

# INDICE

---

<b>Introduzione e cronologia degli elaboratori.....</b>	<b>3</b>
<i>Dalla preistoria al 1800.....</i>	<i>3</i>
L'abaco.....	3
La prima macchina da calcolo.....	4
Nepero e i logaritmi.....	6
Il regolo calcolatore di William Schickard.....	7
La "pascalina".....	8
La "Stepped Reckoner".....	10
Lebniz.....	10
<i>L'Ottocento.....</i>	<i>13</i>
L'aritmometro di Colmar.....	14
Charles Babbage.....	15
George Boole.....	17
Hermann Hollerith.....	18
<i>Il Novecento.....</i>	<i>20</i>
Le innovazioni scientifiche.....	20
Il Comptator.....	21
Il primo nastro magnetico.....	23
Touring e Zuse.....	24
Gli Stati Uniti e lo sviluppo "militare".....	25
L'ENIAC.....	29
Von Neumann.....	30
Verso gli anni del transistor.....	30
La terza generazione di computers.....	34
Apple e le macchine grafiche.....	36
<b>Breve cronologia dei linguaggi di programmazione e dei sistemi operativi.....</b>	<b>39</b>
<i>Dagli inizi a Unix.....</i>	<i>39</i>
COBOL.....	39
<i>Da Unix a oggi.....</i>	<i>39</i>
Unix.....	39
Il CP/M.....	40
Dos.....	40
Ada.....	41
Mac OS.....	41
Windows.....	42
Linux.....	42
<b>Un importante algoritmo di calcolo scientifico.....</b>	<b>44</b>
<i>Finite Element Method e Finite Element Analysis.....</i>	<i>44</i>
Introduzione.....	44
Cenni storici.....	45
Funzionamento generale.....	46
Come si arriva al modello.....	46

Pre Processing.....	46
Soluzione.....	47
Post Processing .....	47

# Sviluppo delle macchine da calcolo automatico fino al calcolo scientifico

## Introduzione e cronologia degli elaboratori

Fin dai tempi più antichi gli uomini hanno sentito la necessità di fare calcoli. Probabilmente non si potrà mai sapere con esattezza quando l'uomo si rese conto di poter effettuare calcoli e, soprattutto, di essere in grado di farlo attraverso l'uso di uno strumento o di un utensile. Questa capacità di esplorare e sistematizzare l'universo dei numeri, primo passo per il dominio dei dati e delle informazioni, si perde indubbiamente nella notte dei tempi e ha sempre rappresentato per l'uomo una sfida affascinante e stimolante, portata avanti nei secoli, pur con le inevitabili limitazioni della tecnologia del proprio tempo. Solo recentemente, a partire dagli anni Cinquanta, si è affermata quella capacità intuitiva e scientifica in grado di portare alla nascita dello strumento più adatto e più aderente al concetto stesso di calcolo in tutti i suoi vari aspetti: il computer.

## Dalla preistoria al 1800

Credo di poter certamente dire che agli albori dell'umanità la percezione del calcolo era puramente intuitiva; le prove di questa primordiale capacità arrivano dal 30'000 a.C., risale a quest'epoca, infatti, un osso di lupo, ritrovato ai giorni nostri, che veniva usato come base di calcolo. Su quest'osso sono state incise cinquantacinque tacche a gruppi di cinque, forse per uno scambio o un baratto. Con l'evoluzione dell'uomo, delle sue capacità e necessità, si è passati poi alle tavolette sumere risalenti al periodo 4000-1200 a.C. che venivano usate quasi certamente per operazioni commerciali.

## L'abaco

Un avanti veloce nella storia e ci troviamo con alcuni esempi di abaco risalenti alla civiltà Greca e poi Romana (Fig. 1), erano sostanzialmente delle tavole di calcolo incise su pietra o metallo.

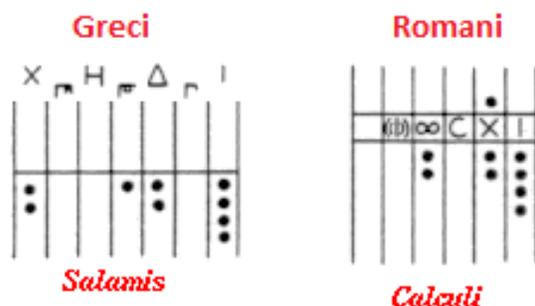


Fig. 1 - Abaco greco e romano

L'abaco, come lo conosciamo noi oggi, è uno strumento molto semplice, ma certamente altrettanto efficiente, prova ne sia che ancora ai giorni nostri esso è largamente utilizzato dai commessi dei negozi in Paesi come la Russia, la Cina, il Giappone, per calcolare quanto ciascun cliente debba pagare per la merce che ha acquistato.



L'origine dell'abaco come lo conosciamo è certamente cinese: di esso si è trovata una descrizione in un libro scritto nel 190 a.C., al tempo della Dinastia Han e, in Cina, esso divenne uno strumento popolare al più tardi durante la Dinastia Song (960 – 1127). Durante la dinastia Ming l'abaco venne introdotto anche in Giappone.

L'abaco più antico che sia mai stato ritrovato è quello rinvenuto nel 1899 nell'isola greca di Salamina: costruito in marmo, misura 1.49 metri di lunghezza e 0.75 di larghezza, e sembra sia stato utilizzato dai babilonesi.

Il nome "abaco" – dal latino "abbacus" – sembra derivare dalla parola greca che significa "tavola" che, a sua volta, potrebbe essere stata generata da una parola di origine semitica, come l'ebraico "abaq", cioè "polvere" (su cui si poteva scrivere quindi, nella primitiva forma dell'abaco, segnare le cifre numeriche con le quali effettuare le operazioni aritmetiche desiderate).

La diffusione dell'abaco quale primitivo strumento ausiliario del calcolo fu conseguenza della semplicità con cui esso può essere costruito, della facilità con cui lo si poteva trasportare e della sua relativa semplice operabilità, una volta che si fossero apprese le regole che presiedevano al funzionale spostamento delle sue parti componenti.

Con la pubblicazione, nel 1202, del Liber abbaci di Leonardo Fibonacci, opera cui va accreditato il merito di aver introdotto, per la prima volta nella nostra area geografica, la notazione cosiddetta indiana o araba per i caratteri numerici, in sostituzione di quella romana, e, in particolare, l'introduzione, per la prima volta, della cifra zero, l'abaco perse buona parte del suo ruolo, essendo disponibili ormai nuove tecniche per l'esecuzione delle operazioni aritmetiche necessarie, soprattutto, per la contabilizzazione degli scambi commerciali dell'epoca.

### **La prima macchina da calcolo**

L'abaco, pur pietra miliare del calcolo, non era tuttavia ancora una macchina vera e propria. Per questo bisognerà aspettare il 1350 circa quando, secondo disegni e appunti ritrovati solamente nel 1967, il grande Leonardo Da Vinci progettò la prima vera macchina da calcolo.

L'ambiente scientifico, all'indomani del ritrovamento, si mostrò perplesso sul reale significato dei disegni: si trattava di una macchina da calcolo vera e propria o non, piuttosto, di uno studio di ruote dentate in grado di moltiplicare dei rapporti?

Poco dopo la scoperta dei disegni leonardeschi, un esperto studioso delle macchine di Leonardo, Roberto Guatelli, che fra il 1951 e il 1961 aveva lavorato nella IBM con l'incarico di costruire dei modelli funzionanti delle macchine progettate dal genio di Vinci, aveva potuto esaminare le riproduzioni dei manoscritti di questi presso l'Università del Massachusetts e aveva ricollegato i disegni presenti in quest'ultimo con quelli, in un certo senso simili, del "Codex Atlanticus".

Mettendo insieme i due disegni, Guatelli fu in grado di costruire un modello funzionante della macchina ideata da Leonardo (Fig. 2). La realizzazione del modello fu accolta dagli studiosi con molta perplessità: la macchina che Guatelli aveva costruito era effettivamente aderente in modo

rigoroso al disegno di Leonardo? E quest'ultimo si riferiva ad una macchina calcolatrice o a qualcosa d'altro?

Una riunione svoltasi presso l'Università del Massachusetts, che si avvale tra i presenti, del Prof. I. Bernard Cohen, consulente della IBM per la collezione dei modelli delle macchine di Leonardo e del Dott. Bern Dibner, uno dei massimi studiosi di Leonardo, giunse alla conclusione che non poteva trattarsi di una macchina calcolatrice, bensì di una macchina a rapporti.

In effetti, a conti fatti, ad un giro del primo albero corrispondevano 10 giri del secondo e ben  $10^{13}$  giri del 13° albero. Una macchina del genere non avrebbe potuto aver speranza di funzionare realmente, per l'enorme attrito che avrebbe dovuto essere in grado di vincere.

Secondo alcune fonti Gualtelli riconobbe di "aver usato la propria intuizione e immaginazione per andare oltre le indicazioni di Leonardo". In conseguenza di ciò IBM eliminò il modello della macchina dalla esposizione della sua collezione. Il modello di Gualtelli è da allora scomparso e non si sa, ammesso che esista ancora, ove sia finito.



*Fig. 2 - Replica della macchina costruita secondo i disegni di Leonardo*

Tra la fine del XVI e l'inizio del XVII secolo un fatto importante venne a sollecitare la ricerca nel campo della matematica applicata: in quegli anni, infatti, prendono impulso i viaggi transoceanici, non più in funzione di tentativi avventurosi di raggiungere terre sconosciute, quanto per rispondere ad un'esigenza che era venuta emergendo prepotentemente, e cioè far fronte alla necessità di stabilire collegamenti regolari con le terre d'oltreoceano, nelle quali andavano stabilendosi colonie sempre più consistenti, appartenenti ai Paesi europei.

È così, pertanto, che in tutto il 1600 e in buona parte del 1700 si poté assistere ad un fiorire di studi e ricerche, con una produzione di risultati, sia sul piano teorico, che applicativo. Naturalmente a fianco degli studi e delle ricerche finalizzate all'investigazione e alla scoperta di nuovi metodi di calcolo (nel Seicento, per esempio, si avrà l'invenzione dei logaritmi; il Settecento avrà il suo culmine con la creazione del calcolo infinitesimale) venne anche manifestandosi sempre più viva l'esigenza di disporre di strumenti meccanici di calcolo, in grado di fornire un aiuto concreto a quanti saranno via via impegnati nelle grandi imprese per la realizzazione delle Tavole matematiche, di cui la navigazione sarà una delle "consumatrici" più intense.



## Nepero e i logaritmi

Come già anticipato, all'inizio del 1600, un matematico scozzese, John Napier (latinizzato Nepèro), offrì all'umanità uno degli strumenti che maggiormente contribuirono al progresso della scienza: i logaritmi.

Nel 1614 con la sua opera "Logarithmorum canonis descriptio" contenente trentasei pagine di descrizione e nove di tabelle, e nella successiva "Mirifici logarithmorum canonis constructio", Napier pose le basi per una nuova matematica utile per l'astronomia, la meccanica e la fisica.

In sostanza il matematico scozzese dimostrò come le complesse operazioni di moltiplicazione, divisione e di estrazione di radice potessero essere ricondotte alle più semplici operazioni di addizione e sottrazione. Ma al matematico scozzese si deve anche un contributo rilevante rispetto allo sviluppo del calcolo meccanico: fu lui, infatti, che studiò il modo per effettuare una operazione di moltiplicazione come insieme di operazioni di addizioni successive e ciò lo portò a realizzare uno strumento di calcolo meccanico, basato sull'impiego di una serie di tabelle di moltiplicazione riportate su aste di legno o osso (da qui la denominazione di "bastoni di Nepero"), in modo tale che fosse possibile effettuare operazioni di moltiplicazione o divisione di un numero qualsiasi per un numero composto da una sola cifra, senza che, per questo, si dovesse far ricorso alla consultazione della Tavola Pitagorica.

Questo tipo di strumento era composto (vedi figura 3) da una serie di regoli, fisso il primo, mobili gli altri, su cui erano incise le diverse cifre: sui regoli mobili una diagonale separava le cifre delle decine (nella parte superiore) da quelle delle unità (nella parte inferiore). Per effettuare una qualsiasi operazione di moltiplicazione o divisione si accostavano al regolo fisso – su cui si leggeva il primo numero per il quale doveva essere moltiplicato o diviso il numero a più cifre – i regoli mobili corrispondenti alle singole cifre che componevano il numero di più cifre da moltiplicare o dividere.

0	1	0	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8
0	2	0	4	0	6	0	8	1	0	1	2	1	4	1	6
0	3	0	6	0	9	1	2	1	5	1	8	2	1	2	4
0	4	0	8	1	2	1	6	2	0	2	4	2	8	3	2
0	5	1	0	1	5	2	0	2	5	3	0	3	5	4	0
0	6	1	2	1	8	2	4	3	0	3	6	4	2	4	8
0	7	1	4	2	1	2	8	3	5	4	2	4	9	5	6
0	8	1	6	2	4	3	2	4	0	4	8	5	6	6	4
0	9	1	8	2	7	3	6	4	5	5	4	6	3	7	2

Fig. 3 – Regoli

L'invenzione dei logaritmi da parte di Napier fu all'origine della realizzazione di un nuovo strumento di calcolo: il regolo calcolatore di William Schickard.

### Il regolo calcolatore di William Schickard

La vita di Schickard coincise quasi con il percorso di quella lunga guerra che vide coinvolta gran parte del continente europeo e che è passata alla storia con il nome di Guerra dei Trent'anni (1618 – 1648).

Nel 1956 il Dott. Franz Hammer, uno storico di riconosciuta autorità nel campo dello studio degli scritti di Keplero, scoprì in un archivio di carte di Schickard alcune sue lettere, di cui una prima datata 20 settembre 1623 ed una seconda 25 febbraio 1624, indirizzate appunto all'astronomo tedesco, contenenti schizzi e descrizioni di una macchina che lo stesso Schickard aveva progettato per svolgere in modo completamente automatico le operazioni di somma e sottrazione e, in parte almeno, quelle di moltiplicazione e divisione.

Della macchina così annunciata a Keplero, Schickard aveva fatto realizzare da un artigiano di fiducia, l'orologiaio Johann Pfister, un prototipo che, sfortunatamente andò completamente distrutto in un incendio il 22 febbraio 1624, insieme ad altri oggetti di proprietà dell'inventore, e che, per il poco tempo a disposizione dello stesso artigiano, non poté più essere realizzato. Tuttavia, utilizzando proprio le informazioni fornite da Schickard nelle sue lettere, il Prof. Bruno von Freytag-Loringhoff, professore di matematica a Tubinga, con la collaborazione di abili meccanici e basandosi sulla approfondita conoscenza della matematica dell'epoca, riuscì nel 1960, a realizzare una copia funzionante di questa macchina, che il suo inventore descriveva essere costituita da "11 ruote dentate complete e 6 incomplete".



Il dispositivo meccanico utilizzato da Schickard nella sua macchina era lo stesso che venne poi impiegato in tutte le macchine calcolatrici, fino all'avvento del primo calcolatore elettronico: le addizioni e le sottrazioni erano realizzate grazie al movimento di ruote dentate collegate ad un visualizzatore numerico a sei cifre (simile ad un contachilometri; vedi figura 4). Così per esempio, l'operazione consistente nell'aggiungere al numero visualizzato una unità, si traduceva nella rotazione di una opportuna ruota fino a che non veniva mostrata, dal visualizzatore, la cifra successiva.

Il problema, tipico per questo genere di macchine, relativo alla gestione delle cifre di riporto e dei prestiti, venne risolto con l'impiego di gruppi di ruote particolari, nelle quali i denti erano tagliati in modo opportuno (ruote a "dente singolo"). Questo macchinario era in grado quindi di eseguire riporti e per mezzo di un campanello indicava il superamento del limite di cifre (che oggi chiamiamo "overflow").



*Fig. 4 – Macchina di Schickard*

La lettera del 1624 è l'ultima che ci è giunta. Schickard morì 11 anni dopo (24 ottobre 1635) colpito, come tutto il resto della sua famiglia, dalla peste bubbonica, diffusasi in Europa a seguito della Guerra dei Trent'anni.

La macchina progettata da Schickard era molto semplice nella sua struttura ed apparteneva alla categoria delle cosiddette "addizionatrici reversibili", in quanto in grado di effettuare entrambe le operazioni, sia quella di addizione che di sottrazione. Le moltiplicazioni invece non potevano corrispondere ad una attività di tipo automatico in quanto realizzate mediante una serie di cilindri di Nepero disposti nella sua parte superiore.

La macchina di Schickard non fu ricostruita e coloro che lo seguirono, Pascal, Leibniz ed altri, non poterono essere influenzati da questa importante realizzazione. A questa cortina di silenzio non furono certamente estranee le idee di quelli che, nella realizzazione di questi strumenti, vedevano concretizzarsi il sacrilegio del presunto prevalere delle macchine sull'uomo.

### **La "pascalina"**

Un altro grande personaggio che ha improntato su di sé tutta la storia del pensiero dei secoli successivi, al quale si deve un ulteriore contributo nello sviluppo degli strumenti di calcolo scientifico e meccanico fu, senza dubbio, Blaise Pascal, filosofo e matematico francese nato il 19 giugno del 1623 a Clermont-Ferrand.



A soli diciannove anni, costruì la prima macchina addizionatrice che ci sia giunta, nota con il nome di "Pascalina". Con questa macchina si eseguivano somme e sottrazioni, e, nell'addizione, consentiva di ottenere il riporto automatico.

Siccome dell'invenzione di Schickard, come già detto, non si ebbe alcuna notizia per molti anni, la macchina costruita da Pascal fu a lungo considerata la prima calcolatrice meccanica mai inventata. La sua notorietà fu amplificata dall'accurata descrizione contenuta nell'Encyclopédie, che la rese il punto di riferimento per la realizzazione di molte calcolatrici successive.

L'idea di Pascal fu di sostituire alle palline infilate in un bastoncino dell'abaco una ruota avente sulla sua circonferenza dieci tacche equidistanti numerate da 0 a 9. Ogni ruota era dotata di tre quadranti che rappresentavano rispettivamente le unità, le decine e le centinaia. Il miglioramento rispetto al passato stava nella realizzazione del riporto, eliminando così una delle maggiori difficoltà nell'effettuazione dei calcoli a mente.

Nell'abaco, per passare da 9 a 0, in una colonna occorre portare le palline in posizione neutrale (rappresentata dallo zero) ed aggiungere una pallina alla colonna di sinistra. In un calcolatore a ruote, invece, bastava far compiere un giro alla ruota: quando questa passava per la posizione 0, un accoppiamento meccanico produceva la rotazione di una tacca della ruota a sinistra realizzando in tal modo il riporto di un'unità.

Questa macchina venne costruita da Pascal per aiutare il padre Etienne, che da qualche anno era stato nominato intendente a Rouen, dopo che era caduto in disgrazia per aver fatto resistenza a certi provvedimenti finanziari del governo. Per questo motivo quindi il primo esemplare della pascalina lavorava in lire, formate da venti soldi, formati a loro volta da dodici denari. Essendo costituita da un complesso sistema di ingranaggi meccanici, non venne brevettata subito, ma venne perfezionata negli anni successivi e brevettata poi nel 1645 per evitare che qualcun altro si appropriasse dell'idea. Blaise ne curò anche la parte tecnica, cercando di rendere la fabbricazione meno costosa e, quindi, più accessibile ed utilizzabile su larga scala.

Quest'antenata del calcolatore è attualmente conservata nel museo "Conservatoire National des Artes ed Metieres di Parigi" e, anche se Pascal cercò di migliorarla dal punto di vista tecnico, non venne molto utilizzata (ne furono costruiti una cinquantina di esemplari per operazioni sia in base decimale che nell'unità monetaria dell'epoca) e fu solo la prima di una lunga serie di macchine analoghe che trovarono largo impiego nel XIX secolo. E, proprio per essere stato l'inventore di una delle prime macchine per calcolare, in suo onore, il professor Niklaus Wirt del Politecnico di Zurigo, denominò appunto "Pascal" il linguaggio di programmazione da lui progettato all'inizio degli anni Settanta che, da allora, ha conosciuto una rapida diffusione per la chiarezza, semplicità e la polivalenza di impiego in una vasta gamma di settori applicativi: scientifico, economico, amministrativo.

A titolo di esempio di seguito (Fig. 5) riporto il metodo per effettuare le sottrazioni con la Pascalina attraverso la somma di numeri complemento (il complemento è ciò che manca ad un numero per fare l'unità, la decina, ecc...).

Eseguiamo la seguente sottrazione:  $5 - 3$

Poichè il complemento del numero 3 è 7 ( $10-3=7$ )

possiamo sommare  $5 + 7 = 12$

che senza il riporto da 2

che è come dire:  $5 - 3 = 5 + 7 - 10$

ma anche:  $5 - 3 = 5 + (7-10)$

e quindi:  $5 - 3 = 5 + (-3)$

Fig. 5 – Esempio di sottrazioni con la Pascalina

Si può, perciò, affermare che la Pascalina faceva le sottrazioni come somma di numeri negativi utilizzando il metodo del complemento a dieci del sottraendo. Naturalmente l'operatore non doveva calcolare il complemento e poi eseguire una addizione, ma era la macchina stessa, attraverso il procedimento per la sottrazione, ad eseguire questo calcolo.

### La "Stepped Reckoner"

Un'altra macchina, la calcolatrice a passi, venne costruita da Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646 – 1716) ispirata dalla macchina di Pascal ma realizzata usando un ingranaggio cilindrico.

Si trattava di una calcolatrice meccanica chiamata "Stepped Reckoner" (calcolatrice a scatti) in grado di effettuare le quattro operazioni e l'estrazione di radice. È notevole il fatto che essa introdusse un meccanismo, chiamato traspositore, che corrispondeva esattamente ai registri dei moderni calcolatori elettronici.

### Lebniz

Leibniz compì uno dei passi più importanti nella storia delle macchine calcolatrici: non solo rappresentò i numeri binari usando finalmente l'alfabeto appropriato, vale a dire le cifre "0" e "1", ma descrisse compiutamente le regole dell'aritmetica binaria e le operazioni logiche.

Erano stati i gesuiti, missionari nella lontana Cina, a stimolare Leibniz a occuparsi di questi argomenti, chiedendogli di dare un'interpretazione razionale ai trigrammi e agli esagrammi del Ching, il misterioso "libro delle mutazioni" risalente a circa duemila anni prima, composti combinando i due simboli "-" e "- -".



Leibniz, colpito dalla semplicità con cui si lasciavano maneggiare i numeri binari, concepì una macchina in grado di eseguire le quattro operazioni con l'aritmetica binaria. Se le regole di questa aritmetica sono il software, la calcolatrice binaria di Leibniz era allora un hardware in cui l'uno e lo zero erano materializzati nella presenza o assenza di una pallina in una determinata posizione. Rendendosi però conto che la numerazione binaria sarebbe difficilmente entrata nell'uso quotidiano, Leibniz volle integrare la sua invenzione con un convertitore decimale/binario, che preparasse l'input, e uno binario-decimale, per rendere l'output leggibile in decimale; malgrado diversi tentativi, questa impresa non riuscì e la calcolatrice binaria cadde nel dimenticatoio fin quando Ludolf von Mackensen, storico della scienza, ne costruì nel 1966 un modello perfettamente funzionante.

Ma il contributo più importante che Leibniz ci ha lasciato, e che in qualche modo sottende tutta la sua opera, è stato il suo grande e incompiuto progetto: definire un insieme di regole per formalizzare il ragionamento logico deduttivo. Era il sogno del "calculus raziocinator", espresso con i simboli di una "characteristica universalis".

Partendo da pochi principi generali e condivisi da tutti egli pensava che qualsiasi questione controversa sarebbe potuta essere risolta semplicemente applicando quelle regole; e il tutto, beninteso, avrebbe potuto farlo anche una macchina.

Possiamo trovare un riscontro reale di questo pensiero nella moderna programmazione dove, con un numero limitato di istruzioni macchina si può costruire un numero potenzialmente infinito di programmi.

Con Leibniz prese così avvio quel "sentiero" tecnologico e scientifico che portò alla nascita e allo sviluppo di quella che noi chiamiamo usualmente "informatica", cioè la scienza che studia l'elaborazione dei dati.

Dopo Leibniz però il calcolo binario venne dimenticato fino al 1936, quando, indipendentemente, i due matematici Alan Turing in Gran Bretagna e Louis Couffignal in Francia, fecero elogio del calcolo binario proponendo di usarlo come linguaggio di base nelle calcolatrici meccaniche esistenti a quell'epoca.

Nel 1725 intanto nacque il telaio tessile (Fig. 6) a programma memorizzato. Quest'evento fu di grandissima importanza per la storia dell'elaboratore perché introdusse l'idea di nastro perforato e quindi l'idea di programma come successione di istruzioni preordinate. Quest'invenzione però venne presto dimenticata fin quando nel 1804 un meccanico francese riuscì a farne una versione industrializzabile.



*Fig. 6 – Telaio tessile*

Nel 1775 Charles Stanhope sviluppò un calcolatore che moltiplicava e divideva attraverso il sistema delle somme o sottrazioni multiple.

Charles III Conte di Stanhope nacque a Londra il 3 agosto 1753. Studiò a Ginevra e si occupò quindi di politica, facendo parte prima della Camera dei Comuni e quindi della Camera dei Lord. Brillante scienziato – all'età di 19 anni fu chiamato a far parte della Royal Society – Charles Stanhope è ricordato, oltre che per la sua macchina calcolatrice, per il progetto di una “macchina logica” che poteva essere usata per la soluzione di problemi di carattere logico. Un primo passo nel considerare i computer non più solo come macchine di calcolo, ma anche come strutture meccaniche capaci di generalizzare processi matematici.

Verso la fine del secolo J.H. Mueller immaginò una “Macchina differente” anticipando di ben trentasei anni Babbage, ma non riuscì a trovare i soldi per costruirla.

I dettagli della sua macchina, però, furono pubblicati in un libro, di cui Charles Babbage si dice che si fece tradurre tutti i capitoli. E' quindi molto probabile che Babbage abbia sfruttato qualche idea di Mueller.



## L'Ottocento

Tra il 1800 e il 1804 entrarono in gioco alcuni importanti sviluppi scientifici di fondamentale importanza per l'evoluzione degli elaboratori. Nel 1800 Alessandro Volta riuscì a produrre energia elettrica con la prima batteria. In un famoso esperimento alla presenza di Napoleone dimostrò che con la sua elettricità poteva stimolare il movimento delle zampe di una rana morta.

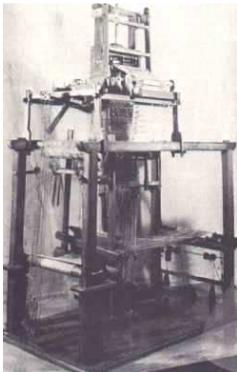


*Fig. 7 – Volta al cospetto di Napoleone*

Nel 1801 uscirono le *Disquisitiones arithmeticae* di K.F. Gauss. Esse costituirono una pietra miliare nello sviluppo dei metodi numerici: metodo dei minimi quadrati, metodo di eliminazione degli scarti quadratici e integrazione numerica.

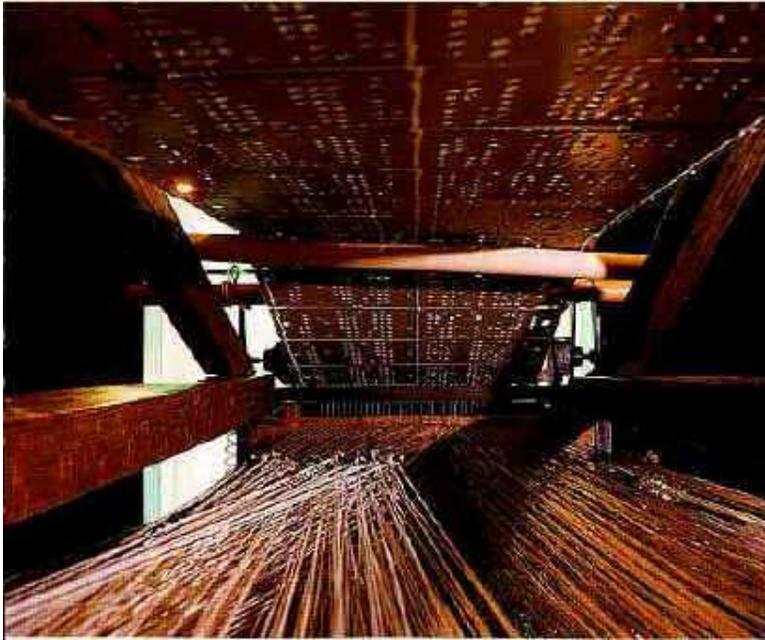
Nel 1804 entrarono in funzione le schede perforate, già note dal 1728, per il funzionamento automatico dei telai Jacquard (Fig. 8). In base ai fori delle schede veniva disegnata la trama del tessuto (Fig. 9). Come già detto è evidente l'analogia tra queste macchine e gli elaboratori odierni che eseguono il codice di un programma.

Nei dieci anni successivi furono prodotti più di 100'000 macchine e le schede perforate restarono in uso nei telai fino agli anni Ottanta del ventesimo secolo.



*Fig. 8 - Telaio di Joseph Marie Jacquard*





*Fig. 9 - Particolare di un telaio*

Come vedremo con il XIX secolo si entrò in un'epoca in cui le macchine calcolatrici non erano più solo il risultato di una ricerca scientifica, in un certo senso fine a sé stessa, o il prodotto del gusto dell'invenzione e della scoperta, caratteristico di tanti uomini di scienza, ma divennero veri e propri prodotti industriali: ciò, evidentemente, ebbe una notevole importanza sotto molti aspetti, primo tra tutti quello che riguardava la diffusione delle macchine calcolatrici così prodotte.

### **L'aritmometro di Colmar**

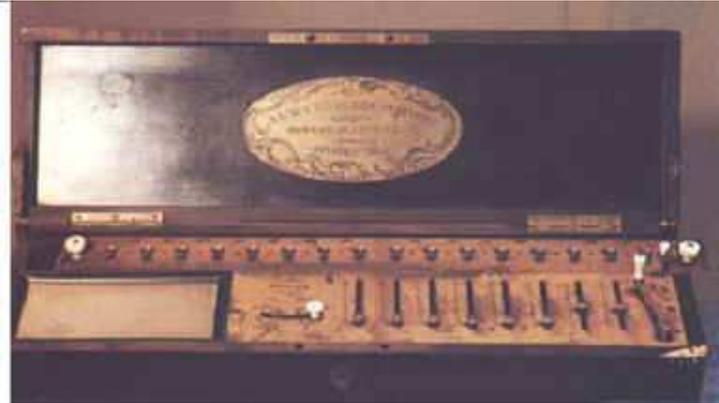
La prima di questa nuova serie di macchine fu l'"aritmometro di Colmar" (Fig. 10) la cui realizzazione, iniziata nel 1820, venne conclusa, per le stesse difficoltà incontrate precedentemente da Pascal, relativamente al reperimento degli artigiani in grado di procedere alla corretta fabbricazione dei componenti, solo nel 1822.

Progettista di questa calcolatrice fu un assicuratore alsaziano, Charles-Xavier Thomas, noto come Thomas de Colmar. Bisogna notare come non si trattasse più, dunque, come già detto, di una idea frutto del lavoro di ricerca di un geniale matematico o ingegnere come era avvenuto fino a quel momento, ma del prodotto di chi, avendo chiare le idee sul futuro commerciale di una invenzione del genere, vi si dedicò con intuito imprenditoriale.

Il primo brevetto ottenuto da Thomas de Colmar è del 18 novembre 1820. Altri brevetti vennero depositati successivamente, man mano che all'aritmometro venivano apportate modifiche e miglioramenti. Il primo modello della macchina aveva una capacità di calcolo molto limitata, appena tre cifre come input e sei per il totalizzatore, ma poteva effettuare tutte e quattro le operazioni. Nei modelli prodotti successivamente l'aritmometro giunse a poter trattare numeri fino a trenta cifre.



Tra il 1823 e il 1878 vennero fabbricati oltre 1'500 esemplari della macchina di Thomas de Colmar e la loro produzione avvenne sotto l'attento controllo dell'inventore stesso, dei figli e dei nipoti. Si tratta di una macchina che segnò un momento nuovo nella storia degli strumenti di calcolo, sia per le particolari caratteristiche tecniche ed operative, sia perché rappresentò il primo esempio di prodotto industriale nel campo degli strumenti utilizzabili in quello che sarebbe in seguito stato chiamato "lavoro d'ufficio".



*Fig. 10 – Aritmometro di Colmar*

Non mancarono, tuttavia, a fianco dei consensi ed apprezzamenti che accompagnarono la vita dell'aritmometro, le voci di dissenso che ne sottolineavano la complessità d'uso che si traduceva in una scarsa affidabilità dello strumento per la possibilità che avvenissero errori nel corso del suo funzionamento.

### **Charles Babbage**

Nel 1822 Charles Babbage (Fig. 11) propose lo sviluppo della macchina in un articolo inviato alla Royal Astronomical Society il 14 giugno e dal titolo "Note on the application of machinery to the computation of very big mathematical tables" per il quale ricevette la medaglia d'oro della Reale Società Astronomica.



*Fig. 11 – Charles Babbage*

La sua prima macchina, il "Differential Engine", nacque, infatti, dall'esigenza di calcolare tavole astronomiche dove, per la precisione richiesta, Babbage pensò anche ad un sistema di stampa per evitare errori umani di trascrizione.



All'epoca di Babbage per realizzare tabelle matematiche dei logaritmi e di funzioni trigonometriche lavoravano squadre di matematici giorno e notte. Fu per questo motivo che a Babbage venne l'idea di progettare una macchina che svolgesse automaticamente quell'arduo compito.

La macchina era formata da un certo numero di colonne numerate da 1 a N. Ogni colonna era in grado di memorizzare un numero decimale. L'unica operazione che la macchina era in grado di fare è l'addizione del valore presente nella  $n + 1$  con quello nella colonna  $n$  immettendo il risultato nella colonna  $n$ . La colonna N poteva memorizzare solo delle costanti, la colonna 1 mostrava il risultato e se presente la stampante ne permetteva la stampa su carta.

L'idea di stampare i risultati era sicuramente rivoluzionaria, tuttavia Babbage riteneva che la tecnologia della sua epoca non fosse sufficientemente sofisticata da poter realizzare il suo progetto.

La macchina era programmata mettendo i valori iniziali nelle colonne. La colonna 1 veniva regolata con il valore di partenza del polinomio. La colonna 2 con il valore della prima derivata del polinomio nel punto X. Le colonne successive contenevano i valori delle derivate successive sempre nello stesso punto. Contrariamente a quanto era avvenuto fino ad allora, Babbage dunque non si proponeva tanto di realizzare delle macchine calcolatrici in grado di eseguire semplicemente le 4 operazioni, ma dei calcolatori concettualmente simili a quelli moderni in grado di eseguire sequenze di operazioni in base a un programma.

Seguendo i disegni del 1849 è stato costruito un modello della macchina custodito presso il Museo della Scienza di Londra (Fig. 12)



Fig. 12 – Ricostruzione del Differential Engine



Il dispositivo funziona perfettamente e mette in evidenza la genialità del progetto di Babbage. Costruito in ferro, ottone e acciaio, è composto da 4.000 parti e pesa oltre 3 tonnellate. Gli ingegneri del museo stanno ancora espandendone le funzionalità e nel 2002 è stata aggiunta la parte relativa alla stampa, in perfetto accordo coi disegni di Babbage. Il dispositivo svolse il suo primo ciclo di calcolo nel 1990 e restituì un risultato di 31 cifre di precisione, che è molto di più di quanto possa fare una calcolatrice standard tascabile.

Come già accennato Babbage progettò anche un'altra macchina detta "Analytical Engine", più veloce e precisa del modello precedente. Si trattava di un primo modello di calcolatore automatico, quindi qualcosa di molto più generale della Differential Engine, ma che rimase allo stadio di progetto per le notevoli difficoltà nel realizzare i pezzi meccanici necessari e per lo scarso interesse dei possibili finanziatori. In compenso l'inventore stesso spese molti dei suoi soldi per portare avanti comunque l'ambizioso protetto.

Il dispositivo era di una notevole complessità e di grandi dimensioni strutturali: basti pensare che richiedeva l'assemblaggio di 25.000 parti, e la macchina completa sarebbe stata alta circa due metri e mezzo, larga due metri e profonda uno, con un peso di varie tonnellate. L'esperienza dello sviluppo di quest'ultima gli aveva permesso di migliorare il progetto della macchina differenziale e di sviluppare una seconda versione della "Differential Engine" tra il 1847 e il 1849.

Questa Analytical Engine fu pensata con l'intento di sfruttare in input le schede perforate di Jacquard, in modo da controllare i calcoli automaticamente e in modo da poter prendere decisioni basate su risultati precedenti e, come output, avrebbe dovuto avere una stampante, un plotter e una campana. Doveva avere un luogo di "immagazzinaggio dati" (quella che oggi chiamiamo comunemente memoria) in grado di contenere 1000 numeri di 50 cifre l'uno (sarebbe dovuta essere di circa 20,7 kB. Una unità aritmetica (che Babbage chiamava "mill") avrebbe avuto il compito di effettuare le quattro operazioni matematiche, confronti e, opzionalmente, radici quadrate. Proprio come una CPU odierna, l'unità aritmetica avrebbe usato le sue procedure interne, conservate in forma di pioli inseriti in una batteria rotante, per svolgere le istruzioni più complicate che l'utilizzatore poteva dare. Il linguaggio di programmazione usato dagli utenti era simile a quello che oggi è Assembly. Sarebbe stato possibile descrivere cicli e salti condizionati, rendendo questo linguaggio "Touring-complete" molto prima che lo stesso concetto nascesse.

Nel 1843 Ada King contessa di Lovelace, figlia del famoso Lord Byron, studiò l'Analytical Engine di Babbage, traducendo alcuni schemi di Luigi Menabrea. Ada intuì l'idea di "ciclo", ovvero una sequenza ripetitiva di passi, e di "sottoprogramma". Stimolata da queste intuizioni iniziò un intenso scambio epistolare con Babbage, contribuendo con i suoi appunti a ipotizzare una macchina in grado di operare tramite programma, per questo viene considerata la prima programmatrice ed a lei è stato dedicato un linguaggio di programmazione degli anni 1970-80.

### George Boole

Nacque così, implicitamente, la relazione tra matematica e logica che venne esplicitata pubblicamente da George Boole nel 1847 nel suo articolo "An investigation on the Law of

Thought”. Con quest’opera Boole dimostrò che la logica, così come era stata definita da Aristotele, poteva essere trattata così come venivano trattate le relazioni algebriche. Ciò veniva sancito con le parole “we ought no longer to associate Logic and Metaphysics, but Logic and Mathematics”. Qui si trovano, quindi, i rapporti tra logica e matematica che saranno le basi della cosiddetta “algebra booleana” usata nei circuiti dei calcolatori.

Questo portò ad una rottura con la matematica tradizionale, dimostrando per la prima volta che la logica era parte della filosofia ma anche della matematica; prima d’allora i concetti di “and”, “or” e “not” non erano mai stati applicati al campo matematico. Boole quindi sembrò quasi anticipare quelli che, un secolo più tardi, furono i percorsi sui quali si avviò la ricerca e la progettazione di nuovi dispositivi di calcolo (i calcolatori elettronici), percorsi che diedero modo ai progettisti di tali dispositivi di disporre di strumenti e tecniche di grande interesse per la loro intrinseca potenzialità di sviluppo. È evidente che questa volta non si parla di una macchina mai costruita prima, ma piuttosto di una idea rivoluzionaria di un grande matematico.

L’idea della logica booleana era molto semplice, sostanzialmente essa assegnava il valore numerico 0 al “falso” e l’1 al “vero” e interpretava la connessione tra questi in base alle operazioni algebriche.

### **Hermann Hollerith**

La logica booleana non venne tenuta molto in considerazione all’epoca e l’unica macchina lontanamente associabile all’uso di tale logica apparve nel 1890 in occasione del censimento federale, negli USA, per merito dell’ingegnere Hermann Hollerith.

Hermann nacque nel 1860 a Buffalo da genitori immigrati tedeschi. Frequentò il college a New York e poi continuò gli studi iscrivendosi al corso di laurea di Ingegneria Mineraria alla Columbia University. Dopo la laurea rimase all’università come assistente del professore Trowbridge, il quale portò il giovane Hollerith all’ufficio del censo americano, che stava ancora preparando il censimento del 1880, e cercavano persone con una certa esperienza statistica, un ruolo perfetto per il giovane studente. Al censimento, Hermann, conobbe John Billings che, per primo, gli suggerì che un mezzo meccanico e automatizzato doveva essere inventato per contare gli innumerevoli dati del censimento.

Dopo il censimento Hollerith lavorò come professore di Ingegneria Meccanica presso il Massachusetts Institute of Technology di Boston; in seguito si trasferì a St. Louis in Missouri, dove sperimentò sistemi di frenatura ferroviaria. In un viaggio sul treno verso Washington DC, Hollerith, guardando il controllore mentre osservava i biglietti dei passeggeri, ebbe l’intuizione che per risolvere il problema del censimento si dovevano usare schede perforate.

Nel 1884 Hermann, tornato a Washington, lavorò per l’Ufficio Brevetti degli Stati Uniti, mentre durante il suo tempo libero cominciò a costruire una macchina tabulatrice, sperando di portarla a compimento in tempo per il censimento del 1890. La sua invenzione dovette competere con altre due ma fu vincitrice poichè molto più veloce delle concorrenti.

La macchina tabulatrice aveva come base l'idea delle schede perforate di Charles Babbage, ma in questo caso le schede non specificavano il programma, bensì gli input e gli output. Ogni scheda rappresentava delle risposte (per esempio "maschio" poteva essere rappresentato da una perforazione e "femmina" dalla mancanza di perforazione) usando un particolare codice (chiamato "codice Hollerith"). La macchina era collegata ad un circuito elettrico che veniva acceso o spento a seconda della presenza o meno dei buchi nelle schede. In particolare una scheda era divisa in 288 zone che rappresentavano i dati anagrafici. Per decodificare queste informazioni si sovrapponeva ad ogni scheda un apparecchio con una batteria di aghi retrattili, che in assenza di perforazione venivano fermati dal cartoncino, altrimenti l'ago finiva in una vaschetta piena di mercurio chiudendo, così, il circuito. La corrente passava in un filo, azionando un relè, che faceva avanzare di uno scatto uno dei 40 contatori che servivano per registrare le diverse risposte di un utente.

Nel 1890, usando questa invenzione come tesi, Hermann vinse un dottorato di ricerca nella Columbia University. Hermann lavorò per il censimento fino al 1896 quando fondò la propria azienda, la "Tabulating Machine Company" che, dopo varie fusioni e cambiamenti di nome, diventò nel 1924 la International Business Machines Corporation, meglio conosciuta come IBM.

## Il Novecento

Il Novecento è il secolo dell'ingresso del calcolatore nel mondo del lavoro. In questo secolo, come già detto, viene fondata la IBM, destinata ad essere, talvolta attraverso pesanti vicissitudini, la più importante industria di computer del mondo sino ai giorni nostri.

La tecnologia delle macchine di calcolo prodotte all'inizio del secolo era la tecnologia meccanografica. Esistevano infatti all'interno delle grosse organizzazioni dei centri meccanografici che erano attrezzati con una serie di macchine diverse, fra le quali: la perforatrice per tradurre documenti in schede perforate mediante un apposito codice (il codice di Hollerith); la verificatrice che controllava la qualità del lavoro fatto dalla perforatrice; la selezionatrice per ordinare le schede, per esempio in ordine alfabetico o numerico; la calcolatrice per eseguire calcoli numerici sui dati letti dalle schede perforate e per perforare i risultati su altre schede; la tabulatrice per stampare i risultati in chiaro.

Con queste macchine si eseguivano calcoli ad una discreta velocità per quei tempi, dell'ordine di circa 60 operazioni al minuto. Tuttavia la loro gestione era molto complessa, come si può intuire dalla precedente descrizione, inoltre si trattava di macchine idonee all'esecuzione di operazioni su serie di dati, qualcosa di ancora molto lontano dalle funzionalità che oggi siamo abituati a trovare nei nostri computer.

Questa tecnologia ha subito una evoluzione che possiamo dire lenta (rispetto a quella a cui siamo abituati oggi) sino ad arrivare, verso il 1940, a delle macchine di tipo elettromeccanico in grado di riunire le funzionalità dei diversi componenti meccanografici. In queste macchine ricompare in modo elementare il concetto di programma come serie di istruzioni preordinate da eseguire in successione.

Le istruzioni venivano somministrate sottoforma di codici perforati su una banda di carta, in modo analogo a quello prefigurato per la macchina di Babbage. Si parla in tal caso di calcolatrici elettromeccaniche a "programma esterno".

### Le innovazioni scientifiche

Il primo ventennio del secolo fu caratterizzato, più che da nuove macchine, da alcune tra le scoperte scientifiche più geniali della storia.

Nel 1900 Max Planck (1858 – 1947) postulò la quantificazione dell'energia. Questa teoria diventò, inutile dirlo, molto importante, in seguito, per lo sviluppo dei microprocessori. La meccanica quantistica, insieme alle teorie della relatività di Albert Einstein, rivoluzionò tutta la fisica degli anni successivi, introducendo un concetto assolutamente nuovo e impensabile per gli scienziati del 1800: il principio di indeterminazione. La fisica di Newton restava comunque valida per il macrocosmo e per il nostro mondo reale, ma ben diverse apparivano le cose da un punto di vista cosmico (relatività dello spazio-tempo) e dal punto di vista microscopico (particelle di cui non è possibile determinare precisamente posizione o velocità).

Pochi anni dopo, attorno al 1904, Sir John Fleming, un ingegnere inglese, brevettò la valvola diodo sotto vuoto (Fig. 13) che migliorò notevolmente le comunicazioni radio. Fleming informò

immediatamente Guglielmo Marconi di questo nuovo dispositivo ed egli lo mise subito in produzione.



*Fig. 13 - Valvola di Fleming*

Ma è nel 1905 che si ebbe lo sviluppo forse più importante del secolo. In quell'anno il fisico tedesco Albert Einstein (1879 – 1955) descrisse la sua teoria della relatività. Pubblicò una memoria, infatti, nella quale espose i principi della sua teoria della relatività ristretta che sconvolse le concezioni della fisica classica gettando le basi per una nuova impostazione delle ricerche scientifiche: la teoria si basa sul principio che le leggi fisiche devono essere le stesse per ogni sistema di riferimento inerziale e che la velocità della luce nel vuoto è una costante ed è indipendente da quella della sorgente luminosa. La conseguenza più importante, che, tra l'altro, ha favorito la scoperta e l'utilizzazione dell'energia nucleare, fu quella dell'equivalenza tra massa ed energia espressa dalla celebre formula  $E=mc^2$ , dove "E" rappresenta l'energia, "m" la massa e "c" la velocità della luce nel vuoto. Formulò anche una nuova teoria della luce basata sull'ipotesi che le radiazioni elettromagnetiche che compongono la luce sono costituite da quanti di energia, chiamati poi da Compton "fotoni".

L'anno successivo l'americano Lee de Forest (1873 – 1961) aggiunse un terzo elettrodo al diodo di Fleming creando così la prima valvola triodo. Il triodo fu principalmente impiegato negli amplificatori, ma servì altrettanto bene come commutatore elettronico, rimpiazzando i relay elettromeccanici. Senza questa invenzione sarebbe stato impensabile progettare elaboratori elettronici digitali.

### **Il Comptator**

Nel 1909, in Germania, comparve il precursore dei calcolatori digitali portatili, il Comptator (fig. 14), inventato da Hans Sabelny. I suoi ingranaggi di conteggio erano guidati da una slitta operata con uno stilo.

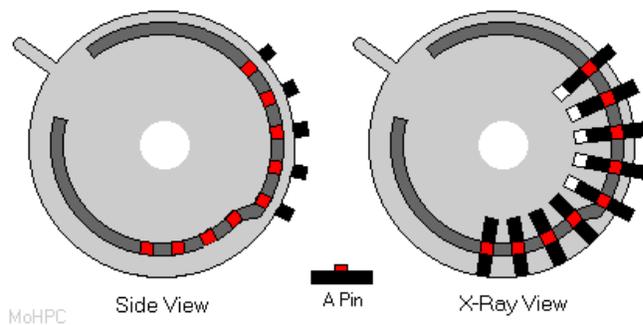




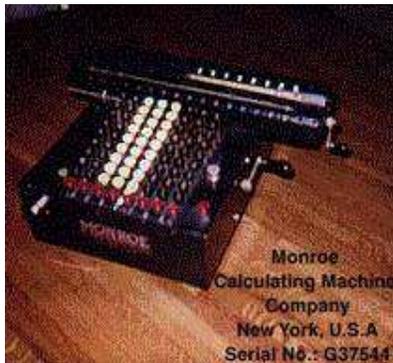
Fig. 14 - Comptator

Una leva sul lato sinistro serviva a trattenere le figure in posizione per il controllo visivo delle cifre (che nella figura 14 indicherebbero il valore 42 451 22). Le sottrazioni avvenivano per somme di complementi, indicati sui lati. La manopola a destra serviva per riazzere il risultato.

Nel 1932 costava 125 marchi tedeschi e ne furono prodotti più di 20'000 esemplari. Nel secondo decennio del secolo poi l'americano Frank Stephen Baldwin (1838 – 1925) realizzò vari modelli di calcolatrici basati sul principio della ruota a spine:



ma la prima operazione commerciale di una certa rilevanza avvenne soltanto quando, riunendo gli sforzi con Jay Randolph Monroe per realizzare anche una tastiera adatta alla macchina, fondò, in New Jersey, la Monroe Calculating Machine Co.



*Fig. 15 – Calcolatrice della Monroe*

Dieci anni più tardi Monroe veniva già considerato uno dei pionieri delle calcolatrici elettromeccaniche.

Quasi contemporaneamente, sempre in America, Eccles e Jordan, due fisici, inventarono il circuito di commutazione detto “Flip-flop electronic switching” per aumentare la velocità dei sistemi di calcolo elettronico.

In Europa intanto F. de Saussure pubblica, a Parigi, il “Corso di linguistica generale”: nasce così la linguistica strutturalista che è a fondamento dei linguaggi dei calcolatori.

Di certo per una persona contemporanea questi piccoli passi storici potrebbero non rappresentare eventi significativi, tuttavia è importante cercare di osservare la storia “dall’alto” e notare come tutti questi piccoli passi facciano convergere discipline ed esigenze diverse verso una comune soluzione: un elaboratore in grado di svolgere calcoli sempre più rapidamente e in modo automatico.

### **Il primo nastro magnetico**

Nel 1928 il tedesco Fritz Pleumer brevettò il suo nastro magnetico: i dati potevano così essere registrati e rilette. L’invenzione si basava sul famoso filo magnetico, inventato da Valdemar Poulsen nel 1898.

Pochi anni più tardi, nel 1932, l’austriaco G. Taushek, sulla base dei principi scoperti da Pleumer, inventò il “Tamburo magnetico” (fig. 16). Questo consisteva di una lastra ferromagnetica posta su un cilindro metallico rotante; diverse testine di lettura e scrittura erano montate distanti pochi millimetri tra loro e producevano impulsi elettromagnetici. Questi impulsi potevano così essere memorizzati sulla lastra, variando l’orientamento magnetico delle particelle di ferro.





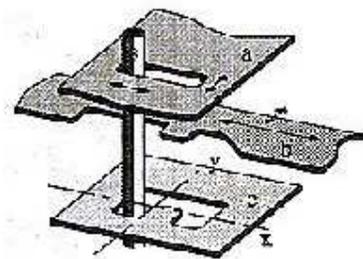
*Fig. 16 – Tamburo magnetico. La capacità di un tamburo di 20cm di lunghezza per 10cm di diametro era di 500 mila bit.*

### **Touring e Zuse**

Successivamente il logico inglese Alan Touring enunciò il modello del calcolatore moderno, la cosiddetta “macchina di Touring”. Essa era in grado di eseguire “atti primitivi” secondo uno schema di calcolo ricorsivo, che consentiva di risolvere ogni tipo di problema di logica simbolica in un numero finito di passi. Non ne furono costruiti esemplari reali, ma la sua idea costituirà la base dell’architettura dei futuri computer.

Nel 1936, in Germania, Konrad Zuse iniziò la costruzione, nella sua camera da letto (e successivamente nel soggiorno), della macchina logica “V1” (successivamente ribattezzata “Z1” per evitare qualsiasi riferimento ai tristemente noti razzi tedeschi). Si trattava di un primo progetto di calcolatore meccanico realizzato artigianalmente dallo stesso Zuse, a sue spese e con mezzi assolutamente rudimentali.

Le caratteristiche di questa macchina erano eccezionali, considerando che alla base di ogni unità c’erano solamente parti meccaniche. Lo Z1 era composto da: un’unità ad alta prestazione per la rappresentazione semi-logaritmica di numeri binari a virgola mobile, che doveva consentirgli di calcolare sia numeri molto piccoli che numeri molto grandi, con sufficiente precisione; un’unità per addizioni, ad alte prestazioni, con riporto a singolo passo e gestione della precisione aritmetica; memoria nella quale ciascuna cella potesse essere indirizzata dal nastro perforato e potesse immagazzinare dati arbitrari, questa memoria era di 64 word, dove ciascuna word conteneva 22 bit; un’unità di controllo per la supervisione dell’intera macchina, con aggiunta dei dispositivi di input e output e traduzione da binario a decimale e viceversa

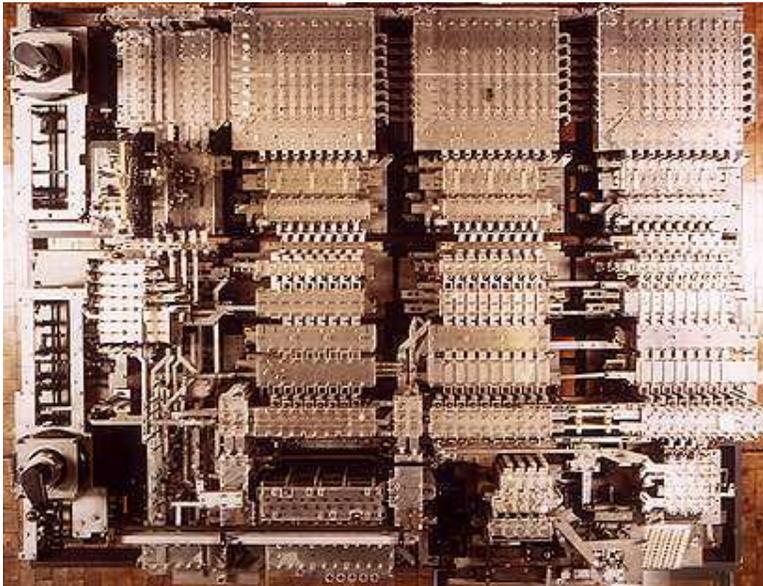


*Fig. 17 - Un bit di memoria era realizzato con queste 3 piastre metalliche*



Lo Z1 non usava relay, ma solamente piastre metalliche molto sottili. L'unica parte elettrica serviva per fornire un clock di 1 hertz.

Il prototipo rappresentò la prima macchina al mondo basata sul codice binario e completamente programmabile. Zuse era convinto che programmi composti da combinazioni di bit potevano essere memorizzati e chiese un brevetto in Germania per l'esecuzione automatica di calcoli, inclusa una combinazione di memoria.



*Fig. 18 - La vista dall'alto dello Z1 con i suoi 30'000 componenti richiama sicuramente gli schemi dei moderni chip.*

### **Gli Stati Uniti e lo sviluppo "militare"**

Quasi contemporaneamente, negli States, l'americano George Stibitz realizzò, presso i Bell Laboratories di New York, un calcolatore dimostrativo battezzato, dalla moglie, "K-Model", dove la "k" sta per "kitchen" poiché lo aveva inizialmente costruito sul tavolo della cucina, sviluppando un circuito basato sulla logica binaria di Boole e che utilizzava dei relay: fu uno dei primi esempi di computer a base numerica binaria.

Sempre negli Stati Uniti, con la tesi di laurea su "Un'analisi simbolica dei relè e dei circuiti di commutazione", C. E. Shannon dimostrò che complicati circuiti, se disegnati in accordo con le regole Booleane, potevano essere utilizzati per realizzarne la logica.

Shannon spiega, quindi, che si potevano svolgere espressioni e calcoli allo stesso modo. Apparve chiaro a tutti che le informazioni potevano così essere manipolate da una macchina, questo ebbe un impatto enorme sull'evoluzione del calcolo scientifico e segnò un'importante svolta nel progresso dei computer.

Howard Aiken, comandante della Marina Militare Statunitense, laureato in fisica ad Harvard, sviluppò, così, un piano per una macchina che esegua comandi passo dopo passo. Per farlo avvicinò James Brice della IBM per discutere su come risolvere calcoli di fisica con computer



automatici. Fu in questo modo che nacque l'Automatic Sequence Controlled Calculator (ASCC) della IBM, chiamato poi MARK I (Fig. 19).

Le istruzioni erano alimentate su nastro di carta o schede o impostate con interruttori. I numeri su cui le istruzioni dovevano operare venivano memorizzati in registri.



*Fig. 19 - Il MARK I è un computer elettromeccanico: le sue operazioni di base sono svolte da parti meccaniche controllate elettricamente da circa 3'000 relay.*

Anche se ormai obsoleto per quell'epoca, divenne operativo ad Harvard nel 1944 ed operò per più di 15 anni, producendo importanti tabelle matematiche. Mentre MARK I risolveva problemi matematici per la Marina degli Stati Uniti, vennero fatti progetti per una macchina che abbandonasse la meccanica per passare alla elaborazione elettronica dei dati.

Tuttavia quando, nel maggio del 1944, il MARK I fu presentato al pubblico, dopo essere stato smantellato dalla IBM nel '43, Aiken "dimenticò" di citare il contributo di IBM e lo stesso fatto che la IBM aveva generosamente donato il ASCC ad Harvard. L'incidente fece cessare la collaborazione tra Harvard e la IBM stessa.

Negli ultimi anni Aiken fu quindi aiutato da una giovane studentessa, Mrs. Grace Murray Hopper (Fig. 20), che entrò a far parte della Riserva della Marina nel 1943. Con l'aiuto della Hopper, Aiken completò la costruzione del MARK I e dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale, sempre la Hopper lo aiuterà per il MARK II, finito nel 1947 ed ancora per il MARK III, fino a quando lascerà Aiken e Harvard nel 1949 per unirsi ad Eckert e Mauchly nella costruzione di UNIVAC I.





*Fig. 20 – Grace Hopper*

Grace Murray Hopper è anche nota per aver coniato il termine “bug” per un errore del MARK I, dovuto proprio ad un insetto che aveva mandato in crisi un circuito, per aver inventato il linguaggio APT e per aver verificato, nel 1960, la prima versione del linguaggio COBOL per l’UNIVAC.

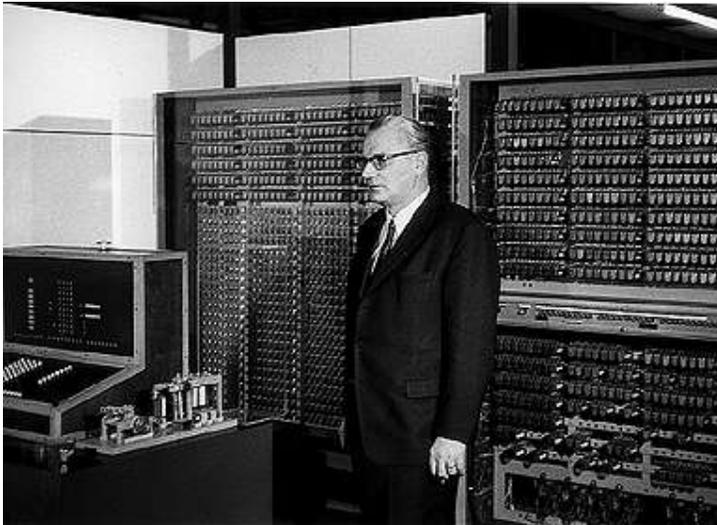
Gli anni dal 1940 in poi, segnarono un importante progresso nella storia del calcolo scientifico. Con lo scoppio della Seconda Guerra Mondiale, infatti, anche il progresso nell’area dei computer e del calcolo subì degli sconvolgimenti. Per colpa della guerra alcuni progetti andarono distrutti o abbandonati, tuttavia le esigenze strategiche e militari diedero impulso a nuovi tipi di ricerche e di macchine.

Nel 1940 il gruppo di ricercatori diretto da George Stibitz produsse svariati calcolatori tra i quali il primo, chiamato “Complex Computer”, impiegava 9'000 relay telefonici e venne ultimato proprio in quell’anno. Questa macchina veniva usata per eseguire moltiplicazioni e divisioni di numeri complessi; poteva svolgere una somma o sottrazione ogni tre decimi di secondo. Le routine e le istruzioni di programma venivano immesse nel calcolatore tramite nastro perforato, inoltre al computer potevano essere collegate sei telescriventi per inserire o stampare i dati. La velocità era variabile, ma le operazioni al secondo, per via dei relè, non potevano superare i 5,3 Hz. Il sistema possedeva anche una certa forma di time-sharing o, per meglio dire, parallelismo d’elaborazione, infatti poteva gestire il multi processing associando una serie di computer per risolvere vari problemi contemporaneamente.



Nello stesso periodo Konrad Zuse, dopo i modelli sperimentali Z1 e Z2 di cui non fu soddisfatto per la scarsa affidabilità, completò un modello realmente operativo: lo Z3. Questo può essere considerato il primo computer automatico elettromeccanico perfettamente funzionante e con discreta affidabilità; utilizzava il sistema a numerazione binaria e poteva eseguire operazioni a virgola mobile.

La possibilità di essere controllato da un programma basato sul sistema binario pensato da Leibniz era un aspetto tipico dello Z3, esso infatti fu sicuramente il primo computer binario operativo al mondo.



*Fig. 21 - Zuse con lo Z3 ricostruito nel 1961. A sinistra la memoria. A destra l'unità aritmetica.*

Per programmarlo, Zuse, assunse un matematico, Arnold Fast, che viveva nell'istituto per ciechi di Berlino. Amareggiato per non poter essere utile nella guerra in corso per via della sua cecità, si dedicò con passione al nuovo incarico. Zuse e Fast, assieme, svilupparono quindi lo Z3 e, successivamente, anche lo Z4. Arnold Fast è considerato il primo programmatore professionista al mondo.

Zuse ricostruì lo Z3 nella sua azienda, la "Zuse KG Company", nel 1961 per dimostrare le reali prestazioni della sua macchina, giustificarne il brevetto e mostrare la sua "creatura" al mondo intero.

Zuse proseguì poi con una lunga serie di nuovi progetti e nuovi computers, tra questi progetti spiccava la scrittura di un programma per il gioco degli scacchi effettuata utilizzando un linguaggio inventato da lui stesso, il "Plankakuel", un linguaggio di alto livello per il quale nessun compilatore fu disponibile fino al 1990. Lo stesso programma venne poi sviluppato dal gruppo del professor Rojas del FUB in Germania usando Java nel maggio 2000.

Attorno al 1943 J.W. Mauchly e John Eckert pensarono che un calcolatore digitale poteva calcolare molto più rapidamente le tabelle balistiche, rispetto ai computer elettromeccanici. Queste tabelle, indispensabili per ogni tipo di cannone e proiettile, erano necessarie ai soldati statunitensi poiché,



dopo la campagna di guerra del Nord Africa nel 1942, gli Alleati avevano capito che, a causa delle differenti caratteristiche e peculiarità del terreno, così diverso rispetto a quello americano, i tiri dell'artiglieria risultavano assai imprecisi. Allo stesso tempo, però, ricalcolare a mano tutte le precedenti tabelle era un'impresa a dir poco impossibile. Tanto per fare un esempio, per stilare una semplice tabella balistica occorreva calcolare dalle duemila alle quattromila traiettorie, ognuna delle quali richiedeva all'incirca 750 moltiplicazioni.

Ecco perché il contributo dell'"Eniac" fu importantissimo, in quanto destinato a calcolare una determinata traiettoria in appena 30 secondi contro le quasi venti ore necessarie ad un matematico con l'ausilio di una calcolatrice elettromeccanica.

### L'ENIAC

Nell'aprile del '43, tramite la Moore School of Engineering della Pennsylvania, Mauchly ed Eckert presentarono un memo che descrive un analizzatore elettronico che poteva calcolare le traiettorie e completare una tabella in soli due giorni. L'esercito degli Stati Uniti finanziò la macchina che venne costruita in segreto con l'impiego di circa 200'000 ore/uomo. La macchina si chiamava ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) e impiegava valvole elettroniche.

ENIAC era un gigante di circa 30 tonnellate di peso che non conteneva parti in movimento, ad esclusione degli ingranaggi di input/output, aveva più di 500'000 connessioni saldate, 18'000 valvole, 6'000 interruttori e 500 terminali.

I calcoli erano svolti generando impulsi elettronici ed opera secondo il sistema decimale. L'output era su schede perforate. Originariamente non conteneva una memoria interna però, durante la costruzione, l'idea venne discussa e infine la memoria venne aggiunta. L'ampiezza della sua parola numerica (word) era di 10 cifre decimali e poteva moltiplicare due numeri di questa ampiezza alla velocità di 300 risultati al secondo, trovando il valore di ciascun risultato in una tabella di moltiplicazioni registrata nella sua memoria. L'ENIAC, che venne completato nel 1945, era quindi circa 1'000 volte più veloce della precedente generazione di computer a relè, tuttavia soffriva anche di molti guasti a causa dell'enorme quantità di componenti relativamente affidabili che lo componevano.

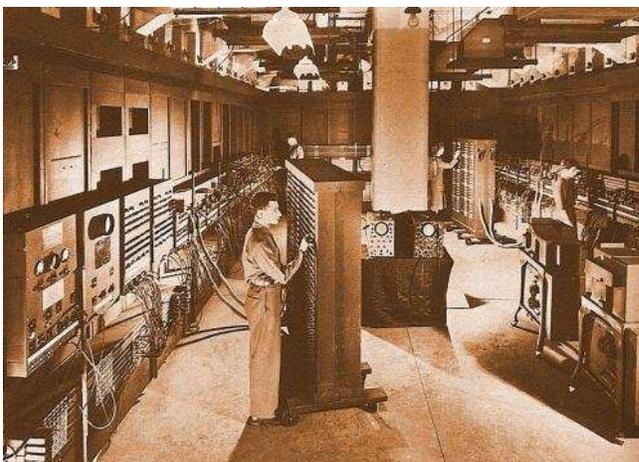


Fig. 22 - ENIAC



## Von Neumann

Nel 1943 partendo da un'analisi critica di ENIAC, John von Neumann approfondì le esigenze di un computer moderno, definendone l'architettura e sviluppando il primo calcolatore programmabile con memoria. Neumann era convinto che importanti benefici e flessibilità potevano essere ottenuti solamente scrivendo istruzioni di programma che permettevano modifiche dinamiche durante lo svolgimento del programma stesso, ciò avrebbe dovuto consentire all'hardware di diventare "intelligente".

Neumann risolse queste esigenze pensando ad un tipo speciale di istruzione, chiamata "conditional control transfer" (trasferimento condizionato del controllo), che consentiva di interrompere la sequenza del programma per riprenderne l'esecuzione da un punto qualsiasi delle istruzioni, memorizzando tutte le istruzioni insieme ai dati e nella stessa unità di memoria, cosicché le istruzioni potevano essere modificate aritmeticamente nello stesso modo dei dati.

Come risultato di questi ragionamenti e di altre tecniche, il calcolo scientifico computerizzato e la programmazione divennero più veloci e molto più efficienti. Le nuove istruzioni organizzate in subroutines erano in grado di svolgere elaborazioni molto più complesse. Le routines più utilizzate diventarono riusabili, evitando ai programmatori di riscriverle ogni volta.

I programmi potevano essere mantenuti intatti in apposite "librerie" e messi in memoria all'occorrenza prelevandoli da una memoria secondaria, come schede perforate o nastri. La memoria del computer generalizzato divenne così l'area di assemblaggio delle varie parti di programma.

La prima generazione di computer elettronici moderni e programmabili che trasse vantaggio da questi concetti apparve nel 1947 ed utilizzava la prima Random Access Memory che, generalmente, consisteva di 8'192 bytes. In quegli anni Neumann presentò anche l'idea di output grafico del calcolatore.

## Verso gli anni del transistor

Nel 1946 IBM sviluppò la macchina moltiplicatrice "603" che fu il primo calcolatore commerciale a valvole ad essere prodotto in serie. Questa produzione in massa (dove per "massa" si intende una ventina di esemplari) fu una delle prime risposte di IBM ad ENIAC, un progetto che li aveva superati e che loro non avevano intuito né previsto.

All'IBM venne quindi messo assieme un gruppo di persone per scrivere le specifiche per una macchina gigantesca, il SSEC (Selective Sequence Electronic Calculator). Il progetto del SSEC andò avanti giorno e notte, sette giorni alla settimana nel laboratorio IBM di Endicott e, congiuntamente all'elettronica, fu progettato anche un gruppo completo di unità periferiche: lettori di schede ad alta velocità, perforatori di nastro, perforatori di schede, console, unità di memoria e un pannello di comando da fare invidia a quello dell'ENIAC.



*Fig. 23 – SSEC. Venne ultimato nel gennaio del '48.*

Negli anni immediatamente seguenti John von Neumann e H. H. Goldstine gettarono le basi della programmazione per i calcolatori e G. B. Dantzig gettò le basi della “programmazione lineare” (che non va confusa con la programmazione dei calcolatori) ed enunciò il metodo del simpleso. Questo fu un importante strumento nel campo del calcolo scientifico, della ricerca operativa e nel campo d’applicazione dei calcolatori.

Tra il 1947 e il '48 venne introdotto il tamburo di memoria magnetica come dispositivo di memorizzazione dati nei computer ma, soprattutto, il 23 dicembre 1947, la direzione dei laboratori Bell venne informata da John Bardeen e Walter Brattain che insieme a Williak Shockley



avevano sviluppato il primo transistor. Il transistor aprì la strada alla seconda generazione di computer, anche se dovevano ancora essere fatte molte ricerche per mettere realmente i transistor in produzione e non ci vollero meno di 6 anni per farlo. La piccola dimensione, alta affidabilità e bassa dissipazione nonché il basso costo di produzione garantirono il successo del transistor che rese i computer mille volte più veloci di quelli precedenti.

Nel 1949 basandosi sull'idea di un computer a programma memorizzato, Eckert e Mauchly fondarono la compagnia UNIVAC per sviluppare l'UNIVAC-1 (UNIVersal Automatic Computer). Fu la prima compagnia che intendeva produrre computer su vasta scala e non più solamente per scopi scientifici o militari. Vennero prodotte 46 unità, vendute per più di un milione di dollari. Da questa macchina in poi l'uso di programmi cablati e implementati tramite interruttori venne considerata obsoleto.

L'UNIVAC era un computer decimale; ciascuna memoria aveva 100 word e in totale il sistema offriva 1000 word, ciascuna lunga 12 cifre decimali. C'erano 7 bit binari per ciascuna cifra, incluso un bit di parità, 2 bit per la codifica alfabetica e 4 bit per la rappresentazione di un numero decimale.

Questa macchina riceveva le istruzioni direttamente dal programma memorizzato su di essa: lo "Short Code" sviluppato per l'UNIVAC-1 fu sia il primo linguaggio interpretato che il primo linguaggio di tipo Assembly.

Nel '51 l'americano Jay Wright Forrester registrò un brevetto per la memoria a nuclei magnetici chiamato "Multicoordinate Digital Information Storage Device". Queste memorie erano composte da piccoli nuclei magnetici attraverso i quali venivano fatti passare quattro fili.

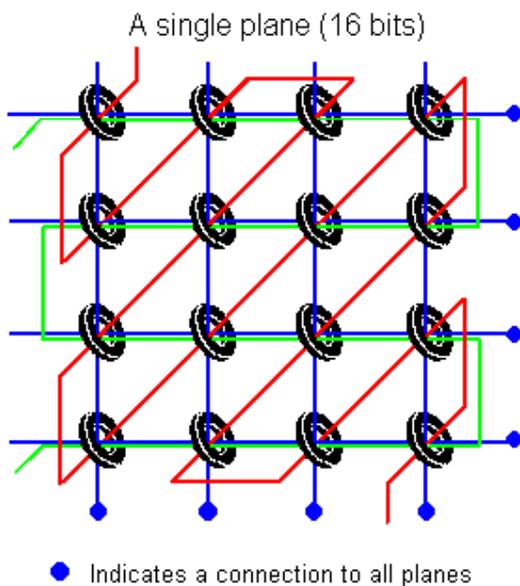


Fig. 24 – Memoria a nuclei magnetici (Schema)



I due fili incrociati (blu) servivano a cambiare la polarità di un nucleo. Per indirizzare il cambio di polarità di un nucleo lo si faceva attraversare da due correnti assieme che facevano variare il campo magnetico, dallo stato 0 allo stato 1 o viceversa.

La lettura della memoria era di tipo distruttivo, perché andava a cambiare la polarità del nucleo, che doveva essere rimesso nel suo stato originale.

In tutti i casi l'invenzione fu geniale perché si trattava di memorie non volatili (essendo basate sull'isteresi magnetica) ad alta velocità e sicuramente affidabili.

La costruzione dei piccoli nuclei e delle connessioni doveva essere fatta a mano e non si trattava certo di lavoro semplice, date le dimensioni e l'enorme numero che ne venne costruito negli anni a venire.

Fu del 1954 l'invenzione, in Texas Instruments, del transistor in silicio che ebbe l'obiettivo di ridurre i costi. L'anno seguente la IBM annunciò il "702", la prima macchina commerciale completamente costruita con transistor e messa sul mercato. L'ancora alto costo dei transistor ne decretò il flop ma la linea di sviluppo era ormai tracciata. Negli anni seguenti, infatti, vennero annunciati il "TRIDAC" e tre modelli sperimentali del MIT siglati "TX-O"; venne introdotto un UNIVAC a transistor, disegnato per scopi commerciali. Tutto questo segnò la nascita della seconda generazione di computer.

Nel 1956 l'IBM introdusse e iniziò le installazioni dei sistemi RAMAC (Random Access Method Of Accounting And Control) 305. Fu questo il primo passo per trasferire i dati dal supporto delle vecchie e ingombranti schede perforate alle unità a dischi magnetici. Il passaggio, inutile dirlo, fu rivoluzionario in quanto consentiva di eseguire operazioni di aggiunta, aggiornamento e cancellazione di record semplicemente riscrivendoli sul disco. Le schede, oltre ad essere ingombranti e pesanti, non consentivano accesso diretto ai dati, erano vincolate alle 80 colonne e non erano modificabili.

Il RAMAC 305, però, non fu la macchina che diede la spinta al passaggio da elaborazioni a schede verso sistemi a dischi o nastri magnetici. Questa macchina ebbe infatti un costo elevato, era particolarmente fragile e quindi soggetta a lunghi fermi di manutenzione e non era facile da programmare richiedendo, per l'impostazione di un lavoro, sia il caricamento di un programma ancora su schede sia l'impostazione di una serie di pannelli a spine estraibili.

L'unità disco consisteva in una pila di 50 dischi da 24", con una capacità totale di 5 o 10 milioni di caratteri (5 Mb o 10 Mb), che per i tempi era una enormità. La velocità di rotazione era di 1'200 giri al minuto. L'unità poteva avere uno o due bracci d'accesso e ogni braccio aveva una sola testina di lettura/scrittura.

Durante un'operazione di ricerca dati su disco, il braccio meccanico (comandato ad aria compressa) si doveva prima spostare verticalmente per raggiungere uno dei 50 dischi e poi orizzontalmente per andare alla pista voluta. I dati sono letti o scritti alla velocità di 22'500 caratteri al secondo e i tempi d'accesso sono mediamente di 500 millisecondi. Risulta evidente che

la “primitività” di questi meccanismi li rendesse fragilissimi e nel caso di rottura di una testina ci volevano alcuni giorni per la riparazione.

### La terza generazione di computers

Negli anni Sessanta la produzione di transistor iniziò ad aumentare esponenzialmente, i costi quindi diminuirono e il transistor iniziò ad essere sempre più usato. In questi anni si vide così apparire il LARC (Livermore Advance Research Computer) della Remington Rand (1960) che utilizzava ben 60'000 transistor e veniva usato per attività scientifiche. Venne introdotto anche un primo computer con monitor e tastiera, il PDP-1 (fig. 25) di Digital Equipment (1958) che costa circa 200'000 dollari.



Fig. 25 - PDP-1

Nel 1964 l'IBM annunciò il “System 360”: si arriva alla terza generazione di computer. I computer della serie 360 portavano due importanti cambiamenti nel modo di concepire i computer. Per prima cosa i dati venivano ora processati a “pacchetti” di 8 bit; fu anche la prima volta che si introdusse la parola “byte” per riferirsi ad 8 bit. Ma il cambiamento più importante stava nel fatto che questa fu la prima grande famiglia di computer a usare software e periferiche intercambiabili.

Nello stesso anno, tramite un progetto in comune tra IBM e General Motors, venne sviluppato il CAD (Computer Aided Design) ovvero si iniziò a intraprendere la strada, già aperta nel 1957, per la progettazione tecnica e il disegno attraverso l'utilizzo dei computer. Sempre all'interno della IBM viene costruito il primo floppy disk.

David Noble iniziò a sviluppare, nel 1967, la prima memoria su disco flessibile (floppy) per registrarvi il programma iniziale di controllo dei computer. L'Initial Control Program Load (ICPL) serviva per avviare l'attività del computer e due anni più tardi questo oggetto venne utilizzato proprio sui sistemi IBM 370.

Assieme allo sviluppo del floppy, IBM, portò avanti un altro progetto, rilasciato proprio nel '67, il 360/91 una macchina che introdusse il concetto di “pipeline”, per incrementare le prestazioni del



computer fino al 33%. Inoltre sulla serie 360, IBM, usò una cache memory super veloce. Questa memoria mostrò infatti d'essere fino a 12 volte più veloce delle memorie magnetiche standard avendo un tempo d'accesso medio di soli 80 nano secondi, veramente pochissimo per il periodo.

Nel 1969 gli sviluppatori della DATAPOINT, una società giapponese con sede anche negli USA, progettaronò una semplice combinazione di un processore e di una unità di calcolo (CPU). Sia la TEXAS Instrumens che la INTEL ricevettero l'invito a costruire questo dispositivo usando un singolo circuito integrato. La INTEL ci riuscì ma apparve subito evidente che il processore era 10 volte più lento di quanto la DATAPOINT si aspettasse. Questo più la bancarotta della stessa DATAPOINT causò l'interruzione del progetto. INTEL però mise comunque un gruppo di tecnici sotto la direzione di Marcian Ted Hoff a portare avanti il progetto, inventarono la CPU denominata Intel 4004 a 4 bit, il primo "ragnetto-processore".

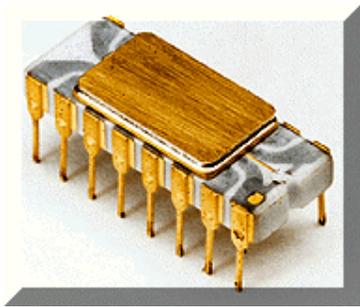


Fig. 26 – Intel 4004

Fu un passo realmente rivoluzionario, per la prima volta "un computer" stava in chip quadrati, la potenza di calcolo dell'ENIAC stava ora in pochi centimetri di spazio. Tuttavia Intel non capì subito a fondo le potenzialità di questo chip, o almeno così si dice, pensarono invece che sarebbe soprattutto servito a vendere più RAM, la loro specialità a quell'epoca. Il prezzo iniziale del 4004 era di 200 dollari e le applicazioni possibili erano veramente molte. La pubblicazione ufficiale avvenne il 15 novembre 1971 e diede inizio alla rivoluzione microelettronica.

Nel 1969 venne avviato anche un altro progetto che rivoluzionò il mondo, il Dipartimento della Difesa USA commissionò ARPANET (Advance Research Projects Agency Net) per ricerche sulle reti e i primi 4 nodi diventarono operativi ad UCLA, UC Santa Barbara, SRI e all'Università dello Utah. L'esperimento serviva a connettere vari centri di ricerca negli USA, tramite un sistema di comunicazione a commutazione di pacchetti (packet-switching network). Diventò la più grande rete mondiale, con milioni e milioni di persone collegate: INTERNET.



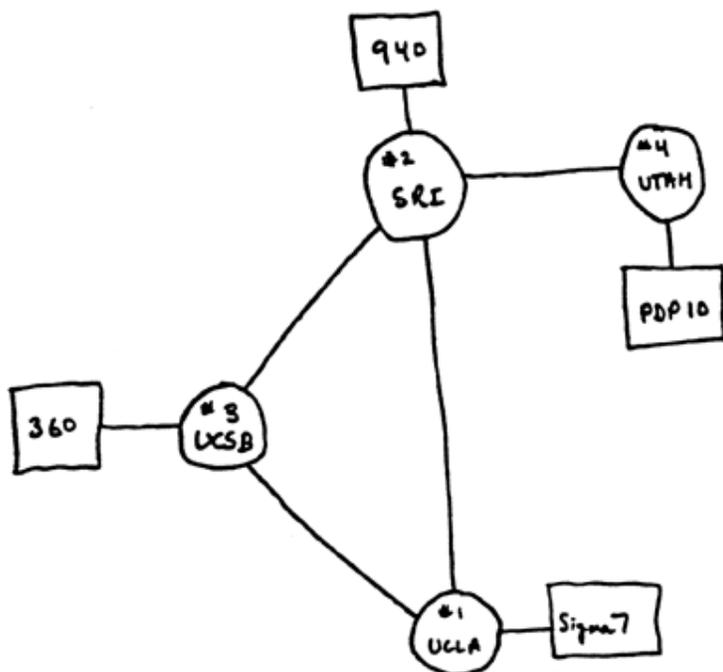


Fig. 27 - I primi 4 nodi di ARPANET, utilizzano mini computers con 12K di memoria

L'anno seguente all'ufficializzazione del microprocessore 4004, sempre INTEL mise sul mercato il microprocessore 8008 che aveva una velocità di 200KHz. Si può notare che la sigla 8008 è esattamente il doppio di 4004, questo rappresentava infatti il passaggio da 4 bit a 8 bit. L'INTEL 8008 è stato il primo microprocessore capace di riconoscere tutti i caratteri dell'alfabeto (lettere e numeri); aveva una velocità di 300'000 istruzioni al secondo e poteva indirizzare fino a 16Kb di memoria. Da questo momento in poi lo sviluppo tecnologico dei microprocessori e dei computers divenne sempre più veloce, basti pensare che nel 1976, ovvero solo 4 anni dopo la comparsa dell'INTEL 8008 erano disponibili sul mercato almeno 50 tipi diversi di microprocessori.

Nacquero anche Microsoft, fondata da Bill Gates e Paul Allen nel 1975, e Apple di Steve Jobs nel 1976. Proprio per i computer Apple, nel 1978, nacque VISICALC: il primo foglio di calcolo elettronico, il primo programma veramente utile per i personal computer dell'epoca. Nel suo primo anno di vita ne furono vendute 900'000 copie, inizialmente solo per Apple, poi anche per altri pc.

### Apple e le macchine grafiche

Fu del 1984 l'annuncio di Apple che riguardava il personal computer Macintosh. Si trattava della prima macchina interamente grafica, abbordabile come prezzo, anche se più cara di un pc IBM. Il monitor, in bianco e nero, era integrato con la CPU, la tastiera era povera di tasti ma efficace al tocco, come il mouse, che presenta un solo tasto. L'interfaccia grafica era semplice e completa, simulando una scrivania con le varie cartelle (in forma di icone), dispositivi di memorie (floppy e disco fisso) e cestino. Il successo di questa macchina fu indiscutibile, era una macchina diversa da



tutto ciò che c'era un circolazione tuttavia, contrariamente a tutti gli altri personal computer, Macintosh era una macchina chiusa.

Utilizzava un hardware fatto apposta, un suo sistema operativo e una serie di programmi e linguaggi di sviluppo completamente autonomi dagli altri computer. Queste caratteristiche protessero Apple, ma la penalizzarono anche per molti anni, fino a quando non sentì anche lei la necessità di aprirsi al resto del mondo consentendo lo scambio di informazioni.

Gli anni Ottanta furono segnati dalla presentazione, nel 1985, dell'Amiga 1000 e del sistema operativo Microsoft Windows che introduceva aspetti tipici del Macintosh nei computer DOS compatibili.

L'Amiga 1000 è stato uno dei computer più significativi nella storia dell'informatica, soprattutto per le sue innovative caratteristiche grafiche e sonore, tanto da essere stato definito il primo vero computer con caratteristiche multimediali avanzate.

L'Amiga 1000, inoltre, è stato il primo modello di una serie destinata a durare fino a circa metà degli anni novanta quando la Commodore finì in bancarotta.

Il nuovo computer basato sul microprocessore Motorola 68000 a 7.16 Mhz era dotato dei tre chip custom Agnus, Denise e Paula dedicati rispettivamente alla gestione della RAM e dell' I/O, della grafica e del suono, 256K di RAM, un floppy disk da 3,5 pollici da 880K, un sistema operativo multitasking a finestre e icone, oltre ad un sonoro e una grafica senza precedenti nel mondo dei personal computer.

L'Amiga 1000 non ebbe inizialmente un notevole successo commerciale in quanto risultava molto più costoso del suo diretto concorrente Atari ST che, sebbene non avesse tutte le caratteristiche avanzate dell'Amiga, veniva venduto al prezzo sicuramente più appetibile di 749 dollari.



*Fig. 28 – Amiga 1000*



Gli anni che vanno dal 1990 ai giorni nostri furono caratterizzati, sostanzialmente, più dal progresso nell'affinare la tecnologia esistente che nel crearne di nuove.

In pochi anni i transistor all'interno delle CPU aumentarono a dismisura, e così anche le frequenze e, quindi, la velocità di calcolo, tuttavia l'architettura di base rimase pressoché invariata, unica eccezione furono i computer basati su reti neurali e quelli quantistici che, però, sono ancora oggi in fase di progettazione e ricerca.

## Breve cronologia dei linguaggi di programmazione e dei sistemi operativi

### Dagli inizi a Unix

Il primo linguaggio di programmazione, nel senso moderno del termine, risale al 1946 e fu opera del già citato ingegnere tedesco Konrad Zuse. Il linguaggio si chiamava “Plankalkul” e si dice che Zuse lo sviluppò mentre stava nascosto sulle Alpi della Baviera in attesa della fine della Seconda Guerra Mondiale. Usò questo linguaggio come avversario nel gioco degli scacchi sul suo computer Z3, il linguaggio era, infatti, già in grado di gestire sia tabelle che strutture di dati.

Nel 1952 Grace Hopper iniziò lo sviluppo del compilatore A-O, noto anche come AT-3. A-O venne pubblicato nel 1957 col nome “Math-Matic” e iniziò così l’utilizzo di un primo linguaggio di programmazione comunemente conosciuto; basandosi sul linguaggio A-O, IBM inizia già nel 1954 lo sviluppo del FORTRAN, pubblicato anch’esso nel ’57. L’uso primario del linguaggio era per calcolare espressioni matematiche e, tra le sue doti, vantava una grande semplicità nelle funzioni di input/output nonché un’elegante e succinta codifica. Questi aspetti fecero sì che FORTRAN diventasse il primo linguaggio commerciale di alto livello.

### COBOL

Il 1959 fu segnato dalla nascita di COBOL (Common Business Oriented Language), presentato alla conferenza del Data Systems and Languages. COBOL era un linguaggio commerciale istituzionale, ancora utilizzato al giorno d’oggi in moltissime aziende e banche, pensato per gestire grandi quantità di dati sebbene possa essere valido anche per altri scopi.

Nel 1961 Keneth Iversson sviluppò “APL” (A Programming Language) che usava anche caratteri speciali ma richiedeva periferiche compatibili per funzionare correttamente. Venne pensato quasi esclusivamente per applicazioni matematiche infatti comprendeva molte soluzioni speciali e interazioni dedicate a questo scopo. Allo stesso tempo, mentre i sistemi operativi, prima chiamati “monitors” o “supervisors”, si sviluppavano allo scopo di incrementare le prestazioni dei computer, verso la fine degli anni Cinquanta, gli utilizzatori erano ancora frustrati dalla mancanza di familiarità e facilità d’uso del computer. Per risolvere questo problema e ridare il controllo delle macchine agli utilizzatori, Fernando Corbatò, del MIT, produsse il CTSS (Compatible Time Sharing System) per l’IBM 7090/94, il primo vero sistema operativo in grado di ripartire il tempo.

Pochi anni dopo, nel ’64, John Kemeny e Thomas Kurtz inventarono il BASIC (Beginners’ All-purpose Symbolic Instruction Code) e il suo compilatore. BASIC venne subito apprezzato, anche più di COBOL che era eccessivamente verboso.

### Da Unix a oggi

#### Unix

Nel 1969 comparve per la prima volta UNIX, un sistema operativo portabile per computer, inizialmente sviluppato da un gruppo di ricerca dei laboratori AT&T e Bell. Lo sviluppo di Unix iniziò nel 1967 e da allora si sono susseguiti un numero crescente di prodotti simili sviluppati da software house diverse. La rivoluzione più imponente nel mondo Unix avvenne nel 1991 ad opera

di Linus Torvalds, che fece conoscere al mondo Unix una seconda giovinezza. Torvalds, infatti, voleva realizzare un sistema operativo simile a Unix che funzionasse su computer Intel 80386 standard, e iniziò così a sviluppare un kernel, chiamato Kernel Linux, che venne poi unito al Sistema GNU creando GNU Linux.

In uso nel sistema operativo Unix c'era il compilatore C, il cui utilizzo crebbe in modo esplosivo anche al di fuori dei laboratori Bell. C, nato nel 1972 ad opera di Dennis Ritchie, appariva semplice, efficiente e flessibile: portare programmi scritti in C su altri sistemi operativi era più facile che con altri linguaggi. Il C sembrava, inoltre, sposare l'eleganza ed efficienza dei linguaggi macchina con la chiarezza e manutenibilità dei linguaggi di alto livello.

## Il CP/M

Nel 1976 la Digital Research Inc., fondata da Gary Kildall creò CP/M (Command Processor for Microcomputers), si trattava di un sistema operativo per i microcomputer basati sulle cpu Intel 8080/85. Aveva una interfaccia a linea di comando e i comandi erano formati da una keyword seguita da un elenco di parametri.

L'innovazione chiave introdotta dal CP/M fu l'uso di un "abstraction layer", con la separazione del sistema operativo in due diverse parti. Il CCP (Command Control Processor) si occupava della traduzione dei comandi dell'utente in una serie di istruzioni a basso livello. Queste istruzioni venivano poi inviate al BDOS (Basic Disk Operating System), che si occupava delle funzionalità di sistema. Il BDOS a sua volta si occupava della traduzione di tali comandi in una serie di istruzioni a livello ancora più basso che venivano inviate al BIOS (Basic I/O System) contenente il codice, dipendente dall'hardware, relativo all'esecuzione delle specifiche routine previste dal BDOS.

Gran parte della complessità del CP/M era racchiusa in questa parte del sistema operativo e, in misura minore, nel CCP. Questo implicava che il porting verso una differente piattaforma hardware avrebbe richiesto un minor lavoro, limitato all'adattamento dei semplici comandi contenuti nel BIOS a quella particolare piattaforma hardware, senza riscrivere il sistema operativo.

## Dos

Verso l'ottobre del 1980 la IBM stava cercando un sistema operativo per il suo nuovo prodotto, il PC IBM prossimo al lancio. All'inizio si rivolse alla Digital Research di Gary Kildall, l'autore del già citato CP/M che allora era lo standard per i microcomputer; tuttavia l'affare, per ragioni sconosciute, non andò a buon fine. Continuando la loro ricerca si rivolsero alla Microsoft di Bill Gates e Paul Allen che allora produceva quasi solo linguaggi (il Microsoft BASIC). I due, davanti all'occasione che si profilava loro, non esitarono a contattare la Seattle Computer Products che pochi mesi prima aveva scritto un software a 16bit quasi identico al CP/M chiamato "86-DOS" per i microcomputer che stava producendo. Dopo una veloce revisione del sorgente, consistente di circa 4'000 linee di codice assembler, il tutto fu mandato alla IBM per una valutazione. Questa rimase soddisfatta e l'affare andò in porto.

Microsoft acquisì i diritti di 86-DOS nel luglio 1981 e il mese dopo la prima versione di MS-DOS era sul mercato. IBM però, avendola sottoposta ad un esteso controllo di qualità ed avendo trovato

molti bug, ne riscrisse alcune parti e per questo motivo tale versione portò il nome di IBM PC-DOS 1.0 e fu licenziata congiuntamente da Microsoft e da IBM. Il nome MS-DOS derivava dalle iniziali della MicroSoft (MS), mentre “DOS” sta per “Disk Operating System.

Come tutti i sistemi operativi dell’epoca, l’interfaccia standard era a linea di comando e, come tutti i sistemi operativi dell’epoca, era mono utente e mono task, ovvero era in grado di “far girare” un solo programma alla volta. I due grandi limiti che ne impedirono lo sviluppo successivo erano la natura non rientrante e l’impossibilità di gestire più di 640kB di memoria RAM. Purtroppo per DOS queste limitazioni erano dovute a scelte di progetto fondamentali, che seppure inizialmente giustificate dalle limitazioni del primo IBM, poi non fu più possibile superare. Divenuti presto evidenti a causa della velocissima evoluzione tecnologica di quegli anni, questi limiti vennero poi aggirati con stratagemmi software come i gestori di memoria EMS e XMS. Alla fine Microsoft fu costretta ad abbandonare MS-DOS e scrivere da zero una nuova famiglia di sistemi operativi, Windows.

### Ada

Nel 1983 uscì il linguaggio ADA, così battezzato in onore di Lady Ada Lovelace, la prima programmatrice della storia. ADA fu il risultato dello sforzo di progettazione più esteso e costoso mai intrapreso. Fino al 1974 metà delle applicazioni del Dipartimento della Difesa USA erano sistemi integrati. Un sistema integrato è quello in cui l’hardware dei computer è legato con i dispositivi che controlla.

Più di 450 linguaggi erano stati usati per implementare differenti progetti, ma nessuno di essi era standardizzato, allora l’esercito, la marina e l’aeronautica proposero di sviluppare un linguaggio di alto livello per sistemi integrati.

Nel 1977 fu creata una serie completa di specifiche per ADA. Nel febbraio del ’77 la prima fase del progetto fu completata, in aprile quattro fornitori presentarono le loro soluzioni. A due di queste quattro compagnie venne dato il mandato di proseguire con la seconda fase del progetto. Nel maggio del 1970 il “Cii Honeywell/Bull” fu scelto come miglior progetto. La terza fase iniziò subito dopo e già nel novembre del 1979 arrivarono più di 500 segnalazioni di piccole modifiche al linguaggio. Sulla base di queste critiche venne fatta una revisione del linguaggio negli anni successivi ma il linguaggio venne “surgelato” per i successivi 5 anni, fino al 1983.

### Mac OS

A partire dal 1984 sul mercato venne introdotto Mac OS, il sistema operativo dedicato della Apple per i computer Macintosh, il nome, infatti, era l’acronimo di MACintosh Operating System. Mac OS fu il primo sistema operativo ad utilizzare con successo un’interfaccia grafica. Veniva utilizzato particolarmente nell’editoria, nella grafica pubblicitaria, negli studi di registrazione musicale e per i piccoli uffici o per uso personale.

Il Mac OS può essere distinto in due famiglie di sistemi operativi: il Mac OS Classic, cioè il sistema operativo montato sul primo modello di Macintosh nel 1984 ed evolutosi, attraverso numerose versioni, fino al 2001 (attualmente non è più supportato); e l’attuale Mac OS X (dove “X” è il

numero romano che sta per 10 e si pronuncia, in inglese, “ten”), completamente riscritto e basato su piattaforma Unix, commercializzato a partire dal 2001.

## Windows

A partire dal 1985 Microsoft commercializzò la famiglia di sistemi operativi per personal computer chiamata Microsoft Windows. Sin dall’origine Windows fu un sistema operativo grafico. Microsoft venne spesso accusata di aver copiato l’interfaccia di Windows dal Macintosh di Apple o da OS/2 (un progetto congiunto di Microsoft e IBM).

In realtà tutte le interfacce grafiche sono state ispirate dalle ricerche di Xerox, anche se Microsoft strinse effettivamente con Apple un accordo per far uscire Windows 1.0. Al contrario, a partire dalla nuova interfaccia desktop introdotta con Windows 95 e Windows NT 4.0, molte altre interfacce hanno attinto al paradigma di “esplora risorse” e soprattutto dalla “barra delle applicazioni”.

Il desktop di Windows ha causato un cambiamento significativo nell’interazione tra computer e utente: con esso è possibile svolgere molti compiti (chiamati “task”) comuni e complessi con una minima conoscenza del computer. Tuttavia, l’interfaccia isola l’utente esperto dai processi interni del sistema, rendendo più difficile controllarlo e configurarlo.

Nel 1986 venne resa disponibile una nuova versione del linguaggio C, il C++. C++ è un’estensione del C, sviluppato da Bjarne Stroustrup all’inizio degli anni Ottanta presso i Bell Laboratories. C++ forniva una serie di funzioni che potenziano C ma, cosa ancor più importante, forniva le capacità di gestione della programmazione di tipo object-oriented, con ampio utilizzo delle classi. C++ fu il “padre” del linguaggio Java, sviluppato per la prima volta nel 1995.

Il 1989 segnò una mini rivoluzione poiché, con l’avvento del web, venne reso disponibile da Tim Berners-Lee al CERN di Ginevra un meta-linguaggio che rappresenterà la base di sviluppo dei siti: l’HTML (HyperText Markup Language). Come dice il nome stesso, HTML non è un vero e proprio linguaggio di programmazione ma, piuttosto, un linguaggio di markup, ossia descrive il contenuto, testuale e non, di una pagina web. HTML quindi è concepito per definire il contenuto logico e non l’aspetto di un documento.

## Linux

Nel 1991 Linus Benedict Torvalds, un ventiduenne studente dell’Università di Helsinki, iniziò a progettare un nuovo sistema operativo a cui darà il suo nome: Linux. Tutto nasce dal fatto che Torvalds doveva studiare il nuovo processore Intel 80386, che aveva caratteristiche molto innovative rispetto ai suoi predecessori, come ad esempio la natura multitasking.

Sulla macchina utilizzata da Linus “girava” il Sistema Operativo Minix, un piccolo UNIX commerciale a microkernel, che veniva offerto con notevoli agevolazioni per scopi didattici. Linus si pose il problema di migliorare Minix; non riuscendo nell’intento, iniziò lo sviluppo di un kernel che permettesse di scrivere una alternativa gratuita a Unix. Disse poi che il suo impegno nacque dal fatto che non poteva permettersi un sistema operativo commerciale e che non voleva

utilizzare né il DOS né Windows, ma in realtà non voleva neppure mantenere sul suo pc il sistema Mimix.

Nel 1992 venne rilasciata una versione di Linux abbastanza stabile e che forniva supporto ad un numero sufficiente di periferiche hardware. Tutto ciò avvenne con la immediata disponibilità del codice in rete e il coinvolgimento di altri appassionati che collaborarono allo sviluppo di alcune parti. Essendo il codice disponibile e modificabile da tutti Linux si è evoluto con percorsi leggermente diversificati tra loro (le diverse “distribuzioni”).

# Un importante algoritmo di calcolo scientifico

## Finite Element Method e Finite Element Analysis

### Introduzione

la FEA è una disciplina relativamente giovane che si colloca a cavallo dei confini di matematica, fisica, ingegneria e informatica. Il metodo ha larga applicazione ed è molto usato nell'area dell'ingegneria strutturale, termica, dell'analisi dei fluidi e dell'elettromagnetismo.

Il FEM è composto di tre fasi fondamentali:

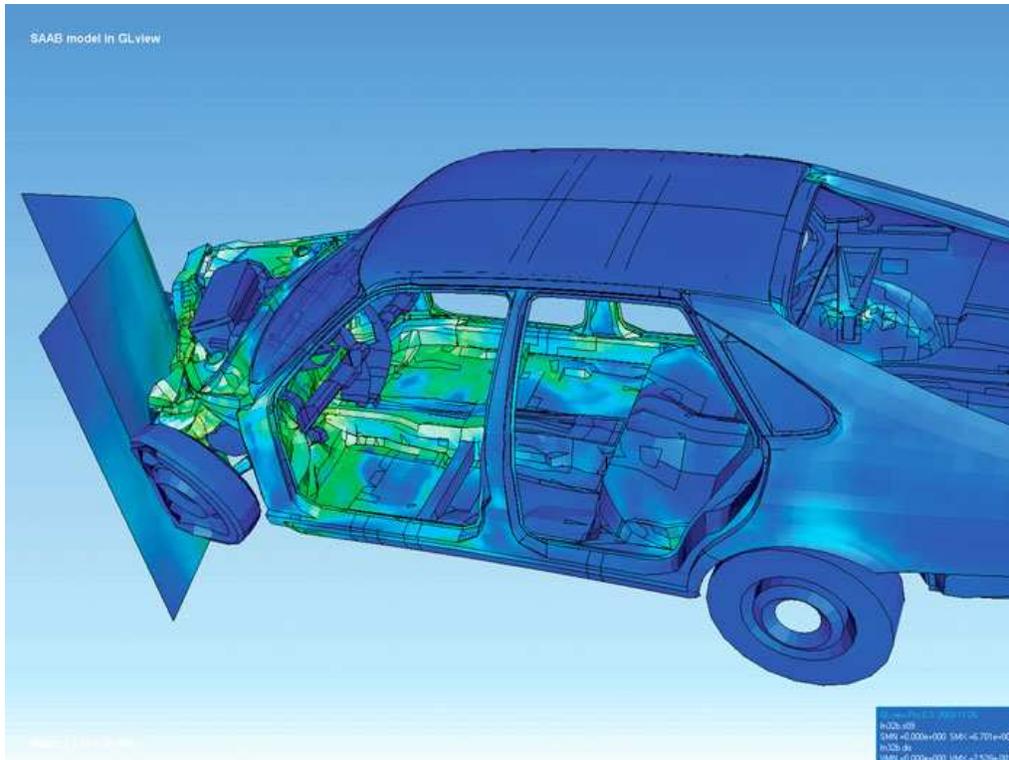
- pre-processing, in cui l'analista sviluppa una maglia (detta "mesh" o "griglia") di elementi finiti per dividere la geometria dell'oggetto in analisi in sottodomini per l'analisi matematica, e applica le proprietà dei materiali e le condizioni dei confini;
- solution, durante la quale il programma deriva dal modello le equazioni della matrice governante e le risolve nelle incognite che rappresentano le quantità di primaria importanza;
- post-processing, in cui l'analista controlla la validità della soluzione, esamina i valori delle quantità principali (come per esempio gli stress) e deriva ed esamina quantità aggiuntive (come stress particolari e/o indicatori di errore).

Il FEM è quindi una tecnica numerica atta a cercare soluzioni approssimate di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali riducendo quest'ultime ad un sistema di equazioni algebriche. Anche se questo metodo compete, in alcuni limitati ambiti, con altre strategie numeriche (come per esempio il metodo delle differenze finite), mantiene una posizione dominante nel panorama delle tecniche numeriche di approssimazione e rappresenta il nucleo di gran parte dei codici di analisi automatizzata disponibili in commercio.

In generale questo metodo si presta molto bene a risolvere equazioni alle derivate parziali quando il dominio ha forma molto complessa (si pensi ad esempio al motore di un aereo), quando il dominio è variabile (per esempio una reazione a stato solido con condizioni al contorno variabili), quando l'accuratezza richiesta alla soluzione non è omogenea sul dominio (in un crash test per esempio l'accuratezza richiesta è maggiore in prossimità della zona di impatto) o quando la soluzione cercata manca di regolarità.

I vantaggi della FEA sono numerosi e importanti. Un nuovo prodotto di design può essere modellato per determinare il suo comportamento reale sotto varie condizioni ambientali, e quindi può essere ridefinito prima della creazione dei disegni, quando ancora pochi soldi sono stati spesi e fare un cambiamento non costa nulla.

Una volta che un modello CAD dettagliato viene sviluppato, la FEA può analizzarne il design in dettaglio, riducendo così il numero di prototipi richiesti e di conseguenza facendo risparmiare tempo e denaro. Un prodotto già esistente che sta avendo problemi nell'utilizzo reale, o che semplicemente è in fase di miglioramento, può essere analizzato per velocizzare un cambiamento ingegneristico e ridurre il suo costo.



### Cenni storici

Il metodo degli elementi finiti ha radici nella necessità di risoluzione di problemi complessi, soprattutto di analisi elastica e strutturale nel campo della fluidodinamica e dell'ingegneria civile e aeronautica. Le origini del metodo possono essere fatte risalire agli anni 1930-35 con i lavori di A.R. Collar e W.J. Duncan, i quali introducono una forma primitiva di elemento strutturale nella risoluzione di un problema di aeroelasticità, e agli anni 1940-41 con i lavori di Alexander Hrennikoff e Richard Courant che, anche se con differenti approcci, condividevano l'idea di suddividere il dominio del problema in sottodomini di forma più semplice (gli elementi finiti).

La nascita vera e propria e lo sviluppo del metodo degli elementi finiti si colloca, tuttavia, nella seconda metà degli anni Cinquanta con il contributo fondamentale di M.J. Turner della Boeing, che formulò e perfezionò il Direct Stiffness Method, il primo approccio agli elementi finiti nel campo del continuo. Il lavoro di Turner trovò diffusione fuori dagli stretti ambiti dell'ingegneria aerospaziale, ed in particolare nell'ingegneria civile, tramite il lavoro di John Argyris presso l'Università di Stoccarda e di Ray W. Clough presso l'Università di Berkeley (che parlò per primo di metodo FEM).

Altri contributi fondamentali alla storia dei FEM sono quelli di B.M. Irons, cui sono dovuti gli elementi isoparametrici, il concetto di funzione di forma, il patch test ed il frontal solver (un algoritmo di soluzione del sistema algebrico lineare), di R.J. Melosh, che sistematizzò la sua formulazione variazionale (una rigorosa e famosa esposizione delle basi matematiche del metodo fu fornita nel 1973 da Gilbert Strang e George Fix in "An Analysis of the Finite Element Method") e di E. Wilson che sviluppò per primo software FEM open source.

Nel 1967 Zienkiewicz pubblicò il primo libro sugli elementi finiti. A partire dagli anni '70, il metodo FEM ha trovato grande diffusione come strategia di modellazione numerica di sistemi fisici in un'ampia varietà di discipline ingegneristiche come, per esempio, elettromagnetismo e geotecnica.



## Funzionamento generale

Il metodo FEM si applica a oggetti fisici che in qualche modo rappresentano un “continuum” adatto ad essere diviso in un numero, anche molto grande, di elementi di forma definita e dimensioni ridotte. Nel continuum, ogni singolo elemento finito viene considerato un campo di integrazione numerica di caratteristiche omogenee.

La caratteristica principale del metodo degli elementi finiti è la discretizzazione attraverso la creazione di una griglia (detta “mesh”) composta da primitive (gli elementi finiti) di forma codificata (per domini 2D si tratta di triangoli e quadrilateri, mentre per i domini 3D sono esaedri e tetraedri). Su ciascun elemento caratterizzato da questa forma elementare, la soluzione del problema viene espressa dalla combinazione lineare di funzioni dette funzioni di base o funzioni di forma (shape functions). Se la funzione viene approssimata i valori nei punti non saranno necessariamente esatti, ma saranno quelli che forniranno il minor errore sulla soluzione complessiva.

Nella sua formulazione originaria e, ad oggi, ancora la più diffusa, il metodo degli elementi finiti viene utilizzato per risolvere problemi che poggiano su leggi costitutive di tipo lineare. Sono tipici i problemi di sforzi, ovvero deformazioni in campo elastico, e la diffusione del calore all’interno di un corpo. Alcune soluzioni meglio rifinite sono in grado di analizzare il comportamento dei materiali anche in campo non lineare, ipotizzando comportamenti di tipo plastico.

## Come si arriva al modello

Per arrivare al modello degli elementi finali si seguono due fasi, ognuna delle quali comporta l’inserimento di errori nella soluzione finale.

La prima fase è la modellazione: questa fase è presente in tutti gli studi di ingegneria. Si passa da un sistema fisico ad un modello matematico, che astrae alcuni aspetti di interesse del sistema fisico, ponendo l’attenzione sulle variabili di interesse e “scremando” le rimanenti. Il sistema fisico, se complesso, viene diviso in sottosistemi. Il sottosistema verrà poi suddiviso in elementi finiti. La scelta di un tipo di elemento in un programma software equivale ad una scelta implicita del modello matematico che vi è alla base. L’errore che può comportare l’utilizzo di un determinato modello deve essere valutato con prove sperimentali, e questa è un’operazione molto dispendiosa sia come tempo che come risorse al confronto con altri metodi e modelli.

La seconda fase è la discretizzazione: in una simulazione per via numerica è necessario passare da un numero infinito di gradi di libertà (condizione propria del continuum) ad un numero finito (situazione propria della “mesh”). La discretizzazione, nel tempo o nello spazio, ha lo scopo di ottenere un modello discreto caratterizzato da un numero finito di gradi di libertà.

## Pre Processing

Gli obiettivi del pre-processing sono: sviluppare un’appropriata griglia di elementi finiti, assegnare le proprietà del materiale e applicare le condizioni di confine nella forma di vincoli e carichi. La griglia di elementi finiti divide la geometria in elementi, sui quali troviamo i nodi.

I nodi, che in realtà sono solo dei punti nello spazio, sono generalmente situati negli angoli dell’elemento e, alcune volte, anche nei pressi del punto medio di ogni lato. Per una analisi a due dimensioni o per una di superfici tridimensionali, gli elementi utilizzati sono essenzialmente 2D ma possono venir lievemente “piegati” per adattarsi ad una superficie 3D.

I gradi di libertà (“degrees of freedom” o “DoF”) sono assegnati sui nodi. L’assegnazione dei gradi di libertà ai nodi dipende anche dal tipo dell’analisi, per un’analisi termica, per esempio, esiste solo un grado di libertà dato dalla temperatura su ogni nodo. In meccanica, invece, gli elementi solidi in genere hanno tre DoF per nodo. Gli elementi che compongono le superfici, invece, hanno sei DoF per ogni nodo: tre di traslazione e tre di rotazione. L’aggiunta dei gradi di libertà rotazionali permette di valutare alcuni parametri superficiali come per esempio gli sforzi causati dalla rotazione di un nodo rispetto ad un altro.

Lo sviluppo della “mesh”, di solito, è l’attività più lunga nella FEA. In passato le posizioni dei nodi venivano inserite manualmente approssimando la geometria dell’oggetto da modellare. Un approccio più moderno però prevede di sviluppare la griglia direttamente dalla geometria CAD. La geometria dell’oggetto viene trasportata sulla griglia con un algoritmo di mappatura che mappa una griglia rettangolare su una regione geometrica che deve quindi avere un numero adatto di lati.

Le proprietà dei materiali cambiano a seconda del tipo di soluzione. Una analisi strutturale lineare e statica, per esempio, richiederà un modulo di elasticità e una densità per ogni materiale. Per quanto riguarda le condizioni al contorno degli elementi è preferibile applicarle direttamente alla geometria del modello CAD e far sì che l’algoritmo FEA li trasferisca nel modello risultante, questo procedimento consente un’applicazione più semplice degli algoritmi di adattamento e ottimizzazione.

### **Soluzione**

Mentre le fasi di pre-processing e post-processing sono interattive e piuttosto lunghe per l’utente, la soluzione è spesso un processo batch costoso solo in termini di risorse macchina.

Le equazioni cardine del modello vengono “assemblate” in forma di matrice e risolte numericamente. Il processo di assemblamento dipende non solo dal tipo di analisi (statica o dinamica), ma anche dal tipo di elemento, dalle proprietà dei materiali e dalle condizioni al contorno del modello. Per risolvere la matrice di equazioni esistono moltissimi diversi algoritmi più o meno complessi a seconda del tipo di equazioni e di modello.

### **Post Processing**

Dopo aver preparato e controllato un modello di elementi finiti, applicato le condizioni, risolto il modello, è tempo di analizzare i risultati dell’analisi che vengono visualizzati sia in forma parametrica che grafica. Questa fase viene chiamata post-processing.

Il post-processing inizia con un controllo profondo dei problemi che possono esser emersi durante la soluzione. Una volta che la soluzione viene dichiarata libera da problemi numerici, le quantità di interesse come gli stress e le deformazioni, possono essere esaminate.

Un settore del post-processing che sta diventando popolare molto rapidamente è quello dell’“adaptive remeshing”. Con questo metodo le norme degli errori come per esempio l’energia delle tensioni vengono usate per ridefinire la griglia del modello, piazzando una griglia più fitta nelle regioni in cui serve un miglioramento e “allargando le maglie” dove l’errore è molto basso.

L’ottimizzazione è un altro settore in cui si sono fatti grandi passi avanti negli ultimi anni. Basandosi sui valori dei vari risultati, il modello viene automaticamente modificato nel tentativo di soddisfare alcuni criteri di performance e poi viene risolto di nuovo. Questo processo viene iterato fin quando non si soddisfa qualche criterio di convergenza.

# Bibliografia e Sitografia

---

Giovanni Pastore: “Antikythera e i regoli calcolatori”

Marcello Morelli: “Dalle calcolatrici ai computer degli anni Cinquanta. I protagonisti e le macchine della storia dell'informatica”, FrancoAngeli Editore

Kenneth H. Huebner: “The Finite Element Method for Engineers”

Storia dei Computer e dell'Informatica – [www.windoweb.it](http://www.windoweb.it)

Appunti per una storia degli strumenti di calcolo – [www.muspe.unibo.it](http://www.muspe.unibo.it)

Storia del Computer – [www.cronologia.leonardo.it](http://www.cronologia.leonardo.it)

Storia della Calcolabilità – [www.dis.uniroma1.it](http://www.dis.uniroma1.it)

Finite Element Analysis – [www.finiteelement.com](http://www.finiteelement.com)

Structural Analysis - [http://en.wikipedia.org/wiki/Structural\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Structural_analysis)

Storia dei Sistemi Operativi - [http://it.wikipedia.org/wiki/Storia\\_dei\\_sistemi\\_operativi](http://it.wikipedia.org/wiki/Storia_dei_sistemi_operativi)

Metodo degli Elementi Finiti - [http://it.wikipedia.org/wiki/Metodo\\_degli\\_elementi\\_finiti](http://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_degli_elementi_finiti)

Museo dell'informatica e del calcolo scientifico (AICA e CILEA) – [www.museocilea.it](http://www.museocilea.it)