

Storia dell'informatica - Prima parte

Luca Barra

Anno accademico 2023/2024

INDICE

CAPITOLO 1	STORIA DELLE ARCHITETTURE E DEI SISTEMI DI CALCOLO	PAGINA 1
1.1	Sistemi di numerazione Il supporto al calcolo — 1	1
1.2	Charles Babbage L'analytical engine — 2	2
1.3	Boole e Hollerit	2
1.4	Le schede perforate	3
1.5	I calcolatori analogici	3
1.6	La nascita dei calcolatori digitali I primi computer — 3	3
1.7	Intermezzo: la seconda guerra mondiale L'ENIAC — 6 • L'EDVAC e John Von Neumann — 6 • L'eredità dell'EDVAC — 7	4
1.8	Il post-EDVAC I transistor — 8 • Le memorie negli anni '50 — 9 • Memorie a nucleo magnetico — 9 • IBM 650 — 9 • Memorie a tamburo rotante — 10	7
1.9	Le innovazioni degli anni '60 La terza generazione di computer — 11 • Gli anni '70 — 11	10
1.10	La vera storia dell'Intel	12
1.11	Innovazioni architetturali La Apple — 13 • Il PC IBM — 13 • The RISC revolution — 13 • Instruction Level Parallelism — 14 • Multithreading e multicore — 14	12
CAPITOLO 2	STORIA DEI LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE	PAGINA 15
2.1	Introduzione	15
2.2	Gli anni '50 AUTOCODE — 16 • Gli anni dal '54 al '56 — 17 • Il FORTRAN — 17 • LISP — 17 • COBOL — 18	16
2.3	Gli anni '60 ALGOL 60 — 18 • La Backus-Naur Form (BNF) — 19 • BASIC — 19 • La questione del GOTO — 20 • Il Simula — 20	18
2.4	Gli anni '70 Pascal — 20 • Il Prolog — 21 • Lo Smalltalk — 21 • ADA: il linguaggio definitivo — 22	20
2.5	Il C La nascita del C++ — 23 • Objective-C e C-Sharp — 23	22
2.6	Gli anni '90: il Web e Java	23
2.7	Verso il 21esimo secolo : i linguaggi di scripting	23
2.8	Digressione: altri linguaggi	24

3.1	Prima dei sistemi operativi	25
3.2	Fase 1 : Job by Job / Open Shop	25
3.3	Fase 2 : Sistemi batch	26
3.4	Fase 3 : Multiprogrammazione	26
3.5	Fase 4 : Timesharing	27
3.6	Fase 5 : Sistemi concorrenti	28
3.7	Fase 6 : Sistemi per PC CP/M, MS-DOS e Windows — 29 • DOS, Mac OS e OS X — 29 • GNU, Minix e Linux — 30	29
3.8	Fase 7 : Sistemi distribuiti	30
3.9	Fase 8 : Sistemi operativi per dispositivi mobili Android — 31 • Apple iOS — 31	30

Capitolo 1

Storia delle architetture e dei sistemi di calcolo

Ci si potrebbe accontentare di una macchina che:

- azzera il contenuto di un registro;
- incrementare di uno il valore di un registro;
- saltare a un'istruzione specifica se due registri sono uguali;

Ma questo sarebbe insufficiente.

1.1 Sistemi di numerazione

Un *sistema di calcolo* manipola dei simboli seguendo determinate regole. I sistemi di numerazione sono stati un grande passo in avanti per l'umanità. Le quantità venivano inizialmente rappresentati da token che erano scomodi per numeri grandi. Allora, in Egitto (intorno al 3000 a. C), si sviluppa un sistema addizionale con simboli diversi per rappresentare quantità diverse. Tuttavia quel sistema non era posizionale, per cui la posizione non importa. Un altro sistema fu quello romano che era posizionale e sia additivo che sottrattivo. Intorno al 500 d. C. in india viene messo appunto un sistema addizionale in base 10 (le dita della mano) in cui il numero 0 assume importanza.

Un altro sistema fu quello sessagesimale (in base 60) inventato dai babilonesi. Si basava sulle falangi delle dita. Esso è ancora usato per gli angoli.

1.1.1 Il supporto al calcolo

La parola *zero* deriva dall'arabo *sifr*. Infatti, grazie a movimenti commerciali e invasioni i numeri passarono dall'india all'arabia all'europa. Nell'800 a. C. Mohammed ibn-Musa al-Khuwarizmi scrive alcuni trattati di algebra e aritmetica descrivendo e impiegando largamente il sistema di numerazione indiano. La diffusione europea si deve a *Fibonacci* che introduce il metodo "arabo" in Italia. Nasce così la necessita di rappresentare i numeri con l'abaco.

Nel 1600 a. C. si sviluppa l'industria bellica con la necessità di calcolare la traiettoria delle palle di cannone e nella navigazione transoceanica c'è bisogno di calcolare le carte nautiche. Allora *Nepero* sviluppa il concetto di *logaritmo* che trasforma una moltiplicazione molto grande in un addizione.

In inghilterra Edmund Gunter utilizza i logaritmi per inventare il regolo calcolatore. Nel 1623, Wilhelm Schikard progetta una macchina meccanica: l'orologio calcolatore, ma la macchina più famosa fu la *pascalina*. Inventata da Pascal, per aiutare il padre contabile. Leibniz concepì un prototipo di sistema di numerazione binario e fu un precursore della logica matematica moderna, ipotizzando che si potesse scrivere in maniera matematica il pensiero umano.

Nel 1725, Basile Bouchin utilizzo rotoli di carta perforati sui telai. Questo metodo fu migliorato da Falcon con delle schede di carta. Jacquard utilizzo delle schede metalliche. Quest'idea di usare schede perforate rimarrà nella programmazione fino agli anni '80.

Nel 1822 Thomas de Colmar costruì un aritmometro: una macchina calcolatrice portatile con le 4 operazioni con numeri fino a 12 cifre.

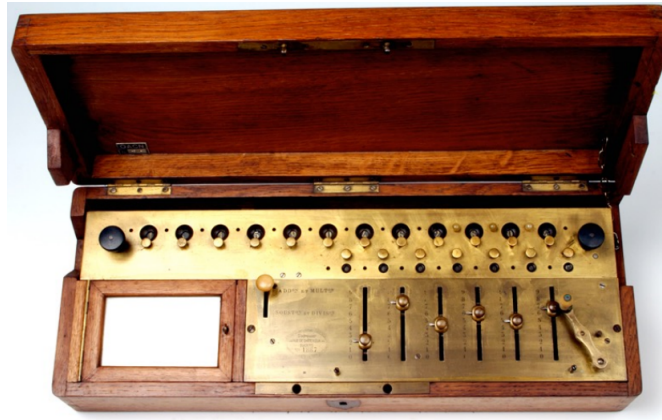


Figure 1.1: L'aritmometro

1.2 Charles Babbage

Charles Babbage (1792 - 1871), inglese, fu un'importante figura nella storia della matematica. Esso fu un membro di importanti società scientifiche e fu amico di Darwin e Pierre Simon de Laplace.

Tra il 1820 e il 1830 concepì una macchina (mai costruita) in grado di eseguire operazioni aritmetiche. Subito dopo concepì un'altra macchina più potente (*analytical engine*) che utilizzava schede perforate. Per realizzarla dovette andare a cercare finanziamenti in Europa e nel 1840 venne a tenere un congresso a Torino¹, patrocinato da re Carlo Alberto di Savoia. L'intenzione di Babbage era quella di incontrare Giovanni Plana, uno scienziato molto influente. Plana mandò un suo allievo, Menabrea ad ascoltare Babbage.

All'inizio del 1843 *Ada Augusta Byron*, contessa di Lovelace, traduce il lavoro di Menabrea e lo invia a Babbage. L'articolo, con le note di Ada, contiene molte idee che compariranno nelle moderne architetture. Sfortunatamente le idee di Babbage e Ada vennero dimenticate per oltre un secolo.

1.2.1 L'analytical engine

Ogni scheda perforata indicava la combinazione di colori. Utilizzava cicli per cui si potevano usare più volte le stesse schede. L'idea era quella che le operazioni venivano eseguite dal *mil*, un dispositivo complesso che funzionava come un "processore". Il mil usava *variabili*: cilindri di ottone in cui erano impilati un certo numero di dischi. Inoltre l'analytical engine poteva gestire calcoli in parallelo.

1.3 Boole e Hollerit

Nel 1854, George Boole pubblica un lavoro su quella che verrà chiamata *algebra booleana*. Fu considerato un lavoro puramente teorico fino agli anni '30 quando sarà riscoperto da Georg Sierpinski.

Nel 1890, in occasione del censimento, venne chiesto di poter sfruttare un modo automatico. Herman Hollerit inventò il sistema *elettrico di tabulazione*: una macchina in grado di elaborare rapidamente le informazioni di tutti i cittadini. Una scheda perforata conteneva tutte le informazioni relative a un singolo individuo tramite la presenza o l'assenza di fori in determinati punti. Queste schede venivano date al tabulatore che si occupava di leggere ogni scheda.

L'invenzione di Hollerit fu modificata e adattata ad altri contesti, per esempio le ferrovie, le assicurazioni, etc.

Nel 1896 Hollerit fonderà la Tabulating Machine Corporation che diverrà, nel 1924, la *International Business Machine Corporation*² che dominerà il mercato fino agli anni '70.

¹Alcuni suoi disegni sono conservati all'accademia delle scienze

²IBM



Figure 1.2: Un operatrice

1.4 Le schede perforate

Le *schede perforate* verranno ampiamente adottate per gran parte del XX secolo. Oltre che per memorizzare dati vennero usati anche per scrivere i codici dei programmi. Infatti i programmatori usavano pacchetti di schede perforate in cui una scheda conteneva un'istruzione. Ogni pacchetto veniva letto da una macchina stampante. Per fare ciò si consegnava il pacchetto all'operatore del centro di calcolo che si occupava della gestione. Questo processo poteva durare ore o giorni. Se il programma "crashava" veniva prodotto un *core dump* con le informazioni sul contenuto di tutti i registri al momento del blocco.

1.5 I calcolatori analogici

I *calcolatori analogici*, alla fine del '800 e all'inizio del '900, devono lavorare con grandezze reali, non finite. Essi sfruttavano e combinavano diverse proprietà della materia (livelli di tensione, ingranaggi) per eseguire calcoli complessi. Tuttavia non hanno mai preso piede, in quanto erano difficili da programmare.

Il primo calcolatore analogico generale fu inventato da *Vannevar Bush*³.

1.6 La nascita dei calcolatori digitali

Tra il 1930 e il 1950 si iniziarono a sviluppare i moderni computer.

Un *circuito digitale* (e un computer) si basa su interruttori a comando elettrico. Il primo esempio di interruttore è il *relè* che funziona come una calamita.

A essere fondamentale fu anche l'invenzione del *triode*: un componente elettronico in grado di amplificare un segnale elettrico. Se si applica una tensione variabile, la quantità di corrente che raggiunge l'anodo sarà amplificato. Il triodo si può anche comportare come un interruttore. Inoltre, essendo il triodo principalmente elettrico è di base superiore al relè, in quanto consuma meno corrente e si rompe di meno.

Attualmente i triodi sono usati in campo musicale (più nello specifico HiFi).

1.6.1 I primi computer

I primi computer si basarono sul relè poichè più economico. Nel 1937, George Stibitz, comprende che i principi della logica booleana possono essere usati per la costruzione dei circuiti digitali. Con i relè costruisce il *model K*, un addizionatore a due cifre, e successivamente il *Complex Number Calculator*, che si occupava delle quattro operazioni. Nello stesso periodo, Claude Shannon⁴ discusse la sua tesi di laurea proprio su i relè e la logica booleana.

³Inventore degli ipertesti

⁴Il padre della teoria dell'informazione

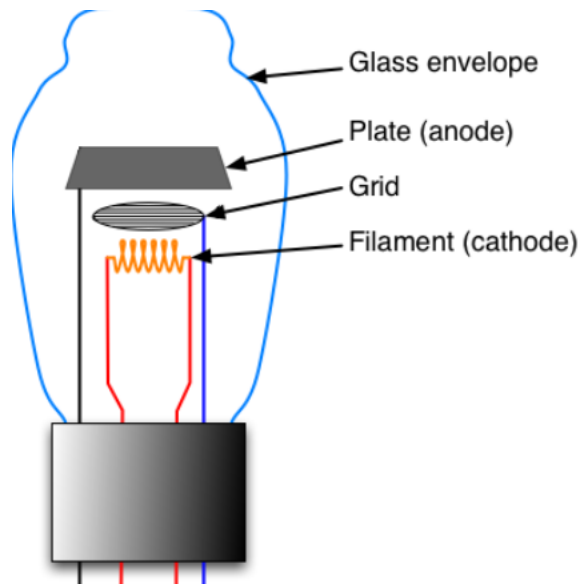


Figure 1.3: Un triodo

Konrad Zuse, un ingegnere civile, progettò tra il 1936 e il 1938 una macchina meccanica chiamata *V1*, il cui nome sarà modificato in *Z1*.

Nella *Z1* iniziarono a emergere alcuni concetti:

- Memoria;
- AU: unità aritmetica (precursore della ALU);
- Lettore di schede perforate;
- CU: control unit (precursore della CPU);
- Selettore di memoria.

Helmut Schreyer dal 1939 ricevette un finanziamento e con Zuse realizzò lo *Z2* (a cui seguì uno *Z3*) che utilizzava le valvole termoioniche.

Howard Aiken, nel 1937, volle costruire una versione dell'analytical engine, usando i relè, creando il *Mark I* (finito nel 1943, ma quasi subito obsoleto) che rimase in funzione fino al 1959. Il *Mark I* usava l'*architettura Harvard* (contrapposta all'*architettura Von Neumann*). Nell'architettura Harvard il programma è memorizzato in una memoria diversa da quella dei dati.

Il *Mark I* fu seguito dal *Mark II*. Grace Murray Hopper, programmatrice del *Mark II*, introdusse la nozione di *bug informatico*. Il nome "bug" deriva dal fatto che Grace trovò una cimice bruciata nel *Mark II* che ne comprometteva il funzionamento.

L'*Atanasoff-Berry Computer* (ABC) fu il primo computer realizzato interamente con componenti elettronici. Era alimentato a tensione alternata a 60 Hz, pesava poco e occupava poco spazio, tuttavia non era un computer *Turing completo*. Per memorizzare i dati usava la carica di un condensatore⁵.

Definizione 1.6.1: Turing completezza

Un computer è Turing completo se è in grado di eseguire qualunque operazione possibile a livello teorico

1.7 Intermezzo: la seconda guerra mondiale

Lo scoppio della guerra ostacolò alcuni ricercatori, ma ne agevolò altri. Per esempio, la Gran Bretagna aveva necessità di decifrare i messaggi criptati usati dall'esercito tedesco. I tedeschi usavano la macchina *enigma* per

⁵La DRAM è implementata con la stessa tecnica

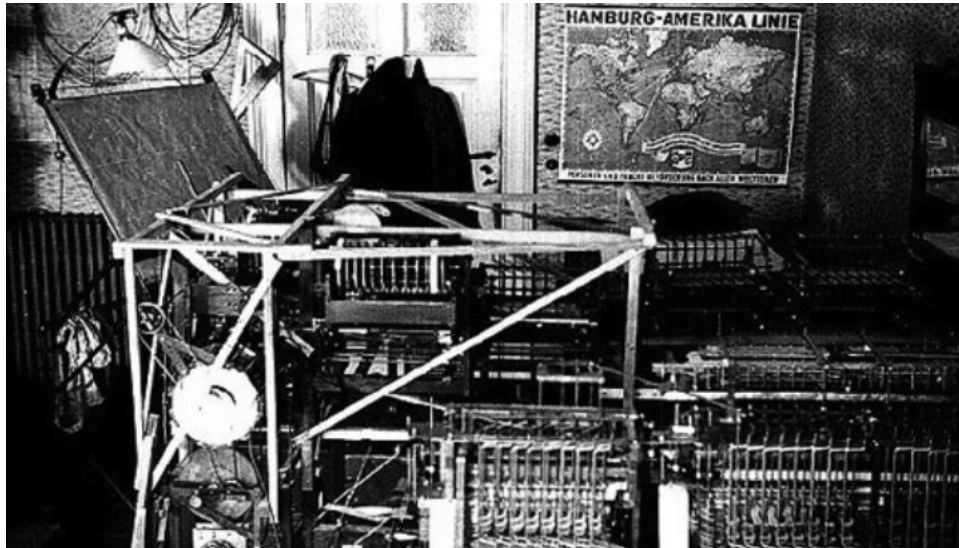
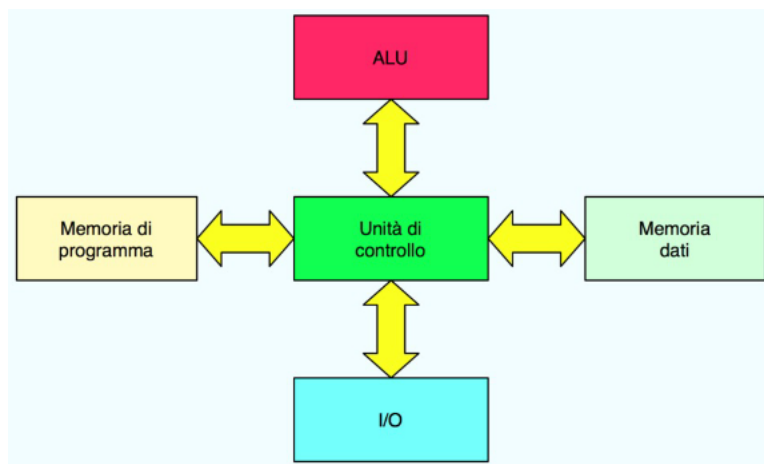


Figure 1.4: La Z1



cifrare i messaggi: aveva centinaia di migliaia di possibili cifrature, quindi non si poteva trovare il messaggio originale in tempo utile. I polacchi misero a punto le "bombe" per decrittare i messaggi di enigma, mai i tedeschi aggiornarono enigma per renderlo più sicuro.

Successivamente, *Alan Turing* e *Welcham* misero a punto una versione aggiornata delle bombe in grado di decrittare la nuova enigma. I tedeschi misero a punto una nuova cifratura⁶. Per decifrarla, *Tommy Flower*, mise a punto il *Colossus Mark 1*. Al Mark 1 seguirà il *Mark 2* che era 5 volte più veloce del suo precedente.

C'era però un altro problema sul fronte: calcolare la traiettoria delle palle di cannone. Si calcolavano usando molti parametri e delle tavole balistiche, diverse per ogni cannone. L'esercito statunitense utilizzava delle persone dette "computers" per effettuare questi calcoli usando delle calcolatrici e dei calcolatori analogici. Ogni tavola balistica conteneva 3000 traiettorie (per ogni singola traiettoria occorreavano 750 calcoli).

Herman Goldstine, un professore di 29 anni, collaborò con *John Mauchly* e *John Eckert* stipulando un contratto con l'esercito per lo sviluppo di un Elettronc Numerical Integrator, successivamente *Elettronc Numerical Integrator and Computer* (ENIAC) che non sarà utilizzato nella seconda guerra mondiale in quanto fu finito dopo.

1.7.1 L'ENIAC

ENIAC era molto grande e presentava guasti frequenti essendo interamente elettrico. Esso non utilizzava programmi memorizzati, ma eseguiva somme (in base 10) controllate da cambi elettrici (il cui risultato era memorizzato in degli *accumulatori*) e switch che andava configurato manualmente. Sia l'input che l'output era sotto forma di schede perforate. Nel complesso ENIAC era molto veloce e, se configurato in maniera opportuna, poteva eseguire anche moltiplicazioni.

L'ENIAC aveva un ciclo di clock molto veloce (200 microsecondi) ed era programmato interamente a mano. Era estremamente complicato configurare ENIAC, poichè bisognava formalizzare, scomporre e collegare correttamente gli accumulatori. Per cui, una volta programmato si cercava di farlo lavorare con tutti i dati possibili prima di riconfigurarli.

Eckert e Mauchly lavorarono a un altro progetto: *Electronic Discrete Variable Automatic Computer* (EDVAC) che poteva memorizzare programmi. Inoltre Eckert teorizzò un nuovo tipo di memoria: la Mercury Delay Line (MDL) per memorizzare sia dati che programmi. Era una memoria dinamica, ma sequenziale che utilizzava i suoni per memorizzare i bit.

1.7.2 L'EDVAC e John Von Neumann

Von Neumann scrisse un famoso report intitolato "First Draft of a Report on the EDVAC" in cui si ha la prima descrizione di un sistema con programmi memorizzati (l'EDVAC, appunto). Ed è proprio da questo articolo che deriva il termine "architettura di Von Neumann". Questo articolo suscitò sia interesse che polemiche⁷. Il fatto che fosse firmato solo da Von Neumann, che aveva solo formalizzato matematicamente il concetto, adombrò i tre inventori di EDVAC. Successivamente, in un'intervista, Goldstine disse che era stato lui a scrivere l'articolo.

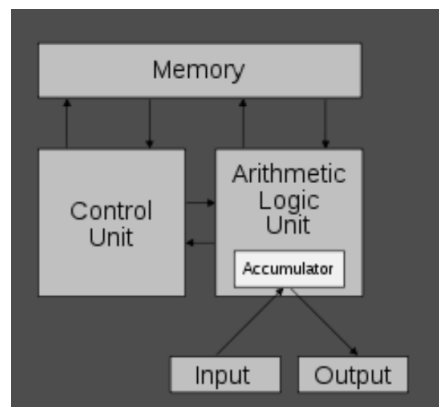


Figure 1.5: L'architettura Von Neumann

⁶Cifratura di Lorenz

⁷Il rivelare al pubblico l'EDVAC ne rese impossibile il brevetto

L'EDVAC:

- Rende più veloce l'esecuzione dei programmi;
- Rende più facile ricompilare i programmi;
- Rende più facile e veloce l'esecuzione delle istruzioni di controllo;
- Tuttavia è necessaria una memoria spaziosa ed efficiente e si ha il rischio di modificare inavvertitamente il programma stesso.

Alcune caratteristiche dell'EDVAC:

- Ogni istruzione da 44 bit (non esisteva ancora il byte) era suddivisa in 5 campi:
 - 4 bit per l'operazione;
 - 10 bit X 3 per l'indirizzo dove reperire gli operandi e l'indirizzo dove salvare in memoria il risultato;
 - 10 bit per l'indirizzo della prossima istruzione.
- Erano disponibili solo 12 istruzioni:
 - le 4 operazioni aritmetiche (più moltiplicazione e divisione con arrotondamento);
 - il salto incondizionato;
 - lo shift;
 - lettura e scrittura sul nastro perforato;
 - lettura da console;
 - stop.
- Non esisteva il concetto di memoria secondaria permanente (si usavano le Delay lines).

Note:-

L'EDVAC rimase operativo per circa 10 anni.

1.7.3 L'eredità dell'EDVAC

- L'EDVAC fu il primo computer a usare la memoria centrale per memorizzare programmi e dati;
- L'EDVAC fu il primo computer a usare il concetto di programma memorizzato;
- Si ha la necessità di mettere a punto una memoria adeguata alle necessità dei circuiti logici;
- Si capisce che l'efficienza dei computer non dipende solo dalla velocità di calcolo, ma anche dalla velocità di accesso alla memoria.

1.8 Il post-EDVAC

Il primo computer a programma memorizzato fu il Manchester Small Scale Experimental Machine (SSEM). Esso utilizza i Williams-Kilburn Tube, ossia una sorta di memoria ad accesso diretto (RAM). Dato che era necessario un refreshing era più propriamente una DRAM (come le Mercury Delay Lines). Il Williams-Kilburn Tubes era formato da un tubo catodico (come i vecchi televisori).

Caratteristiche del SSEM:

- 32 parole da 32 bit;
- Un registro da 32 bit conteneva l'istruzione in esecuzione;
- Un registro da 32 bit veniva usato come accumulatore;
- Pesava solo una tonnellata;
- La ALU eseguiva solo sottrazioni e negazioni (le altre operazioni erano implementate via software).

Per questa macchina furono scritti solo 3 programmi (di cui uno da Turing).

Successivamente, nel 1949, venne costruito il Manchester Mark 1 che era un computer a tutti gli effetti. Esso fu commercializzato come Ferranti Mark 1.

Un'altra macchina, figlia dell'EDVAC, fu il Whirlwind, sviluppato al MIT. Nel Whirlwind si hanno due principali innovazioni:

- fu il primo computer a operare in parallelo su 16 bit (usando opportune unità logiche in parallelo). Questo lo rendeva più veloce anche grazie all'introduzione della memoria a nucleo magnetico (core memory);
- il microprogramma, ossia un programma che controlla il funzionamento del computer. Inoltre si introducevano micro-istruzioni condizionali.

Dal 1946 al 1952 si ebbe un rapido sviluppo dei computer, tramite conferenze e pubblicazioni. In questi anni il grande pubblico iniziò a conoscere i computer, anche tramite articoli del New York Times. In uno di questi articoli, Turing, osservò che era necessario comprendere le potenzialità di queste macchine.

Impatti culturali:

- Nel 1952 viene usato UNIVAC I per predire l'esito delle elezioni presidenziali;
- Si espande la consapevolezza dei computer.

1.8.1 I transistor

Il 23 Dicembre 1947, William Shockley, John Bardeen e Walter Brattain, inventarono il transistor. I transistor rappresentano un'evoluzione delle valvole termoioniche. I transistor sono più piccoli, più veloci e più affidabili.

Un transistor è costruito con un semiconduttore (silicio o germanio) che può essere drogato con impurità per aumentarne la conducibilità (P se con cariche positive, N se con cariche negative). Un transistor è composto da tre strati drogati in modo alternato (PNP o NPN). Ai tre strati viene applicata una tensione che permette di controllare la corrente che passa tra due strati.

Caratteristiche dei transistor:

- Possono essere usati come interruttori;
- La corrente fluisce tra emettitore e collettore (due dei tre strati);
- Se usati come switch, riescono a commutare più velocemente delle valvole termoioniche;
- Funzionano a frequenze più alte;
- Consumano meno energia.

Note:-

Velocemente sostituirono le valvole termoioniche.

1.8.2 Le memorie negli anni '50

La MDL e i WKT si rivelarono inadeguati per via della loro lentezza. Per cui, nei primi anni '50, si svilupparono nuove memorie:

⇒ *Nastri magnetici*;

⇒ *Rotating drum memory*;

⇒ *Magnetic core memory*.

E nella seconda metà degli anni '50 si svilupparono gli hard disk (HDD).

Note:-

Ma doveva ancora emergere la distinzione tra memoria primaria e secondaria.

L'UNIVAC I (UNiversal Automatic Computer I), progettato da Eckert e Mauchly, fu il primo computer commerciale. Esso fu venduto a numerose aziende e agenzie governative (in tutto 46 unità). Come memoria principale usava una MDL, ma come memoria di massa adottava un nastro magnetico (UNISERVO).

Nel 1952 inizia la commercializzazione dei Mainframe IBM. Dal 1956 questi computer verranno costruiti con la tecnologia a transistor (domineranno il mercato fino alla metà degli anni '70).

Note:-

Il termine Mainframe deriva dal fatto che questi computer erano così grandi che occupavano un'intera stanza.

I Mainframe IBM 700/700 erano divisi in base all'impiego:

- Applicazioni scientifiche e ingegneristiche;
- Applicazioni commerciali: manipolavano principalmente stringhe.

Queste due categorie erano tra di loro incompatibili (avevano diversi ISA).

1.8.3 Memorie a nucleo magnetico

Le memorie a nucleo magnetico (core memory) erano molto più veloci delle MDL e dei WKT. Furono usate tra il 1955 e il 1975. Erano costituite da un insieme di anelli di materiale ferromagnetico (ferrite) che potevano essere magnetizzati in due direzioni. L'orientamento del campo indicava il valore del bit. Tuttavia erano molto costose e non erano adatte per l'archiviazione di grandi quantità di dati. Il "core dump" era un'operazione che permetteva di leggere il contenuto della memoria dopo un crash.

1.8.4 IBM 650

L'IBM 650 fu il primo computer a essere venduto in grandi quantità (2000 unità). Era un computer relativamente economico (200.000 dollari) e fu usato per applicazioni commerciali. Venne anche venduto alle università.

Questo computer era "general purpose" e ebbe un utilizzo didattico per l'insegnamento della programmazione. Viene spesso annoverato come l'antenato del PC. Oltre a questo era accessibile direttamente dall'utente (non era necessario un operatore).

Funzionava a tubi catodici con memoria a tamburo rotante. Nel 1959 venne commercializzata la versione a transistor (IBM 650-T).

Un caratteristica peculiare di questo computer era che i numeri erano rappresentati in forma bi-quinararia: ci vogliono 6 bit per rappresentare una cifra tra 0 e 9. Le istruzioni macchina avevano la forma xx yyyy zzzz:

- xx: operazione;
- yyyy: indirizzo della locazione di memoria;
- zzzz: indirizzo della prossima istruzione.

Il 650 aveva 3 registri:

- l'istruzione in esecuzione (program register);

- il dato indirizzato (distributor);
- il risultato (accumulator).

Note:-

Donald Knuth^a, uno dei più grandi informatici, ha scritto un libro su questo computer. The Art of Computer Programming (TAOCP) in cui furono trattati praticamente tutti gli aspetti teorici.

^aTra le altre cose inventore del TeX.

Definizione 1.8.1: Bit e Byte

Nel 1948, Claude Shannon, definì il bit come la quantità di informazione necessaria per scegliere tra due alternative equiprobabili. Inoltre, nel 1956, il byte fu definito come la quantità di bit necessari per rappresentare un carattere. Nel 1956 Werner Buchholz, un ingegnere di IBM, propose di usare il byte per rappresentare un carattere. All'inizio la dimensione non era di 8 bit, ma di 4 o 6.

1.8.5 Memorie a tamburo rotante

Definizione 1.8.2: Memorie a tamburo rotante

Le memorie a tamburo rotante sono un tipo di memoria a accesso diretto. Esse furono disponibili fin dagli anni '30, ma furono usate solo negli anni '50. Esse erano costituite da un tamburo rotante con una serie di tracce concentriche.

Note:-

Ma in pochi anni furono soppiantate dagli hard disk.

Inoltre alla fine degli anni '50 fu sviluppato il primo circuito integrato (IC) da Jack Kilby di Texas Instruments. Questo IC era costituito da un transistor e da altri componenti elettronici.

Definizione 1.8.3: Legge di Moore

La legge di Moore afferma che il numero di transistor in un IC raddoppia ogni 18/24 mesi. È stata storicamente abbastanza precisa, ma non si può sapere per quanto resterà valida.

1.9 Le innovazioni degli anni '60

Nel 1960 viene commercializzato, dalla Digital Equipment Corporation (DEC), il PDP-1 (Programmed Data Processor):

- Primo computer a usare un monitor;
- Primo computer a ospitare un videogioco (Spacewar!);
- Primo computer in cui si fu sviluppato un editor, un word processor e un debugger.

Inoltre è con il PDP-1 che inizia a diffondersi la cultura hacker: persone che usano il computer per divertimento e per sperimentare.

Ulteriori innovazioni:

- nel 1962 fu operativo l'ILIAC II in cui compare, per la prima volta, la pipeline;
- nell'IBM 7030 (stretch) vengono implementate protezioni della memoria, il byte da 8 bit e la memoria interlacciata;
- nel 1961 nell'ATLAS vengono implementate la memoria virtuale e la paginazione.

1.9.1 La terza generazione di computer

A partire dal 1964 si inaugura la terza generazione di computer, basati su circuiti integrati (con la IBM 360). Questa serie di mainframe fu molto usata sui posti di lavoro perchè potevano essere usate in molti ambiti diversi. Erano relativamente veloci e utilizzavano una memoria a nastro magnetico o un hard disk.

- Si adotta la dimensione di byte fissa a 8 bit;
- La memoria principale era indirizzabile a byte;
- Word di dati da 32 bit;
- Si utilizza microcodice in tutti i processori;
- Le istruzioni avevano lunghezza variabile di 2, 4 o 6 byte;
- Vennero introdotte istruzioni macchina complesse con 2 operandi in memoria;
- Fu introdotta la Direct Memory Access (DMA);
- Nel 1964 Douglas Engelbart inventa il mouse.

L'Olivetti Programma 101 (Perottina): fu sviluppato da Pier Giorgio Perotto e fu il primo computer da tavolo. Vendette circa 40.000 unità. Anche se venne venduta come calcolatrice, era un computer completo. Era programmabile in linguaggio macchina e in linguaggio assembler.

Note:-

Viene considerato da alcuni il primo personal computer (PC), ma in realtà nessuno penso mai di utilizzarlo come tale.

Il CDC 6600: fu il primo supercomputer. Raggiungeva circa 1 milione di istruzioni floating point al secondo, cioè 1 MFLOPS. Nel 1969 fu sviluppato il CDC 7600 che raggiungeva 40 MFLOPS. L'idea di Seymour Cray era quella di affiancare al processore principale un processore ausiliario. Ciò riduceva i cicli di clock utilizzando istruzioni macchina semplici. Il 6600 fu anche il primo computer a usare un'architettura superscalare, in grado di sfruttare il parallelismo a livello di istruzione.

Note:-

Il FLOPS è un'unità di misura della potenza di calcolo.

I minicomputer: nel 1965 la DEC sviluppa il PDP-8, il primo minicomputer. Era un computer "economico" e piccolo. Questa categoria di computer decadde con l'avvento dei microprocessori e dei PC.

Le cache: nascono da una necessità di velocizzare l'accesso alla memoria. La cache è una memoria molto veloce, ma molto piccola. vengono teorizzate da Maurice Wilkes nel 1965. Il primo computer commerciale a utilizzare la cache fu l'IBM 360/85, nel 1968. Al giorno d'oggi tutti i computer hanno una cache a tre livelli.

Lo schema di Tomasulo: nel 1967 Robert Tomasulo sviluppa uno schema per l'esecuzione fuori ordine delle istruzioni. Questo schema permette di eseguire istruzioni in parallelo, anche se dipendenti tra loro.

The mother of all demos: nel 1968 Douglas Engelbart presenta il suo sistema NLS (o oNLine System) che introduce il concetto di ipertesto e di mouse. Questo sistema introduce anche il concetto di finestre e di grafica.

1.9.2 Gli anni '70

Gli anni '70 si aprono con la commercializzazione del PDP-11, un minicomputer della DEC. Sul PDP-11 venne sviluppato il primo sistema operativo UNIX. Ed era pensato per essere assemblato da chiunque. Aveva solo 8 registri e una memoria di 64 KB. Una sua particolarità era l'ortogonalità delle istruzioni, ossia ogni istruzione poteva essere usata con qualsiasi registro. Ma questo rendeva il tutto molto più lento.

Floppy Disk: nel 1971 Alan Shugart sviluppa il floppy disk. Erano dischi magnetici da 8 pollici e avevano una capacità da 360 KB a 1440 KB. Negli anni '80 e '90 saranno utilizzati come memoria di massa per PC economici.

1.10 La vera storia dell'Intel

Nel 1968 Robert Noyce e Gordon Moore fondano la NM Electronics, che diventerà la Integrated Electronics (Intel). Poco dopo venne assunto Andy Grove, che diventerà il CEO dell'Intel. Inizialmente, la Intel, produceva memorie RAM a semiconduttori. Nel 1969 la Intel produce un innovativo chip di SRAM ad alta velocità da 64 bit. Nel 1971 la prima Eprom (memoria non volatile) da 2 KB e un chip di DRAM da 1 KB, l'Intel 1103 o "Magnetic Core Memory Killer". Nel 1969 la Intel firma un contratto con la Busicom, un'azienda giapponese, per sviluppare un chip per una calcolatrice elettronica. Ted Hoff e Stan Mazor ristrutturarono il progetto e svilupparono il primo microprocessore, l'Intel 4004 che raccoglieva 12 circuiti integrati su un unico chip. Nel 1970 fu assunto Federico Faggin per guidare lo sviluppo di questo progetto. Tuttavia Busicom si ritirò dall'affare, cedendo i diritti alla Intel. Il 4004 fu il primo microprocessore a 4 bit con tecnologia a 10 micron. Il secondo microprocessore fu l'Intel 8008 (capostipite degli x86).

Computer Terminal Corporation:

- Nel 1968 fu fondata la CTC da Phil Ray e Gus Roche;
- A quei tempi i computer si usavano tramite terminali;
- I caratteri venivano stampati su carta e inviati al computer;
- L'output veniva stampato su carta;
- Si ebbe l'idea di produrre terminali silenziosi e veloci, questo portò alla produzione del Datapoint 3300;
- Il Datapoint 3300 ebbe successo, ma la produzione fu affidata a Texas Instruments e Intel;
- In poco tempo le azioni della CTC moltiplicarono il loro valore;
- La Intel fu convinta (minacciata) da Ray a sviluppare un microprocessore per il Datapoint 2200.

Il Datapoint 2200:

- Era un terminale intelligente;
- Funzionava caricando da nastro magnetico ed eseguendo un programma di emulazione di terminale del mainframe a cui era collegato;
- Si voleva utilizzare come stand-alone, progettando il resto dei componenti in proprio;
- Per questo fu utilizzato come PC.

Inoltre, negli anni '70, iniziò l'era dei microprocessori, sempre più veloci, sofisticati e con più memoria. Fu ulteriormente aumentata la frequenza di clock e la dimensione dei registri. La dimensione dei dati manipolati passa da 8 a 64 bit. Nascono anche varie sigle per quanto riguarda la dimensione del numero di transistor su un'unica fetta di silicio: MSI, LSI, VLSI, ULSI.

1.11 Innovazioni architetturali

- Negli anni '80 si verifica la rivoluzione RISC che permise di costruire macchine più semplici e veloci;
- Negli anni '90 si sfrutta l'Instruction Level Parallelism (ILP);
- Alla fine degli anni '90 e all'inizio degli anni '00 si introducono i multithread e i multicore;
- A partire dagli anni 2000 si usano processori grafici per l'elaborazione non grafica.

Nel 1973 la Xerox Palo Alto Research Center (PARC) sviluppa il primo personal computer dotato di interfaccia grafica e mouse. Ebbe una limitata commercializzazione ma fu usato a livello universitario.

1.11.1 La Apple

Nel 1976 Steve Jobs e Steve Wozniak fondano la Apple. Jobs riuscì a convincere il Byte Shop a vendere il suo computer, l'Apple I. Il Byte Shop vendette 50 unità a 500 dollari. Jobs e Wozniak iniziarono a costruirli in un garage. Ma bisognava convincere Mike Markkula a finanziare la produzione. Markkula era un imprenditore che aveva lavorato per Intel e Fairchild. Nel 1977 fu commercializzato l'Apple II che doveva funzionare out of the box. Nel 1980 l'Apple III fu un fallimento per via dei problemi di surriscaldamento.

1.11.2 Il PC IBM

Nel 1981 IBM decise di entrare nel mercato dei PC. Il progetto di debutto fu il 5150: utilizzava un processore Intel 8088 a 4.77 MHz, 16-256 KB di RAM e floppy disk. Questo portò al fenomeno dell'IBM compatibile: tutti i produttori di PC cercavano di essere compatibili con l'IBM 5150. Solo la Apple non era compatibile. A fine agosto 1981 la Apple diede il benvenuto a IBM nel mercato dei PC con un annuncio pubblicitario: *Welcome, IBM. Seriously..*. Tuttavia IBM conquistò la maggior parte del mercato.

Nel frattempo alla Apple erano in sviluppo il LISA e il Macintosh: LISA fu considerato troppo costoso e il Macintosh 128k fu commercializzato nel 1984 ed ebbe grande successo. Famosa è la pubblicità del Macintosh 128k, diretta da Ridley Scott, trasmessa durante il Super Bowl e ispirata a *1984* di Orwell.

1.11.3 The RISC revolution

David Patterson e John Hennessy, nel 1980, condussero esperimenti su un nuovo modello architetturale. Negli anni '80 nasce RISC in opposizione a CISC.

CISC:

- Molte istruzioni macchina;
- Istruzioni complesse;
- Molteplici modalità di indirizzamento;
- Permetteva di generare eseguibili corti;
- I tempi di accesso alla memoria erano lunghi.

Note:-

Per esempio l'IBM 360 permetteva di spostare fino a 256 byte di dati in un'unica istruzione.

RISC:

- Poche istruzioni macchina;
- Istruzioni semplici;
- Istruzioni di lunghezza fissa;
- Istruzioni con struttura regolare;
- Solo LOAD e STORE accedevano alla memoria.

Note:-

Una macchina RISC aveva 32 registri, mentre una CISC ne aveva 8 o 16.

1.11.4 Instruction Level Parallelism

Negli anni '90 si sviluppa l'Instruction Level Parallelism (ILP) che garantisce:

- Scheduling dinamico della pipeline;
- Branch prediction dinamico;
- Speculazione hardware: venivano eseguite istruzioni anche se non si sapeva se erano necessarie;
- Multiple issue: venivano eseguite più istruzioni in parallelo;
- Ottimizzazione del compilatore.

1.11.5 Multithreading e multicore

Negli anni 2000 si sviluppano ulteriori tecnologie per aumentare le prestazioni dei processori:

- Multithreading: permette di eseguire più thread in parallelo;
- Multicore: permette di eseguire codice parallelo su più core;
- La tecnologia grafica viene usata per l'elaborazione non grafica;
- Attualmente si usano in combinazione.

Capitolo 2

Storia dei linguaggi di programmazione

2.1 Introduzione

L'idea di "linguaggio di programmazione" emerge per far fare al compilatore determinati compiti. Ogni computers, per quanto sofisticato comprende solo il concetto di bit, ma per gli esseri umani è difficile esprimersi in quei termini. Per questo motivo si è pensato di creare un linguaggio che fosse più vicino alla nostra comprensione. Con il tempo si sono succedute molte idee e c'è stata una selezione naturale dei linguaggi. Alla fine i linguaggi veramente importanti sono poco più di una decina.

Note:-

Ai giorni nostri si dà per scontata l'idea di linguaggio, ma negli anni '40, Von Neumann affermava di non vederne l'utilità.

All'inizio si riteneva che nessuno avrebbe deciso di scrivere un programma in un linguaggio perché sarebbe stato troppo lento rispetto allo scrivere un programma in assembler, ma oggi quest'idea è superata per via dei sempre più efficienti compilatori.

Ripercorrendo la storia dei sistemi di calcolo si ha una prima idea con l'analytical engine di Babbage, con Ada Lovelace che scrive il primo programma per questa macchina. Successivamente con ENIAC si ha il primo computer elettronico (che poteva essere riconfigurato), ma il primo linguaggio di programmazione è il Plankalkul di Konrad Zuse, che però non è mai stato implementato. Nel Mark I Di Aiken le istruzioni erano codificate su nastro perforato. Tra il '43 e il '45 Goldstine e Von Neumann sviluppano il concetto di "flow chart" in cui si ha "=" interpretato come assegnamento. Nel '48 il Manchester SSEM usa a 32 switch per stabilire il valore di un bit. Nell'EDVAC, i bit che componevano il programma (scritto in linguaggio macchina) e i dati, tutti rappresentati in binario, erano inseriti uno a uno nelle Mercury Delay Lines.

Definizione 2.1.1: Initial order

Nel EDSAC nasce per la prima volta l'idea "initial order": il codice di una determinata istruzione era associato a una lettera assegnata in modo mnemonico (per esempio "S" significava subtract). Un'istruzione macchina era costituita da un tre caratteri di 5 bit ciascuno.

Note:-

Nell'initial order il programma era codificato su un nastro perforato. Era una sorta di antenato del linguaggio assembler.

In sostanza:

- Alla fine degli anni '40 c'erano poche decine di programmatori e meno di 20 computers;
- Non esistevano corsi/tutorial di programmazione;
- Erano stati scritti pochi programmi.

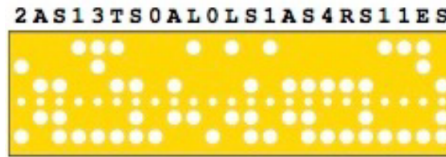


Figure 2.1: Initial order

Definizione 2.1.2: Short code

Lo short code viene implementato nel '49 da Maurice Wilkes. Si tratta di un linguaggio che permette di scrivere programmi in modo più semplice. Veniva assegnato uno specifico numero a 6 bit per indicare variabili e simboli di un'equazione. Si scrisse anche un programma per il calcolo delle equazioni da calcolare (una sorta di primitivo interprete).

Tra il 1948 e il 1950 Haskell Curry sviluppa la programmazione strutturata. Tuttavia Curry non considerava la fase di analisi sintattica

2.2 Gli anni '50

Definizione 2.2.1: For

Il costrutto for viene introdotto nel '51 da Rutishauser. La sua idea permetteva di generare codice rilocabile.

Nel 1950 l'italiano Corrado Böhm concepisce un linguaggio di alto livello e un metodo di traduzione in linguaggio macchina. Nel suo lavoro:

- Vengono introdotti "if then else" e "goto";
- Gli statement di assegnamento;
- Le subroutine;
- Un compilatore scritto nello stesso linguaggio dei programmi che deve tradurre.

Il compilatore di Böhm genera codice proporzionalmente al numero di passi da eseguire. Inoltre il linguaggio di Böhm è universale (tuttavia è solo su carta).

2.2.1 AUTOCODE

Definizione 2.2.2: AUTOCODE

Il primo compilatore degno di questo nome viene sviluppato nel 1953 da Alick Glennie che noto che si poteva usare lo stesso computer per tradurre un programma e far girare il programma sullo stesso computer. AUTOCODE era complicato e il suo compilatore era composto da 750 istruzioni.

AUTOCODE:

- Rendeva più veloce e semplice la programmazione;
- Costituiva una perdita di efficienza del 10% rispetto al linguaggio macchina.

Ma il lavoro di Glennie non ebbe il successo sperato poichè in quegli anni il focus non era tanto sullo scrivere un programma ma sul fatto che i calcolatori si rompevano continuamente.

Negli anni '50 si sviluppa l'idea di pseudo-codice e si parlava di automatic coding invece che di compilatori.

2.2.2 Gli anni dal '54 al '56

In quegli anni si stava tenendo il SIMATIC (Symposium on the Mechanization of Thought Processes) in cui si discuteva delle proprie scoperte.

- Nel 1954 si sviluppa il primo assembler moderno, il SOAP;
- Tra il 1954 e il 1956 alla Boeing Airplane Company di Seattle viene sviluppato il sistema BACAIC, in cui espressioni algebriche vengono tradotte in subroutine di linguaggio macchina;
- Enton Elsworth lavora ad un sistema per la traduzione di equazioni algebriche in linguaggio macchina (dell'IBM 701), e chiama il suo sistema Kompiler;
- Viene messo a punto ADES, il primo linguaggio di programmazione imperativo;
- Nel 1956, per IBM 650, viene sviluppato il compilatore IT.

Definizione 2.2.3: IT

IT funzionava in due fasi:

1. Veniva generato codice assembler intermedio;
2. Da quel codice veniva generato codice macchina

IT permetteva di scrivere in un linguaggio semplice con un'implementazione efficiente.

2.2.3 Il FORTRAN

Definizione 2.2.4: FORTRAN

Nel 1957 il FORTRAN fa la sua comparsa. All'inizio del 1954 John Backus, Harlan Herrick e Irving Ziller iniziano a lavorare su un linguaggio di programmazione. In quegli anni i programmi venivano scritti o in assembler o in linguaggio macchina, per cui non si pensava che il FORTRAN potesse avere successo.

Specifiche:

- Avrebbe dovuto essere facile scrivere programmi in FORTRAN e sarebbe dovuto essere efficiente;
- Avrebbe dovuto essere facile da imparare;
- Non doveva essere svincolato dall'hardware (in quanto linguaggio di IBM).

Il manuale del FORTRAN aveva una grafica professionale, ma era pieno di errori e incompleto. Tuttavia il FORTRAN influenzò la maggior parte dei linguaggi successivi e fino agli anni '70 fu utilizzato come standard per applicazioni scientifiche.

2.2.4 LISP

Definizione 2.2.5: LISP

Nel 1958 fa il suo debutto il LISP. Fu il primo dei linguaggi funzionali. Nasce per la manipolazione di espressioni simboliche con l'uso del concetto di "ricorsione". Inoltre il LISP usava sia liste che alberi. Offriva un garbage collector e un sistema di tipi dinamico. Permetteva la meta-programmazione.

- Viene usata una notazione polacca (prefissa);
- Alcuni operatori potevano venire implementati direttamente in linguaggio macchina.

Note:-

Alcune parti di LISP erano codificate in FORTRAN

In LISP tutto veniva rappresentato da liste concatenate. La lista concatenata a destra è la rappresentazione interna dei dati.

2.2.5 COBOL

Definizione 2.2.6: COBOL

Il COBOL (COmmon Business Oriented Language) fu concepito per applicazioni di tipo amministrativo e commerciale. Il COBOL aveva una sintassi "english-like", ciò lo rendeva facilmente comprensibile. Esempio:

ADD A TO B GIVING C

Il COBOL venne sviluppato dal CODASYL (Conference on Data Systems Languages) e il DoD (Department of Defense) USA obbligo le compagnie produttrici di computer a fornire il COBOL nelle loro installazioni.

Corollario 2.2.1 La sintassi del COBOL

La sintassi del COBOL fu il risultato di un processo decisionale influenzato da FLOW-MATIC (di Grace Hopper) e dall'IBM COMTRAN (di Bob Bemer)^a.

^aMolto marginalmente.

Gli obiettivi:

- doveva essere portatile;
- doveva essere efficiente;
- doveva essere facilmente comprensibile e utilizzabile.

Ma il COBOL non fu recepito bene dalla comunità informatica: non si consideravano i programmatori COBOL dei veri programmatori. Inoltre il COBOL non era adatto per applicazioni scientifiche. Ai giorni nostri il COBOL è quasi del tutto scomparso.

2.3 Gli anni '60

2.3.1 ALGOL 60

Definizione 2.3.1: L'ALGOL 60

L'ALGOL 60 (ALGOrithmic Language 1960) fu frutto di una collaborazione tra l'ACM (Association for Computing Machinery) e l'IFIP (International Federation for Information Processing). L'ALGOL 60 era molto legato all'hardware sottostante.

Note:-

Tony Hoare^a noto che l'ALGOL 60 era molto più avanti rispetto ai linguaggi dell'epoca.

^aInventore del Quicksort e del puntatore NULL

ALGOL 60 introduce:

- **call by value** (per i parametri);
- **call by name** (per le variabili);
- **call by reference** (per i parametri, passaggio di un puntatore);

L'ALGOL è il primo linguaggio a richiedere esplicitamente il tipo delle variabili, Inoltre viene introdotta la distinzione tra assegnamento e uguaglianza. Oltre a questo si introducono le prime primitive di controllo strutturate: if then else, while loop e for. Si introducono anche i blocchi di istruzioni:

BEGIN ... END

L'ALGOL per via del pesante utilizzo di GOTO consentiva programmazione non strutturata. Ciò rende il codice meno leggibile.

Definizione 2.3.2: Spaghetti code

Spaghetti code indica codice non strutturato e "ingarbugliato", difficilmente leggibile.

2.3.2 La Backus-Naur Form (BNF)

Definizione 2.3.3: Backus-Naur Form (BNF)

La BNF è una notazione per grammatiche context free. Viene usata per descrivere la sintassi dei linguaggi di programmazione e, essendo un metà linguaggio, può essere usata per descrivere se stessa.

Note:-

Tutto ciò viene spiegato nel corso "Linguaggi formali e traduttori"

Definizione 2.3.4: Panini Backus Form

La Panini Backus Form è una versione ridotta della BNF.

Corollario 2.3.1 I parsificatori

I parsificatori sono programmi che leggono un testo e lo analizzano per determinare la sua struttura grammaticale. ALGOL portò alla creazione di un parsificatore (LL). Nel 1965, Donald Knuth sviluppò un altro parsificatore (LR), ma solo alla fine degli anni '60 verranno messi a punto dei parsificatori efficienti.

2.3.3 BASIC

Definizione 2.3.5: Basic (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code)

Il BASIC nasce nel 1964 da un progetto di John Kemeny e Thomas Kurtz. Il BASIC era un linguaggio di programmazione semplice e facile da imparare. Il suo obiettivo era quello di consentire a studenti, non di informatica, di scrivere programmi.

Note:-

Il BASIC inizia a diffondersi negli anni '70 con la diffusione dei "micro-computers". In alcuni casi il BASIC diventava l'ambiente di lavoro del PC (un po' come la shell).

Il BASIC era sufficientemente ad alto livello da poter essere utilizzato da chiunque ed ebbe diffusione come linguaggio didattico. Ma anche il BASIC fu guardato con sufficienza da molti informatici: Dijkstra sosteneva che fosse inutile insegnare a programmare a gente che era stata esposta al COBOL o al BASIC.

Definizione 2.3.6: Visual BASIC

Il visual BASIC fu introdotto da Microsoft nel 1991 sebbene fu utilizzato molto poco a causa della diffusione di linguaggi più potenti.

Altre varianti furono:

- Altair BASIC;
- Game BASIC (poi ridenominato Integer BASIC);
- Applesoft BASIC.

2.3.4 La questione del GOTO

Teorema 2.3.1 Bohm-Jacopini

Il teorema ha diverse formulazioni equivalenti, ma sostanzialmente asserisce che qualsiasi funzione computabile può essere calcolata da un programma costituito esclusivamente da una combinazione di:

- Sequenze di istruzioni eseguite una dopo l'altra;
- Istruzioni di selezione (del tipo if then else);
- Istruzioni di iterazione (del tipo while do).

Note:-

In sostanza il teorema dimostrava che il GOTO poteva essere messo da parte.

Nel 1968, Dijkstra critica l'uso del GOTO in una lettera alle Communication of the ACM. Successivamente, nel 1974, Knuth mostra che in alcuni casi il GOTO era la scelta migliore. Ne manuale di Brian Kernigham e Dennis Ritchie osservano che il GOTO era necessario per gestire alcuni casi di errore.

2.3.5 Il Simula

Definizione 2.3.7: Simula I

Il Simula I nasce nel 1966 da un progetto di Kristen Nygaard e Ole-Johan Dahl. Il Simula I è il primo linguaggio ad oggetti. Il suo scopo principale era quello di gestire simulazioni.

Note:-

Dahl e Nygaard si ispirarono al concetto di record class introdotto da Hoare nell'ALGOL 60.

Definizione 2.3.8: Simula 67

Il Simula 67 è la seconda versione del Simula. Il Simula 67 è il primo linguaggio ad oggetti a essere usato in ambito commerciale. Il Simula 67 introduce il concetto di classe e di sottoclasse. Le istanze di una classe sono dette oggetti e l'operazione new permette di creare un oggetto. In Simula 67 erano anche presenti i puntatori (chiamati ref) ai record di attivazione (oggetti).

Note:-

Per questi motivi si introduce un meccanismo di garbage collection.

Il Simula 67 introduce anche la data abstraction e l'ereditarietà. Uno degli utilizzi del simula era la modellazione di sistemi concorrenti.

2.4 Gli anni '70

2.4.1 Pascal

Definizione 2.4.1: Pascal

Il Pascal nasce nel 1970 da un progetto di Niklaus Wirth. Può essere considerato un successore dell'ALGOL. Vengono introdotti i puntatori e il tipo CHAR. Il Pascal incoraggia la costruzione di procedure chiare, usa strutture dati dinamiche, call by value e call by reference. Un'altra caratteristica era il suo sistema di tipi molto ricco, ma molto rigido^a.

^aCon type checking in fase di compilazione

Obiettivi:

- Semplicità;
- Chiarezza;
- Efficienza;
- Scrittura di programmi complessi.

Il compilatore del Pascal non generava direttamente codice macchina, ma generava un codice intermedio: il P-Code. Il P-Code era un linguaggio assembly portabile. Il P-Code veniva interpretato da una macchina virtuale. Verso la fine degli anni '70 il Pascal era ormai in uso e insegnato nelle università.

L'Educational Testing Service (ETS), rese il Pascal il linguaggio standard per i test AP (Advanced Placement). Nel 1983 Hejlsberg sviluppa il Turbo Pascal, un compilatore per PC. Il Turbo Pascal era un compilatore molto efficiente e permetteva di scrivere programmi in Pascal in modo molto veloce (diventò lo standard dei PC).

Apple utilizzò il Pascal come linguaggio di riferimento per il suo sistema operativo così come Microsoft. Tuttavia il Pascal declinò in favore di C e di UNIX.

2.4.2 Il Prolog

Definizione 2.4.2: Il Prolog

Il Prolog (PROgrammation en LOGique) nasce nel 1972 da un progetto di Alain Colmerauer e Philippe Roussel. Il Prolog è un linguaggio dichiarativo basato sulla logica del primo ordine. Il Prolog è un dimostratore automatico di teoremi.

Note:-

I dimostratori automatici di teoremi sono utilizzati nel corso di "Metodi formali per l'informatica" e nella parte da +3 CFU del corso di "Linguaggi e paradigmi".

Definizione 2.4.3: The Fifth Generation Computer Systems (FGCS)

Nel 1981 il governo giapponese lancia il progetto FGCS. L'obiettivo era quello di sviluppare un computer sfruttando il parallelismo, il linguaggio naturale e AI, per cui il Prolog era particolarmente adatto. Questo progetto ebbe molta risonanza a livello mondiale e portò i vari governi a investire in ricerca.

Note:-

Nel 1982 Ehud Shapiro sviluppa il linguaggio Concurrent Prolog.

Le macchine della quinta generazione dovevano eseguire operazioni logiche che sarebbero state valutate in Logic Inferences Per Second (LIPS).

Dopo 10 anni di tentativi e investimenti il progetto FGCS fallisce:

- I processori RISC erano più veloci delle macchine FGCS;
- Lo sfruttamento del parallelismo era più difficile del previsto;
- Il paradigma logico era difficile da usare.

2.4.3 Lo Smalltalk

Definizione 2.4.4: Smalltalk

Lo Smalltalk nasce nel 1972 da un progetto di Alan Kay. Diverse versioni furono sviluppate da Dan Ingalls e Adele Goldberg. Lo Smalltalk fornì il primo ambiente di programmazione dotato di interfaccia grafica (GUI), implementato sullo Xerox Alto.

Lo Smalltalk è un linguaggio orientato agli oggetti in cui esistono *solo* oggetti. Gli oggetti hanno dati privati e comunicano mediante metodi. Si utilizzava un sistema di tipi dinamico.

Note:-

Alan Kay concepisce anche il Dynabook, un computer portatile.

Kay divide i linguaggi in due categorie:

- quelli prodotti da comitati;
- quelli prodotti da individui: questi sono i linguaggi più innovativi.

2.4.4 ADA: il linguaggio definitivo

Definizione 2.4.5: ADA

Il progetto parte nel 1974 al Department of Defense (DoD) USA per standardizzare i linguaggi di programmazione. Dopo 3 anni venne scelto il progetto di Jean Ichbiah che, con i report di 15 nazioni, sviluppa il linguaggio ADA, in onore di Ada Lovelace. Secondo Ichbiah sarebbero sopravvissuti solo 2 linguaggi: ADA e LISP. Ma i primi compilatori ADA erano lenti.

L'ADA prendeva caratteristiche dall'ALGOL (strutture di controllo e sintassi), dal Pascal (Sistema di tipi) e dal SIMULA (gestione concorrenza e parallelismo).

Note:-

Tuttavia non era orientato agli oggetti al lancio, ma solo dal 1995.

2.5 Il C

Se si considera la diffusione il C è il linguaggio più importante della storia. Il C era estremamente efficiente e portabile.

Definizione 2.5.1: Il C

A metà degli anni '60 i laboratori Bell insieme al MIT e alla General Electric iniziarono il progetto di un nuovo sistema operativo (MULTICS). Dennis Ritchie, Ken Thompson e Brian Kernigham erano tra gli sviluppatori del MULTICS, ma nel 1969 il progetto venne abbandonato. Così Thompson e Ritchie svilupparono il sistema operativo UNIX (come scherzo nei confronti di MULTICS). Inizialmente era scritto in assembler, poi in B, predecessore del C.

Tra il 1971 e il 1972 Ritchie modifica il B e nasce il C (inizialmente NB o New B).

Il C era dotato di:

- Portabilità;
- Efficienza;
- Modularità;
- Compattezza;
- Tipi flessibili;
- Gestione efficiente della memoria;
- Bitwise programming.

Note:-

Si deve a Kernigham il concetto di "Hello World".

Definizione 2.5.2: The obfuscated C code

L'international obfuscated C code contest è un concorso di programmazione che consiste nel scrivere il programma più incomprensibile in C che funziona.

2.5.1 La nascita del C++

Definizione 2.5.3: Il C++

Il C++ nasce nel 1979 da un progetto di Bjarne Stroustrup. Si tratta di un'evoluzione del C orientata all'object-oriented.

Note:-

Nel 2001 viene rilasciato il D, un'evoluzione del C++ influenzata da Java, Ruby e Python.

2.5.2 Objective-C e C-Sharp

Definizione 2.5.4: Objective-C

L'Objective-C nasce nel 1983 da un progetto di Brad Cox e Tom Love. Si tratta di un'evoluzione del C orientata all'object-oriented.

Definizione 2.5.5: C-Sharp

Il C-Sharp nasce nel 2000 da un progetto di Microsoft. Si tratta di un'evoluzione del C orientata all'object-oriented. È stato sviluppato per la piattaforma .NET.

2.6 Gli anni '90: il Web e Java

Nel 1993 avvenne un evento che cambiò il mondo dell'informatica: il World Wide Web. Al NCSA (National Center for Supercomputing Applications) viene sviluppato il Mosaic, il primo browser grafico. Il Mosaic rendeva le pagine web più accessibili e più facili da creare. Questo browser metteva a disposizione degli utenti una enorme quantità di informazioni. Negli anni '90 nascono anche le applet: piccoli programmi che venivano eseguiti all'interno del browser il cui linguaggio era WORA (Write Once Run Anywhere). Questo linguaggio diventerà poi il Java.

Definizione 2.6.1: Java

Il Java nasce a partire dal 1990 da un progetto di Sun Microsystems^a. Fu rilasciato nel 1995 insieme al browser HotJava (per eseguire le applet). Successivamente tutti gli altri browser implementarono una Java Virtual Machine.

^aAzienda che sviluppò Solaris e NFS.

2.7 Verso il 21esimo secolo : i linguaggi di scripting

Definizione 2.7.1: Linguaggio di scripting

Un linguaggio di scripting è un linguaggio di programmazione interpretato che viene utilizzato per scrivere script. Gli script sono programmi che vengono eseguiti da un interprete. Per esempio il linguaggio bash è un linguaggio di scripting.

Note:-

In linea di principio qualsiasi linguaggio può essere usato come linguaggio di scripting, ma in pratica richiederebbero un interprete.

Linguaggi di scripting general purpose:

- coniugano le caratteristiche dei classici linguaggio di programmazione;
- prototipazione veloce.

Definizione 2.7.2: Perl

Il Perl nasce nel 1987 da un progetto di Larry Wall come linguaggio di scripting per l'elaborazione di testi e file. È usato per scrivere script per il web, per l'amministrazione di sistemi e per l'elaborazione di testi.

Note:-

Di recente, il Perl, viene insegnato nel corso di "Bioinformatica" alla magistrale.

2.8 Digressione: altri linguaggi

Definizione 2.8.1: Python

Il Python nasce nel 1991 da un progetto di Guido van Rossum. Possiede caratteristiche object-oriented e funzionali e ha una sintassi semplice e chiara.

Definizione 2.8.2: PHP

Il PHP (PHP: Hypertext Preprocessor) nasce nel 1994 da un programma di Rasmus Lerdorf. È un linguaggio di scripting per la programmazione web.

Definizione 2.8.3: JavaScript

Il JavaScript nasce nel 1995 (sviluppato in 10 giorni) da un progetto di Brendan Eich. È un linguaggio di scripting per la programmazione web. Con JavaScript nasce una guerra tra Netscape e Internet Explorer.

Definizione 2.8.4: Ruby

Il Ruby nasce nel 1995 da un progetto di Yukihiro Matsumoto. È un linguaggio di scripting orientato agli oggetti che doveva inglobare le caratteristiche migliori:

- la praticità del Perl;
- orientato agli oggetti come lo Smalltalk;
- la semplicità del Lisp.

Capitolo 3

Storia dei sistemi operativi

3.1 Prima dei sistemi operativi

Il concetto di programma negli anni '40 era appena accennato e molto diverso da quello attuale. Per esempio, l'ENIAC, il primo computer elettronico, era programmato tramite cablaggi elettrici. Il concetto di programma memorizzato in memoria centrale è stato introdotto da John von Neumann nel 1945 (con l'EDVAC e le istruzioni macchina). Ma questa era una procedura manuale, a quei tempi non si pensava minimamente al farsi aiutare da un programma per inserire un programma nel computer.

Definizione 3.1.1: Sistema operativo

Un sistema operativo è un programma che aiuta a "far girare" gli altri programmi.

Le cose iniziarono a cambiare dal 1955. Con il tempo i sistemi operativi sono diventati sempre più complessi e sofisticati. Uno dei compiti storici degli S. O. era quello di rendere semplice agli utenti l'utilizzo di un computer.

Storicamente molti dei concetti ancora usati nei moderni S. O. (paginazione della memoria, memoria virtuale, etc.) nascono dalla scarsità di risorse dei primi computer.

3.2 Fase 1 : Job by Job / Open Shop

- I computer erano usati solo dai loro progettisti e dai loro collaboratori;
- Scrivere un programma veniva svolto in più passi:
 1. Scrivere il programma su carta;
 2. Trasferire il programma su schede perforate;
 3. Nello slot prenotato il programmatore si recava nella sala del computer;
 4. Inseriva le schede perforate nel computer (se il computer non era guasto);
 5. Faceva partire il programma;
 6. Potevano essere lette le celle di memoria per seguire l'esecuzione del programma;
 7. L'output poteva essere stampato o convertito in schede perforate
- Se un programma andava storto era difficile il debugging;
- Si introduce la figura professionale dell'operatore addetto alla sala macchine che stampava la fotografia della memoria in caso di comportamenti anomali;
- Si caricava un solo programma alla volta;
- A metà degli anni '50 nascono i primi assembler.

3.3 Fase 2 : Sistemi batch

- Bisogna permettere al computer di pianificare il lavoro da svolgere in modo da sfruttare al meglio le risorse;
- **Resident monitor**: programma che rimane in memoria e gestisce l'input e l'output. Si occupa anche di far partire i programmi;
- Per esempio se si voleva eseguire un programma in FORTRAN:
 1. \$FORTRAN: carica il compilatore e compila il sorgente;
 2. \$LOAD: carica il programma utente;
 3. \$RUN: esegue il programma utente fino a \$END.
- Rispetto alla fase 1 emerge la distinzione tra programma e dati, ma non c'era nessuna protezione della memoria;
- **Batch processing**: il lavoro del Resident monitor per eseguire tutti i programmi di un certo batch;
- Se erano presenti nastri magnetici si poteva parallelizzare parte del lavoro;
- La produttività aumentava a scapito dei tempi del singolo utente

Note:-

Un esempio di sistema Batch è il BKS per il Philco 2000 che aveva più lettori di nastro che funzionavano come diverse aree di un file system.

Però per i processori di quegli anni si raccomandava di scrivere programmi che:

- Non contenessero istruzioni di halt;
- Non riavvolgessero i nastri;
- Non indirizzassero indirizzi di memoria riservati al sistema.

3.4 Fase 3 : Multiprogrammazione

- Si introdussero dispositivi di memoria di massa ad accesso diretto;
- Si diffusero transistor più potenti che implementassero un sistema di interrupt;
- Così si poteva simulare un'esecuzione contemporanea di più programmi;
- Il termine Multiprogrammazione fu coniato nel 1959 da Christopher Strachey;
- **Spooling**: Simultaneous Peripheral Operation On Line, permetteva di eseguire più programmi in parallelo asincronicamente;
- **Multitasking cooperativo**: un programma può girare perché un altro programma lascia *volontariamente* la CPU.

Definizione 3.4.1: Il sistema Atlas

Il sistema Atlas era un sistema operativo che permetteva di eseguire più programmi in parallelo. Fu sviluppato da Tom Kilburn, Bruce Payne e David Howarth. Nell'Atlas compaiono per la prima volta le system call (o extracode) e l'implementazione di memoria virtuale con paginazione su richiesta.

- La memoria dell'Atlas era suddivisa in pagine (blocks);
- Fixed store: una memoria a nucleo magnetico (MCM) da 8192 words per il codice del supervisor;
- Subsidiary store: una MCM da 1024 words per i dati del supervisor;
- Core store^a: una MCM da 16384 words per il processo utente;
- Drum store^b: memoria a tamburo rotante per i processi non in esecuzione.

Il sistema Atlas prevedeva anche un system input tape, ossia una sorta di memoria di Swap. Il supervisor si assicurava di avere sempre un programma in esecuzione, se non ce n'era ne caricava uno dalla memoria di Swap.

^aUna memoria cache

^bUna RAM

Definizione 3.4.2: Il sistema B5000

Il sistema B5000 era un computer della Burroughs Corporation in grado di gestire uno stack. Nel Master Control Program (MCP) compare il "trashing". Inoltre MCP era scritto in un linguaggio ad alto livello. Nel MCV compare per la prima volta un timer hardware.

3.5 Fase 4 : Timesharing

- Nel 1959 John McCarthy conia il termine **Timesharing**;
- Nel 1961 McCarthy specifica che il Timesharing deve permettere a più utenti di usare la stessa macchina contemporaneamente;
- Il primo sistema Timesharing fu il CTSS (Compatible Time Sharing System) sviluppato da Fernando Corbato al MIT;
- Il suo obiettivo era quello di permettere a più utenti di usare la stessa macchina contemporaneamente attraverso un supervisor;
- Il CTSS doveva:
 1. Tenere traccia delle aree di memoria occupate da ogni programma;
 2. Poter spostare i programmi da una memoria all'altra;
 3. Il programma in esecuzione deve poter essere interrotto dopo un certo lasso di tempo;
 4. Le operazioni di I/O devono essere asincrone;
 5. Se le operazioni I/O erano lente il programma doveva essere spostato in memoria secondaria;
 6. Gli utenti dovevano poter interrompere un programma non funzionante;
 7. Gli utenti dovevano poter interrogare il sistema.
- Il CTSS era dotato di accesso controllato dagli utenti attraverso login e password;
- Si potevano sviluppare nuovi comandi;
- Nel 1965 fu scritto un programma MAIL per automatizzare lo scambio di MAIL e nel 1971 fu inviato il primo SPAM;

- Il CTSS fu l'antecedente del MULTICS diretto da Robert Fano;
- Il MULTICS fu un fallimento commerciale ma un successo tecnologico dato che porto involontariamente alla nascita di UNIX;
- Nel 1965 Robert Daley e Peter Neumann svilupparono, in un articolo, il concetto di file system gerarchico;
- Il file system doveva essere uno standard per cui tutti i suoi processi dovevano essere invisibili all'utente;
- Nasce anche il termine "pathname" e il termine "link";
- Gli utenti hanno a disposizione comandi per manipolare i file;
- Il sistema Titan venne dotato di una file allocation table (FAT);
- Il sistema Titan aveva anche un sistema di protezione dei file in maniera criptata;
- Un altro sistema operativo diffuso in quegli anni era OS/360, il SO di IBM;
- OS/360 serviva a facilitare il passaggio a hardware più potenti.

Definizione 3.5.1: UNIX

Inizialmente il nome UNIX era UNICS, ossia UNiplexed Information and Computing Service. Il nome fu cambiato in UNIX perchè UNICS era già stato registrato. Il nome UNIX è un gioco di parole con MULTICS.

A metà degli anni '80 UNIX era il sistema operativo Timesharing di riferimento. Lo UNIX ebbe la fortuna di comparire al momento giusto, quando i computer erano abbastanza potenti da poter supportare un sistema operativo Timesharing. Dennis Ritchie notò che il successo dello UNIX dipese anche dalla capacità di migliorare idee già utilizzate.

Note:-

Nel MULTICS nascono directory e subdirectory, ma la soluzione proposta aveva molti difetti risolti da UNIX.

3.6 Fase 5 : Sistemi concorrenti

- I sistemi operativi soffrivano spesso di deadlock, starvation e trashing;
- Si riscoprirono i principi della programmazione concorrente (semafori, regioni critiche e monitor);
- Nel 1969 Dijkstra sviluppa THE¹ operating system;
- Il THE era un sistema a strati sovrapposti (una serie di VM) e usava i semafori;
- Nel 1969 fu sviluppato anche il sistema operativo RC4000 (da Per Brinch Hansen);
- RC4000 era il primo a implementare un kernel (nucleos);

Definizione 3.6.1: Concurrent Pascal

Hansen fu anche il padre del Concurrent Pascal (1973), un linguaggio contenente primitive di sincronizzazione e comunicazione tra processi. Fu usato per sviluppare il S.O. Solo.

¹Technische Hogeschool Eindhoven

3.7 Fase 6 : Sistemi per PC

- Il capostipite degli S. O. per PC può essere considerato il sistema OS 6 sviluppato tra il 1969 e il 1972 da Stoy e Strachey;
- OS 6 era un S.O. scritto in BCPL, i cui concetti furono ripresi nello Xerox Alto;
- All'Alto seguono Pilot, Cedar e Xerox Star (dotato di Mouse e interfaccia grafica a finestre);
- Purtroppo la Xerox non seppe convincere il mercato.

3.7.1 CP/M, MS-DOS e Windows

All'inizio degli anni '60, Gary Kildall sviluppa il CP/M (Control Program for Microcomputers) per controllare un floppy disk da un processore Intel 8080. Nel 1974 fonda, insieme alla moglie, la Digital Research Inc. per commercializzare il CP/M (pubblicizzato su riviste di elettronica e informatica). Il CP/M aveva la caratteristica di poter girare su computer diversi. Il CP/M era diviso in:

- CCP (Console Command Processor): interprete dei comandi;
- BDOS (Basic Disk Operating System): interfaccia tra CCP e hardware;
- BIOS;

Nel 1975, Kildall ideò il concetto di BIOS (Basic Input Output System) per interfacciare un sistema operativo con l'hardware. Sostanzialmente le istruzioni passavano da CCP a BDOS e poi a BIOS.

Note:-

Questo favoriva la portabilità del sistema operativo.

Il 4 Aprile 1975 Bill Gates e Paul Allen fondano la Micro-Soft e scrivono, per il CP/M, un interprete BASIC. Successivamente Bill Gates:

1. compra la licenza d'uso dell'86-DOS (un clone del CP/M) da Seattle Computer Products;
2. ingaggia Tim Patterso per portare l'86-DOS sull'IBM PC (con processori 8088);
3. rinomina l'86-DOS in MS-DOS e vende la licenza d'uso alla IBM;
4. Microsoft può vendere DOS anche ad altri produttori di PC IBM compatibili.

Nel 1985 Microsoft presenta Windows 1.0, un'interfaccia grafica per MS-DOS. Successivamente con la versione 3.0, Windows diventa un sistema operativo completo. Nel 1995 Windows 95 diventa il sistema operativo più diffuso.

Note:-

Apple in una serie di campagne pubblicitarie prese in giro Windows 95 e i suoi vari problemi.

3.7.2 DOS, Mac OS e OS X

Nel 1987 Apple II utilizzava DOS (Disk Operating System) per gestire un floppy disk. In realtà era noto come Apple DOS. Un'idea profuqua della Apple fu quella di rendere pubbliche le specifiche hardware delle sue macchine. Questo permise a terzi di sviluppare software per i computer Apple, per esempio VisiCalc (il primo foglio elettronico).

Il primo tentativo della Apple di sviluppare un sistema operativo fu il Lisa OS (1983), ma non ebbe successo e fu rimpiazzato dal Macintosh con il Mac OS (1984). Mac OS arriva fino alla versione 9, ma nel 2001 viene sostituito da OS X. Il passaggio da Mac OS a OS X fu una importante svolta: OS X era basato su UNIX, derivato da NeXTSTEP (il sistema operativo di NeXT, la compagnia fondata da Steve Jobs dopo essere stato cacciato dalla Apple).

3.7.3 GNU, Minix e Linux

Nel 1983 Richard Stallman fonda il progetto GNU (GNU is Not Unix, acronimo ricorsivo): un progetto per lo sviluppo di software libero. L'obiettivo del progetto GNU era quello di creare software sviluppato da una comunità di programmatori e distribuito con una licenza che ne permettesse la modifica e la redistribuzione.

Nel 1987 Andrew Tanenbaum sviluppa Minix, un sistema operativo Unix-like per l'uso didattico (usando il Tanenbaum). Il Minix era a 16 bit e non aveva il supporto per i dispositivi di massa.

Linus Torvalds decise di sviluppare un nuovo sistema operativo usando il GNU C Compiler (gcc) e il Minix (in realtà è usato solo come esempio, non contiene codice del Minix). Nel 1991 Linus Torvalds rilascia la prima versione di Linux (un kernel) su una news group. Il nome originale di questo S.O. era Freax (Free Unix), ma il nome Linux fu scelto da un suo amico. Nel 1992 il kernel Linux viene rilasciato con la licenza GNU GPL (General Public License).

Note:-

Il logo di Linux è un pinguino di nome Tux., scelto nel 1996.

Ovviamente Linux, avendo licenza GNU GPL, era completamente modificabile e da esso nacquerò diverse distribuzioni (Debian, Red Hat, Ubuntu, SUSE, Arch, etc.).

3.8 Fase 7 : Sistemi distribuiti

- I sistemi distribuiti sono un insieme di computer collegati tra loro tramite una rete;
- Devono dare l'idea di un unico sistema;
- Negli anni '80 si diffuserò, tramite Ethernet, vari sistemi distribuiti;
- In questi sistemi era implementato Remote Procedure Call (RPC), un'estensione di IPC²;
- Le prime RPC in ambiente UNIX furono sviluppate da Sun Microsystems per NFS (Network File System);
- In realtà i sistemi distribuiti non si diffuserò al di fuori dall'ambito di ricerca.

Note:-

A titolo esemplificativo si possono ricordare:

- Unix United System (UUS), nel 1982 che collegava 5 PDP11;
- Amoeba formato da una rete di workstation e con un file System distribuito.

3.9 Fase 8 : Sistemi operativi per dispositivi mobili

Dalla metà degli anni '90 si diffuserò i dispositivi mobili (smartphone e tablet). Un S.O. per dispositivi mobili deve essere:

- in grado di gestire un touchscren;
- in grado di gestire funzionalità in tempo reale;
- in grado di gestire le risorse in maniera efficiente.

Nel 1996 la Nokia inizia la commercializzazione del Nokia 9000, enormemente diffuso dagli operatori di borsa. Nel 1993 Apple sviluppa il primo palmare, MessagePad. Dall'integrazione di questi due dispositivi nascono i veri e propri smartphone. L'iPhone (2007) è il primo smartphone ad avere accesso ai social. Nei primi anni 2000 si diffondono anche i tablet, il coronamento del sogno di Alan Kay³.

²Come visto nel corso "Sistemi Operativi".

³Dynabook.

Note:-

Per questi dispositivi si sviluppano sistemi operativi come:

- Symbian OS (1998);
- BlackBerry OS (1999);
- iOS (2007);
- Android (2008);
- Windows Mobile.

3.9.1 Android

La Android fu fondata nel 2003, nel 2005 viene acquistata da Google. Il suo sistema si basa su un kernel linux, ma viene sviluppato in Java. Fece il suo debutto nel 2008 con HTC Dream.

3.9.2 Apple iOS

Apple iOS è un sistema operativo sviluppato da Apple per iPhone, iPod Touch e iPad. Viene rilasciato nel 2007 e ha un kernel XNU (X is Not Unix) basato su Mach e BSD. Ha una ristretta fetta di mercato (tra il 15% e il 25%).