

ROTELLE E INGRANAGGI

I PRECURSORI MECCANICI DEI MODERNI COMPUTER

Gian Luca Lapini

GLI ELABORATI ELETTRONICI CHE TUTTI NOI OGGI UTILIZZIAMO HANNO I LORO PRECURSORI REMOTI NELLE CALCOLATRICI BASATE SU ROTELLE E INGRANAGGI, CHE COMINCIARONO A COMPARIRE NEL XVII SECOLO. NE RIPERCORRIAMO BREVEMENTE LE ORIGINI, RICORDANDO NEL CONTEMPO DA QUALI GENI MULTIFORMI ESSE FURONO IDEATE.

IPC che tutti quanti ci siamo abituati ad utilizzare compiono una mole ed una varietà di funzioni che vanno ormai ben al di là delle semplici operazioni matematiche alle quali i termini computer, o calcolatore, rimandano. Comunque è indubbio che i primi calcolatori elettronici furono sviluppati essenzialmente per velocizzare la grande mole di calcoli aritmetici che era necessario svolgere in alcune attività scientifiche o amministrative, attività per le quali non bastavano più i mezzi di calcolo meccanici, o elettromeccanici, che erano da tempo in uso.

DAI GRECI A LEONARDO

Prima di introdurre il nostro discorso sulle prime macchine per il calcolo aritmetico, che comparvero verso la metà del '600, non possiamo tralasciare un accenno, se pur fugace, ad alcuni meccanismi che fecero da precursori alle calcolatrici, *in primis* gli orologi e gli astrari (orologi astronomici), che dopo la metà del '300 cominciarono ad ornare le torri e i campanili di molte città europee. In effetti, con i loro complessi ingranaggi e rotismi, capaci di muoversi secondo rapporti e ritmi ben determinati, questi meccanismi contribuirono a formare il sottofondo di conoscenze teoriche e di abilità artigianali che permisero la costruzione delle prime macchine da calcolo. Citiamo solamente, fra i tanti, l'astrario realizzato da Giovanni Dondi a Padova, fra il 1348 e il 1362, che oltre a segnare le ore del giorno e la data, in un calendario perpetuo, indicava il moto della luna e dei cinque pianeti allora conosciuti. Di questo oggetto ci è rimasta una descrizione così dettagliata che è stato possibile realizzarne repliche moderne. È anche curioso accennare al fatto che gli astrari medioevali e rinascimentali furono probabilmente

la riscoperta di meccanismi simili, che erano stati prodotti nell'antichità classica. Di ciò è rimasta una labile traccia, in un misterioso oggetto che fu ritrovato in mare, ormai più di un secolo fa, vicino all'isola greca di Antikythera. Soggetto a più riprese a numerosi studi ed a varie interpretazioni, questo oggetto che è il più complesso meccanismo giunto a noi dall'antichità, purtroppo in un precario stato di conservazione, è stato sottoposto in anni recenti a nuove indagini con le più moderne e sofisticate tecniche di analisi ai raggi x, che hanno permesso di ricavare ulteriori conferme, sia della sua antichità (fine del II sec. a. C.) sia sulla sua funzione di meccanismo di calcolo dei moti del sole, della luna, dei pianeti e delle eclissi.

Mentre gli orologi e gli astrari possono essere definiti come dei «calcolatori meccanici, specializzati per un compito particolare», cioè quello di ricavare i moti celesti, il primo studioso che concepì un meccanismo adatto ad eseguire delle operazioni aritmetiche generiche fu forse Leonardo da Vinci. Di Leonardo ci è in effetti pervenuto il disegno di un meccanismo moltiplicatore ad ingranaggi che potrebbe costituire il precursore di analoghi meccanismi che entrarono successivamente a far parte delle macchine da calcolo. Tale disegno è contenuto nel noto codice Atlantico, ma era stato poco considerato dagli studiosi di Leonardo fin quando non venne ritrovato, nel 1966, il codice di Madrid, nel quale è contenuto un secondo, analogo disegno. Il ritrovamento di tale codice diede lo spunto a rinnovati studi su questo meccanismo da parte di un noto esperto delle macchine di Leonardo, Roberto Guatelli, il quale lo interpretò come un meccanismo di calcolo ed addirittura ne realizzò un esemplare funzionante, rielaborando il disegno leonardesco. La replica di Guatelli¹, che fu costruita verso la fine degli anni '60 nell'ambito di un progetto finanziato dalla IBM sulla storia delle macchine da calcolo, fu però contestata da altri studiosi, che ritenevano che il disegno di Leonardo raffigurasse un semplice meccanismo di moltiplicazione meccanica e non di calcolo. La paternità leonardesca di una simile macchina è quindi rimasta controversa.

DA SCHICKARD A LEIBNIZ

Il secolo XVII è quello per il quale la documentazione sul progetto e la realizzazione delle prime macchine da calcolo diviene incontrovertibile. Queste macchine

furono concepite sotto la spinta del rinnovato sviluppo delle discipline matematiche e scientifiche le cui esigenze di calcolo tediavano e preoccupavano gli studiosi, come è testimoniato dalla nota frase del filosofo e matematico Gottfried Wilhelm von Leibniz, scritta per motivare lo sviluppo della sua macchina calcolatrice: «È indegno per l'uomo eccellente perder tempo come uno schiavo nel lavoro di calcolare, cosa che potrebbe essere relegata senza problemi a qualcun'altro, se fosse usata una macchina».

La prima macchina da calcolo seicentesca sulla quale esiste un'adeguata documentazione, anche se non ce n'è pervenuto alcun esemplare, fu concepita e fatta costruire verso il 1623 da Wilhelm Schickard (1592-1635), che era un pastore protestante, astronomo e professore di lingue orientali alla università tedesca di Tübingen. Le caratteristiche di questo «orologio calcolatore», come venne da lui definito, ci sono note in modo piuttosto fortunoso: gli schizzi (v. Fig. a lato) e la descrizione originale, furono infatti ritrovati nel 1935 dallo storico tedesco Franz Hammer, andarono di nuovo dispersi durante la seconda guerra mondiale, e furono fortuitamente ritrovati solo nel 1956. Questi documenti furono sufficienti al matematico tedesco Bruno von Freytag per ricostruire nel 1960 una plausibile replica funzionante dello strumento, che è attualmente custodita presso il Deutsches Museum di Monaco di Baviera. La macchina era un'ingegnosa combinazione di una forma modificata dei bastoncini di Nepero², sistemati nella parte superiore, e di un meccanismo addizionatore sistemato



W. Schickard
(Herrenberg 1592-
Tübinga 1635).

Schizzi originali della
calcolatrice di
Schickard.



Ricostruzione della
calcolatrice di
Schickard.



1. Il dr. Roberto Guatelli, milanese, aveva realizzato, già nel 1939, un gran numero di repliche di macchine disegnate da Leonardo, che gli furono commissionate per la mostra «Leonardo da Vinci e le invenzioni italiane», voluta dal regime fascista per esaltare il genio italiano. Queste macchine furono poi inviate in Giappone ed andarono distrutte durante la seconda guerra mondiale. All'inizio degli anni '50 Guatelli ricostruì un gruppo più piccolo di queste repliche per la IBM, compreso un primo esemplare del dispositivo moltiplicatore. Stabilitosi in America continuò l'attività di modellista, assieme al figlioastro Joseph Mirabella e nel 1968, dopo il ritrovamento del Codice di Madrid, realizzò un ulteriore esemplare del meccanismo moltiplicatore.

2. I bastoncini di Nepero sono uno strumento manuale di calcolo introdotto nel 1617 dal matematico scozzese John Napier (Nepero), l'inventore dei logaritmi. Si tratta di dieci asticelle mobili e di una fissa, di sezione quadrata, inizialmente realizzate in avorio (per questo si chiamavano anche ossi di Nepero), divise in dieci quadrati; sulle assicelle mobili sono riportate le tabelline dei numeri da 1 a 9, espresse con numeri in cui le cifre delle decine e delle unità vengono separate da una lineetta diagonale. Essi facilitano l'esecuzione delle moltiplicazioni, ma richiedono l'esecuzione di somme parziali, così come si fa anche eseguendo le operazioni in colonna. Attorno al 1668 il gesuita tedesco Gaspard Shott concepì uno sviluppo di questo dispositivo, basato su un complesso di cinque cilindri rotanti affiancati, ciascuno dei quali portava incisa una serie completa di bastoncini di Nepero.

3. Tale tipo di meccanismo era già noto nell'antichità, essendo stato descritto da Vitruvio ed Erone di Alessandria. A proposito dell'odometro, lo strumento basato su una ruota ed un contagiri totalizzatore, con la quale si potevano misurare le distanze percorse (congegni analoghi sono tuttora in uso, per esempio nei lavori stradali). I dubbi di alcuni storici che simili strumenti fossero troppo complessi per essere costruibili in epoca greco-romana, sono in gran parte decaduti dopo il ritrovamento del meccanismo di Antikytera. Si può aggiungere che lo stesso Leonardo da Vinci aveva re-inventato un suo odometro, e che quindi le basi meccaniche del congegno potevano essere ben note agli inizi del '600.

nella parte inferiore. Tale meccanismo era realizzato mediante ruote dentate, a dieci denti ed a un dente, simili a quelle tuttora in uso nei contachilometri³, e con esso si potevano eseguire somme e sottrazioni a riporto automatico, sui numeri, al massimo di sei cifre, che venivano prodotti con i bastoncini di Nepero. In altre parole, la macchina facilitava l'esecuzione delle moltiplicazioni e divisioni fatte con i bastoncini di Nepero, consentendo di sommare/sottrarre meccanicamente i risultati parziali che vengono prodotti usando appunto



In alto: ricostruzione di Pascalina decimale

A sinistra: Blaise Pascal.

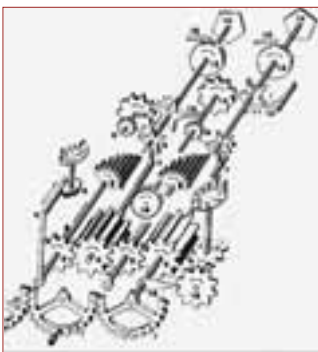
questi dispositivi. Il numero di cifre utilizzabile era limitato a sei, ma la macchina segnalava con il suono di un campanello il superamento della sua capacità e la necessità di tener conto manualmente dei riporti non automaticamente conteggiati. Per quanto se ne sa, durante la sua breve vita Schickard fece costruire solo due esemplari della sua macchina, da un artigiano della sua città di nome Pfister; il secondo esemplare era destinato al suo amico Keplero, al quale ne descriveva l'utilizzo in una lettera del 1623, ma la macchina non pervenne mai al grande astronomo, perché andò distrutta in un incendio. In sostanza, anche a causa della precoce morte del suo inventore, questo congegno rimase praticamente sconosciuto per più di 300 anni ed ebbe quindi uno scarso influsso sulle invenzioni successive; esso è in ogni caso testimone della genialità e del primato di Schickard.

Le vicende appena descritte rendono ragione del fatto che per molto tempo l'inventore della prima calcolatrice meccanica sia stato considerato lo scienziato e filosofo francese Blaise Pascal (1623-1662), il quale peraltro non sviluppò questa macchina per se stesso, quanto per facilitare il lavoro di suo padre, che era un esattore delle imposte, e passava le sue giornate a fare calcoli finanziari con l'abaco. Pertanto, la prima versione della macchina, concepita da Pascal all'età di 18 anni, non era basata sul sistema decimale, ma era adatta al sistema monetario francese, simile a quello inglese, che non era ancora in base 10; solo in seguito egli ne realizzò una versione esclusivamente decimale. Questa calcolatrice era in grado di effettuare solamente addizioni e sottrazioni, a sei o otto cifre a seconda delle versioni, utilizzando un meccanismo per il riporto automatico diverso da quello utilizzato da Schickard, della cui macchina Pascal peraltro ignorava l'esistenza. Il sistema adottato dal francese utilizzava un arponismo contrappesato ed aveva il vantaggio rispetto a

quello di Schickard di non imporre grossi sforzi sui primi ingranaggi per effetto del trasporto in avanti dei riporti⁴, ma aveva l'inconveniente di essere sensibile agli urti ed alle imperfezioni meccaniche, ed era soggetto facilmente a bloccarsi, così che spesso i risultati dei calcoli erano imprecisi. Inoltre questo meccanismo non era reversibile, per cui le sottrazioni erano possibili solamente utilizzando l'artificio della «somma con il complemento». Della «Pascalina», così fu denominata la macchina del genio francese, furono costruiti, con l'aiuto di un orologiaio di Rouen (la sua città natale), una cinquantina di esemplari, in varie versioni in legno e metallo (si veda la figura), e diversi di essi sono arrivati fino a noi. Ma non si può in ogni caso dire che essa avesse ottenuto una larga diffusione, come forse il suo inventore aveva sperato, ottenendo dal re di Francia il «privilegio», cioè il brevetto, per la sua costruzione. Una dettagliata descrizione della macchina fu in seguito riportata nella *Encyclopédie* di Diderot e D'Alambert (più di un secolo dopo la sua invenzione), così che è stato possibile eseguirne numerose fedeli ricostruzioni, come quella in possesso del Museo della Scienza e Tecnologia di Milano dove si potrebbe assistere ad una dimostrazione del suo funzionamento. Ci si renderebbe così conto della sua caratteristica fondamentale, cioè che l'operazione di inserimento dei dati coincide con quella di calcolo del risultato⁵. La macchina di Pascal fu anche oggetto di alcune imitazioni e rielaborazioni. Una di queste, risalente a

4. Ciò è particolarmente importante quando si deve effettuare una operazione che traspone il riporto contemporaneamente su più cifre, per esempio quando si esegue la somma $9999 + 1 = 10000$. In questi casi se il meccanismo non è ben concepito e ben fatto si possono verificare impuntamenti od errori.

5. Supponiamo di voler eseguire la semplice addizione dei numeri 72 e 30. Bisogna prima di tutto spostare una apposita stecca orizzontale posta nella parte superiore della macchina, in modo da coprire una delle due linee, quella di cifre rosse, che compaiono sui tamburi rotanti, nelle finestrelle dei risultati (le cifre rosse servono nelle sottrazioni, quelle nere si usano nelle addizioni); vanno poi azzerati i valori che le precedenti operazioni possono aver lasciato, ruotando a mano i tamburi nelle finestrelle stesse. Si inseriscono quindi gli addendi uno alla volta, tramite le ruote poste sul coperchio della macchina, controllando quel che si fa nelle finestrelle. Per inserire il 30 si deve ruotare, con uno stilo, la seconda ruota fino a quando la barretta di riscontro è posizionata oltre la cifra 3 ma prima della cifra 4. Questa rotazione trasmette il valore 3 nella seconda finestrella e il valore mostrato è 000030. Per inserire 72 bisogna posizionare la seconda ruota dopo il 7 ma prima dell'8. Fatta questa operazione il secondo tamburo oltrepassa la posizione 9 e mette in moto il tamburo successivo spostandolo di 1 per il riporto. Al termine di questo procedimento il numero visualizzato è 000100. Per finire si posiziona la barretta della prima ruota tra 2 e 3 nello stesso modo con cui abbiamo fatto prima, e la macchina mostra il numero 000102 che è il risultato finale.



G. W. Leibniz

Ruote di Leibniz



Ricostruzione della calcolatrice di Leibniz



circa il 1650 e di raffinata fattura, è conservata al Museo della Scienza di Firenze: è attribuita allo studioso italiano Tito Livio Burattini, che ebbe multiformi interessi in campo scientifico (fu lui a coniare il termine «metro»). Un'altra è la calcolatrice dell'inglese Samuel Morland, realizzata attorno al 1666.

Come abbiamo già accennato, un altro grande genio matematico-filosofico, Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716), concepì e fece costruire verso il 1671 una calcolatrice meccanica. Essa era decisamente più complessa e completa di quella di Pascal, ed in effetti, a differenza della Pascalina, consentiva di eseguire le quattro operazioni e poteva operare su numeri fino a 16 cifre. Inoltre in questa macchina la fase di impostazione degli operandi, e quella di calcolo erano separate: solo dopo aver impostato i numeri in ingresso si girava una manovella per ottenere il risultato. Gli operandi venivano introdotti nella parte anteriore della macchina, tramite otto indicatori a quadrante circolare, nei quali si impostavano le cifre del moltiplicando, ed un selettore di tipo «telefonico» nel quale si impostava il moltiplicatore. Dopo aver girato la manovella il risultato compariva nell'accumulatore a 16 cifre, situato nella parte posteriore della macchina. Le moltiplicazioni si effettuavano per somme successive, effettuando le operazioni a partire dalla cifra meno significativa del moltiplicatore, ed accumulando il risultato, in modo automatico, nell'accumulatore stesso. Le divisioni si effettuavano per sottrazioni successive, ruotando la manovella in senso opposto a quello delle moltiplicazioni. Alle base di questa macchina stava un nuovo tipo di meccanismo, detto appunto ruota di Leibniz o traspositore, che costituì un deciso passo in avanti rispetto a quanto in precedenza era stato concepito, tant'è vero che fu utilizzato, in forme perfezionate, sulle calcolatrici meccaniche costruite fino

alla metà del XX secolo. Si trattava di un cilindro sulla cui superficie laterale erano ricavate nove barrette (o denti) di lunghezza crescente, in direzione parallela all'asse. Questo cilindro ingranava con una ruota a dieci denti, montata su di un asse scorrevole, in grado di ruotare da uno a dieci passi in funzione della sua posizione rispetto al cilindro. Un complesso di ruote di questo tipo era presente per ciascuna cifra e la rotazione in un senso, od in senso opposto del cilindro, determinava l'esecuzione di una addizione o sottrazione. La ruota di Leibniz consentiva di evitare i forti attriti meccanici del meccanismo di Schickard ed i limiti di precisione di quello di Pascal, ma per la tecnica meccanica del XVII secolo era comunque molto difficile produrre con la sufficiente precisione questo meccanismo, e gli altri ingranaggi che gli stavano al contorno, così che anche il funzionamento della macchina dello scienziato tedesco, era tutt'altro che perfetto. Leibniz costruì due prototipi della sua macchina, continuando a lavorare al suo perfezionamento per più di vent'anni. Il secondo prototipo, a lungo dimenticato in una soffitta della università tedesca di Gottingen, dove era stato inviato per essere riparato, fu ritrovato nel 1876 ed è giunto fino ai giorni nostri. Della macchina sono state pure costruite alcune repliche, conservate in vari musei. Leibniz fu anche il primo a concepire un sistema di numerazione binaria, ed a progettarne l'utilizzo nel calcolo meccanizzato, ma questo fatto non ebbe applicazione nella sua calcolatrice.

LA PRIMA CALCOLATRICE «AUTOMATICA»

Come abbiamo appena accennato, anche in una calcolatrice meccanica relativamente complessa come quella di Leibniz, le moltiplicazioni si eseguivano per somme successive, e ciò implicava un ripetuto intervento dell'operatore. Non desta quindi meraviglia che a qualcuno



*Giovanni Poleni e
replica della
calcolatrice di Poleni.*

sia venuta l'idea di rendere in qualche modo automatica tutta l'operazione, limitando l'intervento dell'operatore al semplice inserimento degli operandi. Questa idea fu concepita da Giovanni Poleni, uno scienziato di grande levatura, anche se praticamente dimenticato, il quale realizzò, agli inizi del '700, una macchina della quale non ci è purtroppo pervenuto un esemplare, ma della quale ci è rimasta un'accurata descrizione, che ha permesso di realizzarne una replica funzionante, custodita presso il Museo della Scienza e della Tecnologia di Milano.

Il marchese Giovanni Poleni, nato a Venezia nel 1683 e morto a Padova nel 1761, era stato destinato dal padre ad una carriera giuridica, ma preferì dedicarsi allo studio della matematica e della fisica, pur amando anche le lettere e la musica (fu protettore del musicista Giuseppe Tartini). Nel 1709 ottenne la cattedra di Astronomia e Meteorologia all'università di Padova, e successivamente anche quelle di fisica e matematica; a Padova impiantò, nel 1740, un «teatro di filosofia naturale», il primo laboratorio italiano, ed uno dei primi in Europa, di fisica sperimentale. Già dal 1710 fu membro della prestigiosa Royal Society di Londra e dal 1715 anche dell'Accademia Reale di Berlino. Coltivò molti interessi anche nel campo delle costruzioni navali e dell'architettura, fungendo fra l'altro, nel 1743, da consulente del Papa per il restauro ed il consolidamento della cupola di san Pietro.

Poleni descrisse la sua «Macchina Arithmetica» in un trattatello pubblicato a Venezia nel 1709, nell'introduzione del quale dichiarava di aver avuto l'intenzione di superare quanto già fatto da Pascal e Leibniz, le cui macchine, peraltro, diceva di non conoscere in dettaglio. Non sappiamo esattamente quando e da chi egli abbia fatto realizzare la sua idea, anche se nel suo trattato afferma che ne furono realizzati due successivi prototipi. Quel che è certo è che fu il Poleni stesso, nel 1727, a distruggere la sua macchina,

quando seppe che Anton Braun, meccanico di corte dell'imperatore Carlo VI, ne aveva realizzata un'altra più piccola e raffinata, basata su di un analogo meccanismo (in effetti la macchina di Poleni era ben più grande ed ingombrante di quelle di Pascal e Leibniz, che potevano essere considerate come portatili).

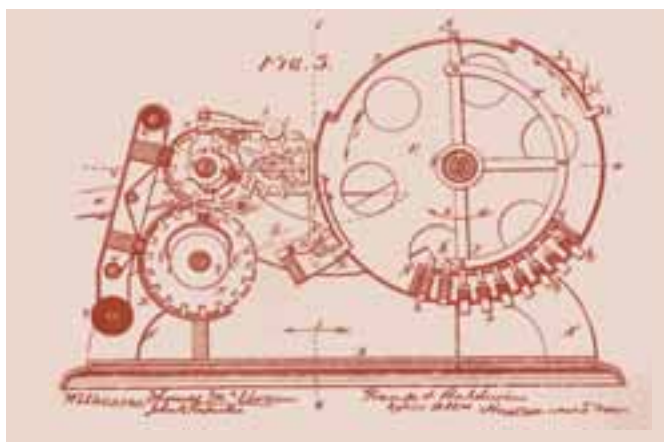
Il cuore, e la parte più originale, della macchina dello scienziato veneziano è il traspositore, una ruota munita di tre settori con nove denti rialzabili che ingranano con piccoli ingranaggi a dieci denti fissi, detti accumulatori. Ad ogni rotazione del traspositore l'accumulatore avanza di un numero di denti pari a quanti ne sono stati alzati sul traspositore. Il traspositore può inoltre essere spostato in tre differenti posizioni, così da ingranare i suoi denti con accumulatori diversi. Ciò si traduce in pratica nella possibilità della macchina di moltiplicare numeri fino a 999×999 . Per effettuare un calcolo con la macchina di Poleni, similmente a quanto succedeva nella macchina di Leibniz, bisogna prima impostare il moltiplicando ed il moltiplicatore, ma una volta fatto questo, e dato avvio al calcolo, l'operazione procede in modo automatico, se pur molto lento, tramite un «motore a peso» che fa muovere i meccanismi fino a che la cessazione del tipico «ticchettio» della macchina denuncia la fine del calcolo e permette la lettura del risultato.

Ci pare interessante riportare qualche accenno anche alle vicende della replica della calcolatrice di Poleni, conservata nel museo milanese. Essa fu realizzata nel 1959 per il 250esimo anniversario della pubblicazione del trattato che la descrive. Il progetto e la ricostruzione furono curati da Franco Soresini, e finanziati dalla IBM Italia. La calcolatrice fu esposta in una mostra storica sulle macchine calcolatrici e successivamente rimase al museo in una sezione dedicata al calcolo automatico. Nel 2009 la replica è stata restaurata e rimessa in condizioni di funzionare⁶.

DAI PROTOTIPI ALLE PRIME MACCHINE COMMERCIALI

Durante tutto il XVIII secolo, dopo la macchina di Poleni del 1709, si ebbero molte altre realizzazioni di calcolatrici meccaniche da parte di vari inventori, peraltro senza nessuna grossa innovazione, ma soltanto con varianti sul tema della ruota di Leibniz. In sostanza fino ai primi decenni dell'Ottocento, le calcolatrici meccaniche rimasero delle «curiosità tecnologiche», da mostrare a nobili e regnanti per suscitare ammirazione e meraviglia, ma senza un reale utilizzo pratico, in quanto le loro prestazioni rimanevano modeste ed incerte, tali da non competere con dei buoni «calcolatori umani» ben addestrati (la stessa macchina di Poleni, pur col vantaggio del suo automatismo, era esasperatamente lenta nell'eseguire anche una semplice moltiplicazione con un moltiplicatore ad una sola cifra). Esse furono inoltre prodotte in forma prototipale e non industriale, ed in genere a costi esorbitanti⁷. In effetti le limitazioni della tecnologia dell'epoca impedivano di realizzare meccaniche di precisione, com'era richiesto per il funzionamento dei delicati meccanismi di quelle macchine, né era possibile produrli a costi ragionevoli. La situazione sarebbe progressivamente cambiata nel corso del XIX secolo solamente con il graduale affermarsi dei concetti di intercambiabilità delle parti e di produzione di massa (si veda a questo proposito il nostro precedente articolo sul n. 5/2009 della rivista), e con la loro applicazione anche nel campo delle calcolatrici.

Il primo passo in questa direzione si ebbe poco dopo il 1820 con la realizzazione di una macchina chiamata «aritmometro», basata su un perfezionamento dei concetti di Leibniz, per opera del francese Charles Xavier Thomas De Colmar. La prima produzione veramente industriale di questa calcolatrice risale però al 1850. Altre macchine che ebbero successo nel corso dell'Ottocento, furono quelle dell'americano Frank Stephen Baldwin (verso il 1873) e dello svedese Willgodt Theophil Odhner (verso il 1878), entrambi i quali perfezionarono meccanismi a denti mobili in qualche modo analoghi a quello usato dal Poleni. Nel 1885 l'americano William Steward Burroughs brevettò una addizionatrice nel quale era inclusa anche la funzionalità di stampa dei risultati. Diverse altre varianti della calcolatrice meccanica furono inventate fra la fine dell'Ottocento ed i primi del



In alto: schema e, a destra, foto della calcolatrice di Baldwin (1873).



Novecento, contemporaneamente all'ingresso nel campo del calcolo, dei primi meccanismi elettromeccanici. Ma questa è un'altra lunga storia, che racconteremo magari un'altra volta.

Gian Luca Lapini
Politecnico di Milano

6. Per ulteriori notizie si veda

www.museoscienza.org/dipartimenti/macchina_poleni/replica.asp.

7. Alla categoria dei costosi e complessi prototipi meccanici appartengono anche i famosi differential engine e analitical engine progettati ed in parte realizzati in Inghilterra da Charles Babbage nel lungo periodo fra il 1820 ed il 1850. Tali macchine, che anticipano alcuni dei concetti che saranno poi propri dei calcolatori elettronici, sono assai complesse e meriterebbero da sole un'ampia trattazione, per la quale non abbiamo qui spazio.

Stan Augarten, *Bit by Bit. An Illustrated History of Computers*, Ticknor&Fields, New York 1984.

Daniele Casalegno, *Uomini e computer. Storia delle macchine che hanno cambiato il mondo*, Hoepli, Milano 2010.

Tony Freeth, *Decoding an Ancient Computer*, Scientific America, December 2009.

H.H. Goldstine, *Il computer da Pascal a Von Neumann*, Etas Libri, Milano 1981.

Marcello Morelli, *Dalle calcolatrici ai computer degli anni cinquanta*, Franco Angeli, Milano 2001.

Francis C. Moon, *The Machines of Leonardo da Vinci and Franz Reuleaux. Kinematics of Machines from the Renaissance to the 20th Century*, Springer, 2007.

Franco Soresini, *Storia del calcolo automatico*, Ateneo & Bizzarri, Roma 1977.