

Calcolatori Elettronici

Parte I: Evoluzione dei calcolatori e tipologie di Calcolatori

Prof. Riccardo Torlone
Università di Roma Tre

Architetture..



Come si arriva ad una architettura complessa?



Una architettura opera di molti artisti..

- Leon Battista Alberti
- Bernardo Rossellino
- Bramante
- Raffaello Sanzio
- Antonio da Sangallo
- Michelangelo Buonarroti
- Vignola
- Pirro Ligorio
- Giacomo Della Porta
- Domenico Fontana
- Carlo Maderno
- Gian Lorenzo Bernini

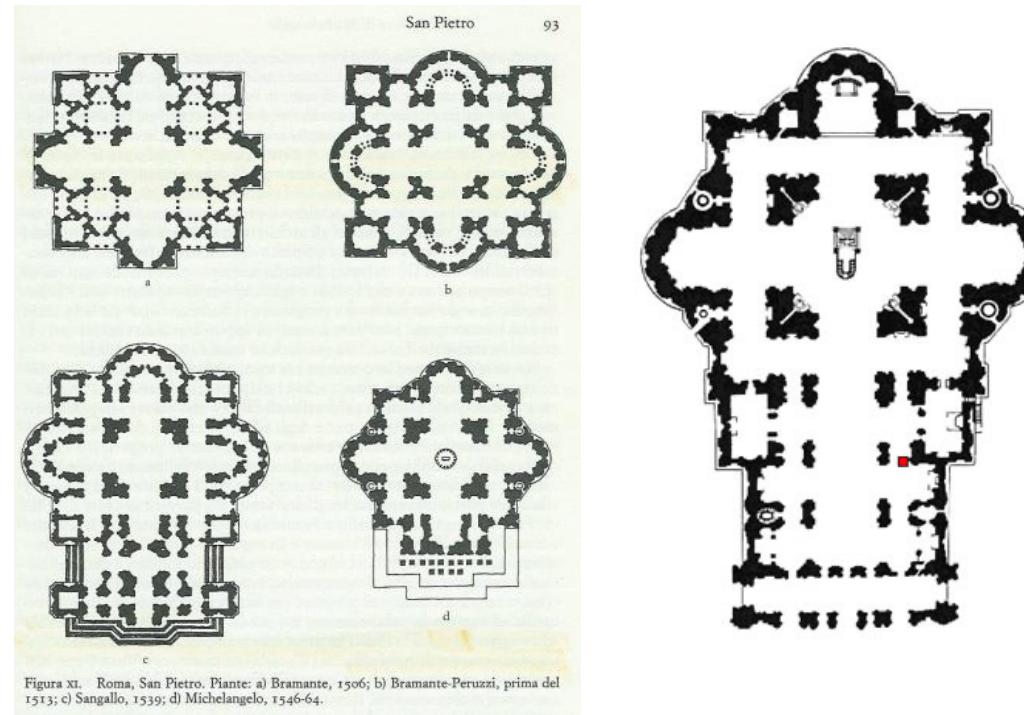


Figura xi. Roma, San Pietro. Piante: a) Bramante, 1506; b) Bramante-Peruzzi, prima del 1513; c) Sangallo, 1539; d) Michelangelo, 1546-64.

Evoluzione degli Elaboratori (opera di molti artisti)

Year	Name	Made by	Comments
1834	Analytical Engine	Babbage	First attempt to build a digital computer
1936	Z1	Zuse	First working relay calculating machine
1943	COLOSSUS	British gov't	First electronic computer
1944	Mark I	Aiken	First American general-purpose computer
1946	ENIAC I	Eckert/Mauchley	Modern computer history starts here
1949	EDSAC	Wilkes	First stored-program computer
1951	Whirlwind I	M.I.T.	First real-time computer
1952	IAS	Von Neumann	Most current machines use this design
1960	PDP-1	DEC	First minicomputer (50 sold)
1961	1401	IBM	Enormously popular small business machine
1962	7094	IBM	Dominated scientific computing in the early 1960s
1963	B5000	Burroughs	First machine designed for a high-level language
1964	360	IBM	First product line designed as a family

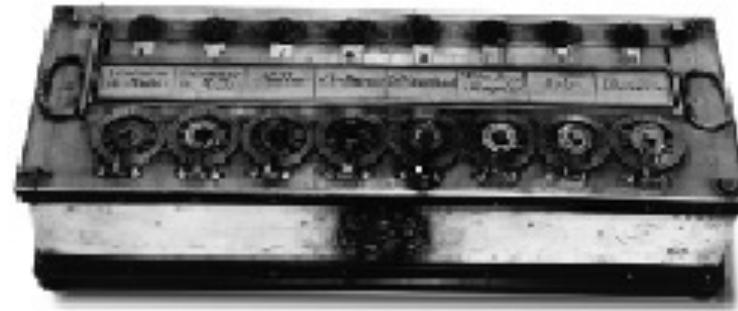
Quasi tutta l'evoluzione ha avuto luogo negli ultimi 70 anni

1965	PDP-8	DEC	First mass-market minicomputer (50,000 sold)
1970	PDP-11	DEC	Dominated minicomputers in the 1970s
1974	8080	Intel	First general-purpose 8-bit computer on a chip
1974	CRAY-1	Cray	First vector supercomputer
1978	VAX	DEC	First 32-bit superminicomputer
1981	IBM PC	IBM	Started the modern personal computer era
1981	Osborne-1	Osborne	First portable computer
1983	Lisa	Apple	First personal computer with a GUI
1985	386	Intel	First 32-bit ancestor of the Pentium line
1985	MIPS	MIPS	First commercial RISC machine
1987	SPARC	Sun	First SPARC-based RISC workstation
1990	RS6000	IBM	First superscalar machine
1992	Alpha	DEC	First 64-bit personal computer
1993	Newton	Apple	First palmtop computer
2001	POWER4	IBM	First dual-core chip multiprocessor

Generazione 0 (1600-1945)

Pascal (1623-1662)

- addizioni e sottrazioni



Leibniz (1646-1716)

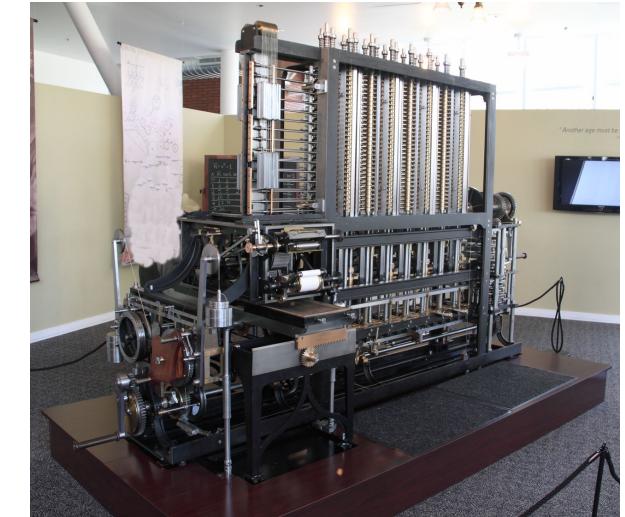
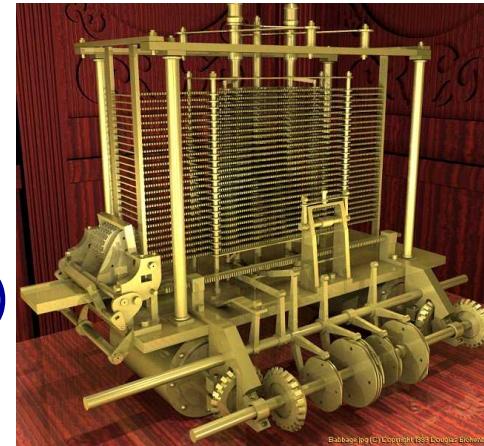
- anche moltiplicazioni e divisioni



La macchina di Babbage

Charles Babbage (1792-1871)

- A) Macchina Differenziale
 - Calcolo funzioni polinomiali
 - Algoritmo fisso (differenze finite)
 - Output su piastra di rame
- B) Macchina Analitica
 - Prima macchina programmabile
 - Memoria: 1000×50 cifre decimali
 - Mulino (CPU)
 - I/O su schede perforate
 - Limite: tecnologia meccanica
 - Primo programmatore:
 - Ada Lovelace

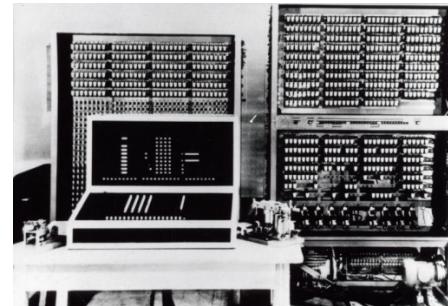


Generazione 0 (continua)

(Macchine elettromeccaniche)

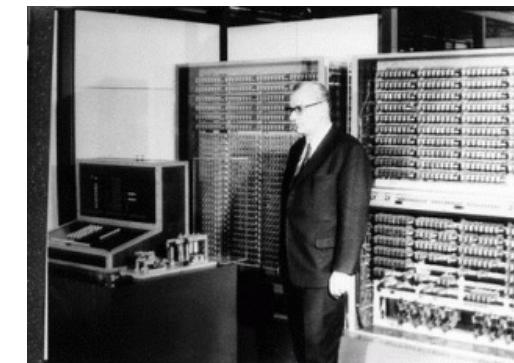
Konrad Zuse (~1930 Germania)

- Macchina a relè
- Distrutta nella guerra



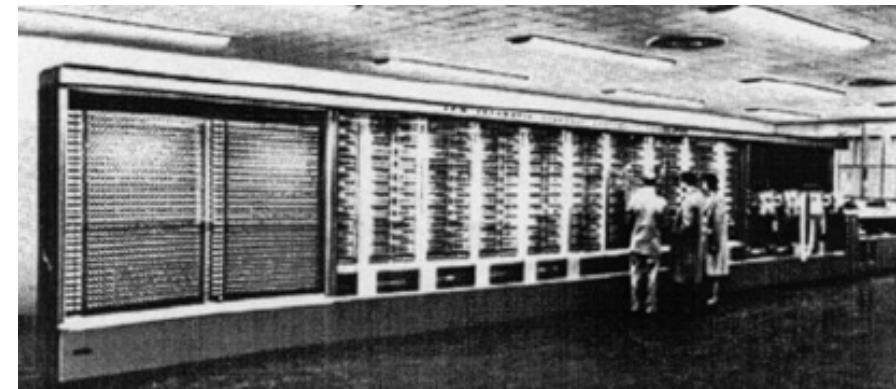
John Atanasoff e George Stibitz (~1940 USA)

- Aritmetica binaria
- Memoria a condensatori



Howard Aiken (~1940 USA)

- MARK 1: versione a relè della macchina di Babbage
- Memoria: 72 x 23 cifre decimali
- tempo di ciclo: 6 sec.
- I/O su nastro perforato

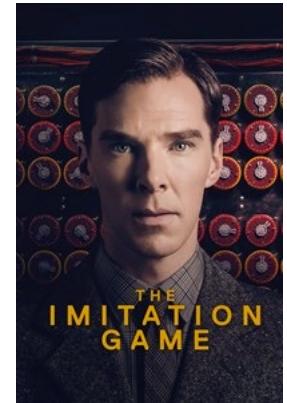
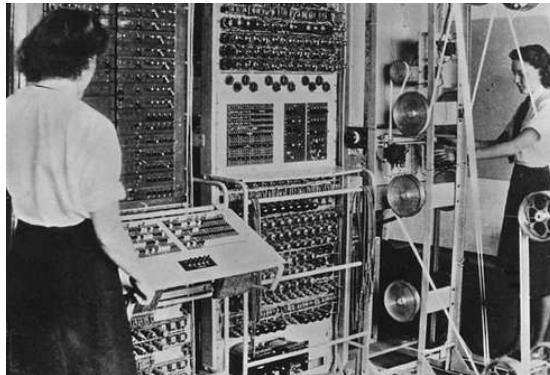


I Generazione (1945-1955)

(Tecnologia a valvole)

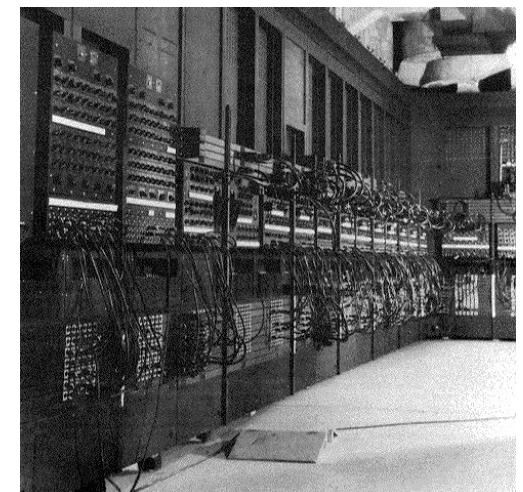
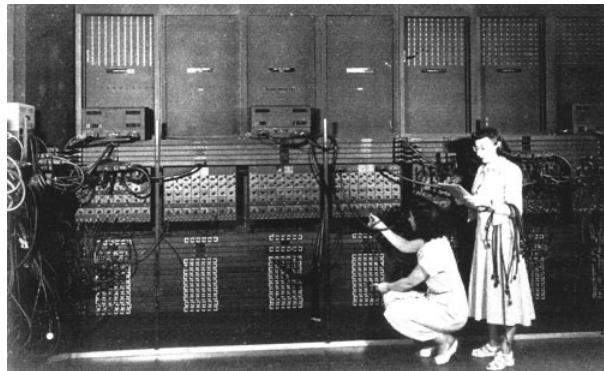
COLOSSUS (~1940 GB)

- Gruppo di Alan Turing
- Decifrazione del codice Enigma
- Progetto mantenuto segreto



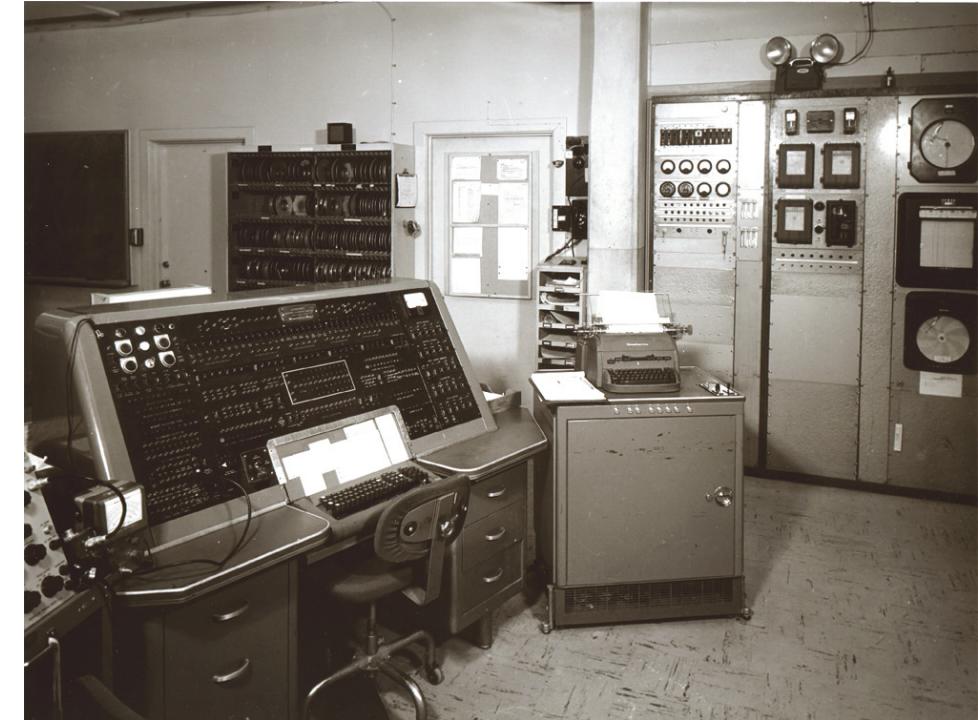
ENIAC (~1946 USA)

- J. Mauchley, J. Eckert
- 18.000 valvole
- 30 tonnellate di peso
- 140KW consumo energia
- Programmabile tramite 6000 interruttori e pannelli cablati
- 20 registri da 10 cifre

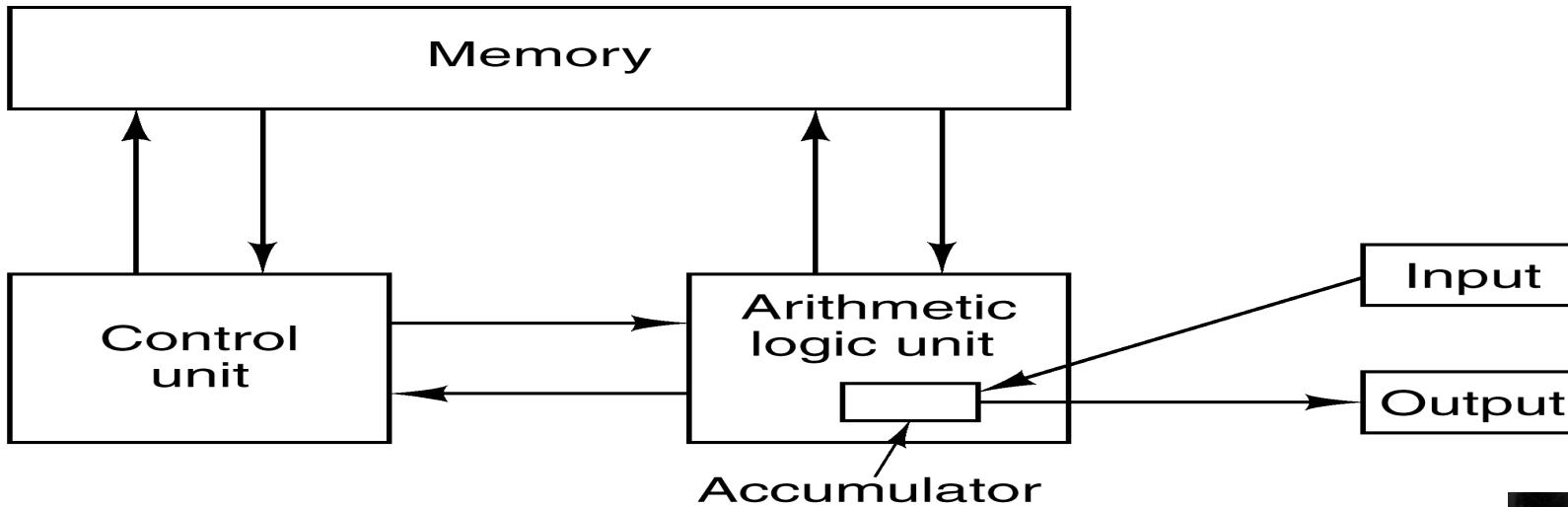


Il Boom del Mercato

- Finora gli elaboratori sono limitati all'ambito scientifico, a quello militare e istituzionale (censimento)
- Diventa ormai chiara l'occasione di mercato
- Nel 1950 Mauchley e Eckert escono dal progetto EDVAC (~1950 USA, successore dell'ENIAC, mai giunto a termine) e fondano la UNIVAC, la prima grossa società del settore

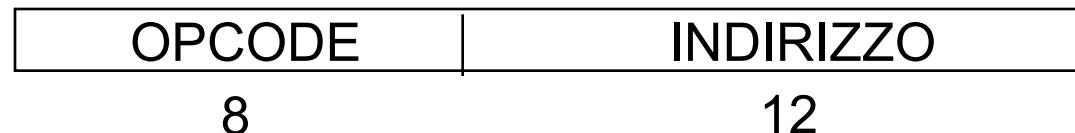


La Macchina di Von Neumann



IAS (~ 1950, Princeton USA)

- Programma memorizzato
- Aritmetica binaria
- Memoria: 4096 x 40 bit
- Formato istruzioni a 20 bit:

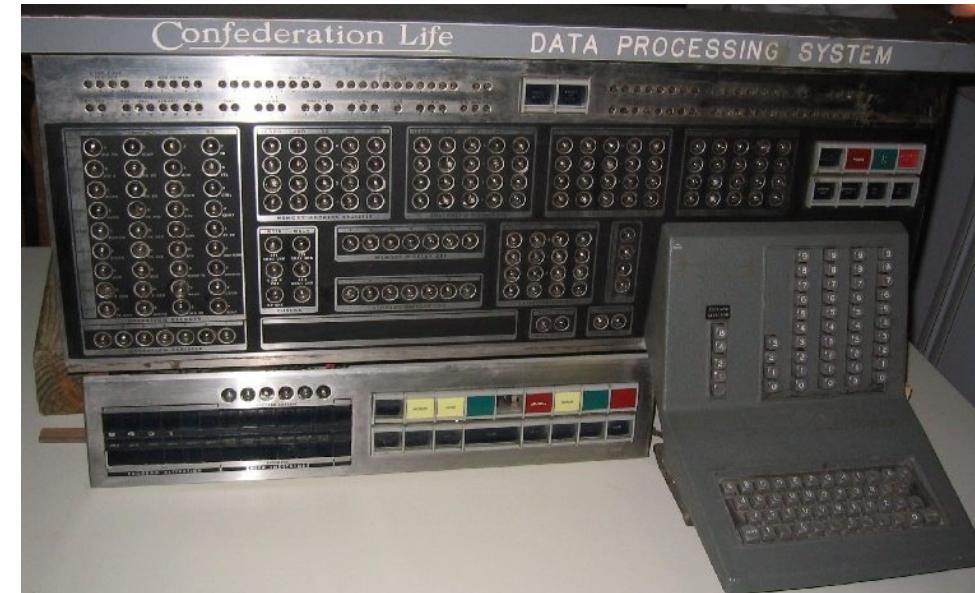


Sistemi Commerciali

Inizialmente il mercato è dominato dalla UNIVAC

L'IBM entra nel mercato nel 1953, e assume una posizione dominante che manterrà fino agli anni '80:

- IBM 701 (1953):
 - Memoria: 2K word di 36 bit
 - 2 istruzioni per word
- IBM 704 (1956):
 - Memoria: 4K word di 36 bit
 - Istruzioni a 36 bit
 - Floating-point hardware
- IBM 709 (1958)
 - Praticamente un 704 potenziato
 - Ultima macchine IBM a valvole



II Generazione (1955-1965)

(Tecnologia a transistor)

TXO e TX2 macchine sperimentali costruite al MIT

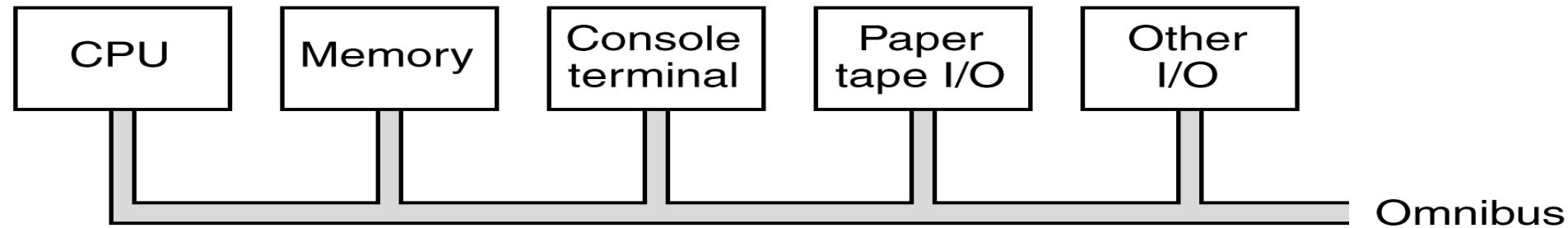
Uno dei progettisti del TX2 fonda una propria società la Digital Equipment Corporation (DEC)

La DEC produce il PDP-1 (1961):

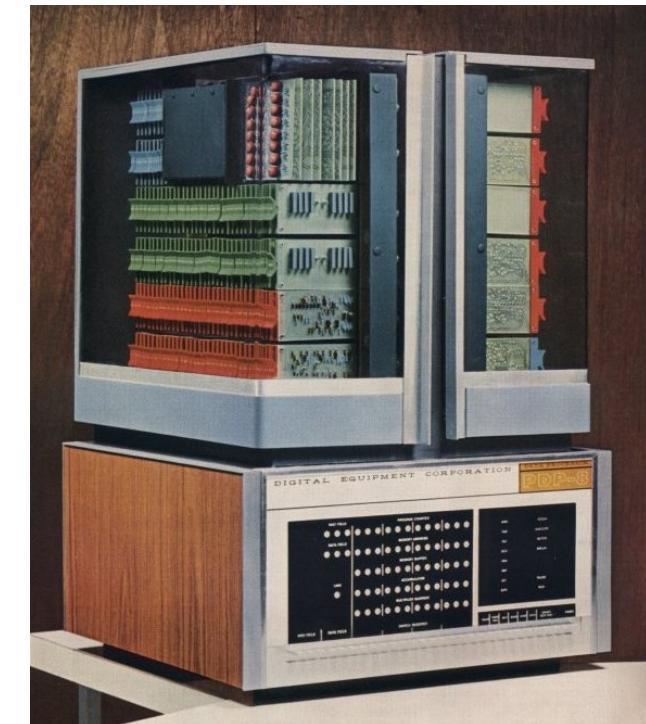
- Memoria: 4K word di 18 bit
- Tempo di ciclo di 5 μ sec
- Prestazioni simili all'IBM 7090
- Prezzo meno di un decimo
- Schermo grafico 512×512 pixel
- Comincia la produzione di massa



Il Minicomputer



- **DEC PDP-8** (1965)
- Successore diretto del **PDP-1**
- Interconnessione a bus, molto flessibile
- Architettura incentrata sull'I/O
- Possibilità di connettere qualsiasi periferica
- Prodotto in oltre 50.000 esemplari

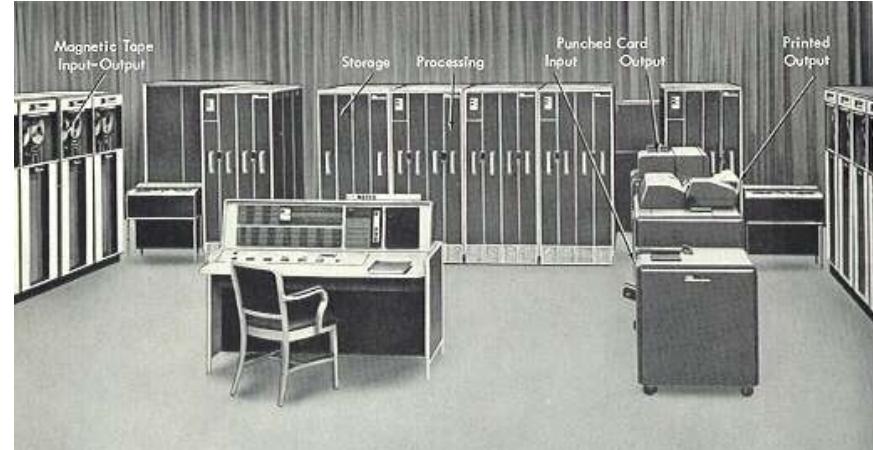


Sistemi Commerciali

Mainframe: grossi calcolatori per applicazioni scientifiche, militari e Pubblica Amministrazione

IBM 7090

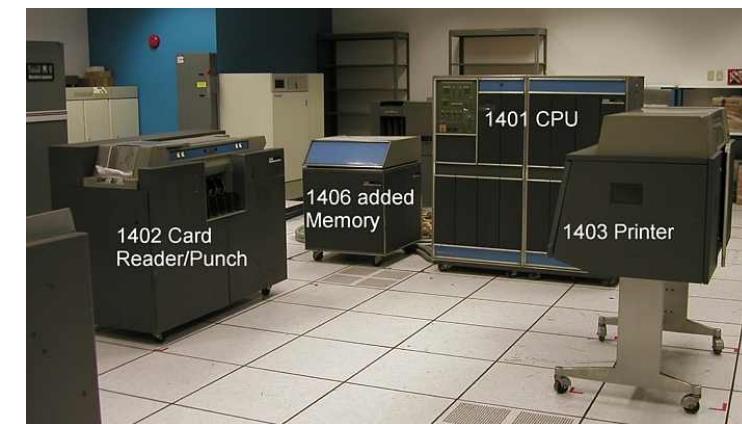
- Versione transistorizzata del 709
- Memoria 32K word da 36 bit
- Tempo di ciclo 2 μ sec
- Domina il mercato fino agli anni '70
- Pochi esemplari, costano milioni di dollari



Piccoli sistemi: per medie aziende o di appoggio ai mainframe

IBM 1401

- Stessa capacità di I/O del 7090
- Memoria 4K word 8bit (1byte)
- Orientata a caratteri
- Istruzioni per la manipolazione di stringhe



III Generazione (1965-1980)

(Tecnologia LSI e VLSI)

Evoluzione dell'architettura HW

- Microprogrammazione
- Unità veloci floating-point
- Processori ausiliari dedicati alla gestione dell'I/O

Evoluzione dei Sistemi Operativi

- Virtualizzazione delle risorse
- Multiprogrammazione: esecuzione concorrente di più programmi
- Memoria Virtuale: rimuove le limitazioni dovute alle dimensioni della memoria fisica

Serie IBM System/360

Property	Model 30	Model 40	Model 50	Model 65
Relative performance	1	3.5	10	21
Cycle time (in billionths of a sec)	1000	625	500	250
Maximum memory (bytes)	65,536	262,144	262,144	524,288
Bytes fetched per cycle	1	2	4	16
Maximum number of data channels	3	3	4	6

- L'**IBM** introduce una *famiglia* di elaboratori (passo decisivo)
- Serie **IBM System/360**
- Macchine con lo stesso linguaggio
- Range di prestazioni (e prezzo) 1-20
- Completa compatibilità
- Portabilità totale delle applicazioni
- Sistema Operativo comune **OS/360**



Serie DEC PDP-11 e UNIX

- Evoluzione diretta del PDP-8
- Parole di memoria e istruzioni a 16 bit
- Architettura a bus (Unibus)
- Grande flessibilità nella gestione e nell'interfacciamento di periferiche e strumentazione al bus
- Domina il mercato fino alla fine degli anni '70
- Prodotto in milioni di esemplari
- Diffusissimo nelle università
- Supporta il sistema operativo UNIX, indipendente dalla piattaforma
- Influerà un'intera generazione di progettisti e di utenti



IV Generazione: PC

Diretto discendente del minicomputer:

- Architettura a bus
- Parole e istruzioni a 16 bit

Boom negli anni 80 con i PC prodotti da IBM

Esplosione del mercato dei “cloni”

Macintosh introduce le interfacce grafiche

Osborne introduce i portatili

Crollo dei costi ed enorme espansione dell’utenza

Dai grandi Centri di Elaborazione a un contesto di Informatica Distribuita

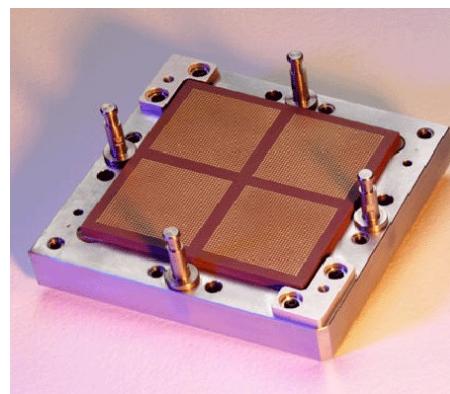
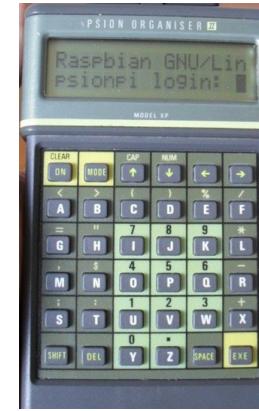
L’espansione del PC è trainata da tre fattori:

- Aumento della capacità della CPU
- Discesa dei costi della memoria principale
- Discesa dei costi delle memorie secondarie



Evoluzioni moderne

- 1986: PDA (Personal Digital Assistants)
 - Organizer II - Psion
- 1994: Smartphones
 - Simon – IBM
- 2002: Tablet
 - Microsoft Tablet PC
- 2000: Architetture multi-core
 - POWER4 - IBM

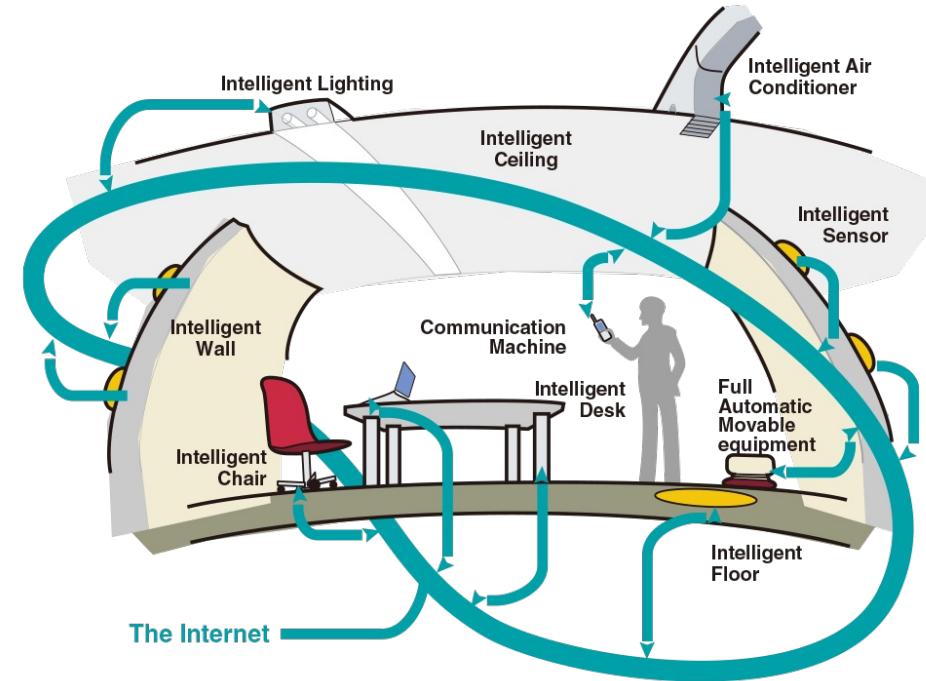


V Generazione: i computer invisibili

La Apple introduce il primo computer palmare (PDA)

Successivamente, si sono diffusi i computer embedded

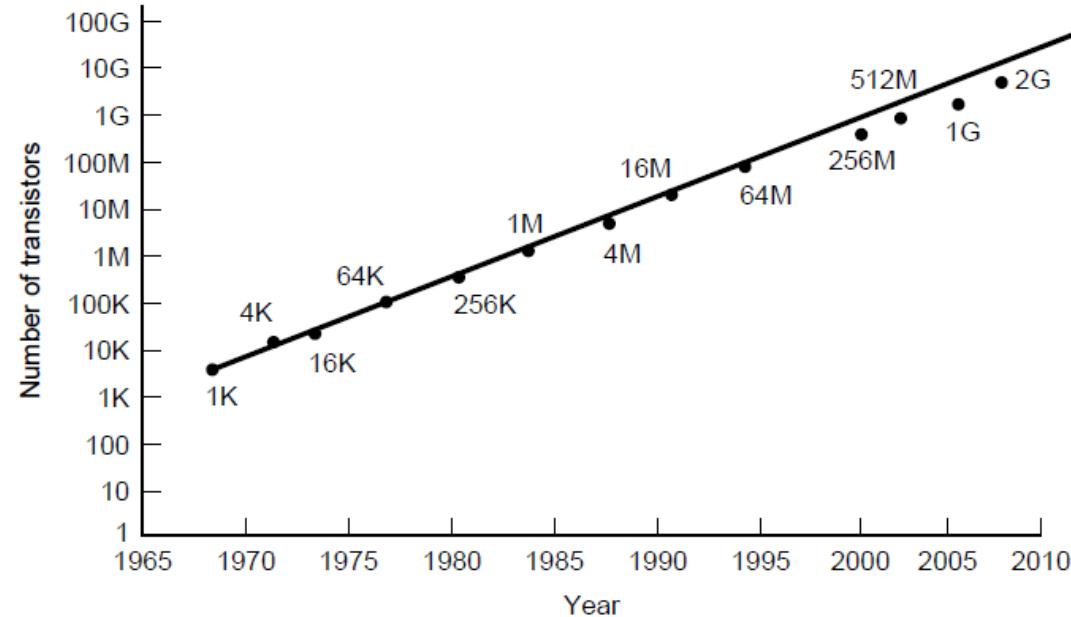
- Elettrodomestici
- Automobili
- Cellulari
- Orologi
- Bancomat
- ...



Architetture non nuove ma diversa prospettiva

Modello del ubiquitous (o pervasive) computing o dell'Internet of Things

La legge di Moore (1965)



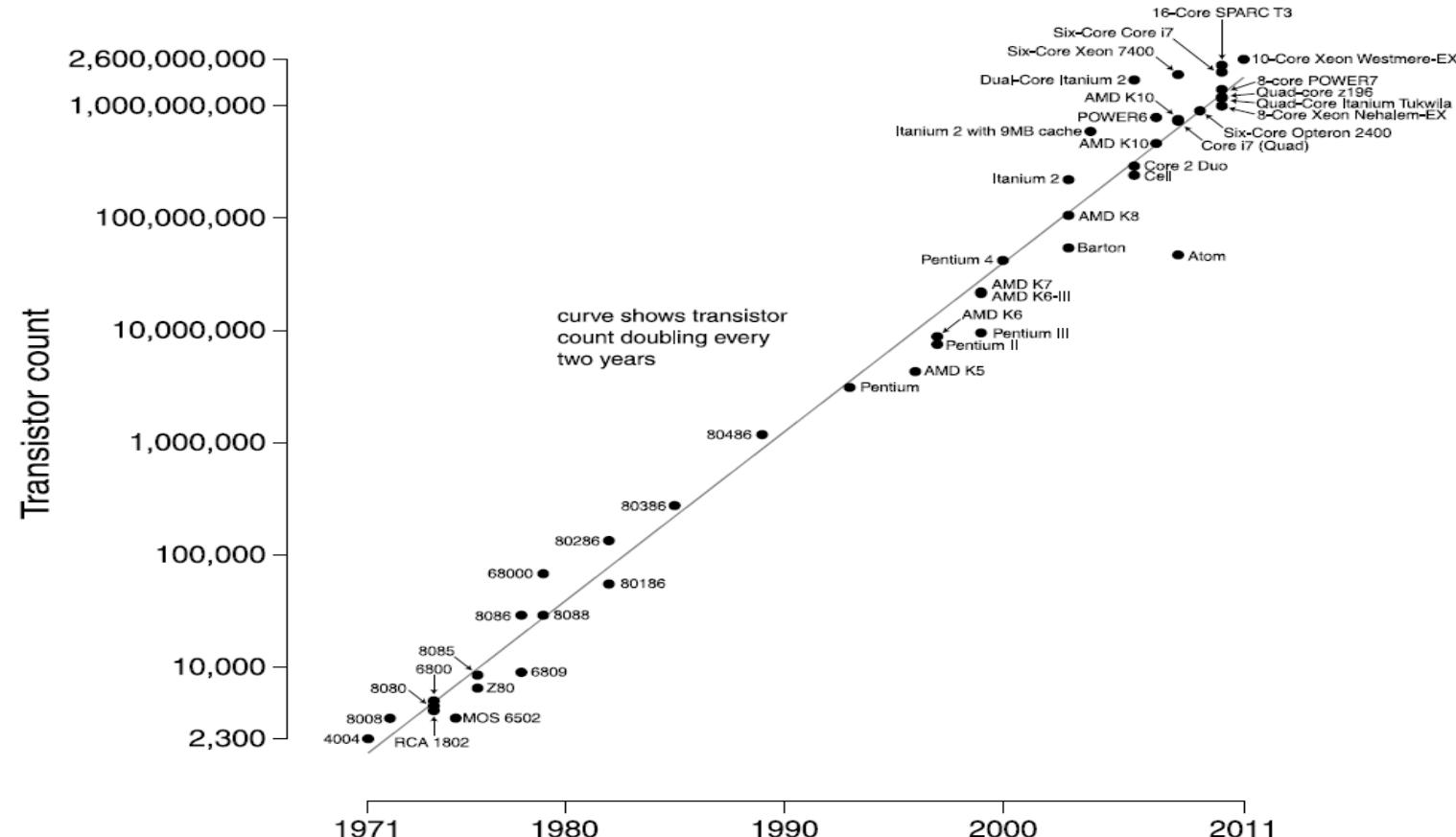
Il numero di transistor su di un chip raddoppia ogni 18 mesi

Circa un aumento del 60% all'anno

Conseguenze:

- Aumento della capacità dei chip di memoria
- Aumento della capacità delle CPU

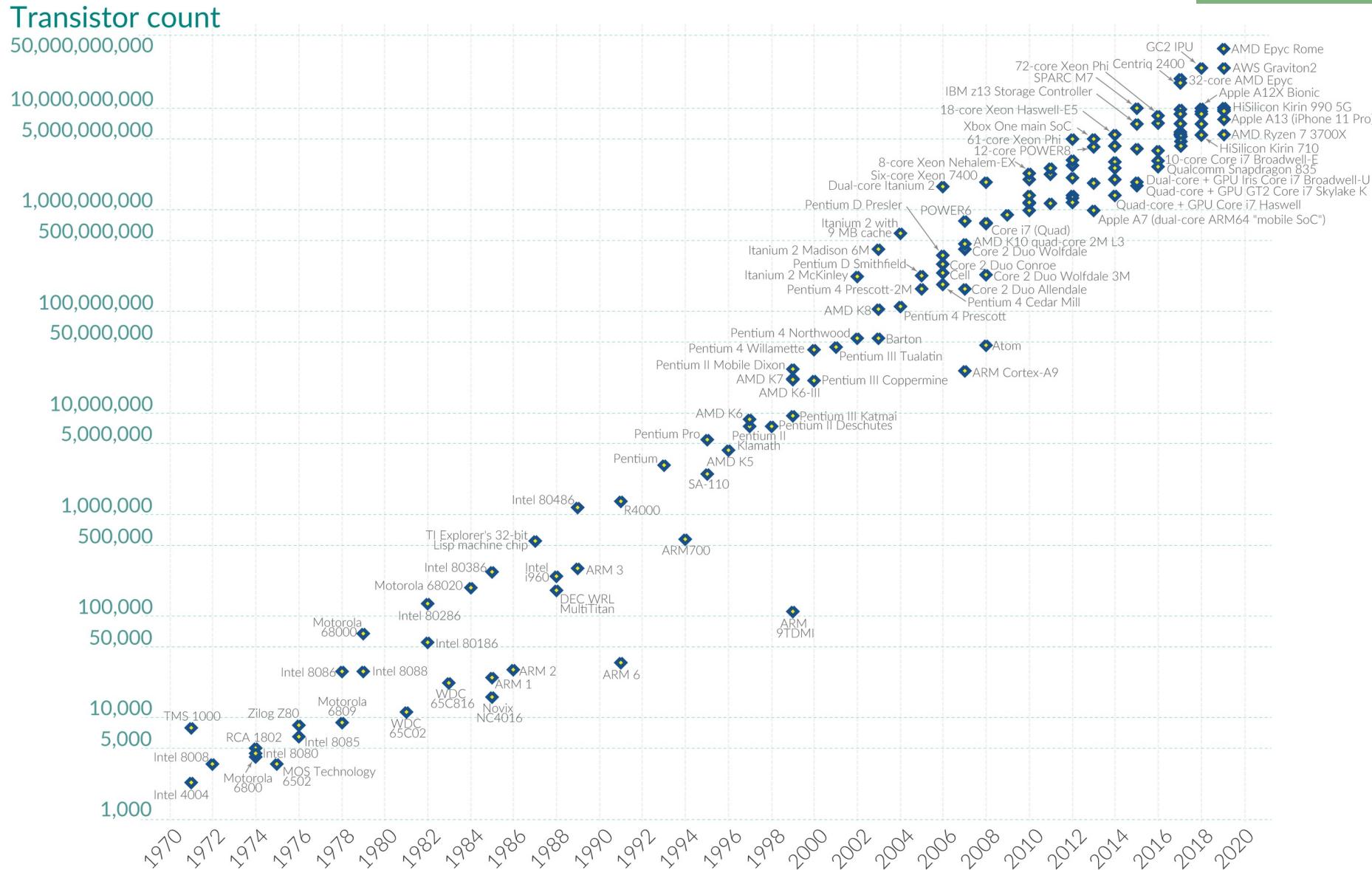
Legge di Moore per le CPU



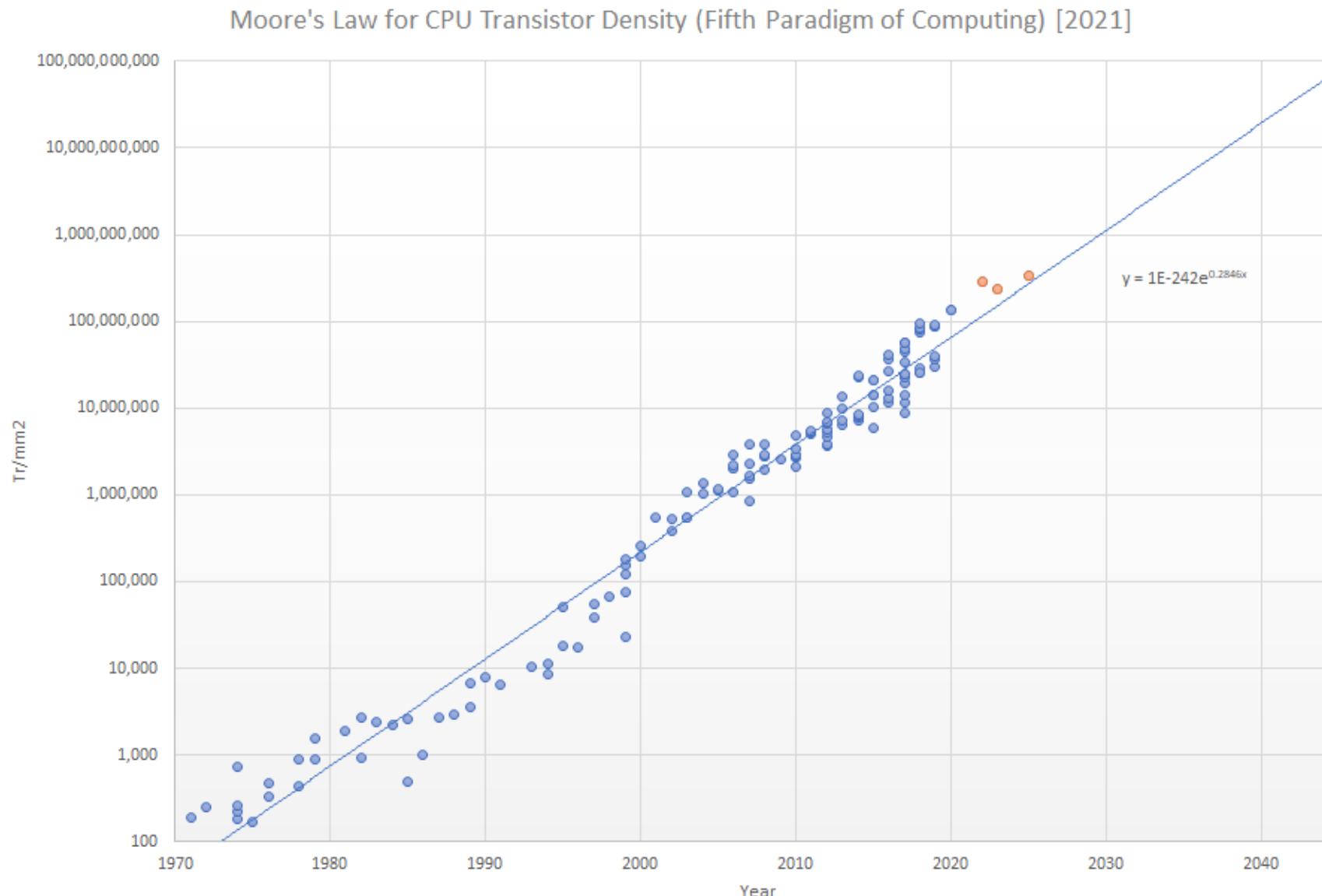
Più transistor in una CPU significano:

- Eseguire direttamente istruzioni più complesse
- Maggiore memoria sul chip (cache)
- Maggiore parallelismo interno

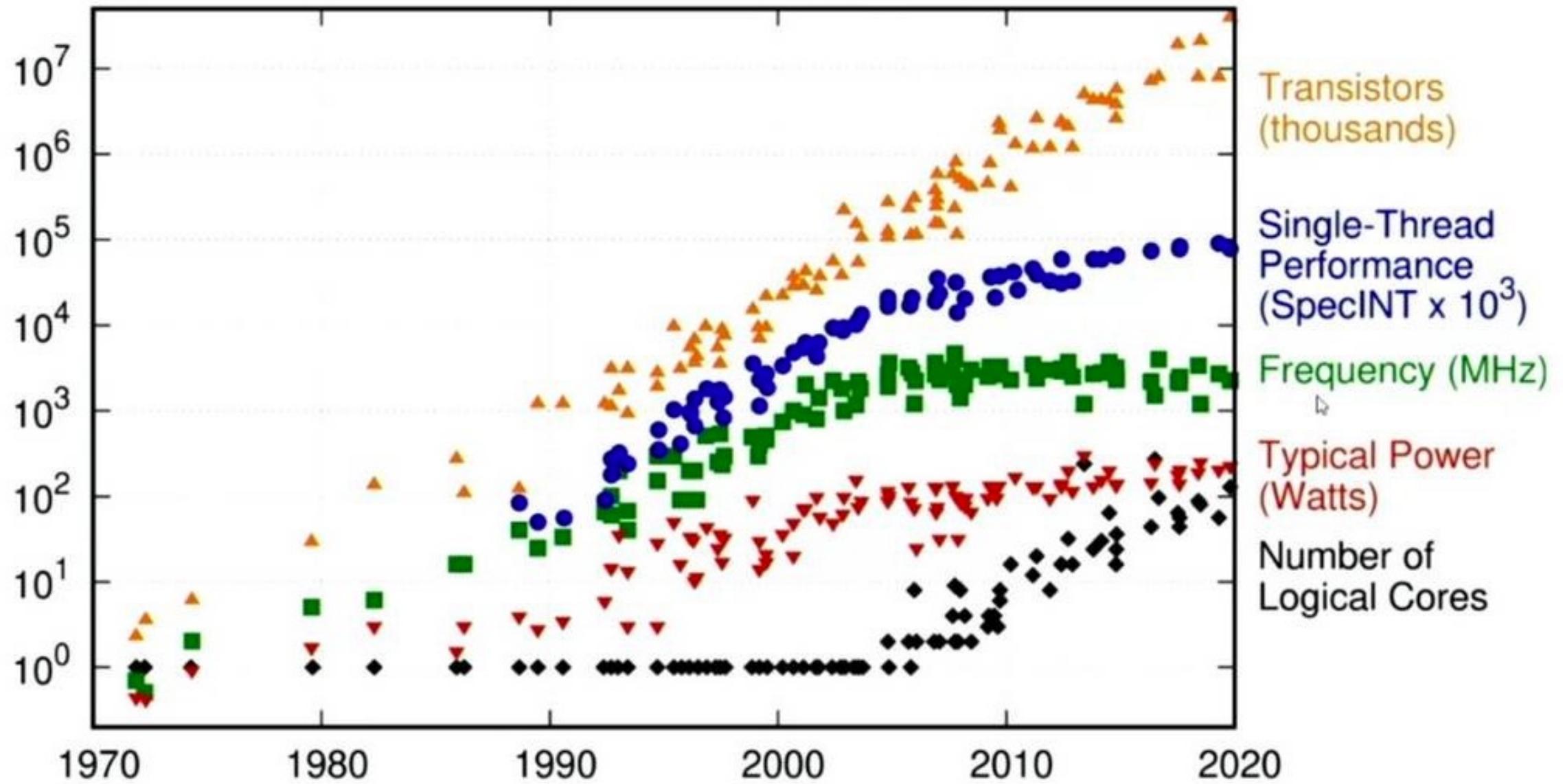
Andamento corrente della legge di Moore



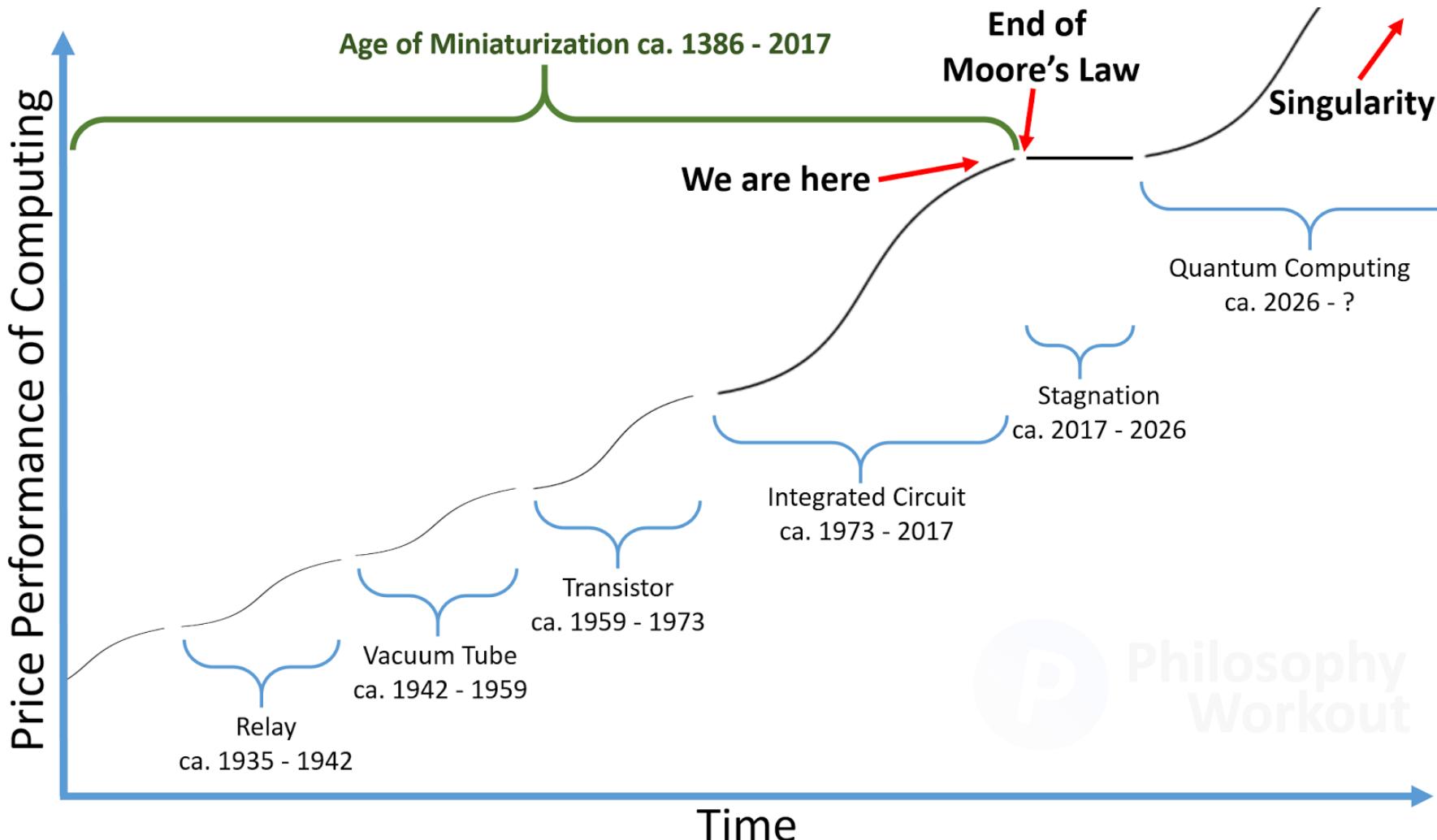
Recenti avanzamenti nella scala di integrazione (2nm)



Evoluzione della tecnologia rispetto alla legge di Moore



Futuro della legge di Moore



Oppure i computer "analitici": <https://www.youtube.com/watch?v=GVsUOuSjvcg>

Legge di Nathan

Il software è un gas: riempie sempre completamente qualsiasi contenitore in cui lo si metta

Al calare dei costi e all'aumentare della memoria disponibile, le dimensioni del software sono sempre cresciute in proporzione

Il Circolo Virtuoso

- Spinta tecnologica (Moore law)
- Costi più bassi e prodotti migliori
- Nuove applicazioni software
- Nuovi mercati e maggiore competizione
- Esigenza di migliori prestazioni hardware
- Spinta tecnologica

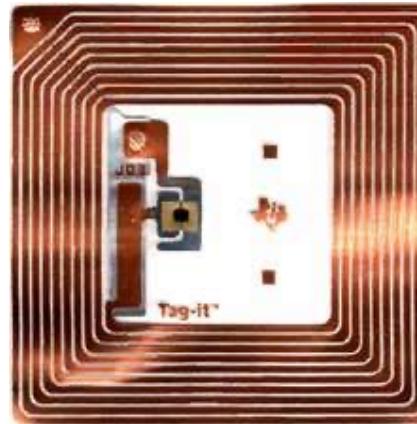
Tipologie di Computer

Type	Price (\$)	Example application
Disposable computer	0.5	Greeting cards
Microcontroller	5	Watches, cars, appliances
Mobile and game computers	50	Home video games and smartphones
Personal computer	500	Desktop or notebook computer
Server	5K	Network server
Mainframe	5M	Batch data processing in a bank

RFID (Radio Frequency IDentification)

Appartengono alla categoria usa-e-getta

- Su chip
- Tipicamente senza batteria (passivi)
- 0.5 mm di diametro
- Dotati di un piccolo transponder radio
- Memorizzano un numero di 128 bit
- Esistono anche RFID attivi



Quando ricevono un segnale radio trasmettono il proprio numero

Vengono usati in molte applicazioni

- Magazzini e punti vendita
- Trasporti
- Controllo presenze ed accessi
- Identificazione degli animali
- Biblioteche - movimento libri
- Antitaccheggio
- Carte di pagamento

[video 1](#)
[video 2](#)



Microcontrollori

Piccoli computer inclusi in vari dispositivi, tipicamente connessi in rete:

- Elettrodomestici
- Telefoni
- Automobili
- Periferiche
- Giochi
- Macchine fotografiche
- Dispositivi medici
- ...

Dotati di

- Una CPU
- Una piccola memoria
- Qualche dispositivo di I/O



Game computers

Computer “normali”

- Effetti grafici speciali
- Software di base limitato
- Non estendibili

Play Station 5

- CPU: AMD a 8 core da 3.5 GHz
- 16GB di RAM (+VRAM)
- GPU: AMD a 2.2 Ghz, > 10 TFLOPS



Xbox One X/S

- CPU: AMD a 8 core da 3.8 GHz
- 16GB di RAM (+VRAM)
- GPU: AMD a 1,8 Ghz, > 10 TFLOPS



Sono sistemi specializzati e “chiusi”

Smartphone

Telefoni cellulari dotati di CPU

- Con sistema operativo (Android, iOS, Windows)
- Telecamera
- Funzionalità estendibili
- CPU relativamente potenti (ARM, 1.6 Ghz, octa-core)



Tablet (Phablet, 2-in-1)

Quasi dei computer "normali" con schermi ridotti (9.7inc.)

- Dotati di interfacce grafiche basate su touch-screen
- Tastiere virtuali
- CPU potenti (>1.5Ghz, quad/octa-core)
- Processore grafico
- Memorie ridotte (512MB-2GB RAM, 128-256GB SSD)



Tipologie di Computer "tradizionali"

Personal Computer

- Sappiamo cosa è (desktop, laptop)

Server - Workstation

- Su rete locale o Web server
- Memorie fino a diversi GB
- Diversi TB di disco
- Gestione di rete efficiente

COW (Cluster of workstations)



- Sistema multiprocessore ad accoppiamento lasco
- Hardware di tipo standard: costi contenuti
- Strutture di connessione veloci
- Elevata affidabilità e capacità di elaborazione complessiva
- Detti COTS (Commodity Off The Shelf) o Server Farm

Tipologie di Computer "tradizionali"

Mainframe

- Diretti discendenti della serie 360
- Gestione efficiente dell'I/O
- Periferie a dischi di molti Tbyte
- Centinaia di terminali connessi
- Costi di parecchi milioni di Euro

Versione moderna (in cluster)

- Server farms + client intelligenti
- Data centers
- Offrono soluzioni di "cloud computing"

[video](#)

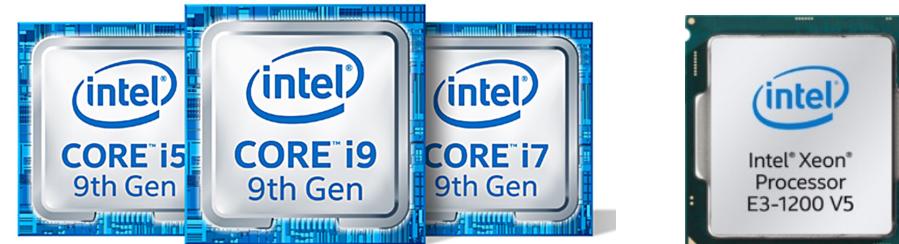
La famiglia Intel

Chip	Date	MHz	Trans.	Memory	Notes
4004	4/1971	0.108	2300	640	First microprocessor on a chip
8008	4/1972	0.108	3500	16 KB	First 8-bit microprocessor
8080	4/1974	2	6000	64 KB	First general-purpose CPU on a chip
8086	6/1978	5–10	29,000	1 MB	First 16-bit CPU on a chip
8088	6/1979	5–8	29,000	1 MB	Used in IBM PC
80286	2/1982	8–12	134,000	16 MB	Memory protection present
80386	10/1985	16–33	275,000	4 GB	First 32-bit CPU
80486	4/1989	25–100	1.2M	4 GB	Built-in 8-KB cache memory
Pentium	3/1993	60–233	3.1M	4 GB	Two pipelines; later models had MMX
Pentium Pro	3/1995	150–200	5.5M	4 GB	Two levels of cache built in
Pentium II	5/1997	233–450	7.5M	4 GB	Pentium Pro plus MMX instructions
Pentium III	2/1999	650–1400	9.5M	4 GB	SSE Instructions for 3D graphics
Pentium 4	11/2000	1300–3800	42M	4 GB	Hyperthreading; more SSE instructions
Core Duo	1/2006	1600–3200	152M	2 GB	Dual cores on a single die
Core	7/2006	1200–3200	410M	64 GB	64-bit quad core architecture
Core i7	1/2011	1100–3300	1160M	24 GB	Integrated graphics processor

CPU attualmente sul mercato

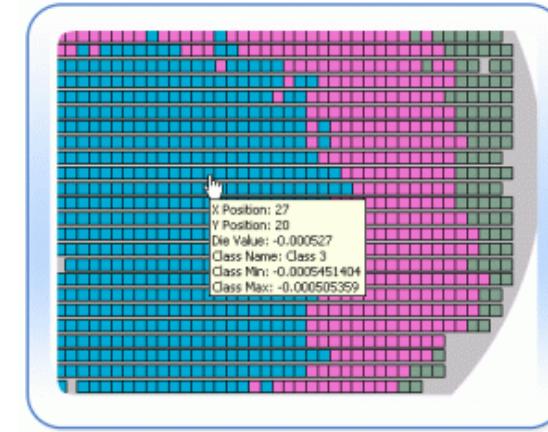
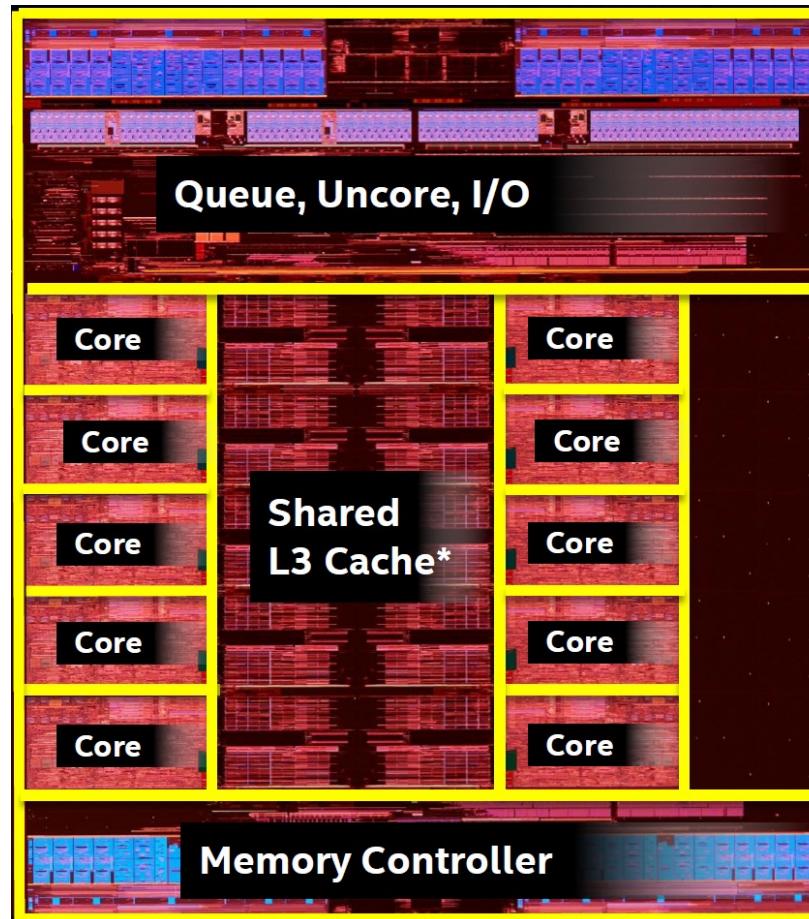
13th Generation Intel Core: nome commerciale di una serie di microprocessori Intel (fascia desktop) di nuova generazione a 64 bit (x86-64) – Architettura: nomi come "Coffee Lake"

- Raggruppa processori destinati a diversi settori di mercato
 - Intel Core i3
 - Intel Core i5
 - Intel Core i7
 - Intel Core i9
 - Xeon
- Sono tutte architetture **multi core ibride** (p-core vs e-core)
- Esistono versioni per portatili
- Tecnologia di integrazione fino a 7 nm
- Fino a 25 MB cache L3 condivise
- Più di 8 miliardi di transistors!
- Fino a 24 stadi di pipeline



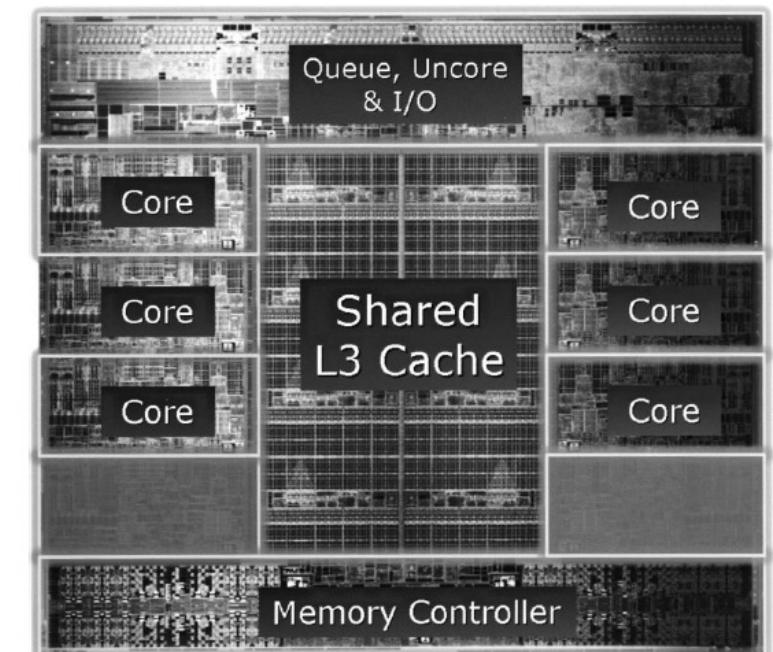
Come produrre tanti modelli?

- Con un'unica catena di produzione!! (o poche)
- Ogni CPU prodotta viene venduta come modello diverso sulla base della qualità di produzione



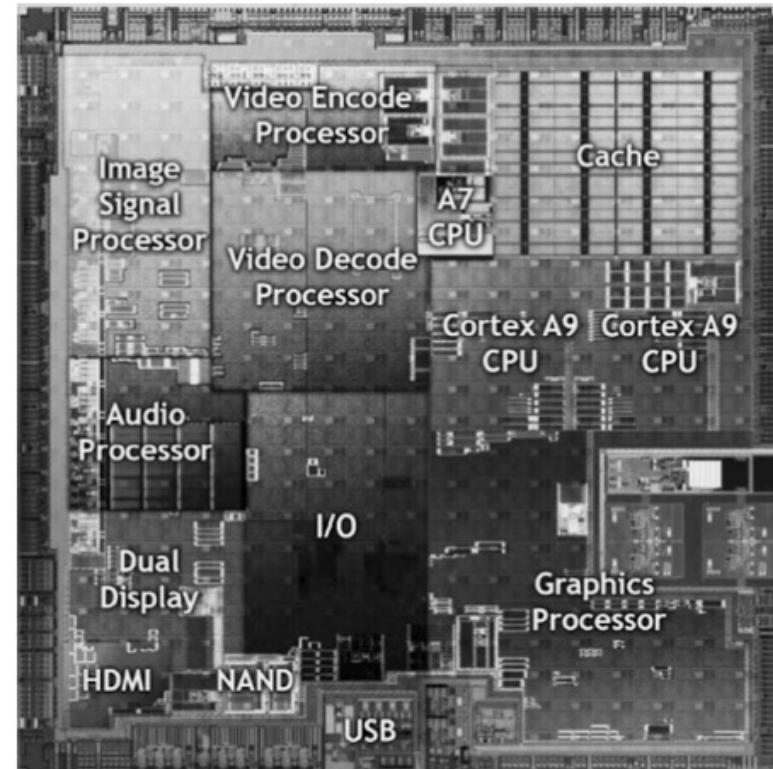
Intel Core i7 (x86)

- Architettura Sandy Bridge
- 8 core di cui 6 abilitati
- Versione full: xeon
- Oltre 1,4 miliardi di transistor in un chip
- Nuove istruzione SSE per applicazioni multimediali
- Tecnologia di integrazione a 22nm
- Due cache locali per ogni core (64KB-256KB)
- Cache globale L3 (2MB-8MB)
- 2.6–3.5 GHz di frequenza di clock
- Dissipazione: <60 Watt
- Hyper-Threading Pipeline



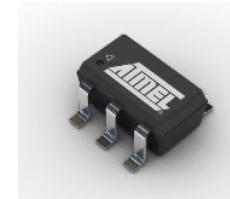
Architetture ARM

- Nasce negli anni 80 da un progetto Acorn
- Basato su principi RISC (Acorn RISC Machine)
- Prima versione su PC "Archimedes" (1985)
- Usato nel progetto Newton di Apple
- Target: applicazioni embedded/mobile a basso consumo di energia
- Architettura "aperta"
 - diversi produttori
- Esempio di uso: Nvidia Tegra 2
 - 2 CPU ARM Cortex-A9 a 1.2Ghz
 - 1 GPU GeForce 333-Mhz
 - 1 CPU AM7 per la configurazione
 - L2 condivisa di 1MB



Architettura AVR

- Target: sistemi embedded a bassissimo consumo di energia
- Nasce da un progetto del NIT nel 1996
- (A)lf and (V)ergard RISC processor
- Stesso pinout dell'8051 Intel
- Periferiche disponibili nel AVR XMEGA:
 - 3 timer – Orologio interno - Trasmettitori di impulso – Interfaccia per sensori - Convertitori analogico/digitali - Transponder - Comparatore di tensioni



Chip	Flash	EEPROM	RAM	Pins	Features
tinyAVR	0.5–16 KB	0–512 B	32–512 B	6–32	Tiny, digital I/O, analog input
megaAVR	8–256 KB	0.5–4 KB	0.25–8 KB	28–100	Many peripherals, analog out
AVR XMEGA	16–256 KB	1–4 KB	2–16 KB	44–100	Crypto acceleration, USB I/O