

Dal Medioevo al Rinascimento

Il califfato di Córdoba

«Il più grande progresso che l'umanità abbia mai conosciuto si è avuto quando il Medioevo ha scoperto il *passato*: ha scoperto l'antichità, la Grecia, ed è stato allora che ci si è aperti al futuro...»¹.

Anche per questa fase seguiremo il percorso dei libri: nello stesso periodo in cui al-Ma'mūn creava a Baghdad la “Casa della saggezza” e la “Cultura delle traduzioni”, gli Omayyadi Abd al-Rahman I, II e III e al-Hakam, che governarono tra il 756 e il 976, facevano di Córdoba la più grande e la più colta città d'Europa, e unificavano tutta la Spagna sotto il proprio califfato, concorrente con quello di Baghdad, in mano agli Abbasidi.

Al-Hakam dotò la biblioteca del palazzo reale di Córdoba di mezzo milione di libri, la stessa cifra che viene indicata per la biblioteca di Alessandria e per la Casa della saggezza di Baghdad. Era una biblioteca in lingua araba, frutto della cultura della traduzione di Baghdad.

I principali scienziati arabi di questo periodo sono Ibn Firnas (810-887), considerato il primo aviatore del mondo (volò su un suo deltaplano primordiale per alcuni minuti, a 65 anni, da una montagna vicino Córdoba); al-Zahrawi (936-1013 ca.), medico di corte di al-Hakam, che inventò decine di strumenti chirurgici, tra cui il forcipe e lo speculum, il cui testo sulla medicina, *Tasrif*, fu tradotto in latino e stampato fino al XVI secolo, così come i testi medici di Ibn Zuhr (1091-1161), altro celebre

Il califfato di Córdoba intorno alla fine del X secolo.





*Astrolabio ,
al-Zarqali,
part.*

*La Tabula
Rogeriana
di al-Idrisi,
realizzata
nel 1154
per Ruggero II
di Sicilia, con il
Nord in basso.*

medico andaluso di Siviglia; al-Haytham (Alhazen) (968-1040 ca.), matematico, astronomo e fisico, sostenitore ante litteram del metodo sperimentale – «Il dovere dell'uomo è farsi nemico tutto ciò che legge...» – e del metodo scientifico, e accreditato della spiegazione del fenomeno della differente percezione di grandezza della luna tra l'orizzonte e lo zenith: «giudicare la distanza di un oggetto dipende dal fatto che esiste una sequenza ininterrotta di corpi intermedi tra l'oggetto e l'osservatore»; al-Zarqali (Arzachel) (1029-1087), che realizzò le Tavole astronomiche di Toledo, il primo astrolabio portatile (non legato alla latitudine del luogo) e sostenne l'ovalità dell'orbita di Mercurio, anche se in ipotesi geocentrica; Ibn Bajja (1080-1138), che ipotizzò che la Via Lattea fosse composta da miriadi di stelle; Ibn-Rushd (Averroè) (1126-1198), il più importante filosofo musulmano medievale, unico musulmano dipinto da Raffaello tra i maggiori filosofi di tutto il mondo ne *La scuola di Atene*.

Córdoba fu preda dei Berberi dell'Africa Settentrionale, che la assediaron (1010-1013) e la presero, e molti dei libri della grande biblioteca furono distrutti o dispersi. Il califfato Omayyade terminò nel 1031, e i Berberi governarono parte della Spagna fino al 1492, quando Ferdinando d'Aragona e Isabella di Castiglia presero l'ultima fortezza berbera, quella dell'Alhambra.

Come racconta Jim al-Khalili ne *La casa della saggezza*, la scienza araba raggiunse l'Europa attraverso vari canali di trasmissione e di traduzione, come la Sicilia di Ruggero I e di Ruggero II e le rotte commerciali tra l'islam e città stato come Venezia, cui vanno aggiunte le imprese dei cristiani che viaggiarono in Oriente, come





Monastero di Ripoll, abside. Il monastero fu fondato nell'anno 880.

l'inglese Adelardo di Bath (1080-1152), «ma è soprattutto la conquista della Spagna che consentì all'Europa di accedere al patrimonio di conoscenza prodotto nel mondo islamico»² e quindi anche alla conoscenza greca e persiana, tradotta dal greco e dal persiano in arabo a Baghdad e trasferita in copia in Andalusia. A partire dalle città spagnole, dal X secolo, si traduce in Europa dall'arabo al latino. Le prime traduzioni di trattati avvengono nel monastero di Ripoll, in Catalogna, nel X secolo (trattati sull'astrolabio), e tra i traduttori c'è Gerberto di Aurillac (940/50-1003), poi divenuto papa Silvestro II; traduce libri in vari settori della scienza Gerardo da Cremona (1114-1187), che imparò l'arabo a Toledo e tradusse anche l'*Almagesto* di Tolomeo, le tavole astronomiche di Toledo e alcuni lavori dei fratelli Banū Mūsā; scrive in arabo e in latino al-Idrisi (1099 ca.-1165), geografo, che studiò a Córdoba e realizzò in Sicilia, per Ruggero il Normanno, il *Libro di Ruggero* e la *Tabula Rogeriana* (1154), un libro di geografia e una mappa del mondo conosciuto – attraverso il resoconto dei suoi viaggi e dei viaggi degli ambasciatori di Ruggero – che rimasero validi per secoli per l'accuratezza delle descrizioni; una scuola di traduttori dall'arabo al latino viene creata a Toledo dall'arcivescovo francese Raymond de Sauvetat durante il suo epi-

Villard de Honnecourt, automata, dal "Taccuino" (Livre de portraiture), (1235 ca.)





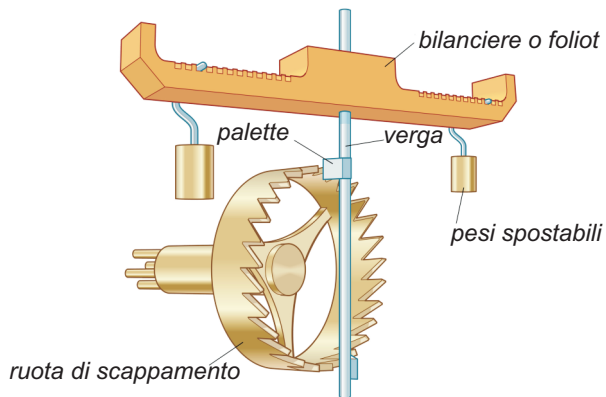
Al-Jazari, meccanismo per il sollevamento dell'acqua, dal "Libro sulla conoscenza degli artifici meccanici", 1206.

scopato (1126-1152), rendendo accessibili opere scientifiche greche tradotte dagli Arabi. Alla fine del Medioevo³ erano quindi diffusi in Europa sia testi originali e traduzioni delle opere degli scienziati del mondo islamico sia traduzioni in arabo e traduzioni in latino (delle traduzioni in arabo) delle opere degli scienziati del mondo greco. In alcune opere, trasmesse in Europa in quest'epoca, è già sintetizzato il patrimonio di conoscenze che deriva dai greci: un esempio è il lavoro di al-Jazari (1136-1206), il cui orologio Elefante combina il sapere degli ingegneri meccanici e idraulici greci (Ctesibio, Filone, Archimede ed Erone) con il sapere dei loro omologhi arabi (Banū Mūsā e al-Muradi): nell'Elefante sono racchiusi mille e cinquecento anni di saperi tecnici e una visione artistica inclusiva delle culture dei popoli che questi saperi avevano generato e incontrato.

Durante il XIII secolo il disegno e l'illustrazione dei testi iniziano a diventare uno strumento primario di comunicazione. Villard de Honnecourt (1200-1250), disegna nel suo *Taccuino*⁴ automi, apparecchi a moto perpetuo, meccanismi di trasmissione, architetture, macchine per la lavorazione di minerali, elementi di pittura.

All'inizio del XIII secolo l'energia è ancora affidata all'acqua o ai pesi che scendono lentamente dentro le clessidre. Dopo la metà del XIII secolo viene inventato l'orologio meccanico con scappamento e bilanciere, mosso da un contrappeso: l'energia può essere erogata in modo costante e prevedibile. Molti campanili vengono dotati di orologi, sostituendo clessidre e meridiane. La scansione meccanica e razionale del tempo prende posto al centro della società e del suo spazio.

Meccanismo per orologio a contrappeso, con verga e bilanciere che ruotano alternando il verso. Permette la rotazione passo-passo degli ingranaggi e la regolazione della velocità di srotolamento del cavo che regge il contrappeso.



L'orologio della Torre di Maurizio di Orvieto (1347-1348).

Il primo esempio è l'orologio costruito sulla piazza del Duomo di Orvieto (1347-1348), detto di Maurizio. La scultura in bronzo dell'automa che batte le ore è alta un metro e sessantacinque, ed è provvista di un martello con cui, allo scoccare di ogni ora, percuote la campana che ha di fronte.

L'orologio, realizzato per volontà dell'Opera del Duomo, scandiva le ore di lavoro degli operai che costruivano l'edificio sacro, in cantiere tra il 1290 e la seconda metà del XVI secolo. Le due campane piccole, al fianco della grande, segnano i quarti con piccoli martelli.

Gli orologi che si diffondono successivamente in tutta Europa segnano i tempi del vivere urbano, come le ore di mercato e gli orari di apertura e chiusura delle porte cittadine, condividendo per la prima volta sia in modo visivo che acustico una delle informazioni essenziali per la vita sociale. L'orologio della Torre di Maurizio è il più antico automa segnatempo funzionante al mondo.

A destra: particolari dell'automa, delle campane e del meccanismo. In basso: una veduta d'insieme della Torre di Maurizio.



L'orologio di
Strasburgo
(1352-54).

*Orologio della
cattedrale di
Strasburgo,
particolari
del calendario,
della sfera
delle stelle
e dell'orologio.*



Tra il 1340 e il 1380 orologi meccanici vennero collocati a Genova, Firenze, Bologna, Valenciennes, Strasburgo, Chartres, Norimberga, Friburgo, Ferrara e Westminster.

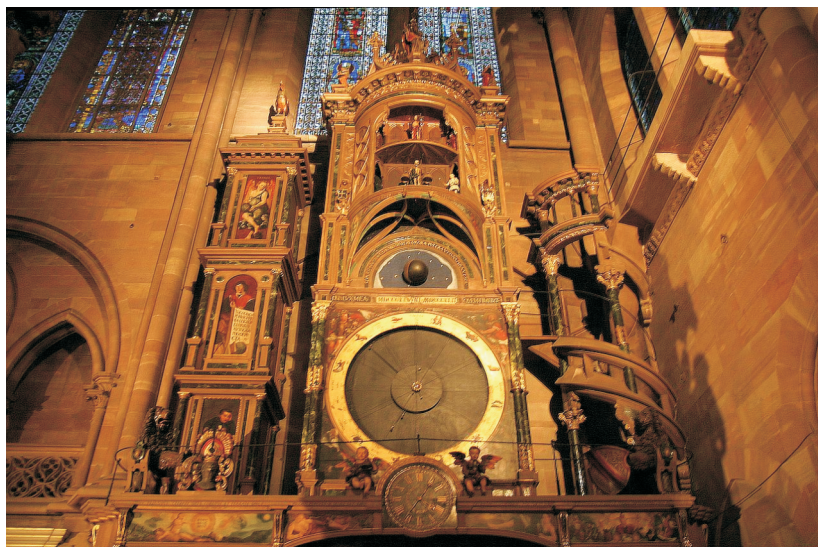
Nel 1352 Strasburgo iniziò la costruzione del proprio orologio, in cattedrale, detto dei Re Magi perché i tre Re si inginocchiano ogni ora davanti alla Vergine, mentre un carillon suona e un gallo canta alzando le ali. Deterioratosi, l'orologio venne ricostruito a partire dal 1547, e fu inaugurato alla mezzanotte del 31 dicembre 1842. L'artefice, a partire dal 1838, fu l'orologiaio J. B. Schwilgue. Tutti i giorni, alle 12,30, gli apostoli sfilano di fronte al Signore; più sotto, la morte batte i quarti d'ora mentre le passa davanti un'allegoria delle età della vita. In basso sfilano i giorni della settimana, rappresentati dalle divinità: Apollo la domenica, e poi Diana, Marte, Mercurio, Giove, Venere e Saturno. Mentre passano gli apostoli un gallo canta tre volte, dopo aver battuto le ali. L'orologio è dotato di un calendario perpetuo: calcola le fasi della luna, le eclissi e il sorgere e il tramontare del sole. Sopra una sfera sono dipinte le stelle visibili tutte le notti da Strasburgo. Le chiese, che avevano sempre avuto l'esclusiva della comunicazione tramite immagini, e anche per questo erano meta di pellegrinaggi, si adeguano ai tempi e iniziano a gestire la comunicazione anche con immagini mobili.



A destra: orologio della cattedrale di Strasburgo, particolare.

Nella parte alta gli apostoli sfilano davanti a Cristo benedicente. Nella parte bassa un putto, un ragazzo, un adulto e un vecchio sfilano davanti alla Morte, simboleggiando le età della vita.

In basso: vista d'insieme dell'orologio. La cassa è alta 18 metri, mentre la base è larga 7 metri ed alta 4.



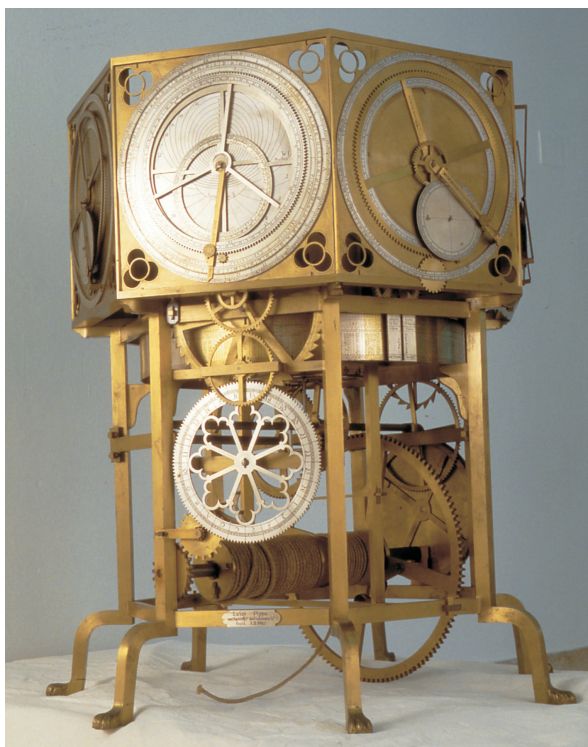
L'astrario di Giovanni Dondi (1330-1388), Padova, costruito tra il 1365 e il 1384 ca.



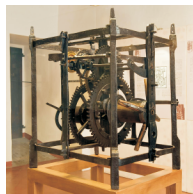
In alto: la pagina del "Tractatus astrarii" che descrive il quadrante di Venere. Conservato nella Biblioteca Capitolare di Padova, il Tractatus descrive «la sua composizione, il suo uso, la sua messa in moto, e il modo di correggere gli errori».

A destra: l'astrario di Giovanni Dondi nella ricostruzione (1961-1963) di Luigi Pippa. Museo della Scienza e della Tecnologia "Leonardo da Vinci", Milano.

L'astrario di Dondi è stato, prima del ritrovamento di Anticitera, il più antico orologio astronomico in grado di rappresentare su vari quadranti l'ora, il moto del Sole, della Luna e dei pianeti conosciuti nel Medioevo (Marte, Mercurio, Venere, Giove, Saturno), secondo i principi dell'astronomia tolemaica. L'orologio ha un meccanismo a bilanciere, con scappamento a verga e contrappeso. Dondi lo descrive come «un'opera dove potessero essere visti dall'occhio tutti i movimenti secondo la longitudine che gli astronomi assegnano ai pianeti, ... dove si possano avere, ad ogni istante, senza alcun calcolo fastidioso, le posizioni di tutti i pianeti, i loro argomenti veri e medi, i loro centri medi, le loro auge e le altre coordinate, come se si fosse operato con le tavole, per quel medesimo istante, e tutto questo con una differenza infinitesima...»⁵. L'originale è andato perduto intorno al 1530, ed è stato più volte ricostruito sulla base del libro di Dondi, il *Tractatus Astrarii*⁶, che testimonia della circolarità del sapere dell'epoca, a differenza dei tempi del meccanismo di Anticitera, quando il sapere era iniziatico.



Filippo
Brunelleschi
(1377-1446).

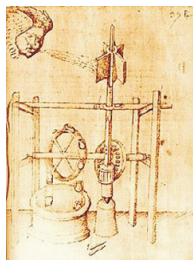


*Orologio di
Brunelleschi,
Palazzo
dei Vicari
di Scarperia⁸.
In basso:
L. Minestrella,
ricostruzione
del modello
dell'ingegno
di Brunelleschi
dell'Annunciazione
di San Felice
in Piazza (1998)..*

Le conoscenze meccaniche applicate agli orologi, alle macchine belliche e alla soluzione dei problemi relativi alle costruzioni di edifici produssero un know-how utilizzabile anche per altri scopi: Brunelleschi creò nel 1439 a Firenze una scenografia semovente per la rievocazione dell'Annunciazione, che vedeva un angelo passare lungo la navata della chiesa, sospeso sopra i fedeli. L'angelo scorreva su un canapo che andava dalla tribuna dell'Empireo, posta sopra il portale della chiesa dove si trovava la rappresentazione del Padreterno, fino alla sommità del tramezzo, dove stava Maria. Dopo aver dato l'annuncio tornava verso l'Empireo, incontrandosi con un fuoco d'artificio che veniva in senso opposto e che rappresentava lo Spirito Santo. L'ingegno di San Felice in Piazza, uno spazio scenico verticale descritto da Vasari nella *Vita del Brunelleschi*, aveva un meccanismo più complesso: «otto angeli, retti dal detto ferro mediante un arganetto che si allentava a poco a poco, calavano dal vano della mezza palla fino sotto al piano de' legni piani che reggono il tetto... di maniera ch'erano essi veduti, e non toglievano la veduta degli angeli ch'erano intorno al di dentro della mezza palla. Dentro a questo mazzo degli otto angeli... era una mandorla di rame vota dentro, nella quale era, ad uso d'angelo, un giovinetto che, giunto dove era la vergine, la salutava e annunciava». Gli allestimenti teatrali dotati di un apparato semovente inaugurarono un modo di fare spettacolo nuovo rispetto alle sacre rappresentazioni classiche.



Mariano di Jacopo detto il Taccola, detto anche l'Archimede Senese, Siena (1381-1453 ca.).

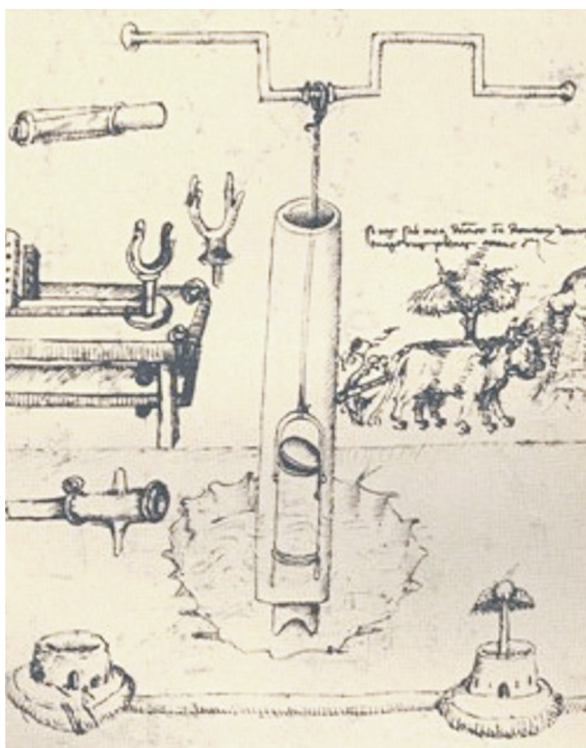


In alto: Pompa a catena azionata dal vento.

A destra: Pompa a stantuffo azionata da manovella-biella.

Il libro "De ingeneis" contiene anche un'intervista all'amico Brunelleschi, che lo mette in guardia dal divulgare con troppa leggerezza il proprio sapere: «Non spiegare a tanti le tue invenzioni, ma solo a quei pochi che comprendono e amano le scienze, perché chi fa mostra e illustra le sue proprie creazioni finisce solo per buttarle al vento».

Mariano di Jacopo detto il Taccola, detto anche l'Archimede Senese, è stato uno degli artisti-ingegneri più eminenti del XV secolo. Conosciuto per i suoi trattati di tecnologia *De ingeneis*^{9,10} e *De machinis*¹¹, frequentò la bottega di Jacopo dalla Quercia. I testi di Mariano di Jacopo – come quelli di Giovanni Dondi e Leonardo da Vinci – sono illustrati da disegni tecnici, che diventano in questo periodo sempre più frequenti, concepiti per dare la possibilità a chi segue di interpretare, replicare e trasmettere le conoscenze acquisite. Accanto ai trattati di ingegneria militare, numerosi suoi scritti sono dedicati a studi e applicazioni di ingegneria idraulica, riflesso delle esigenze del territorio Senese. I lavori del Taccola furono studiati da molti ingegneri ed artisti del Rinascimento, tra cui Francesco di Giorgio Martini. Alcuni di essi descrivono anche parte dei sistemi di sollevamento e degli ingranaggi utilizzati da Brunelleschi nella costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore.



Giovanni
Fontana,
Padova
(1395-1454 ca.)

*“La strega
infuocata”
di Giovanni
Fontana,
un automa con
ali di pipistrello,
coda di serpente
e zampe
ad artiglio.
La strega
si muoveva
scivolando
su una rotaia.
Le braccia/ali
erano messe
in movimento
da un sistema
di leve e funi
a cui sono
collegate anche
le corna mobili,
mentre la testa
si illuminava
internamente
ed emetteva luce
da bocca
e guance.
Un altro automa,
il “Diavolo
meccanico”,
muoveva anche
«la lingua,
che ha i perni
nelle guance,
e tutte
le giunture
nelle proprie
articolazioni».*

Il libro di Giovanni Fontana *Bellicorum instrumentorum libri*, scritto tra il 1420 e il 1440, in codice cifrato, è considerato il primo manoscritto rinascimentale sulla tecnologia. L'unica copia esistente è custodita presso la Libreria di stato bavarese a Monaco di Baviera. Gli studi di Fontana spaziavano dall'ottica all'astrologia, dalla pneumatica ai meccanismi idraulici, dalle macchine belliche all'arte della memoria.

Il libro contiene 140 progetti illustrati di tecnologia quattrocentesca: automi, macchine d'assedio, strumenti musicali, fontane e pompe, macchine per il sollevamento e il trasporto, torri difensive, draghe, serrature a combinazione, arieti, attrezzature belliche a razzo, forni alchemici e strumenti di misura¹².



Francesco
Colonna,
Venezia.
(1433-1527)

Il romanzo *Hypnerotomachia Poliphili* di Francesco Colonna, stampato a Venezia nel 1499 da Aldo Manuzio, contiene 168 splendide xilografie (da autore ignoto, ma attribuite ad Andrea Mantegna o a Benedetto Bordon), in gran parte ispirate all'idea di giardino rinascimentale, che ne fanno uno degli incunaboli più belli mai stampati¹³.

L'opera è anonima, ma la prima lettera di ogni capitolo della versione originale italiana forma un acrostico: "Poliam Frater Franciscus Columna Peramavit" da cui l'attribuzione a Francesco Colonna.

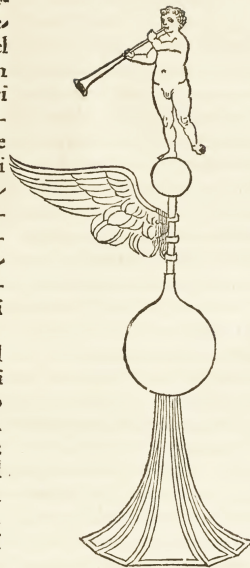
È un libro iniziatico, che racconta il viaggio onirico di Polifilo alla ricerca della sua amata, e le immagini raccontano gli incontri del protagonista.

«Alle terme, Polifilo osserva un erote di bronzo, che gira al vento, dotato di una tromba che produce un suono armonioso al soffiare del più breve refolo» e, osserva Enrico Parlati nel suo saggio *Il volto d'Utopia*, «Gli automi sono nel Polifilo macchine destinate a suscitare meraviglia e piacere» e il libro di Francesco Colonna «è il presupposto per la tradizione rinascimentale del giardino delle meraviglie...»¹⁴.

Francesco
Colonna,
"Hypnerotomachia
Poliphili",
Aldo Manuzio,
Venezia, 1499,
pag. 85, part.

cosa ena tenuissima cōflata perfe-
ctamete, & fulgentissimamete de
aurata. La quale Ala, & la Pila, & el
Puello, cum il figmento o uulto in
acto di sonare, cum il uacuato occi-
pitio, uerso el flato uetale, facilmē-
te uiolentaua, Oue intro spirabile
la tuba tubaua. Et perciò quassanti
fe per il uento le filique ægyptie, Si-
milmente, & quiui il uento fece so-
nare la tuba. Per laquale cosa cogi-
tai ridendo, che a homo in loco in-
cognito solo ritrouantife & expa-
uentato, che facilmente per omni
streptitulo se terricula.

Modo nella faccia di ricontra al
labellissima Nympha in fonte, ui
di lintroito. Cum una porta expo-
sitiuissima. tutto artificio dil praestan-
te Lithoglypho, che la Nympha
dormiēte hauea cælato penfai. Nel
phrisio dilaquale uidi tale titulo in
caractere græco, ΑΣΑΜΙΝΘΟΣ.
Dunque tale therme non suppedi-
ta lamplitudine di Tacio.



Leonardo da Vinci,
(1452-1519).
"Il cavaliere",
(1495 ca.)



In alto:
Leonardo da Vinci,
Codice Atlantico
f. 388 v-a (1077 r),
part. dell'elmo.

A destra:
Leonardo da Vinci,
"Mensch
erfinder genie",
Berlino, 2005.

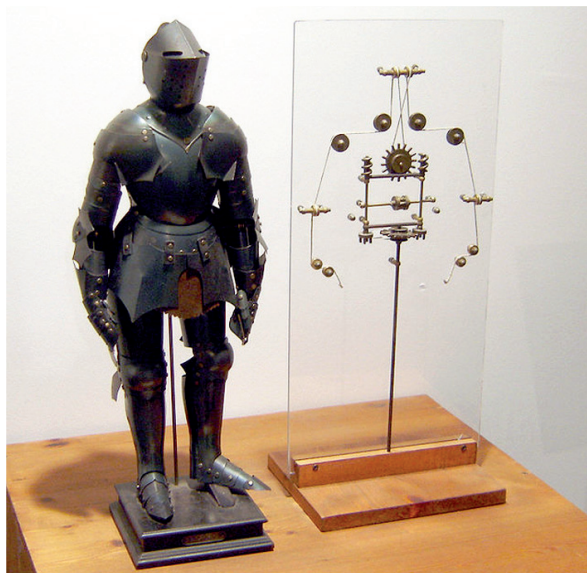
Carlo Pedretti, uno dei maggiori esperti dell'opera di Leonardo, pubblica nel 1957 un'interpretazione di alcuni disegni (1495 ca.) del Codice Atlantico, ipotizzando siano studi per un automa Cavaliere¹⁵.

L'aspetto era quello di un cavaliere con una tipica armatura italo-tedesca della fine del XV secolo.

L'idea viene ripresa da Mark Rosheim, nel libro *Leonardo lost's robot*, dove si ricostruisce il possibile movimento: secondo Rosheim, il robot Cavaliere – protetto da una corazza – poteva sedersi, aprire e chiudere le braccia, articolare spalle, gomiti, polsi e mani, muovere la testa grazie a un collo flessibile e aprire la visiera. Le gambe potevano muoversi articolando caviglie, ginocchia e fianchi¹⁶.

Nel petto, un programma analogico meccanico forniva la potenza e il controllo delle braccia, attraverso una camma scanalata cilindrica che attivava una coppia di viti senza fine collegate a una puleggia centrale. Un albero motore centrale, forse calettato, dava energia pur permettendo al robot di stare in piedi e sedersi. Le gambe erano alimentate da una manovella esterna, mediante un cavo collegato alla caviglia, al ginocchio e alle anche.

Una serie di cavalieri potevano essere posti sui bastioni o sulla torre di un castello e muoversi, dando l'idea di un numero di difensori maggiore del reale.



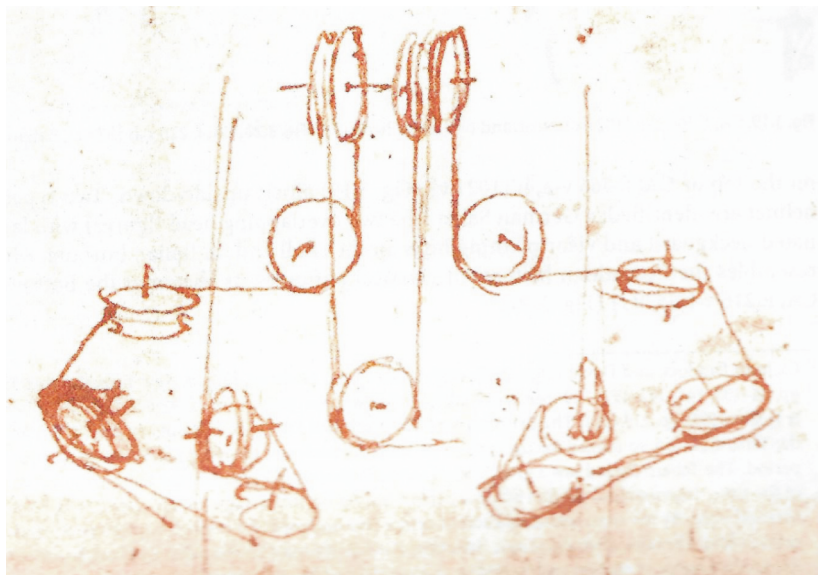
Scrive Mark Rosheim: «L'operatività del cavaliere di Leonardo è un modello di semplicità ed eleganza e risolve diversi problemi prestazionali di progettazione, con un semplice sistema di cavi. Un cavo centrale (vedi pag. successiva) tira o rilascia la puleggia centrale (W), e passa sopra le pulegge folli (A e B). Una puleggia folle è una puleggia che non trasmette energia ma fa da guida a un cavo per cambiarne la direzione.

Queste pulegge folli potrebbero essere utilizzate per azionare la visiera del cavaliere semplicemente aggiungendo alcune pulegge aggiuntive ai perni della visiera. Il cavo si estende quindi fino alla coppia di pulegge folli rivolte verso l'alto (C e D) e alle pulegge sopra la spalla, sul gomito e sul polso.

Il perno della puleggia della spalla deve essere collegato al braccio superiore. Quando il cavo del braccio viene teso, il braccio basso imita il braccio superiore. Una caratteristica di prestazione interessante di questo sistema di cavi è il suo movimento differenziale. Ad esempio, se un braccio viene abbassato, la puleggia centrale si solleva, compensando il movimento senza disturbare il braccio opposto.

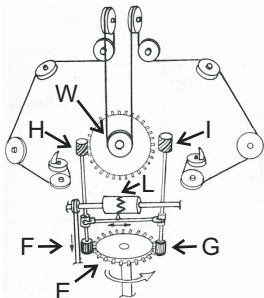
Quando il cavo centrale viene tirato, solleva e separa le braccia, e quando viene rilasciato, la gravità fornisce il carico per abbassarle»¹⁷.

*In basso:
Leonardo
da Vinci,
Codice Atlantico
foglio 216 v-b.*

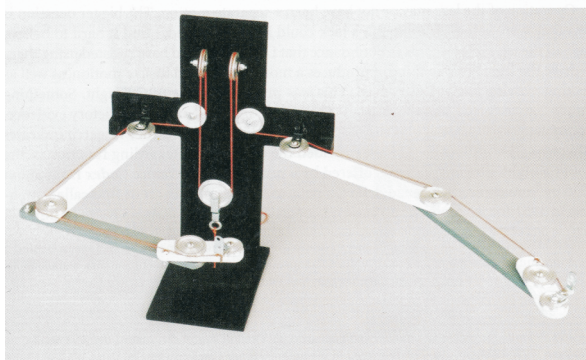
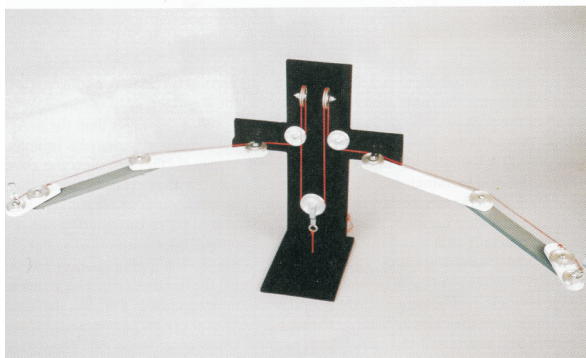
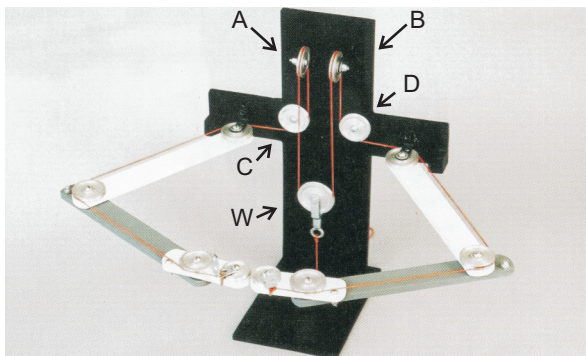


A destra:
 Mark Rosheim,
 Robot Knight
 cable system,
 Rosheim [LLR],
 op. cit., p. 109.

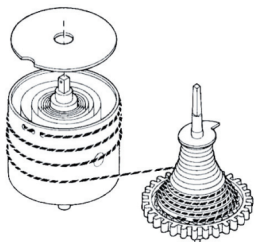
In basso:
 Mark Rosheim,
 "First
 reconstruction
 of Knight's
 inner workings":
 la ruota dentata E
 muove il pignone
 F e il pignone G.
 Il moto
 si trasmette
 ai pignoni H e I
 che ingranano
 alternativamente
 seguendo
 il movimento
 a zig-zag
 del cursore che
 segue la camma
 scanalata L
 e fanno ruotare
 nei due versi
 la ruota dentata
 sul cui asse
 è la puleggia W.
 "Leonardo's lost
 robots", p. 97.



Nella ricostruzione del meccanismo che muove le braccia del cavaliere, il movimento di chiusura e apertura delle braccia e, in basso, il movimento differenziale delle due braccia.

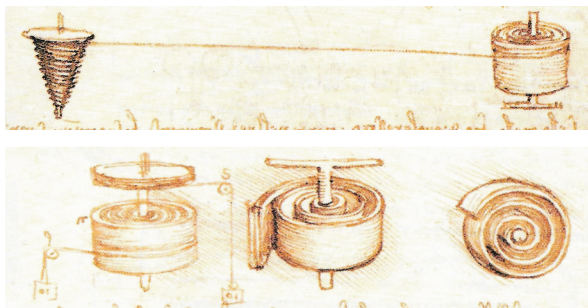


Leonardo da Vinci,
il sistema misto
molla-conoide.

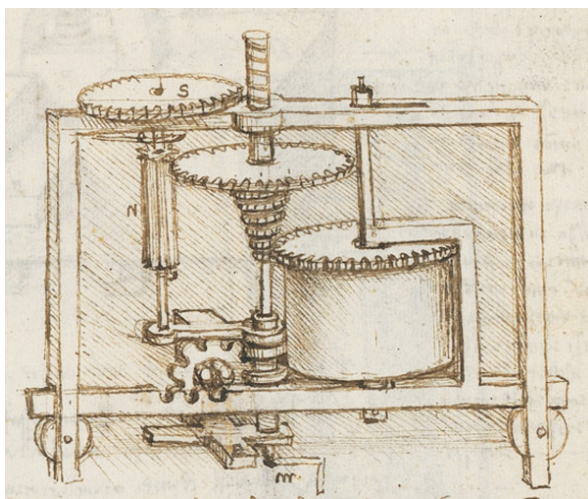


In alto e a destra:
Il sistema misto
molla-conoide.
Leonardo da Vinci,
Madrid MS I, f. 85r, part.

A destra:
Molle a spirale.
Leonardo da Vinci,
Madrid MS I, f. 85r, part.



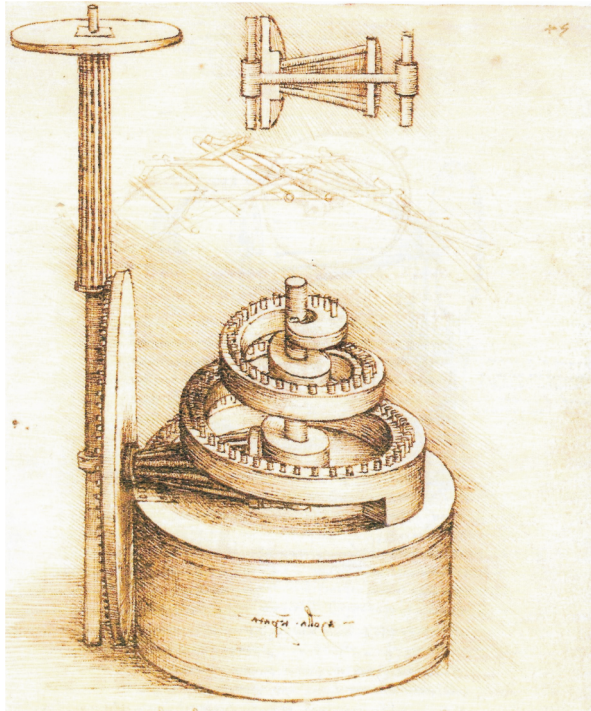
A destra:
Meccanismo
con sistema
di trasmissione
diretta
molla-conoide.
Leonardo da Vinci,
Madrid MS I, f. 14r, part.



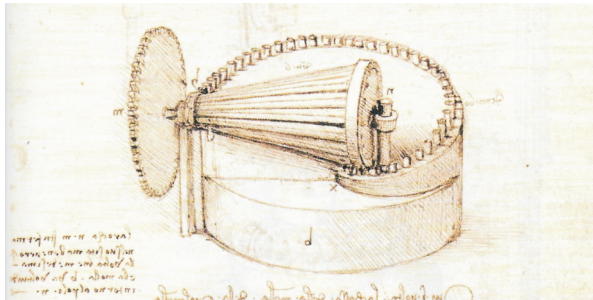
Lo sviluppo tecnologico che rese possibile la creazione di molti degli automi che vedremo da ora in avanti, tra i quali quelli di Leonardo¹⁸ che sono descritti nelle pagine che seguono, fu l'invenzione dell'acciaio temperato. Avvolto in lamine all'interno delle molle, l'acciaio temperato garantisce la possibilità di immagazzinare energia potenziale e di rilasciarla al momento opportuno. Per evitare che la molla ceda agli ingranaggi molta più energia all'inizio che alla fine della sua carica, e che quindi il movimento vada via via rallentando, prima della fine del XV secolo fu inventato un sistema misto composto da una molla e un conoide. La ruota dentata che trasmette il movimento non è più legata alla molla ma al conoide. Il sistema mantiene uguale l'intensità della forza che fa girare la ruota dentata che sta all'origine del moto meccanico.

Il funzionamento del sistema è semplice: man mano che la forza della molla diminuisce, la stessa viene applicata a un braccio di leva più ampio, con il risultato di mantenere uguale la forza di torsione finale. Questo sistema integrato rese possibile diminuire di molto le dimensioni dei meccanismi di orologi e automi.

*A destra:
Meccanismo
per il rilascio
dell'energia
di una molla
con spirale
che ingrana
direttamente
su un conoide
di rotazione
che si solleva
durante il moto.
Leonardo
da Vinci,
Madrid MS I,
f. 45r, part.*



*A destra:
Il meccanismo
di rilascio,
simile al
precedente,
ingrana
direttamente
su un conoide
di rotazione
che non si solleva
durante il moto.
Leonardo
da Vinci,
Madrid MS I,
f. 16r, part.*



Leonardo da Vinci:
Il “Carrello programmabile”,
(1478 ca.).

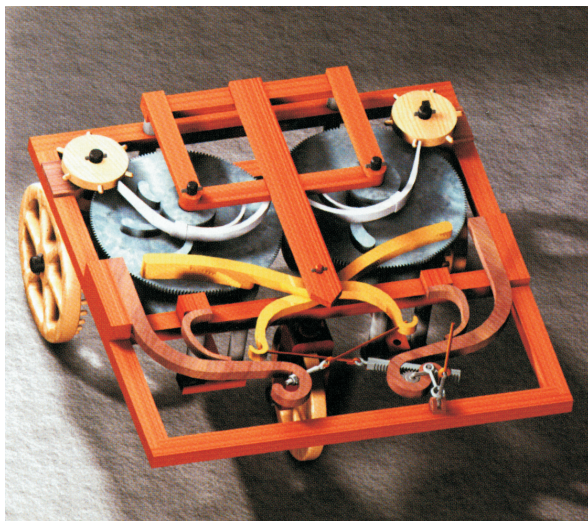
Mark Rosheim legge un disegno del Codice Atlantico di Leonardo (f. 812 r (296 v-a)), come il progetto di un “Carrello programmabile”¹⁹ per automi (1478 ca.), di cui trova tracce e riferimenti in altri disegni leonardeschi (Madrid MSI 4r, Madrid I f.85r.), in automi giapponesi (“il portatore di tè”, XVIII sec.) e in alcuni disegni del *De motu animalium* di Giovanni Borelli²⁰ (1685).

Il carrello programmabile per automi è un meccanismo in legno, quadrangolare, con i lati lunghi circa 50 cm. La propulsione del carrello è data da due grandi molle a spirale, con una potenza non trascurabile, che agiscono in sincrono. Il meccanismo di rilascio dell'energia ha uno scappamento simile a quello degli orologi a verga. Il lato sinistro del meccanismo è usato per sterzare la ruota posteriore: un'asta (*follower*) collegata alla ruota segue i contorni di una serie di camme di varia grandezza (vedi p. 88). Nel meccanismo del lato destro il *follower* preme sulle camme (attraverso un tensore regolabile), modificando per attrito la velocità del carrello.

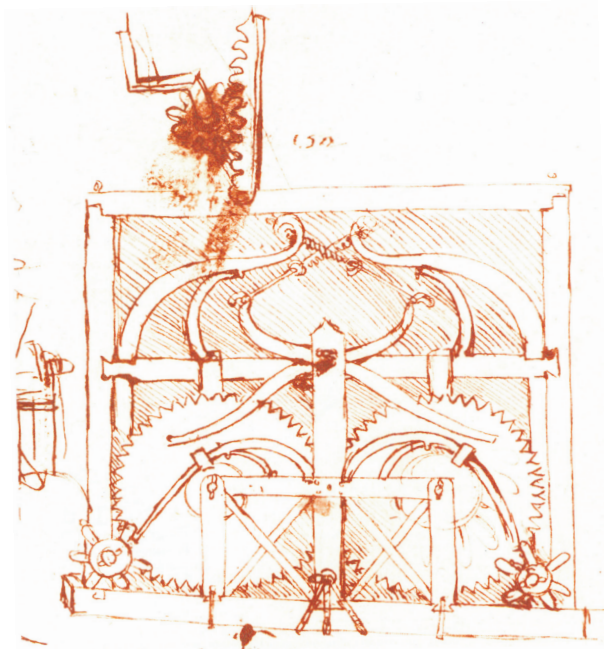
Questi meccanismi potrebbero anche avviare un “effetto speciale” come l'apertura di uno sportello (v. più avanti il “Leone” leonardesco).

Il carrello era quindi in grado, nel 1478, di spostarsi in avanti, girare in modo fluido a sinistra e a destra seguendo un percorso programmato, sostenere un automa, mettere forse in scena “effetti speciali” e tornare al punto di partenza.

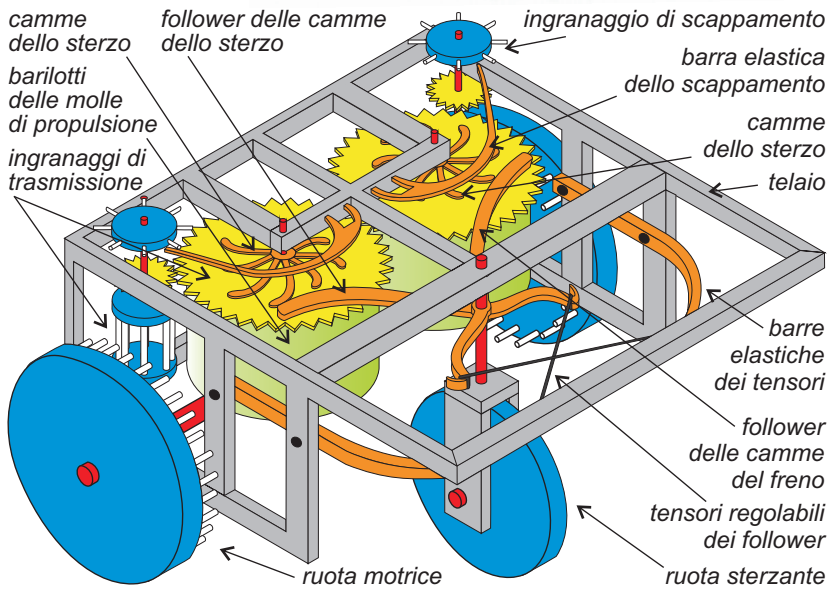
A destra:
Ricostruzione
del “Carrello
programmabile”
di Leonardo,
di Mark Rosheim.



Leonardo,
Codice Atlantico,
f. 812 r (296 v-a).



In basso:
ricostruzione
del "Carrello
programmabile"
di Leonardo.

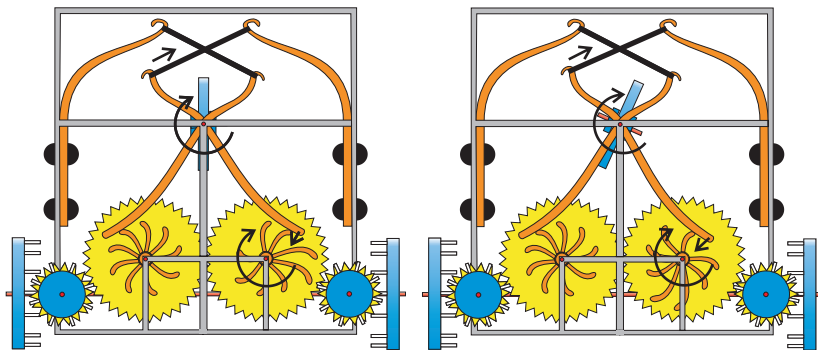
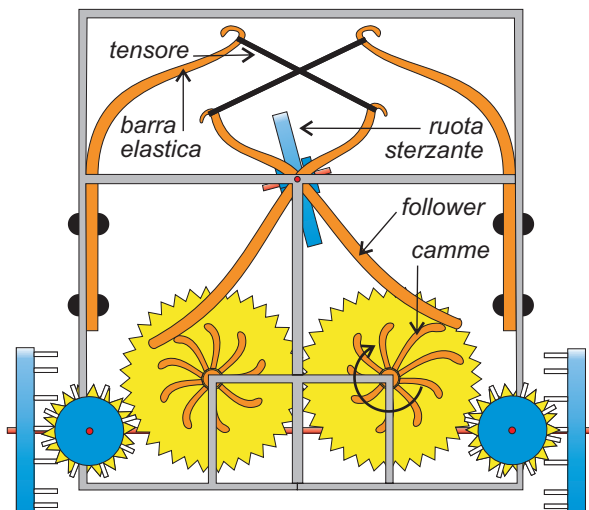


La ruota sterzante del "Carrello".

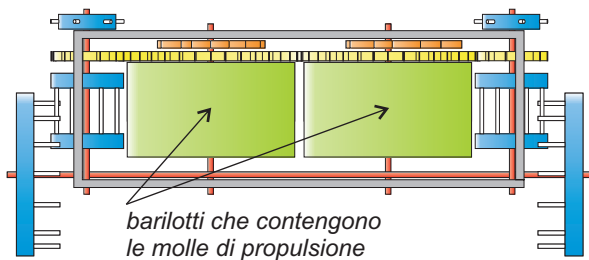
In alto:
quando il follower
tocca le camme
più grandi la ruota
gira a sinistra.

Al centro, sx:
quando il follower
tocca le camme
intermedie
la ruota è diritta.

Al centro, dx:
quando il follower
tocca le camme
più piccole
la ruota sterzante
gira a destra.



A destra:
vista anteriore
del carrello
programmabile.



Leonardo da Vinci, il "Leone meccanico", (1515 ca.).

*In basso:
ricostruzione
del Leone
di Leonardo,
da Luca Garai,
op. cit.*

Luca Garai ricostruisce, sulla base di varie testimonianze storiche, un "Leone meccanico" leonardesco, progettato su incarico di Lorenzo di Piero de' Medici, probabilmente per l'ingresso solenne del nuovo re di Francia Francesco I a Lione, nel 1515²¹.

Le tracce di questo automa sono in Vasari (1568)²², Lomazzo (1584)²³, Buonarroti (1600)²⁴, Solmi (1904)²⁵, Burke (2006)²⁶. Burke riferisce di un documento della Biblioteca Nazionale di Firenze su un primo leone meccanico di Leonardo in onore dell'ingresso di re Luigi XII a Milano (1509): «Lionardo... figurò un leone... el quale, alle venute del re si levò in pie: e colla branca s'appersi il pecto e di quello trasse palle azzurre piene di gigli d'oro», mentre Lomazzo riporta quanto riferitogli da Francesco Melzi, allievo ed erede di Leonardo, su un secondo leone, semovente: «Una volta, dinanzi a Francesco primo re di Francia, fece camminare in una sala un leone, fatto con mirabile artificio, e da poi fermare aprendosi il petto, tutto ripieno di gigli e di altri fiori».

Leone e gigli sono simboli di Firenze. Garai ipotizza funzionamento e meccanica del leone sulla base dei meccanismi dell'epoca, alcuni dei quali ideati da Leonardo stesso (v. C. A. f.388 v-a 1077r; C. M. I f. 9r).



Il leone meccanico, con un meccanismo interno a molla, compie una sequenza di tre movimenti.

Primo movimento: la molla aziona un ingranaggio che muove sia le zampe anteriori che le posteriori, generando una camminata alternata.

Secondo movimento: il leone si siede sulle zampe posteriori, che si piegano di novanta gradi.

Terzo movimento: il leone, seduto sulle zampe posteriori, alza la coda e apre lo sportello a due ante posto all'altezza del petto: le zampe anteriori si muovono verso il petto, che si apre provocando la fuoriuscita di gigli¹.

L'ingranaggio è collegato alla coda, che quando poggia lo fa ritornare alla posizione originale.

Il leone potrebbe essere stato sostenuto dal carrello programmabile del 1478, già descritto.

Janello Torriani,
"Il Monaco",
(1562 ca.).

Il National Museum of American History di Washington ha nella sua collezione un automa del XVI secolo²⁷. E' un monaco, in legno, ferro e tessuto, alto 39 centimetri e spinto da una molla a chiave, che compie un percorso su una superficie piana, muove i piedi e ritorna al punto di partenza. L'automa apre e chiude la mascella recitando silenziosamente una preghiera, colpisce il petto con il braccio destro, alza e abbassa la mano sinistra che tiene una croce di legno e un rosario, gira la testa e annuisce, e di tanto in tanto porta la croce alle labbra e la bacia. Sotto la tonaca sono nascoste tre ruote, due anteriori motrici e una posteriore direzionale. Le ruote anteriori si muovono in modo sincronico quando l'automa si sposta in avanti, mentre si sollevano una alla volta, lasciando alternativamente la presa sul piano, quando l'automa gira.

L'automa – in ottime condizioni nonostante i suoi anni – è attribuito a Janello Torriani (1500-1585), nato a Cremona, meccanico presso l'imperatore Carlo V e considerato uno dei geni del Rinascimento. Dopo aver provato a restaurare per conto di Carlo l'astrario di Dondi, in pessime condizioni, spese vent'anni per creare un orologio planetario, il "Microcosmo", l'orologio più complesso mai costruito, mosso da circa 1800 parti meccaniche. Dopo il 1559 si trasferì in Spagna, alla corte di Filippo II, occupandosi di astronomia, architettura e idraulica (sua la macchina che sollevava l'acqua del Tago riversandola sulla fortezza dell'Alcazar).

*"Il Monaco"
di Janello Torriani,
custodito nel
National Museum
of American
History
di Washington.*

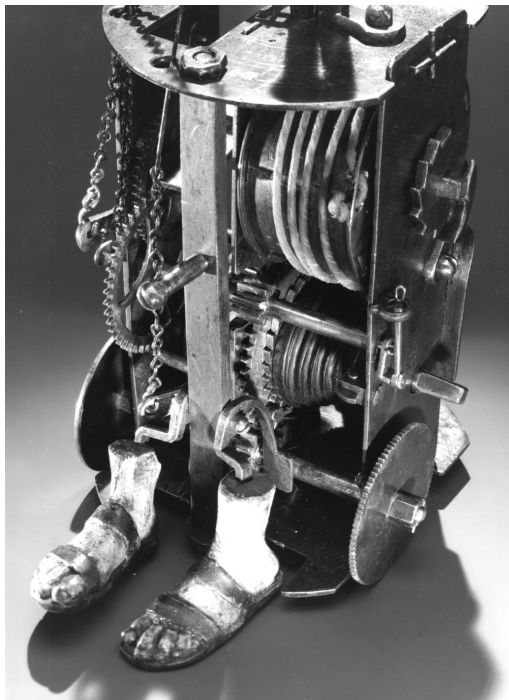
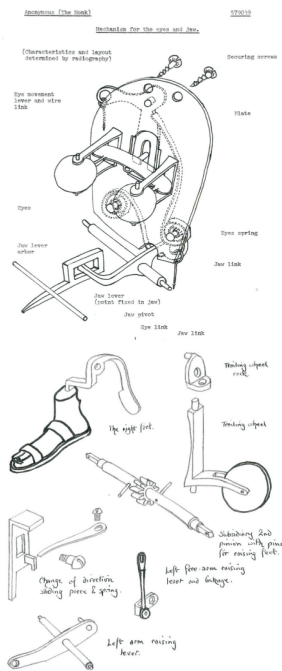




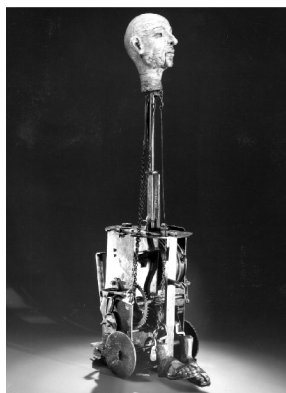
In basso: tre automi attribuiti a Janello Turriani: "La Suonatrice di tamburo", collezione privata; Foto M. Liguigli; "Il Santo", Iparművészeti Múzeum, Budapest; "Il Frate", Deutsches Museum, Monaco.

La storia del Monaco di Turriani, ricostruita da Elisabeth King²⁷, racconta che Don Carlos, figlio del re Filippo II di Spagna, nel 1562, a 17 anni, cadde dalle scale nella sua residenza di Alcalá de Henares, e colpì una porta con la testa, perdendo i sensi. La testa si gonfiò, salì la febbre, divenne cieco e i medici di corte provarono a rimuovere una parte del cranio, provocando un ulteriore peggioramento. Il 9 maggio, dopo un mese di agonia, si era persa ogni speranza e il re, disperato, prese la via del ritorno a Madrid. I frati francescani del luogo, seguiti dai cittadini di Alcalá, che da settimane andavano in processione e pregavano per la salvezza di Carlos, si recarono a palazzo portando con sé i resti mummificati di Diego de Alcalá, un membro del loro ordine in odore di santità. Posero il corpo accanto a quello del malato e, miracolosamente, Don Carlos iniziò a guarire: dormì per la prima volta serenamente e nel giro di una settimana riacquistò la vista e gli passò la febbre. Dopo un mese era salvo. Don Carlos riferì di una visione che gli era apparsa mentre stava per morire: un monaco in abiti francescani con in mano una croce di legno, che gli assicurava che sarebbe guarito. Nella Spagna della controriforma, racconta King, «se un medico avesse contestato la testimonianza reale di un intervento divino avrebbe rischiato l'accusa di eresia». Padre e figlio chiesero la canonizzazione, che avvenne nel 1588, e Filippo II donò a Turriani di costruire un automa che riprendesse, nel corpo e nei gesti, le sembianze del futuro San Diego.





J. Turriani, "Monaco", 1560 ca, particolari del meccanismo. La molla è affiancata a un conoide che garantisce la regolarità del moto. I disegni e le foto, in senso orario, sono di: W. D. Todd, Smithsonian's NMAH, M. Kazuo, NMAH. In basso, notare l'automa giapponese che serve il tè, sulla destra del Monaco.



“Zashiki Karakuri”,
Periodo Edo
(1603-1868).

*In basso:
“Chahakobi
ningyo” (ragazzo
che serve il tè),
legno, metallo,
tessuto,
alto 30 cm,
costruito da
Tamaya Shobei
IX, nel 2005,
basato su un
disegno tratto
dal libro illustrato
“Karakuri zui”
(1796).
(immagini
copyright British
Museum, inv.
2005, 0702.1)*

Il primo orologio meccanico occidentale fu portato in Giappone nel 1548 dal missionario spagnolo Francisco Xavier (Francesco Saverio).

Karakuri è il termine giapponese per designare gli automata con un meccanismo interno celato.

I Zashiki Karakuri sono piccoli automata, che si svilupparono come giochi domestici di lusso per i feudatari durante il periodo Edo (1603-1868), quando il Giappone chiuse completamente le frontiere e i contatti col mondo esterno si limitarono alla Cina e ai Paesi Bassi, attraverso il porto di Nagasaki. Tra i Zashiki Karakuri, Chahakobi Ningyo (la bambola che serve il tè) è forse il più famoso. Quando il padrone di casa mette la tazza sul vassoio, l'automata va verso l'ospite muovendo la testa, poi gira verso l'ospite e si ferma quando l'ospite prende la tazza. Quando la tazza è vuota, l'ospite ripone la tazza sul vassoio e l'automata torna verso il padrone di casa.

Ci sono alcune forti analogie tra gli automi attribuiti a Jannello Turriano e gli Zashiki Karakuri: le dimensioni, il percorrere un tragitto che riporta l'automata al punto di partenza, la posizione dei piedi, la locomozione su tre ruote (anche se con disposizione inversa).

Anche le date, successive di circa un centinaio di anni agli automi di Turriani, fanno pensare a una possibile influenza dei suoi automi sui Zashiki Karakuri, anche se gli stessi hanno un meccanismo notevolmente più semplice.



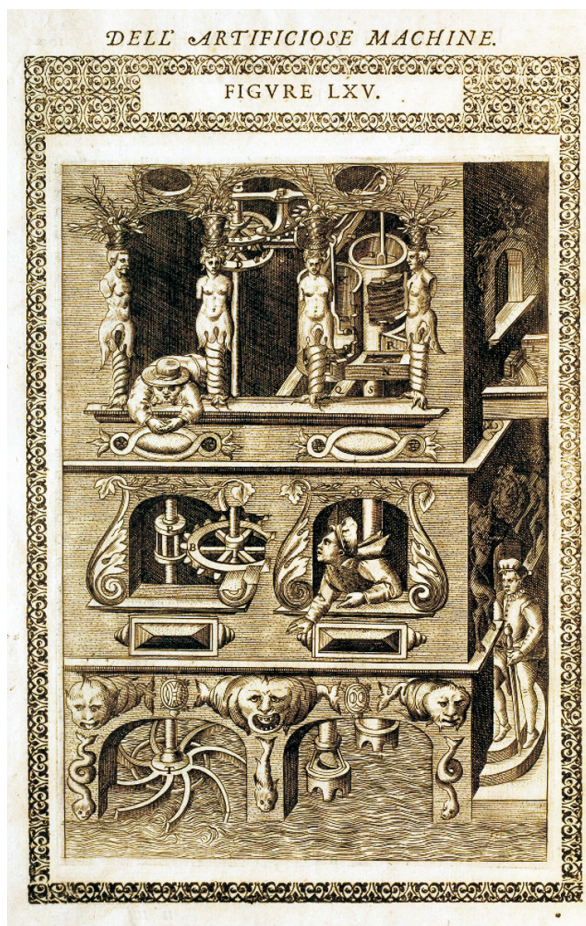
Agostino Ramelli
(1531–1600),
“Le diverse
et artificiose
machine”
(1588).

Agostino Ramelli è stato un ingegnere italiano del XVI secolo. Il suo libro *Le diverse et artificiose machine*²⁸ contiene 195 capitoli, ognuno dei quali illustra e descrive, in francese e in italiano, una macchina diversa. Gran parte delle macchine (110) servono per il sollevamento dell'acqua (norie, viti di Archimede e una varietà di pompe), e sono presenti anche vari tipi di mulini, gru, fontane, seghe. Il libro di Ramelli ebbe una grande fortuna nel tempo: le opere di Bockler²⁹ (1662), Rollier de Servièrè³⁰ (1719) e Leupold³¹ (1724-39), fecero conoscere la sua opera agli ingegneri europei del XVIII secolo.



In alto:
Frontespizio del
libro di Ramelli
“Le diverse et
artificiose
machine...”.

A destra:
“Altra sorte
di machina,
per far montare
similmente
l'acqua di un
canale, o d'altro
simil luogo
ad un altezza
convenevole...”
(Le diverse
et artificiose
machine,
Cap. LXV).



La villa Medicea di Pratolino
 Firenze
 (1569-1575).



Qui di fianco, la Grotta del cibo di Pratolino in un disegno (1598) di Giovanni Guerra. Nel disegno è visibile la fenditura sulla base del palco che serviva da guida per il movimento della ninfa, che prendeva l'acqua alla sorgente e tornava poi verso la porta. Il meccanismo potrebbe essere simile a quello di Galatea (Salomon De Caus) descritto più avanti. Un secondo automa porgeva l'acqua ai commensali per detergere le mani.

La villa Medicea di Pratolino fu progettata da Bernardo Buontalenti (1531-1608) tra il 1569 e il 1575 per conto di Francesco I de' Medici, per il soggiorno della sua seconda moglie Bianca Cappello, e doveva rendere l'idea della magnificenza principesca.

Il palazzo era circondato da un parco di venti ettari e aveva una serie di grotte con automi mossi da meccanismi idraulici, fontane e scenari impreziositi da statue e pietre pregiate. Nel parco c'erano laghetti, fontane monumentali e costruzioni fantasiose. I meccanismi idraulici sono ispirati a quelli di Erone, il cui *Liber Spirituum* venne stampato nel 1575 a Urbino, tradotto in Latino da F. Commandino. La villa venne demolita nel 1820 da Joseph Fritsch, per conto di Ferdinando III d'Asburgo. Scomparve così una delle più belle ville medicee, «teatro di delizie, di magnificenza e di comodi»³².



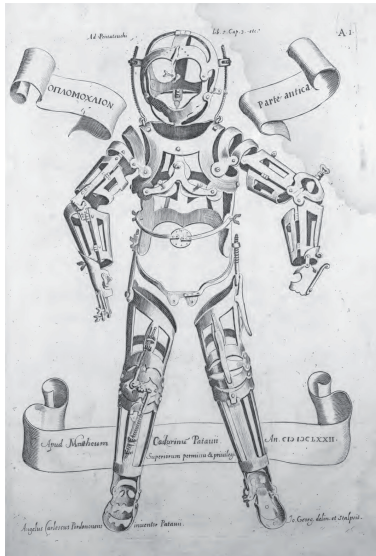
Comprendere il mondo senza fare ricorso agli dei.

In basso:
Girolamo Fabrici,
Padova, 1617,
“*Operationes chirurgicae*”,
copertina e tavole dell’oplomochlion.



L’idea che prende forza in questi secoli – anche se già Anassimandro (610-547 a.C.) proponeva di «comprendere il mondo senza fare ricorso agli dei» – e che accompagna ancora oggi la parte laica della popolazione del pianeta, è che la natura non va indagata in base a principi teologici, ma in base a principi fisici e matematici, usando metodi sperimentali, con esperienze riproducibili e verificabili. Se il corpo animale è una macchina – e quindi la teologia non ha niente a che fare con il suo funzionamento – orologi, macchine e automi meccanici hanno un ruolo importante in questo cambiamento di paradigma, perchè rappresentano sia lo stato dell’arte delle tecniche meccaniche visibili e condivisibili che la base strumentale su cui sperimentarne di nuove.

Girolamo Fabrici (1533/37-1619), chirurgo e anatomista, insegnò medicina all’università di Padova ed ebbe tra i suoi pazienti l’amico Galileo Galilei. Nelle *Operationes chirurgicae*³³ (1617), pubblicato con queste illustrazioni nel 1647, compaiono le tavole fronte e retro dell’Oplomochlion, un insieme di strumenti ortopedici e di protesi in ferro, utili a curare o a sostituire parti del corpo umano con mezzi meccanici. Una ricostruzione metallica dell’Oplomochlion è esposta nel Museo di Storia della Medicina di Roma, come testimonianza dello stato dell’arte delle protesi ortopediche del XVII secolo.



Hans Schlottheim,
“Galeone
meccanico”,
Augusta
(1585 ca.).

Hans Schlottheim (1545-1625) è stato un orafo orologiaio attivo ad Augusta nella seconda metà del XVI secolo. Augusta e Norimberga erano i due centri maggiori di un artigianato artistico che produceva automi costruiti con materiali preziosi, destinati a muoversi al centro delle tavole dei principi tedeschi o a diventare doni di prestigio per i sultani dell'Impero ottomano. Le forme degli automi andavano dalle figure mitologiche come Diana, il Centauro e Bacco alle navi o agli animali esotici, come gli elefanti: tutto pur di destare meraviglia.

Il Galeone meccanico è un automa destinato ai banchetti di corte. Lo spettacolo inizia con una musica proveniente da un organo in miniatura contenuto nello scafo. Subito dopo la nave si muove lungo la tavola. Rodolfo II d'Asburgo, Imperatore del Sacro Romano Impero dal 1576 al 1612, è seduto sul trono, circondato dai suoi sette elettori, che gli passano davanti preceduti da tre araldi. I trombettieri, i marinai e un tamburino si muovono a tempo di musica. (immagini © British Museum).



*In alto:
l'imperatore
sotto
il baldacchino.
Per il gran finale,
il cannone
anteriore
sparava
automaticamente,
accendendo
una miccia
che avrebbe
fatto sparare
gli altri cannoni.*



*A destra:
gli ingranaggi
alla base
del movimento
circolare
dei sette elettori.
Subito sotto
il cassero
di poppa
si vede
il meccanismo
della molla
a conoide,
con il cavo
parzialmente
avvolto.
In basso a
destra
il soffiotto
per l'aria
a centro nave.
(immagini ©
British Museum).*



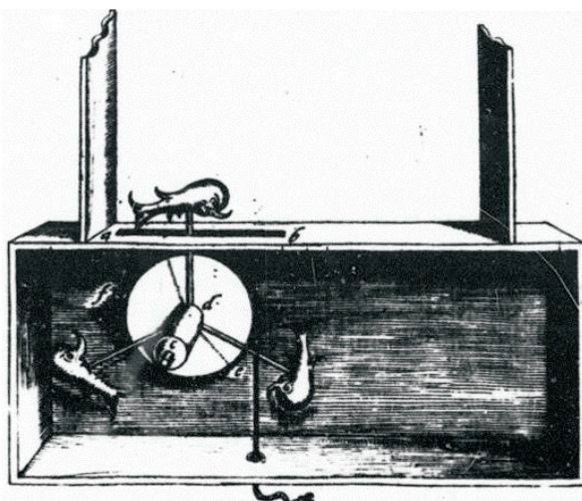
Bernardino Baldi,
(1553-1617).
"De gli automati".



Bernardino Baldi, abate di Guastalla, allievo di Commandino, traduce nel 1576 il libro di Erone Alessandrino sugli automata³⁴, che sarà pubblicato nel 1589. Il libro descrive, con l'ausilio di molti disegni illustrativi, meccanismi scenografici teatrali, pneumatici e meccanici. Il lavoro di Baldi è importante perchè contribuisce ad un cambio di paradigma. Come scrive Giovanni Ferraro: «L'opera di Baldi è stata parte del processo culturale che nel Rinascimento portò a giustificare culturalmente la meccanica e a trasformarla da arte servile – l'epiteto era "vile meccanico" – in una scienza matematica e astratta... Solo tra la fine del 1400 e la metà del 1500 la matematica incominciò ad emergere da una situazione di scarsa considerazione e ad assumere un ruolo autonomo nelle università europee, divenendo una disciplina meritevole in sé stessa di essere studiata»³⁵.

Con questa motivazione, la stessa di altri scrittori come Ramelli (1531-1600), Bombelli (1526-1572), Dee (1527-1608), Billingsley (c. 1538-1606), Baldi scrisse *Le vite de' matematici*, spiegando che era opportuno scrivere le biografie dei matematici così come erano state narrate le vite degli artisti e dei letterati e traduce quindi Erone, utilizzando le fonti antiche per sostenere la tesi che la meccanica è un'arte nobile. Un'ulteriore ragione che rende per Baldi la «meccanica nobile e degna di essere studiata è che essa spinge ad indagare le cause di certi fenomeni e aiuta a comprendere le leggi della natura»³⁶.

Un'immagine dal libro "De gli automati". Su uno sfondo telato scorrevole che rappresenta il mare (non visibile), tre delfini escono e rientrano in acqua. Il tutto è azionato da un peso ed è costituito da un sistema misto meccanico e pneumatico. (Vedi i teatrini di Erone descritti da pagina 174).



Salomon De Caus.
I giardini rinascimentali europei e il cilindro musicale (1615).

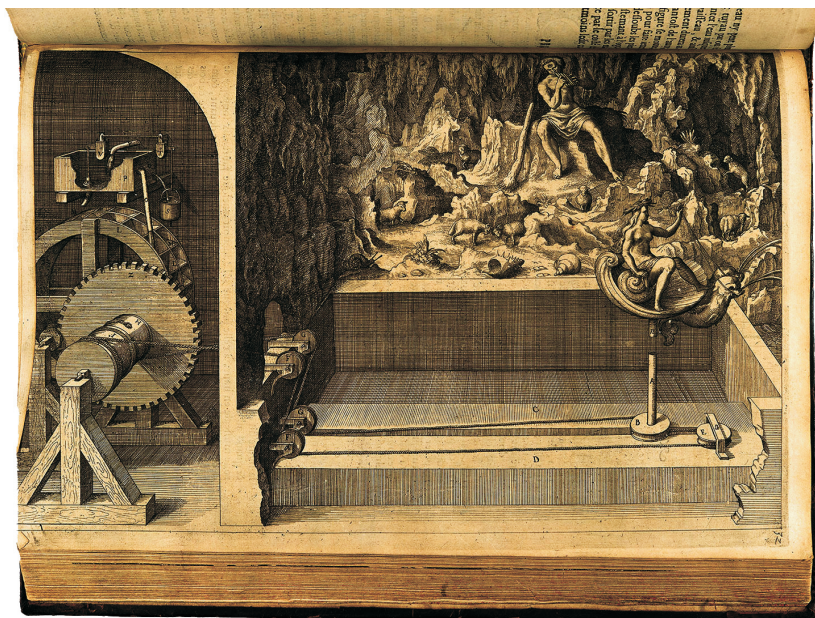
Salomon de Caus,
"Les raisons des forces mouvantes":
Galatea trainata in acqua da due delfini mentre un Ciclope suona il flauto".

Salomon de Caus (1576–1626), architetto e ingegnere, ispirato anch'egli dalle possibilità contenute nelle opere di Erone, introdusse nei giardini delle corti del nord Europa le meraviglie dei giardini rinascimentali italiani (Villa d'Este, Tivoli, Pratolino). Nel 1612, a Londra, progettò i giardini di Greenwich e di Somerset House e, nel 1619, realizzò ad Heidelberg i giardini pensili del Palatinato che descrisse nel libro *Hortus Palatinus*³⁷.

Nei suoi lavori la pressione dell'acqua è il motore degli automi, e produce anche un suono tale da rendere più realistiche le scene.

Nell'automa di Galatea una ruota ad acqua mette in movimento una ruota dentata. Ad essa è collegato un asse orizzontale che avvolge un cavo che entra nella vasca dall'alto, ruota attorno a una puleggia posta all'estremità opposta e poi torna indietro dopo aver girato su una ruota con incavo posta alla base di Galatea.

Quando la corda viene tirata Galatea si muove in una delle due direzioni e contemporaneamente ruota su sé stessa. Il meccanismo deve poter muoversi in entrambe le direzioni in modo alternato perché il suo movimento non è ciclico³⁸.





Nell'automata di Galatea un Ciclope suona il flauto. Il meccanismo del flautista contiene un'applicazione importante del cilindro programmabile che abbiamo già incontrato nel tamburo di Leonardo e nei teatri di Erone e Filone. Dal "Problema XXV" de *Le raisons...* (op. cit.): «una ruota ad acqua mette in movimento un cilindro su cui è arrotolato un cartone da cui escono dei perni, che a loro volta spingono i tasti delle note di una tastiera musicale. Ogni nota della tastiera apre una valvola che fa passare dell'aria che va a un organo a canne che mima il suono del flauto. La superficie del cilindro è divisa in una trentina di strisce orizzontali, e ogni striscia è divisa a sua volta in otto parti (ottave). Vari perni agiscono contemporaneamente sulla tastiera e aprono le valvole che fanno passare l'aria diretta all'organo».

In alto:
il Ciclope flautista
dell'automata
di Galatea.

A destra:
il meccanismo
del cilindro
musicale

La ruota ad acqua

Il cilindro musicale

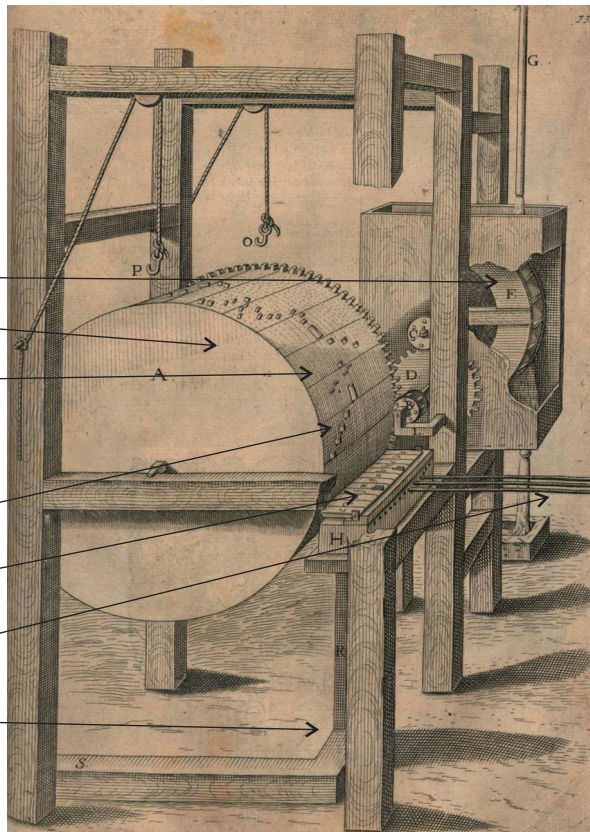
Il cartone
programmabile:
sostituendolo
si può suonare
un'altra aria

I perni

La tastiera

I tubi che portano
l'aria all'organo

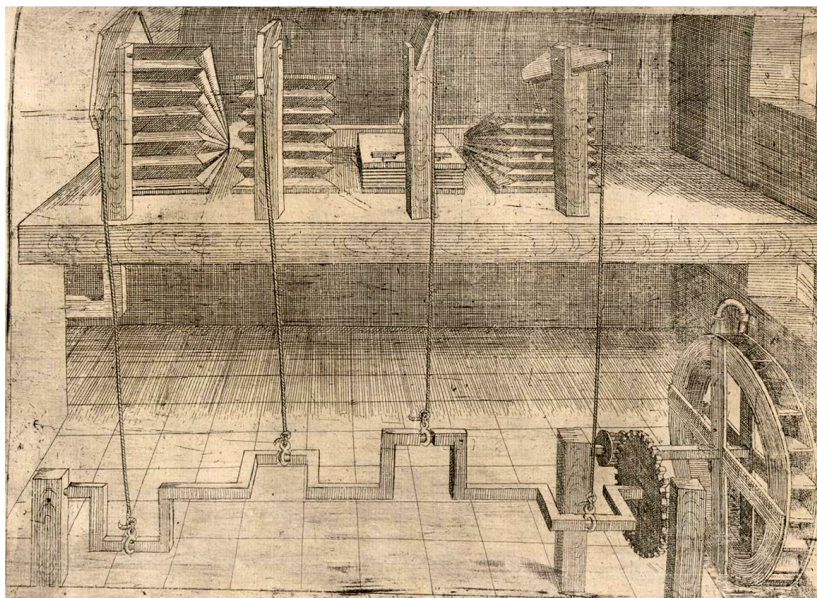
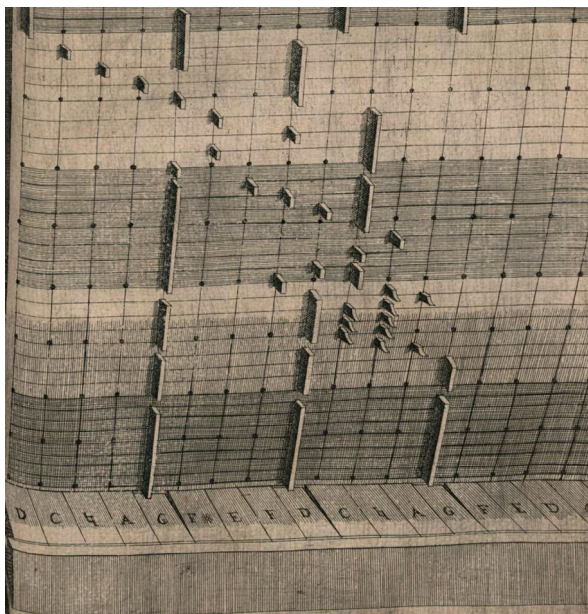
Il condotto
dell'aria
che va
alla tastiera



A destra:
Il cartone
con i perni
che muovono
i tasti.

In basso:
Una ruota
ad acqua aziona
un albero
a gomiti
che mette
in movimento
i mantici,
portando aria
alla tastiera.

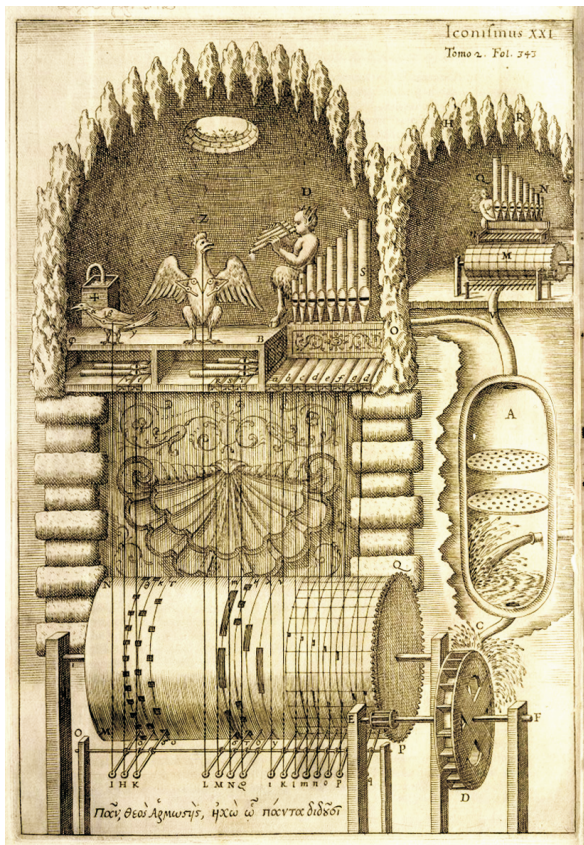
Da S. de Caus,
"Les raisons
des forces
mouvantes",
op. cit.,
Pr. XXXII e XXIX.



Athanasius Kircher
(1602-1680),
Organo idraulico
con automi
(1650).

Athanasius Kircher, «uno degli ultimi pensatori che potrebbero rivendicare come proprio dominio tutta la conoscenza»³⁹, scrisse una quarantina di opere nel campo della meccanica, degli studi orientali (fu il più celebre decifratore di geroglifici del suo tempo), della geologia, della medicina, della tecnologia e della musica. Kircher fu anche incaricato da Innocenzo X di restaurare l'organo della fontana del Quirinale, costruito nel 1596⁴⁰. La sua opera *Musurgia Universalis*⁴¹ è l'enciclopedia musicale più importante del XVII secolo e descrive anche alcuni organi meccanici con automi con propulsione ad acqua, come quello descritto in questa pagina, che può funzionare anche senza organista: le leve collegate al rullo programmabile azionano sia gli automi che gli organi.

Athanasius Kircher, "Musurgia Universalis", Iconismus XXI, tomo II, fol. 343. Nell'organo l'acqua arriva in caduta dall'alto mista all'aria, che viene compressa in una cassa e va ad alimentare il mantice. L'acqua è canalizzata in una vasca dove pone in movimento una ruota a pale. La ruota mette in funzione un rullo dentato di bronzo, il "cilindro fonotattico", collegato alla tastiera da leve. Allo stesso cilindro sono collegate le leve che mettono in funzione gli automi.



Note:

- 1) Romain Gary, *La notte sarà calma*, Neri Pozza, Venezia, 2011, p. 76.
- 2) Jim al-Khalili, *La casa della saggezza*, Bollati Boringhieri, Torino, 2013, p. 243.
- 3) Cfr. anche Russo [LRD], p. 387.
- 4) Villard de Honnecourt, *Livre de portraiture*, Bibliothèque Nationale de France, Paris.
- 5) Johannis de Dondis, *Astrarium 1989*, facsimile del manoscritto di Padova, Les Belles Lettres, Parigi, 1987.
- 6) Giovanni Dondi, *Tractatus Astrarii*, Ms. D39, Biblioteca Capitolare di Padova.
- 7) *Le opere di Giorgio Vasari*, Firenze, Sansoni, 1906, vol. II, pp. 327-394.
- 8) Giuseppina Carla Romby, *L'orologio di Brunelleschi*, Centro ricerca art. dei ferri taglienti, Scarperia, 2017.
- 9) Mariano di Jacopo detto Il Taccola, *De Ingeneis*, Libri I-II, Cod. Lat. Monacensis 197-II (BSBM), Bayerische Staatsbibliothek, Monaco di Baviera.
- 10) Mariano di Jacopo detto Il Taccola, *De Ingeneis*, Libri III-IV, Ms. Palatino 766 (BNCF), Firenze.
- 11) Mariano di Jacopo detto Il Taccola, *De Machinis*, Cod. Lat. Monacensis 28800 (BSBM), Bayerische Staatsbibliothek, Monaco di Baviera.
- 12) G. Fontana, *Bellicorum Instrumentorum Libri*, Cod. Icon. 242 (BSBM), Monaco di Baviera.
- 13) F. Colonna, *Hypnerotomachia Poliphili*, Aldo Manuzio, Venezia, 1499.
- 14) Enrico Parlato, *Il volto d'Utopia*, in *Il mito dell'automa*, Artificio, Ascoli Piceno, 1991.
- 15) C. Pedretti, *Fragments at Windsor Castle from the Codex Atlanticus*, London, Phaidon, 1957, pp.39-40.
- 16) Mark Rosheim, *Leonardo's lost robots*, Springer, 2006, pp. 69-113.
- 17) Mark Rosheim [LLR], p. 108.
- 18) Leonardo da Vinci, *Tratado de Estatica y Mechanica en Italiano*, Cod. Madrid I, Bibl.ca Nacional de Espana.
- 19) Mark Rosheim, *L'automa programmabile di Leonardo*, XL L.Vinciana, Giunti, Firenze, 2001. Rosheim [APL].
- 20) Giovanni Borelli, *De motu animalium*, Lugduni in Batavis, 1685.
- 21) Luca Garai, *Gli automi di Leonardo*, Bononia University Press, Bologna, 2007.
- 22) G. Vasari, *Le vite de' più eccellenti Pittori, Scultori ed Architetti*, Giunti, Firenze, 1568.
- 23) G. P. Lomazzo, *Trattato dell'arte della pittura... diviso in sette libri*, Gottardo dal Ponte, Milano, 1584.

- 24) Michelangelo Buonarroti il Giovane, *Descrizione delle felicissime nozze...*, Marescotti, Firenze, 1600, p. 10.
- 25) E. Solmi, *Documenti inediti sulle dimore di Leonardo da Vinci in Francia nel 1517 e 1518*, Atti R. Ist. Veneto di scienze, lettere ed arti, 1904-1905, parte II, La voce, Firenze 1924.
- 26) J. Burke, *Meaning and Crisis in the Early Sixteenth Century Interpreting Leonardo's Lion*, Oxford Art Journal, January 29, 2006, pp. 77-91.
- 27) Elisabeth King, *Clockwork Prayer: a sixteenth century mechanical monk*, Blackbird.vcu.edu, 2002.
- 28) A. Ramelli, *Le diverse et artificiose machine del Capitano Agostino Ramelli Dal Ponte Della Tresia Ingegniero del Christianissimo Re di Francia et di Pollonia*, Parigi, 1588.
- 29) Georg Andreas Bockler, *Theatrum machinarum novum, exhibens aquarias, alatas, iumentarias, manuaris*, Colonia Agrippina, Paul Furst, 1662.
- 30) Rollier de Servièrre, *Recueil d'Ouvrages curieux de Mathe-matique et de Mecanique, planches*, Lyon, 1719.
- 31) Jacob Leupold, *Theatrum Machinarum Generale*, Zufinden bey dem Autore..., Leipzig, 1724-39.
- 32) Bernardo Montalenti, *La villa Medicea di Pratolino*, in J. R. Galluzzi, *Istoria del Granducato di Toscana*, Cambiagi, Firenze, 1781, p. 473.
- 33) Girolamo Fabrici, *Operationes chirurgicae*, Padova, 1617.
- 34) B. Baldi, Di Erone Alessandrino, *De gli automati*, Porro, Venezia, 1589.
- 35) G. Ferraro, *Bernardino Baldi e il recupero del pensiero tecnico-scientifico dell'antichità*, Ed. Dell'Orso, Alessandria, 2008.
- 36) B. Baldi, *Cronica de matematici ovvero epitome dell'istoria delle vite loro*, per Angelo Ant. Monticelli, Urbino, 1707.
- 37) Salomone de Caus Architecto, *Hortus Palatinus*, Theod. de Bry, Francoforte, 1620.
- 38) Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, Jan Norton, Francoforte, 1615.
- 39) A. Cutler, *The seashell on the mountaintop*, Dutton, New York, 2003.
- 40) Patrizio Barbieri, *L'organo idraulico del Quirinale*, L'organo XIX, Pàtron, Bologna, 1981.
- 41) Athanasius Kircher, *Musurgia Universalis, sive ars magna consoni et dissoni*, Vol. I, 1650, Haeredum Francisci Corbelletti, Roma; Vol. II, 1650, Ludovici Grignani, Roma.