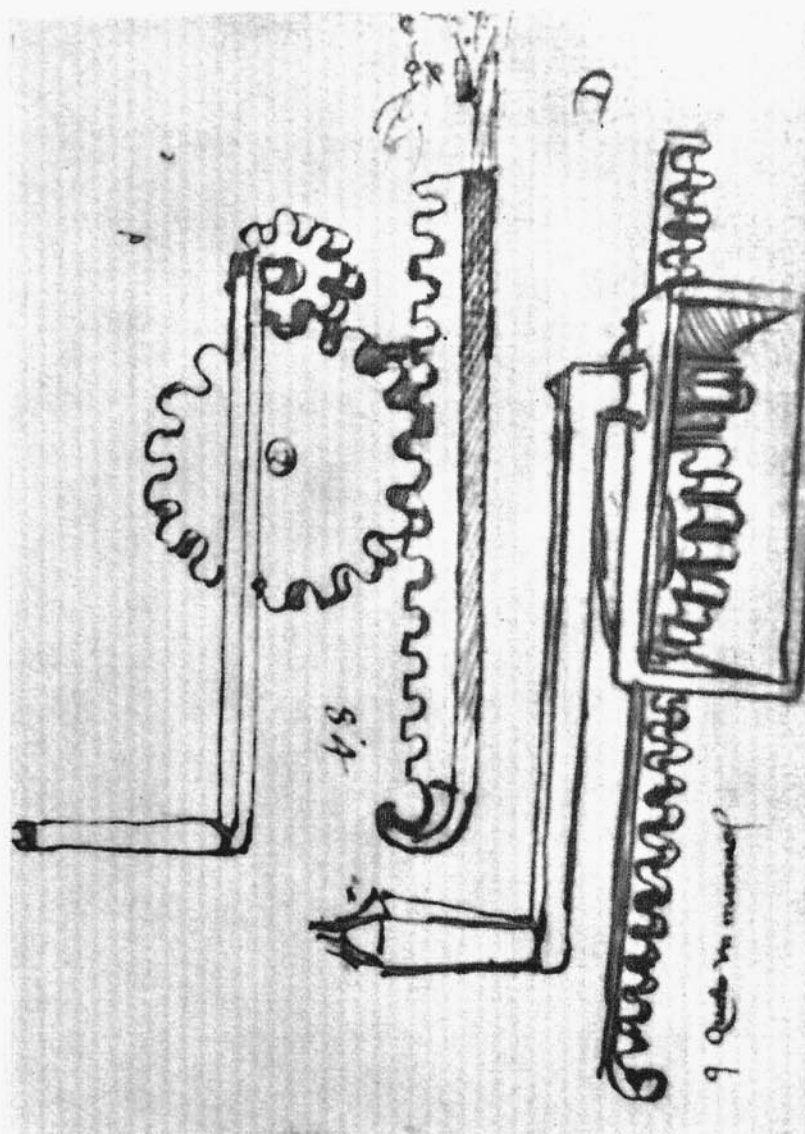


Studio sul consumo dei denti in ruotismi con corona dentata e ruota a lanterna - Ms. H, fol. 86 verso



A sinistra: Laminatoio per la formatura di nastri di piombo o rame - Ms. G, fol. 70 verso

A destra: Binda con asta dentata e ruotismo riduttore - Cod. Atlant., fol. 359 recto-c



Tornio azionato a pedale - Cod. Atlant., fol. 381 verso-b

mento di questi elementi che egli vuole arrivare alla riduzione delle forze che dovevano impiegarsi ed alla eliminazione — dove era possibile — del lavoro e dell'intervento dell'uomo.

Nel campo delle macchine di sollevamento, carrucole, argani, paranchi, coclee, martinelli che erano indubbiamente molto diffusi al suo tempo, Leonardo affronta e risolve, sia attraverso il calcolo, sia attraverso molte ingegnose applicazioni, i problemi che imponevano il sollevamento dei grandi pesi, ed in particolare delle artiglierie e delle campane. Ricorderemo fra l'altro — trascurando le macchine per il sollevamento dei liquidi che rientrano nel campo dell'idraulica — un interessante carro — antenato degli attuali veicoli industriali — nel quale un verricello con capra, montato sullo stesso carro, viene azionato dai cavalli del traino, attraverso una trasmissione che lo collega alle ruote per sollevare i pesi da trasportare, ed in particolare le pesanti campane.

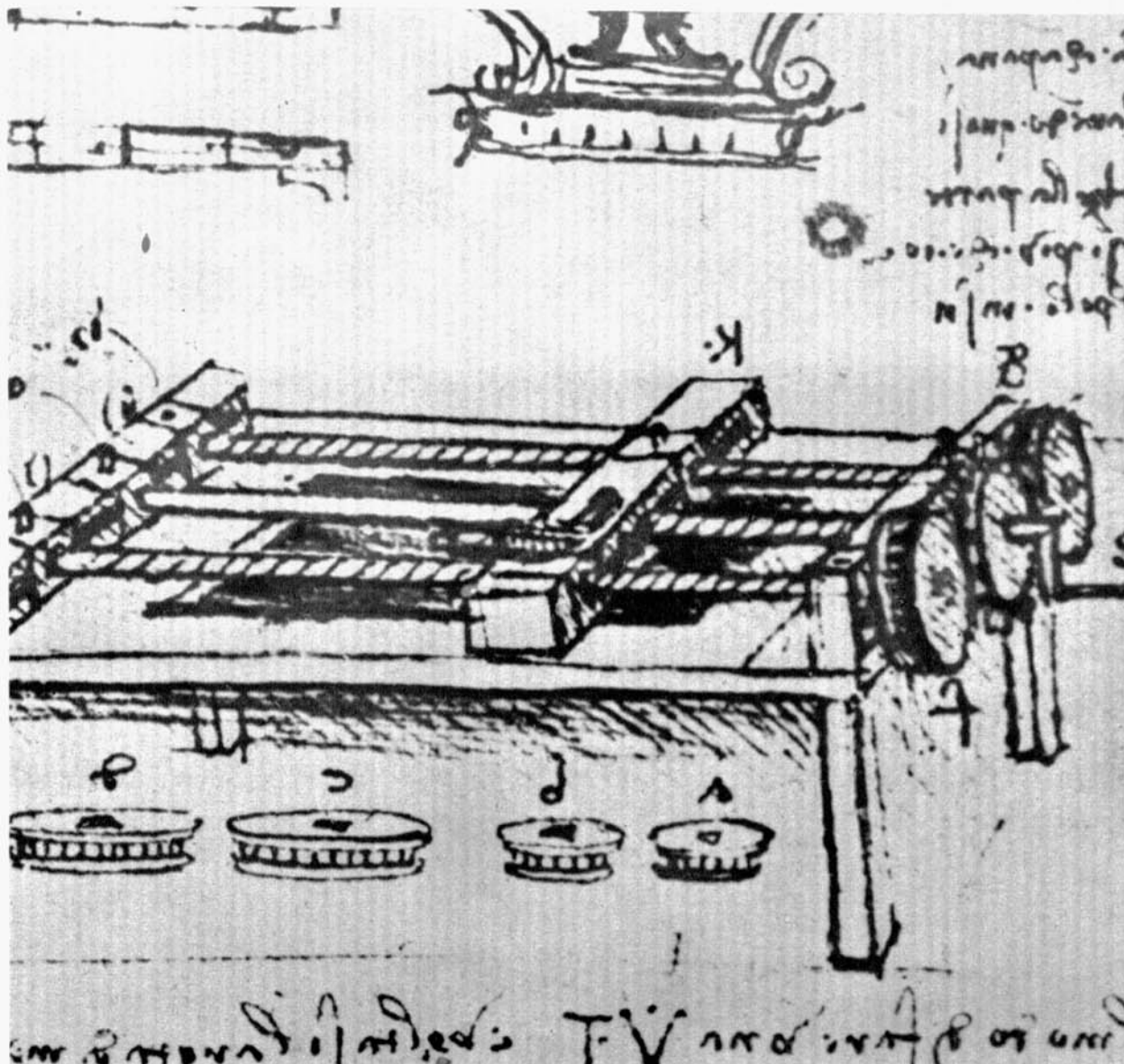
Ma dove Leonardo può senz'altro considerarsi un precursore geniale è nella costruzione delle macchine utensili. Purtroppo non tutti i suoi disegni sono compiuti o comprensibili, e se alcune di queste macchine possono facilmente ricostruirsi, ed è probabile che egli stesso abbia realizzato, parecchie restano oscure ed ineguagliabili. È da ritenersi che egli stesso, in alcuni casi, abbia cercato di tradurre nei suoi disegni alcune idee, senza riuscire, in mancanza dei materiali e dei mezzi che oggi offre la tecnologia, a tradurle in atto. Questo suo travaglio mentale appare anche evidente attraverso i disegni e gli abbozzi di alcuni particolari. Tra le più caratteristiche e chiare macchine utensili vinciane — alcune delle quali sono state appunto ricostruite in occasione della Mostra Leonardesca del 1939, seguendo fedelmente le indicazioni dei codici — è la macchina per intagliare lime, completamente automatica, con carrello scorrevole comandato e movimento intermittente del martello percussore, ad arresto automatico.

La forza motrice in questo caso è fornita da un peso a caduta; l'utensile, che è il martello intagliatore, è intercambiabile. Lo stesso sistema applicato a questa intagliatrice di lime è da Leonardo applicato in diverse altre macchine a martello percussore, adibite ad altri lavori meccanici.

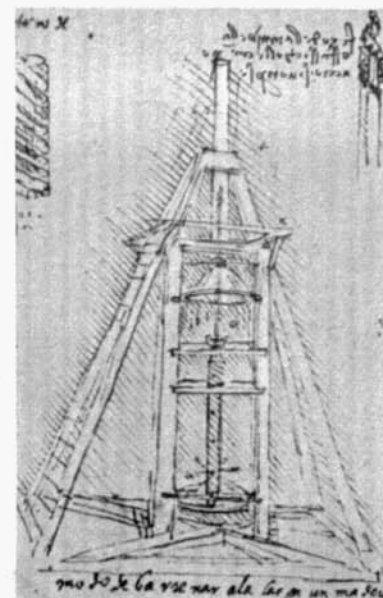
Con altrettanta evidenza disegnate, e con un senso d'arte, che i moderni disegnatori meccanici non conoscono, sono le due bellissime trafilatrici — a trazione — per barre sagomate, che si possono ammirare nelle prime pagine del Codice Atlantico.

Queste macchine da trafilatura sono azionate da una ruota idraulica la quale, a mezzo di una vite senza fine ingranante con due ruote dentate, mette in moto sia la ruota del cilindro di pressione, sia la ruota di trazione della barra. Simili nel concetto sono altri tipi di laminatoi per lastre e fettucce di piombo o rame.

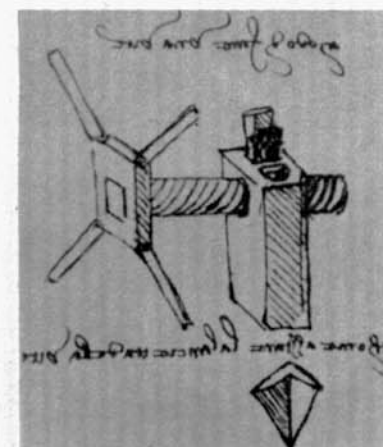
Le pagine del Codice Atlantico nel quale sono disegnate queste macchine per trafilatura di doghe d'artiglieria possono citarsi come esempi interessantissimi della tecnologia vinciana e costituiscono la



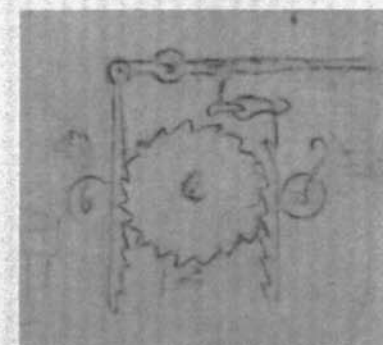
Macchina per filettare viti - Ms. B,
fol. 70 verso



Foratrice per pozzi - Ms. B, fol. 47
verso



Trafilatura a cuscinetti - Cod. Atlant.,
fol. 56 verso



Arpionismo per la trasformazione del
moto oscillante in moto rotatorio -
Ms. H, fol. 113 verso

prova — fra le altre — che Leonardo ha realizzato ed usato queste macchine. Egli dà consigli sul materiale che si deve trafilare, elenca le operazioni successive che debbono farsi, spiega il funzionamento della macchina, calcola la potenza necessaria per tale funzionamento e consiglia di « fare le membra delli strumenti equali o superiori alle potenzie delli loro motori », basandosi sulla esperienza, « perchè senza la sperienza non si può dare scienza vera della potenza colla quale resiste il ferro trafilato al suo trafilatore », disegna gli « elementi macchinari », le sagome delle trafile ed infine dà pure lo schema di una smerigliatrice per la finitura delle barre trafilate. Con altrettanta chiarezza spiega come funziona la macchina per filettare viti, che è fra le più interessanti delle sue macchine utensili, assieme alle punzonatrici, ai trapani di diverso tipo, alla bellissima foratrice di tubi di legno, nella quale è un ingegnoso sistema autocentrante, ai maschi per filettare, ai serratubi, ai torchi e strettoi, alle presse da stampa, alle grandi foratrici verticali per pozzi, ai diversi tipi di tornio a volano.

Sulla scorta di quanto scrive Giovanni Paolo Lomazzo, a Leonardo deve pure attribuirsi la costruzione del tornio ovale, invenzione che ha una notevole importanza nella storia della meccanica perchè sottintende l'applicazione del principio dell'invertimento della catena meccanica, che si intravede pure in alcuni enunciati vinciani circa la reciprocità di talune leggi dell'attrito e del moto.

Le superbe realizzazioni vinciane nel campo delle macchine tessili — quali la cimatrice, la rasatrice, il fuso automatico, le macchine per la torcitura delle funi — meriterebbero una trattazione particolare per la loro fondamentale importanza. A noi basterà aver rilevato che anche nel campo della meccanica tessile il genio di Leonardo precorre tutte le principali applicazioni ed avere messo in evidenza i caratteri generali di quella « nobilissima scienza strumentale over machinale » che, ispirandosi al motto vinciano: « l'esperienza è madre d'ogni certezza », prelude all'opera fondamentale di un altro genio italiano: Galileo, e dischiude la via al progresso della meccanica tecnica moderna.

GIOVANNI CANESTRINI