

Università degli Studi di Milano

Corso ITP 2005/06

Panoramica sull'informatica

STEFANO FERRARI

Informatica di base

Indice

1	INTRODUZIONE	6
2	INFORMATICA: DEFINIZIONE E AREE DI INTERESSE	7
2.1	Cos'è l'Informatica?	7
2.2	Cosa studia l'Informatica?	8
2.2.1	Algoritmi e Informatica Teorica	8
2.2.2	Linguaggi ed Ingegneria del Software	8
2.2.3	Gestione della Conoscenza	9
2.2.4	Architetture di Sistemi e di Reti	9
2.2.5	Interazione Uomo/Macchina	9
3	STORIA DELL'INFORMATICA	10
3.1	Preistoria informatica	10
3.2	Storia informatica	13
3.3	Informatica moderna	18
3.4	Dove va il futuro?	30
3.4.1	Applicazioni	31

<i>wearable PC</i>	31
PC+TV+telefono	31
3.4.2 Tecnologie	31
Calcolatori ottici	32
Calcolatori chimici	32
Calcolatori quantistici	32
3.4.3 Frontiere	32
4 CLASSI DI CALCOLATORI	33
4.1 Calcolatori analogici	33
4.1.1 Calcolo analogico: esempi	33
4.2 Calcolatori digitali	34
4.2.1 Calcolo digitale: esempi	34
4.3 Calcolatori attuali	34
4.3.1 Categorie di calcolatori	34
Microcomputer	34
Mainframe	35
Minicomputer	35
Supercomputer	35
Cluster	35
Sistemi dedicati	35
4.3.2 Categorie hardware	36
Processore	36
Hardware programmabile	36
DSP	36
ASICS	36
<i>System on chip</i>	36

Riferimenti bibliografici 37

Capitolo 1

Introduzione

In questa dispensa viene presentata una panoramica sull'Informatica. L'intenzione è quella di fornire al lettore un chiave di interpretazione per il resto del corso e un bagaglio di informazioni di cultura generale informatica che può essere utile possedere.

Nel capitolo 2 viene proposta una definizione di informatica e degli argomenti da essa trattati.

Il capitolo 3 è dedicato ad una panoramica storica dell'Informatica che ha lo scopo di cercare di capire da quali eventi sono scaturite le conoscenze attuali. Sebbene solo negli ultimi decenni l'informatica si sia sviluppata

Infine, nel capitolo 4 viene presentata una classificazione delle macchina da calcolo, con particolare attenzione ai calcolatori attualmente in uso.

Capitolo 2

Informatica: definizione e aree di interesse

In questo capitolo viene presentata una definizione (largamente accettata) di informatica ed alcune aree di studio alle quali l'informatica volge il suo interesse.

Questa suddivisione è, in qualche misura, arbitraria e semplificativa. Non si tratta di una tassonomia dell'informatica, ma del raggruppamento in macro-aree, talvolta parzialmente sovrapposte, di diversi argomenti e problemi trattati dalla comunità informatica con lo scopo di fornire una visione globale sulla materia.

Approfondimenti possono essere trovati in [1] e [2].

2.1 Cos'è l'Informatica?

L'Informatica è la scienza che studia:

- la rappresentazione
- l'elaborazione automatica
- la trasmissione

dell'*Informazione*.

Il termine informatica è la forma italiana di un neologismo francese, *informatique*. Esso è la contrazione di *infor(mation) (autom)atique*, "informazione automatica".

In generale, quindi, le discipline informatiche sono coinvolte nel trattamento automatico dell'informazione. Esse possono essere raggruppate in due macro aree, le quali coprono gli aspetti tecnologici, la cosiddetta *Information Technology*, e gli aspetti scientifici, la cosiddetta *Computer Science*.

In particolare, l'*Information Technology* si occupa di costruire i supporti per i dati, le macchine da calcolo e i dispositivi per veicolare l'informazione.

La *Computer Science*, invece, si occupa di problemi quali la rappresentazione dei dati, la definizione dei limiti del calcolo e della natura dell'informazione.

Queste due anime dell'informatica non sono rigidamente separate, ma sono cresciute insieme nel tempo fornendosi reciprocamente spunti e supporto.

È stata una fortunata coincidenza che allo sviluppo dell'area scientifica (nella seconda metà degli anni '30) abbia fatto immediato seguito lo sviluppo dell'area tecnologica (a partire dai primi anni '40).

2.2 Cosa studia l'Informatica?

Dovendo descrivere i campi in cui l'informatica è attualmente impegnata si possono individuare almeno cinque aree. Va tuttavia precisato che tale suddivisione è arbitraria e dettata dal tentativo di semplificare la visione dell'informatica. Spesso, infatti, alcune tematiche qui descritte in un'area sconfinano in un'area differente.

Con queste premesse, si possono individuare le seguenti aree ed i rispettivi obiettivi:

Informatica Teorica: individuare cosa può essere calcolato e quanto costa farlo;

Ingegneria del Software: descrivere gli algoritmi e come gestire progetti complessi;

Gestione della Conoscenza: gestire la conoscenza e utilizzarla per generare nuova conoscenza;

Architetture di Sistemi e di Reti: costruire macchine da calcolo efficienti e distribuite;

Interazione Uomo/Macchina: rendere più semplice ed efficiente la comunicazione tra un utente e una macchina.

Vediamo ora una descrizione più dettagliata delle aree sopra accennate.

2.2.1 Algoritmi e Informatica Teorica

Lo studio degli algoritmi, cioè di sequenze univoche di istruzioni atte a risolvere certe categorie di problemi, è parte integrante della matematica almeno da un migliaio d'anni, cioè da ben prima che fossero disponibili dei dispositivi automatici per il calcolo. Individuare un algoritmo per ottenere la soluzione di un problema equivale a dare la soluzione del problema stesso.

La ricerca di algoritmi e lo studio della loro complessità di esecuzione è una parte significativa dell'informatica. L'informatica nasce come branca della matematica nel momento in cui si evidenzia l'esistenza di problemi per i quali non è possibile dare una soluzione algoritmica, negli anni '30. In particolare, questi studi derivano dal lavoro di Kurt Gödel, il cui risultato può essere condensato nella dimostrazione che in un qualsiasi sistema matematico sufficientemente complesso da comprendere l'aritmetica, esistono affermazioni che non possono essere né provate né refutate.

Lo studio dei limiti dei metodi algoritmici ha portato all'ideazione di modelli teorici di macchine da calcolo (in grado di eseguire algoritmi), per poterne studiare le potenzialità teoriche e la complessità di esecuzione.

Gli studi informatici in questo settore hanno forti legami con altre discipline, quali la psicologia della risoluzione dei problemi e le teorie dell'apprendimento.

2.2.2 Linguaggi ed Ingegneria del Software

Per comunicare un algoritmo a una macchina bisogna trasformarlo in istruzioni che rispettano una sintassi, rappresentarle in modo non ambiguo dando loro un opportuno significato.

La teoria dei linguaggi e delle grammatiche ha portato allo sviluppo di schemi di rappresentazione degli algoritmi (*linguaggi di programmazione*) che si basano su vari approcci al processo di programmazione (*paradigmi*).

La gestione della complessità di progetto di grandi sistemi, ha portato allo sviluppo della disciplina detta *ingegneria del software*, che attinge da diversi campi come l'ingegneria, la gestione dei progetti e delle risorse umane e la progettazione dei linguaggi di programmazione.

La comunicazione di algoritmi priva di ambiguità può essere necessaria anche tra persone. Lo studio dei metodi di formalizzazione e di descrizione di algoritmi trova quindi applicazione anche all'esterno della mera programmazione di macchine da calcolo.

2.2.3 Gestione della Conoscenza

La capacità di acquisizione e di elaborazione di grandi masse di dati ha evidenziato alcuni problemi, quali il progetto concettuale di basi di dati e le tecniche evolute per la loro manipolazione.

La rappresentazione e la gestione della conoscenza richiedono ai sistemi informatici nuove capacità d'organizzazione dell'informazione e di deduzione logica.

Allo scopo di fornire ai sistemi informativi capacità evolute di elaborazione dell'informazione, l'informatica si è indirizzata anche allo studio dell'intelligenza umana per progettare algoritmi che tentano di riprodurre i processi intellettivi.

Il risultato è la parte dell'informatica nota come intelligenza artificiale, che si basa principalmente sulla ricerca in aree come la psicologia, la biologia e la linguistica.

2.2.4 Architetture di Sistemi e di Reti

Un'area importante dell'informatica riguarda il progetto e la costruzione di macchine per eseguire gli algoritmi.

Lo studio delle architetture dei calcolatori riguarda l'impatto dei vincoli tecnologici nel progetto di macchine che devono supportare la rappresentazione e l'esecuzione di algoritmi.

Oggi è possibile costruire macchine che permettono di rappresentare gli algoritmi come sequenze di istruzioni multiple che vengono eseguite simultaneamente dai nodi di una rete veloce; oppure, usare altri sofisticati modelli di collegamento e comunicazione tra diverse unità di elaborazione, nello stesso modo in cui la mente rappresenta le informazioni come collegamenti tra i neuroni.

2.2.5 Interazione Uomo/Macchina

Strettamente connesso al progetto delle architetture di calcolo è il progetto della loro interfaccia con il mondo esterno.

Come sarà possibile trasmettere gli algoritmi al computer e specificare a quest'ultimo quale algoritmo eseguire?

La soluzione di questo problema in un ambiente in cui la macchina deve fornire vari servizi richiede di affrontare preventivamente parecchi altri problemi concernenti la coordinazione delle operazioni e la condivisione delle risorse.

Gli studi in questa area sono caratterizzati da una forte componente psicologica e tecnologica.

Capitolo 3

Storia dell'informatica

In questo capitolo viene riportata una sintetica panoramica sulla storia dell'informatica, suddivisa in tre blocchi: preistoria informatica, storia informatica e informatica moderna. Tale suddivisione è volta a sottolineare alcuni aspetti del calcolo automatico:

- la fase definita “preistoria” è caratterizzata dall'assenza di automatismi: il “motore” è l'utente;
- la fase definita “storia” vede la presenza di automatismi meccanici;
- infine, nella fase “informatica moderna”, si ha l'utilizzo di tecnologie elettromeccaniche prima ed elettroniche poi, che porteranno allo sviluppo dei calcolatori come li conosciamo oggi.

Per necessità di sintesi, alcuni eventi non sono stati riportati. Una raccolta, per certi versi più ricca, è riportata in [3] e [4].

3.1 Preistoria informatica

I meccanismi del calcolo e primi concetti dell'aritmetica sono stati sviluppati da tutte le civiltà, stimulate da necessità pratiche legate prevalentemente all'economia. La diffusione della capacità di effettuare calcoli è stata sicuramente avvantaggiata dalla possibilità di utilizzare strumenti che permettevano di mascherare all'utente la complessità della teoria.

Se è praticamente impossibile stabilire con certezza quale civiltà abbia iniziato per prima a sviluppare la matematica ed il calcolo, è però certo che le conoscenze attuali siano il risultato dell'integrazione di contributi apportati da civiltà spesso distanti tra loro culturalmente, spazialmente e temporalmente.

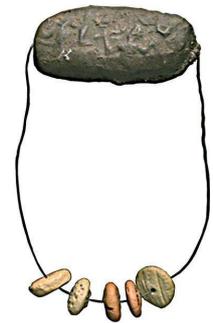
3500–3200 a. C.

A lato è riportata una bolla per transazioni commerciali usata nelle civiltà mesopotamiche [5]. La bolla, che rappresenta una ricevuta di pagamento, trattiene un laccio al quale sono attaccati alcuni ciondoli.

Le incisioni sulla bolla di creta descrivono il tipo di materia contrattata, mentre i ciondoli descrivono la quantità di merce commerciata.

Non è possibile incrementare il numero di ciondoli senza rompere i sigilli della bolla.

La matematica viene scoperta e sviluppata per rispondere a necessità pratiche delle vita quotidiana.



2000 a. C.

A lato è riportata una tabella per la soluzione di equazioni cubiche, espressa nel sistema sessagesimale sumero [5].

Il reperto, rinvenuto presso Babilonia, testimonia le abilità matematiche del tempo.

Esso può essere visto come una forma primitiva di calcolatore: l'utente, anche senza sapere come erano stati calcolati i valori riportati, poteva effettuare il calcolo seguendo una semplice sequenza di istruzioni (algoritmo).

Le conoscenze matematiche sono già abbastanza evolute: concetto di operazione avanzata (l'elevamento a potenza, che necessita di moltiplicazione e somma) e sistema di numerazione.



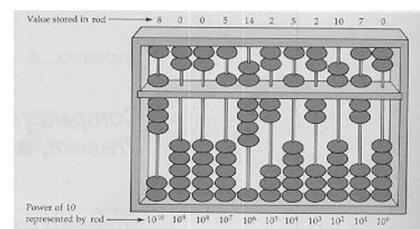
3200–500 a. C.

L'abaco è uno dei più diffusi strumenti da calcolo.

La vaghezza del riferimento temporale è dovuta al fatto che l'abaco è stato scoperto e usato da praticamente tutti i popoli, sia pure con delle varianti.

Esso consente di effettuare con facilità algoritmi per le principali operazioni aritmetiche.

Per una persona addestrata, e per calcoli semplici [6], può rivelarsi uno strumento molto rapido.



800 circa

Muhammad ibn Musa Al'Khowarizmi scrive *Al-Jabr wa-al-Muqabilah* in cui sintetizza le conoscenze matematiche greche e indiane, introduce l'uso dello zero e descrive in dettaglio alcune procedure di calcolo.

La sua opera verrà tradotta in latino e sarà diffusa in Europa intorno al 1100.

Dal suo nome viene il termine *algoritmo* e dalla sua opera il termine *algebra*.



1086

Guglielmo il Conquistatore ordina di censire le risorse del regno d'Inghilterra.

In un anno, vengono raccolte e catalogate le informazioni riguardanti più di 13.000 insediamenti.

Tali informazioni sono sintetizzate nel *Domesday Book* [7], composto da 413 pagine scritte in latino. Esse verranno redatte da un singolo amanuense e controllate da un altro.



1455

Gutenberg migliora il processo di stampa, rendendo la produzione di testi più economica.

Per la prima produzione, sceglie la Bibbia [8], il libro largamente più diffuso ai tempi.

Nel giro di qualche decennio, il numero di libri in circolazione passerà da qualche decina di migliaia a una decina di milioni.

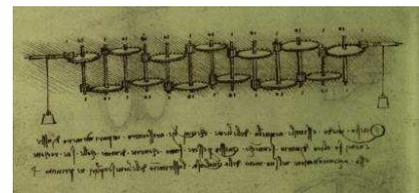
L'invenzione della stampa a caratteri mobili permetterà un più economico accesso al sapere. Sarà uno strumento fondamentale per la diffusione delle conoscenze del Rinascimento e la formazione della comunità scientifica.

Malgrado il successo della sua invenzione, i cui proventi andranno ai suoi soci d'affari, Gutemberg morirà povero.



1500 circa

Leonardo da Vinci progetta un dispositivo che può essere interpretato come un calcolatore o un apparato di demoltiplica, ma non ne descrive lo scopo, che rimane a tutt'oggi elemento di dibattito [9].



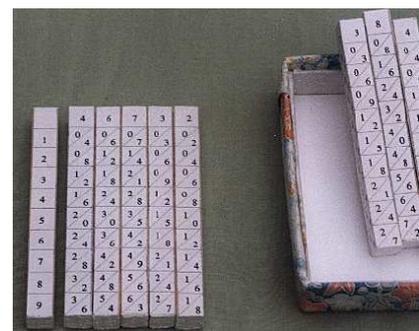
3.2 Storia informatica

Lo sviluppo delle tecnologie legate alla lavorazione dei metalli porta alla possibilità di realizzare dispositivi meccanici di grande precisione. Insieme agli orologi, si realizzano anche le prime macchine da calcolo propriamente dette, cioè oggetti automatici.

Parallelamente, anche le conoscenze matematiche si vanno ampliando e formalizzando. Ciò, da una parte, dota gli studiosi di maggiori conoscenze per il progetto delle macchine da calcolo e, dall'altra, fornisce nuove tecniche di calcolo.

1612

John Napier usa il separatore decimale, inventa il logaritmo e diversi supporti per il calcolo. Hanno particolare successo le *ossa* di Napier [10], bacchette che riportano la numerazione per un valore e che possono essere usate per agevolare il calcolo delle moltiplicazioni e delle divisioni, nonché delle radici quadrate e cubiche. Le *ossa* devono il loro nome probabilmente al materiale con cui esse vengono costruite nelle versioni più diffuse. Il principio di funzionamento delle ossa ricorda molto quello del regolo, di cui, in effetti, sono le progenitrici.



1623

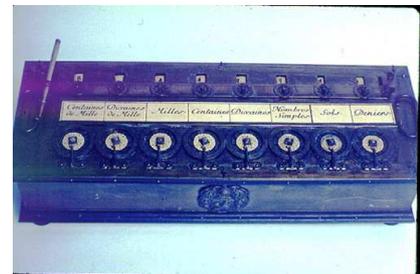
William Schickard descrive una macchina che combina il concetto del regolo con quello di sommatore meccanico ad ingranaggi.

Esegue somme e sottrazioni, segnala l'overflow con un campanello ed è inoltre in grado di supportare l'esecuzione di moltiplicazioni.

Il prototipo della macchina finisce distrutto in un incendio e l'inventore muore di lì a poco. Il primato di Schickard verrà riconosciuto solo nel 1957, analizzando il contenuto di alcune lettere che egli scrisse a Keplero, suo amico.

1642

Blaise Pascal, indipendentemente da Schickard, costruisce una macchina addizionatrice con riporto automatico. Verrà chiamata "Pascalina".



1673

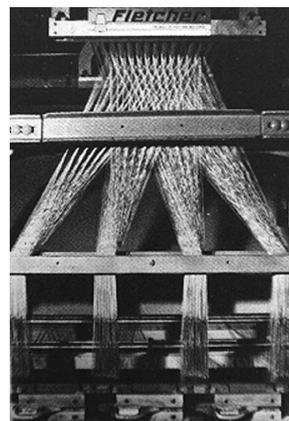
Gottfried Leibniz costruisce una macchina che esegue le moltiplicazioni come ripetizione di somme.

Inoltre scopre ed usa il sistema di numerazione binario.



1801

In Francia, Joseph-Marie Jacquard inventa un telaio automatico che usa schede perforate per controllare il disegno del tessuto. Si tratta quindi di una macchina programmabile.



1822

Charles Babbage progetta il *Difference Engine* con lo scopo di calcolare le tabelle di navigazione. La redazione di tali tabelle richiede il calcolo di funzioni logaritmiche e trigonometriche, e viene normalmente effettuato da gruppi di matematici che lo fanno di mestiere. La meccanizzazione del calcolo, supportata da un motore a vapore, consentirebbe di ottenere tabelle precise e prive di errori. Chiede (e ottiene) una sovvenzione governativa per la costruzione della macchina.

Una ricostruzione del *Difference Engine* che verrà realizzata negli anni '90 presso il Museo della Scienza londinese richiederà circa 4.000 componenti di acciaio e bronzo, e peserà circa tre tonnellate [11].

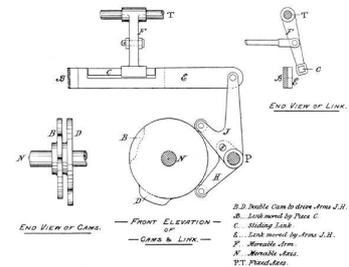
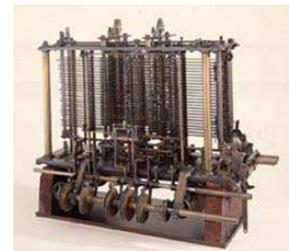


1833

Dieci anni dopo, Charles Babbage si convince che il *Difference Engine* è solo una macchina specializzata per un calcolo particolare. Inoltre, la macchina incontra problemi meccanici che rendono difficoltoso il funzionamento e il costo ha ormai superato di molto il budget iniziale.

Abbandona temporaneamente la costruzione e si dedica al progetto dell'*Analytical Engine*, il quale ha tutti i componenti di base dei moderni computer: programma memorizzato su schede perforate (soluzione ispirata dal telaio di Jacquard), unità di elaborazione aritmetica, unità di controllo per la gestione delle varie fasi del calcolo, unità di output e memoria.

Purtroppo, Babbage non fece un buon lavoro di documentazione, le sue idee non vennero accettate e gli furono rifiutati i finanziamenti necessari.



1840

Ada Augusta King, Contessa di Lovelace, è affascinata dal lavoro di Babbage e studia il progetto dell'*Analytical Engine*. Traduce (dal francese) il rapporto di Luigi Menabrea sull'*Analytical Engine*, e, su suggerimento dello stesso Babbage, aggiunge i propri commenti. La stesura finale del documento si rivelerà essere tre volte più lunga dell'originale. Le sue note includono la descrizione di alcuni programmi per la macchina di Babbage, fatto che rende Ada Lovelace la prima programmatrice (assembler) della storia.

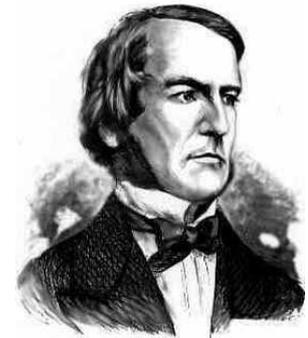


1844

Samuel Morse spedisce il primo messaggio telegrafico da Washington a Baltimora.

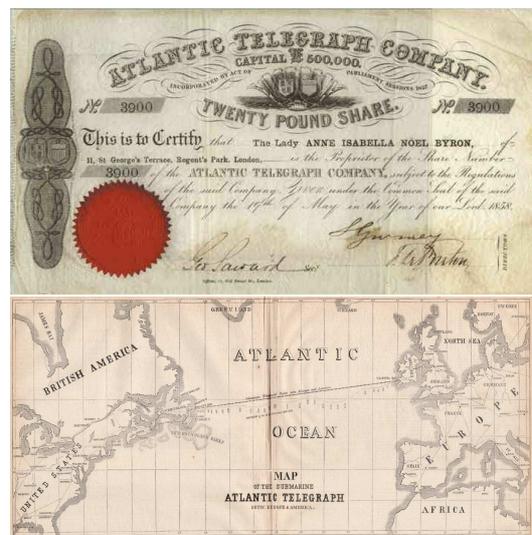
1854

George Boole introduce un insieme di assiomi che producono un'algebra in grado di descrivere le leggi della logica e della probabilità. Il suo sistema per il ragionamento simbolico e logico diventerà la base della progettazione dei calcolatori.



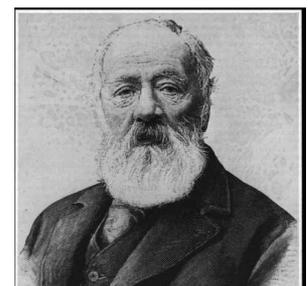
1858

Un cavo telegrafico connette le due sponde dell'Atlantico. Si danneggerà irrimediabilmente dopo qualche settimana di funzionamento, ma, dopo vari tentativi, nel 1866 verrà permanentemente messo in funzione.



1871

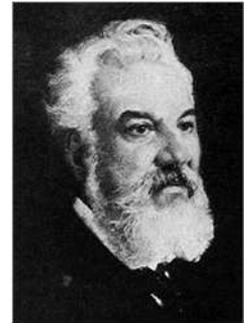
Antonio Meucci brevetta (in modo temporaneo) il telefono. Ripeterà l'operazione ogni anno fino al 1873, nella vana speranza di trovare un finanziatore per il brevetto.



1876

Alexander Graham Bell brevetta il telefono.

La paternità dell'invenzione del telefono gli verrà attribuita negli USA fino al 2002, quando il lavoro di Meucci verrà ufficialmente riconosciuto dal Congresso [12].



1890

La popolazione in aumento ed il maggior numero di domande che vengono poste nel censimento USA rendono l'elaborazione dei dati del censimento decennale troppo lunga.

Viene stimato che i risultati del censimento, se l'elaborazione avvenisse manualmente, non sarebbero disponibili prima dell'inizio delle operazioni del censimento seguente, rendendolo, di fatto, inutile.

Viene pertanto deciso di effettuare l'elaborazione dei dati utilizzando dei calcolatori.

Herman Hollerith vince il bando per la fornitura dei dispositivi (elettro-meccanici) per l'elaborazione dei dati.

La compagnia da lui fondata, la Hollerith Tabulating Company, diventerà una delle tre che composerò l'IBM nel 1924.



1895

Guglielmo Marconi trasmette un segnale radio.



1907

Gramophone costituisce il primo programma radio diffuso da New York.

1929

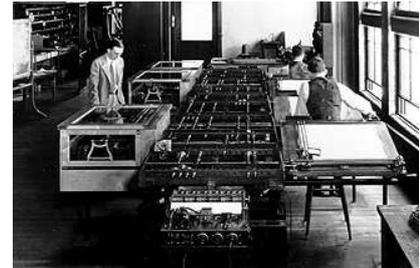
Un segnale televisivo a colori è trasmesso con successo.

1930

Vannevar Bush, presso il MIT, costruisce il *Differential Analyzer* [13], con capacità di integrazione e derivazione (equazioni differenziali di sesto grado).

Si tratta di un calcolatore meccanico analogico.

I calcolatori basati su questa tecnologia verranno impiegati fino alla metà degli anni '40. Il più grande, il *Rockefeller Differential Analyzer*, peserà 100 tonnellate e richiederà 150 motori, qualche migliaio di relè e oltre 320 km di cavi.



3.3 Informatica moderna

La tecnologia elettromeccanica diventa sempre più affidabile e può efficacemente essere utilizzata per le macchine da calcolo. Inoltre, una nuova tecnologia fa capolino: l'elettronica.

Sul fronte scientifico, la scoperta che l'aritmetica non è completamente decidibile fa nascere interrogativi sulla natura del calcolo. Inoltre viene formalizzato il concetto di informazione.

1935–38

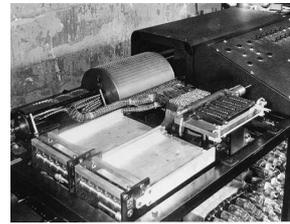
Konrad Zuse, a Berlino, sviluppa Z-1, un computer a relè che fa uso di aritmetica binaria. Svilupperà vari modelli (fino allo Z-4). Il suo lavoro non avrà un grande impatto al di fuori della Germania, dove, per altro, il governo gli rifiuta un sussidio.



1936–39

Presso l'università statale dell'Iowa (USA) John Vincent Atanasoff, con Clifford Berry, sviluppa una macchina chiamata ABC — Atanasoff-Berry Computer — dedicata per la soluzione di sistemi lineari.

È forse il primo esempio di calcolatore elettronico moderno, in quanto sviluppa i concetti di unità aritmetica elettronica, di memoria rigenerativa ciclica e separazione tra memoria e funzioni di calcolo.



1937

Alan Turing sviluppa l'idea di “Macchina Universale” capace di eseguire un qualsiasi algoritmo descrivibile, gettando così le basi del concetto di *calcolabilità*.

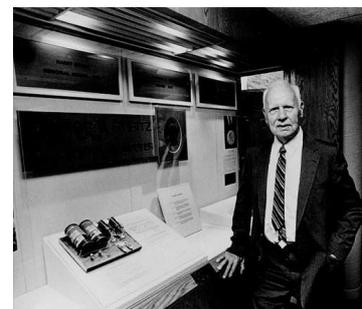
La soluzione di problemi aritmetici viene vista come processo di elaborazione di simboli.



1937–39

George Stibitz, Bell Laboratories, studia l'uso di relè telefonici per fare calcoli.

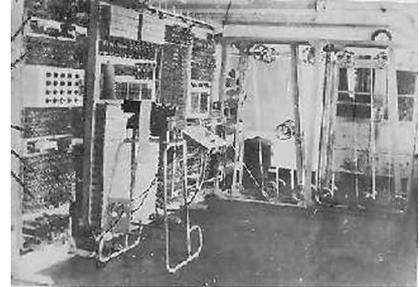
Questa macchina sarà la prima ad essere usata in remoto: una telescrivente verrà messa all'esterno di una sala della conferenza della American Mathematical Society e alcune persone, tra le quali Wiener e Mauchly, avranno la possibilità di provare il *Model K*.



1940-44

L'avvento della II guerra mondiale spinge per la realizzazione di grosse macchine da calcolo per decodificare i messaggi nemici e per pianificare le grandi manovre militari.

In Gran Bretagna, un gruppo di ricerca a Bletchley Park, tra cui Alan Turing, costruisce una serie di macchine culminata nel 1943 con il *Colossus*.

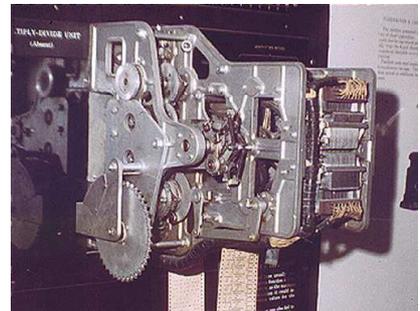


1944

Il primo calcolatore elettromeccanico di grandi dimensioni, *general purpose*, fu lo *Harvard Mark I*, concepito da Howard Aiken verso la fine degli anni '30 e realizzato da un gruppo di progettisti IBM.

Come la macchina di Babbage, doveva calcolare le tabelle navali.

Non aveva un programma memorizzato, ma leggeva le istruzioni da un nastro di carta.



1944

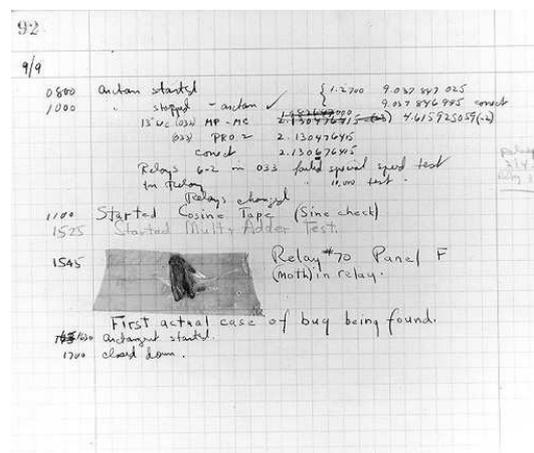
Grace Murray Hopper diventa il terzo programmatore del Mark I.



1945

Grace Murray Hopper, lavorando sul Mark II, documenta il primo caso di *computer bug*.

Il termine che in gergo informatico indica un errore nei programmi, *bug*, deriva proprio dal fatto che spesso, nei primi calcolatori elettronici, i malfunzionamenti non erano causati da errori di programmazione, ma da insetti che, penetrati nell'apparecchiatura, causavano cortocircuiti.



1945

John von Neumann [14] scrive una bozza di rapporto che pone le basi per il progetto di diverse generazioni di computer a venire. L'architettura diventa famosa come "architettura di von Neumann". Il suo concetto di programma memorizzato, tuttavia è materia di controversie.



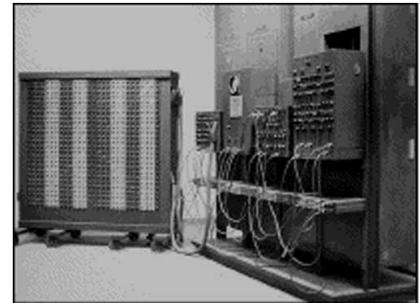
1946

ENIAC, sviluppato durante la guerra per calcolare tabelle balistiche, viene rivelato a Philadelphia.

Utilizza componenti elettronici (valvole).

È dotato di 20 registri da 10 cifre, 18.000 valvole, 70.000 resistenze, 10.000 condensatori, 6.000 interruttori. Pesa 30 tonnellate, copre un'area di 30 m × 2.5 m e consuma 140kW. Può eseguire 100 operazioni/s.

Il programma viene realizzato cambiando manualmente il cablaggio.



1948

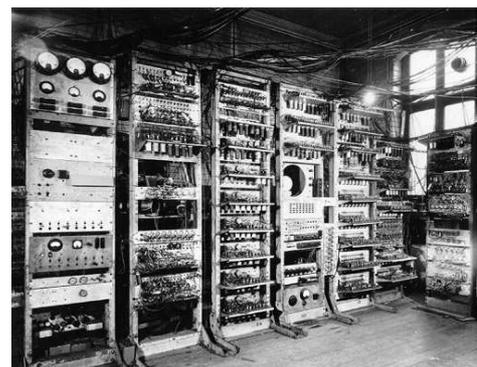
Shannon formalizza il concetto di *informazione* e canale di trasmissione dell'informazione tramite modelli statistici, sviluppando così la *teoria dell'Informazione*. Questa teoria fornisce gli strumenti teorici per trattare l'informazione come una grandezza fisica e quindi per misurarla e studiare gli effetti delle manipolazioni (elaborazione, trasmissione o copia) a cui viene sottoposta.



1948

Sebbene almeno altri quattro gruppi stiano lavorando su un calcolatore con programma memorizzato, il traguardo viene tagliato per primo dal gruppo di Manchester con un prototipo battezzato *Baby*.

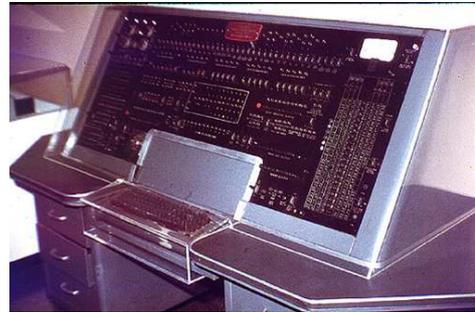
La prima generazione di computer è arrivata.



1951

UNIVAC (contrazione di Universal Automatic Computer) è il primo calcolatore progettato con scopi commerciali. Ne verranno venduti 46 esemplari.

Un anno dopo, grazie ad una trasmissione televisiva, UNIVAC diventa popolare per aver predetto il risultato (inatteso) dell'elezione di Eisenhower alla presidenza degli USA. UNIVAC diventa il nome comune per il calcolatore elettronico.



1951–52

Grace Hopper, sviluppa il concetto di software riusabile, linguaggio ad alto livello e di compilatore.

I programmi cominciano a non essere più vincolati alla macchina per la quale sono stati scritti.

1954

John Backus propone lo sviluppo di un linguaggio di programmazione che permetta l'uso delle comuni espressioni matematiche (sarà chiamato FORTRAN).

1955

IBM produce la prima macchina commerciale con hardware floating-point.

Il numero di utenti cresce così tanto che iniziano ad organizzarsi i primi gruppi di utenti per supporto tecnico reciproco e scambio di programmi.

1956

John McCarthy e Marvin Minsky organizzano una conferenza sul concetto di Intelligenza Artificiale.

Simon, Newell e Shaw presentano un programma, chiamato *Logic Theorist*, in grado di dimostrare teoremi.

1957

Le piccole memorie interne e le memorie esterne basate su nastro magnetico vengono sostituite da tamburi e dischi magnetici.

Dopo tre anni di lavoro, viene rilasciato il primo compilatore FORTRAN.

La programmazione non è più appannaggio solo di personale appositamente istruito sul funzionamento interno dei calcolatori, ma può essere effettuata direttamente anche da chi ha conoscenza del problema che il programma dovrà risolvere.

1958

Introduzione del transistor e dell'elettronica allo stato solido: seconda generazione.

Appaiono sul mercato i primi supercalcolatori: CDC 1604 (completamente basato su transistor). Seymour Cray è il capo progettista.

John McCarthy sviluppa il concetto di linguaggio di programmazione per la manipolazione di simboli (non numeri!) e crea il LISP.

1959

Mentre molte compagnie puntano a supercalcolatori, IBM annuncia la disponibilità di due macchine per piccole utenze.

1960

Sviluppo di linguaggi: tra gli altri COBOL, ALGOL 60.

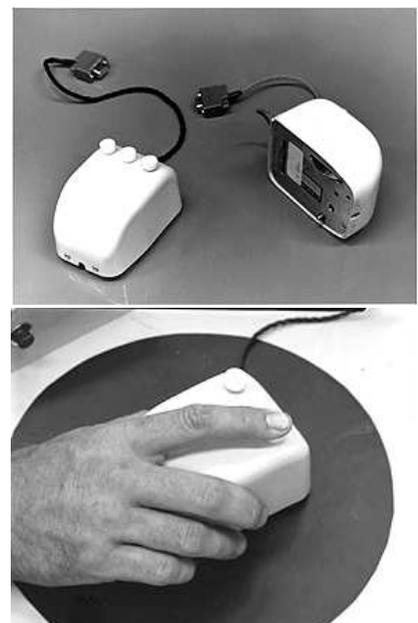
1963

Viene sviluppato il codice ASCII per lo scambio di informazioni tra piattaforme differenti.

1964

Douglas Engelbar indaga su metodi e dispositivi per migliorare l'interazione uomo-macchina.

Sviluppa, non ascoltato, concetti come l'ipertesto, il mouse, l'ambiente a finestre ed altre cose [15].



1964

John Kemeny sviluppa il BASIC.

1965

Si studia un sistema operativo *time-sharing*, multiutente, a memoria condivisa: Multics.

1966

Gli USA smettono di sovvenzionare lo sviluppo di computer da parte di università e iniziano a finanziarne l'acquisto di versioni commerciali.

1967

I circuiti integrati iniziano ad essere impiegati in computer commerciali: terza generazione.

1968

Arthur C. Clarke inventa HAL, il computer del film "2001: Odissea nello spazio".



1968

Edsger Dijkstra pone le fondamenta per la programmazione strutturata.

1969

Iniziano i lavori di ARPAnet.

Ritchie e Thompson, dopo che i laboratori Bell rinunciano allo sviluppo di Multics, iniziano a lavorare su un nuovo sistema operativo, orientato ad un singolo utente, che prenderà il nome di UNIX.

1971

Sul mercato compaiono i primi microprocessori: quarta generazione.

Nasce *Project Gutenberg*, una raccolta di libri in formato elettronico, accessibile a tutti [16].

1971

IBM produce il primo floppy da 8 pollici.



1973

Ricercatori dello Xerox Park sviluppano il protocollo Ethernet: diventerà lo standard per le reti locali (LAN).

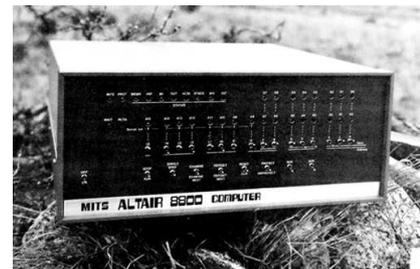
1975

Viene immesso sul mercato un personal computer per utenti amatoriali: il MITS Altair 8800 [17][18].

Altair viene venduto per corrispondenza in kit di montaggio. Ha una CPU a 2 MHz, 256 byte di memoria, né tastiera, né display e nessun dispositivo di memorizzazione ausiliario.

Prezzo: \$375.

Nel giro di pochi mesi, dopo aver venduto un numero di esemplari decine di volte superiore alle aspettative, iniziano a comparire i primi modelli della concorrenza. Anziché migliorare l'Altair, i responsabili della MITS si dedicano a cercare di limitare i concorrenti, con il risultato di venire presto esclusi dal mercato da loro stessi creati.



1975

Bill Gates e Paul Allen fondano Microsoft e scrivono il loro primo prodotto per l'Altair: un compilatore BASIC.

1976

Apple viene fondata.

Appare lo standard VHS.

Sebbene qualitativamente inferiore al Betamax, si imporrà sul mercato grazie al ritardo con il quale quest'ultimo viene presentato.

In poco tempo, infatti, il VHS riuscirà a formare una massa critica di utenti e di titoli presenti sul mercato tale da rendere invana la rincorsa di Betamax.

1977

Steve Jobs e Steve Wozniak producono l'Apple II, assemblato e completo di tastiera e monitor. È un immediato successo.



1978

Visicalc viene sviluppato da Daniel Bricklin e Bob Frankston [19]. Si tratta del primo foglio di calcolo.



1979

Viene distribuito Wordstar, il primo programma di elaborazione testi non legato ad uno specifico hardware.



1980

Sviluppo di dBase, il primo database per PC.

1981

IBM produce un microcalcolatore denominato IBM PC (Personal Computer). È progettato (da un team di soli 12 ingegneri) utilizzando componenti commerciali ed è caratterizzato da una *architettura aperta*, che consente ad altri produttori di commercializzare estensioni compatibili.



1982

Compaiono sul mercato i primi cloni IBM.

1982

La Disney produce *Tron*, un film di fantascienza in cui un programmatore viene risucchiato nel computer e deve confrontarsi con programmi nocivi, coadiuvato nella lotta dal suo programma di sicurezza, chiamato, per l'appunto, Tron.



1982

Il Giappone lancia il progetto per lo sviluppo di computer di quinta generazione. Il governo pianifica di spendere circa 450 milioni di dollari per sviluppare, entro una decina d'anni, computer intelligenti, capaci di intendere ed utilizzare il linguaggio naturale, di comprendere le immagini e di effettuare tutti i compiti tipici dell'intelletto umano.

1983

Viene ufficialmente rilasciata la prima versione di Ada, un nuovo linguaggio ad alto livello con costrutti specializzati per la programmazione concorrente.

La progettazione del linguaggio era partita nella prima metà degli anni '70, finanziata dal ministero della Difesa USA, per sviluppare un linguaggio ad alto livello adatto alla programmazione di sistemi dedicati.

1984

Sony e Philips propongono il CD-ROM.



1984

Parte il progetto GNU (acronimo di “GNU’s Not UNIX”) per creare un clone UNIX *free* [20].



1985

Nasce la Free Software Foundation (FSF).

È una fondazione che sostiene i diritti degli utenti di usare, studiare, copiare, modificare e ridistribuire i programmi per computer. La filosofia alla base di questo movimento è che il software *free* è una questione di libertà, non di prezzo.

Il termine *free* in inglese significa gratuito, ma ha anche l’accezione di libero, ed è quest’ultimo aspetto che viene sottolineato dalla FSF (“*free*” as in “*free speech*”, not as in “*free beer*”).

1986

Dopo tre anni di lavorazione, in occasione del 900° anniversario del Domesday Book, la BBC ne produce la versione moderna, multimediale.

Pur presentando caratteristiche innovative sia per la tecnologia (sarà studiata una versione potenziata del laserdisk) che per l’interfaccia (ipertestuale), non avrà successo a causa degli elevati costi e della necessità di utilizzare un hardware dedicato per supportare le prestazioni di calcolo richieste [21].

L’inaccessibilità di tale opera mediante gli strumenti informatici comuni esemplifica il problema della conservazione della documentazione digitale [22]: il Domesday Book originale è ancora perfettamente leggibile (a patto di conoscere il latino).



1989

Tim Berners-Lee propone al CERN il progetto World Wide Web.



1991

Linus Torvalds, studente universitario finlandese, inizia a scrivere un clone di UNIX, chiamato Linux, e ne rilascia la versione 0.02.

Linux [23] si rivelerà un aggregante per la comunità Open Source, e costituirà il progetto software che coinvolgerà il maggior numero di programmatori su base volontaria.

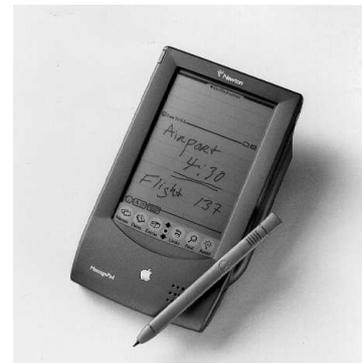


1991

Il Giappone abbandona il progetto quinta generazione e inizia il progetto Sesta generazione, basato su reti neurali.

1993

Apple produce Newton, il primo *personal digital assistant*.



1993

Mosaic: il primo web browser grafico.



1994

Viene rilasciata la versione 1.0 di Linux.

1995

Toy story è il primo film d'animazione completamente generato al computer.



1995

La Sun crea Java, il primo linguaggio di programmazione *platform independent*.



1995

Microsoft, supportata da un'imponente campagna pubblicitaria, lancia Windows '95. Unendo la semplicità d'uso dell'ambiente grafico con la diffusione di software compatibile con questo sistema operativo, Windows '95 si diffonde velocemente e contribuisce a rendere il computer più accessibile alla gente comune.



3.4 Dove va il futuro?

Il fatto che la panoramica storica termini al 1995 non significa che da allora non si siano verificati avvenimenti degni di nota in campo informatico. Ciò è invece dovuto alla volontà di non rischiare di perdere la prospettiva storica e mischiare la storia con la cronaca.

Inoltre, in questa breve carrellata storica, per questioni di sintesi, non sono stati considerati i seguenti temi:

- videogiochi;
- reti di calcolatori wireless;
- applicazioni dell'informatica relativamente recenti quali:
 - telefonia wireless;
 - televisione digitale;
 - fotografia digitale;
 - musica digitale.

Lungo quali direttrici si svilupperà l'informatica nel futuro?

Con la cautela ben riassunta dalla massima di Niels Bohr:

Fare previsioni è difficile.
Soprattutto sul futuro.

si può azzardare qualche ipotesi analizzando le aree di ricerca che attualmente sono più promettenti.

3.4.1 Applicazioni

wearable PC

Con questo termine si intende un dispositivo portatile *wireless*, eventualmente incluso negli abiti, che permetterà di comunicare con altri dispositivi distribuiti nell'ambiente e che interagirà con l'utente senza bisogno di tastiera o monitor.

Esistono già alcune applicazioni del genere, che permettono di monitorare lo stato di salute dell'utente.

PC+TV+telefono

Una normale evoluzione dei dispositivi che comunemente vengono usati per comunicare spinge verso la loro integrazione.

Attualmente sono disponibili i cosiddetti *set-top box*. Un *set-top box* è un dispositivo che consente di trasformare la televisione in un'interfaccia verso Internet e abilita l'apparecchio televisivo a ricevere i programmi della TV digitale (DTV). È ragionevole pensare che in un futuro ormai prossimo, tutti gli apparecchi televisivi verranno prodotti con tale dispositivo integrato.

Inoltre, la disponibilità di banda permetterà la nascita di web-TV, emittenti televisive che distribuiscono i loro programmi via web, con la corrispondente nascita di servizi di *video on-demand*.

3.4.2 Tecnologie

L'uso dell'elettronica, e in particolare della microelettronica, ha caratterizzato gli ultimi decenni dell'informatica. Tuttavia, gli stessi principi base usati per il progetto di calcolatori elettronici possono essere estesi a macchine basate su altre tecnologie.

Calcolatori ottici

A differenza degli attuali calcolatori che si basano sul passaggio di corrente (o sulla presenza di tensione) per veicolare l'informazione, i calcolatori ottici veicolano l'informazione tramite impulsi luminosi. Un calcolatore ottico, quindi, usa i fotoni laddove un calcolatore elettronico usa gli elettroni.

I vantaggi di tale tecnologia sono una maggiore velocità e un minor consumo di potenza. Inoltre, è possibile sfruttare alcune proprietà della luce per ottenere facilmente dispositivi paralleli.

Calcolatori chimici

I calcolatori chimici, o molecolari, sono dispositivi che codificano l'informazione in particolari molecole e eseguono i calcoli imponendo modifiche (reversibili) a tali molecole. Il vantaggio di questa tecnologia, perlopiù ancora da sviluppare, risiede nella ridotta dimensione e nella possibilità di operare massicciamente in parallelo su più dati.

Calcolatori quantistici

I calcolatori quantistici sfruttano le proprietà quantistiche della materia di trovarsi in più stati contemporaneamente. In tal modo, una memoria quantistica può essere utilizzata per memorizzare più dati contemporaneamente e le elaborazioni che vengono operate su di essa coinvolgono contemporaneamente tutti i dati. Pertanto, anche in questo caso, il vantaggio principale sarebbe l'elevato livello di parallelismo raggiungibile.

3.4.3 Frontiere

Ci sono alcune attività che vengono svolte dagli esseri umani con relativa facilità, ma che rappresentano dei compiti molto difficili per le macchine.

Sono essenzialmente le attività in cui opera la disciplina nota come *cibernetica* o *intelligenza artificiale*.

Esse sono:

- comprensione del linguaggio naturale;
- sintesi del linguaggio naturale;
- interpretazione di scene.

Capitolo 4

Classi di calcolatori

I calcolatori si possono classificare in base al principio di funzionamento:

- analogici;
- digitali;

o al tipo di funzionalità che forniscono:

- programmabili (*general purpose*);
- dedicati.

4.1 Calcolatori analogici

La rappresentazione analogica è strettamente legata all'operazione di *misura* di una *grandezza fisica*. Ogni strumento di calcolo analogico è basato su un oggetto fisico (per esempio, una determinata asta) la cui misura di una certa grandezza fisica (per esempio la lunghezza) viene utilizzata per la rappresentazione di un numero.

4.1.1 Calcolo analogico: esempi

Nomogramma lineare: Un nomogramma lineare è formato da tre linee parallele graduate equidistanti tra loro. Le due linee esterne hanno la stessa scala, mentre quella interna ha una scala doppia, rispetto alle linee esterne. Tracciando il segmento che congiunge due punti delle linee esterne, esso va ad intersecare la linea interna nel punto che rappresenta la somma degli estremi del segmento.

Curvimetro: Il curvimetro permette di misurare la lunghezza di una curva. La misurazione si effettua seguendo il tracciato della curva con una rotellina, la quale trasmette il moto ad una lancetta che riporta sul quadrante la lunghezza della curva seguita.

Planimetro: È simile al curvimetro, ma misura le aree. Esso integra il moto dello stilo usato per seguire il contorno dell'area da misurare.

Una ricca raccolta di descrizioni di macchine analogiche è presente su [24].

4.2 Calcolatori digitali

La rappresentazione numerica (o *digitale*) è basata su oggetti che possiedono un insieme finito di stati. In uno strumento di calcolo digitale, il numero viene rappresentato in modo discreto mediante unità elementari indivisibili (ad esempio, i sassolini di un abaco) che possono assumere un numero finito di configurazioni differenti.

4.2.1 Calcolo digitale: esempi

“Ossa” di Nepero: Ogni bastoncino contiene i multipli di un dato numero. Accostando i bastoncini relativi alle cifre del numero da moltiplicare, si può ottenere il risultato della moltiplicazione sommando i numeri presenti sulla riga relativa al fattore moltiplicativo.

Calcolatrici meccaniche: La maggior parte delle macchine da calcolo meccaniche sono basate su ingranaggi.

Il meccanismo base per il riporto consiste in una ruota dentata con un numero di denti pari ad un decimo dei denti dell’ingranaggio ad essa accoppiato. In questo modo, il rapporto tra i giri dei due ingranaggi è lo stesso che esiste tra gli ordini di grandezza del sistema decimale. Per esempio, una ingranaggio con un solo piolo accoppiato con un ingranaggio a dieci denti dovrà compiere dieci rotazioni per far compiere una rotazione all’asse su cui è montato il secondo ingranaggio. Il primo asse può essere usato per rappresentare le unità, il secondo per le decine e così via.

Una ricca raccolta di descrizioni di macchine digitali è presente su [24].

4.3 Calcolatori attuali

I calcolatori attualmente utilizzati sono tipicamente:

- digitali;
- programmabili;
- realizzati con tecnologia microelettronica.

Sebbene tutti i modelli possano essere fatti ascendere ad una stessa architettura di base ed ad una stessa tecnologia realizzativa, possono presentarsi differenze notevoli tra un modello e l’altro. È possibile tentare una classificazione tra i diversi tipi di macchine da calcolo in base alle loro caratteristiche.

Nei seguenti paragrafi saranno illustrate alcune classificazioni basate sulle capacità di calcolo e sul tipo di architettura.

4.3.1 Categorie di calcolatori

Microcomputer

I microcomputer vengono comunemente chiamati PC, a seguito di un fortunato modello dell’IBM che portò i calcolatori nel lavoro d’ufficio.

Si tratta di macchine per elaborazione personale:

- sono usati da un solo utente per volta;

- sono utilizzati prevalentemente per lavoro d'ufficio o in ambito domestico (per word processing, gestione di informazioni - Internet, basi di dati, grafica, giochi, comunicazione, amministrazione).

In base alla taglia, si configurano in diverse categorie:

- tower computer: i PC con la cassa verticale;
- desktop computer: i PC con la cassa orizzontale;
- portatili (palmtop, notebook o laptop).

Mainframe

Il termine mainframe è usato per indicare macchine di grandi dimensioni e potenza.

I mainframe hanno processori potenti e grande quantità di memoria. Sono particolarmente utilizzati in multiutenza, ossia da più persone contemporaneamente, ciascuna delle quali utilizza un terminale collegato al mainframe. Sono molto costosi, pertanto sono utilizzati da grosse società commerciali, banche, ministeri, aeroporti.

Vengono utilizzati per servizi generali (*server*).

Minicomputer

Vengono chiamati minicomputer i mainframe di piccola entità.

I minicomputer sono elaboratori in grado di gestire grandi quantità di dati in multiutenza. Il loro costo è dell'ordine di decine di migliaia di euro e sono usati da società di medie dimensioni e da strutture di ricerca principalmente per calcolo, programmazione, grafica avanzata.

Supercomputer

I supercomputer sono mainframe specializzati nel calcolo (vettoriale o parallelo).

I supercomputer sono i più potenti, i più veloci e i più costosi (possono arrivare a costare anche molti milioni di euro).

Sono utilizzati principalmente nelle università e nei centri di ricerca.

Cluster

Un cluster è costituito da un gruppo di calcolatori di piccole dimensioni collegati tra di loro che si spartiscono il carico di lavoro. La creazione di un cluster permette di sfruttare fino in fondo calcolatori che iniziano ad essere obsoleti e che mostrano i loro limiti se usati per compiti interattivi.

I cluster stanno rimpiazzando i supercomputer o i mainframe in grandi aziende o enti di ricerca, in quanto possono essere creati utilizzando computer commerciali di basso valore economico e non richiedono di hardware e software dedicato.

Sistemi dedicati

I sistemi dedicati (anche chiamati *embedded system*) che, al contrario dei sistemi *general purpose*, sono progettati per fornire una funzione particolare, sono una classe molto variegata. Per esempio, un telefono cellulare è un sistema dedicato. Allo stesso modo, però, anche il sistema di controllo di una acciaieria può essere definito tale.

4.3.2 Categorie hardware

Attualmente, l'hardware è basato sulla tecnologia microelettronica.

È possibile individuare almeno quattro famiglie di componenti per il calcolo, caratterizzate per la specificità delle elaborazioni da loro realizzabili.

Processore

Spesso chiamato anche *microprocessore* (con riferimento alla tecnologia realizzativa).

Si indica con questo termine un dispositivo *general purpose*, cioè un dispositivo in grado di eseguire un insieme di operazioni elementari e che necessita di un programma che gli indichi la sequenza di istruzioni da eseguire.

Hardware programmabile

Si indica col termine di *hardware programmabile* un dispositivo dotato di circuiteria alla quale è possibile configurare i collegamenti interni mediante un opportuno programma.

L'esemplare più comune di questa famiglia è il *Field Programmable Gate Array* (FPGA).

DSP

Un dispositivo per il *Digital Signal Processing* (DSP) è un processore specializzato per l'elaborazione del segnale digitale (per esempio, un segnale audio).

ASICs

Un circuito integrato costruito per un compito ben preciso viene definito *Application-Specific Integrated Circuit* (ASIC).

Vengono progettati quando è necessario avere prestazioni di alto livello e un buon volume di vendite. Vengono utilizzati per compiti particolari, quali centraline delle automobili o dispositivi portatili.

System on chip

Nei sistemi di calcolo *general purpose* le funzionalità aggiuntive (gestione della grafica, dell'audio e di particolari periferiche) vengono generalmente realizzate tramite chip esterni al microprocessore o addirittura da schede aggiuntive. L'integrazione sempre più spinta punta alla realizzazione di un intero sistema di calcolo su un singolo componente, il cosiddetto *system on chip*. Si tratta di un componente in grado di soddisfare tutte le esigenze funzionali di un sistema di calcolo: elaborazione, memorizzazione, calcolo, controllo. Tale livello di integrazione è necessario per la realizzazione di dispositivi a basso consumo e di piccolo volume.

Per esempio, la piattaforma Nomadik (della STMicroelectronics [25]) include:

- un processore ARMJ, in grado di interpretare Java bytecode;
- gestione di un display LCD;
- elaborazione audio e video;

- grafica 2D e 3D;
- comunicazione di rete (anche wireless).

Bibliografia

- [1] *Introduzione ai sistemi informatici*. McGraw-Hill, 2005, cap. 1, pp. 1–10.
- [2] “Sito della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Università degli Studi di Milano,” <http://www.milanoscienze.unimi.it/info-cr/temi.html>.
- [3] <http://computer.org/computer/timeline/timeline.pdf> *Timeline of Computing History*. IEEE Computer Society.
- [4] N/A, “Timeline of computing history,” *Computer*, vol. 29, no. 10, pp. TL1–TL34, October 1996.
- [5] <http://www.nb.no/baser/schoyen/5/5.11/> *La collezione Schøyen*. Biblioteca Nazionale Norvegese.
- [6] <http://www.ee.ryerson.ca:8080/~elf/abacus/feynman.html> *Feynman contro l’abaco*.
- [7] <http://www.domesdaybook.co.uk/> *The Domesday Book online*.
- [8] <http://www.bl.uk/treasures/gutenberg/homepage.html> *The Gutenberg Bible*. British Library.
- [9] <http://www.webcom.com/calc/leonardo/leonardo.html> E. Kaplan. *The Controversial Replica of Leonardo da Vinci’s Adding Machine*.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Napier's_bones *Wikipedia, descrizione delle ossa di Nepero*.
- [11] <http://www.sciencemuseum.org.uk/on-line/babbage/index.asp> *Babbage, sezione del Science Museum*.
- [12] http://www.popular-science.net/history/meucci_bell.html *Meucci: the real inventor of the telephone*.
- [13] <http://web.mit.edu/mindell/www/analyzer.htm> *MIT Differential Analyzer*.
- [14] <http://ei.cs.vt.edu/~history/VonNeumann.html> J. Lee. *John von Neumann*.
- [15] <http://sloan.stanford.edu/MouseSite/MouseSitePg1.html> *MouseSite, sito sulla storia dell’interazione uomo-macchina*.
- [16] <http://www.gutenberg.net/> *Project Gutenberg*.
- [17] <http://www.virtualaltair.com/> *The Virtual Altair Museum*.
- [18] http://en.wikipedia.org/wiki/Altair_8800 *Wikipedia, descrizione di Altair 8800*.
- [19] <http://www.bricklin.com/history/saiearly.htm> D. Bricklin. *Visicalc early days*.

- [20] <http://www.gnu.org/> *GNU Operating System*. Free Software Foundation.
- [21] <http://www.atsf.co.uk/dottext/domesday.html> *La storia del BBC Domesday Project*.
- [22] <http://www.si.umich.edu/CAMILEON/domesday/domesday.html> *The CAMiLEON Project, progetto per la conservazione del patrimonio digitale*.
- [23] <http://www.linux.org/> *Linux Online*.
- [24] <http://www.tecnoteca.it/contenuti/museo> *Tecnoteca*.
- [25] <http://www.st.com/nomadik> *STMicroelectronics — ST Nomadik Multimedia Processor*. STMicroelectronics.