

Introduzione ai sistemi di elaborazione

M. Sonza Reorda

Politecnico di Torino
Dip. di Automatica e Informatica



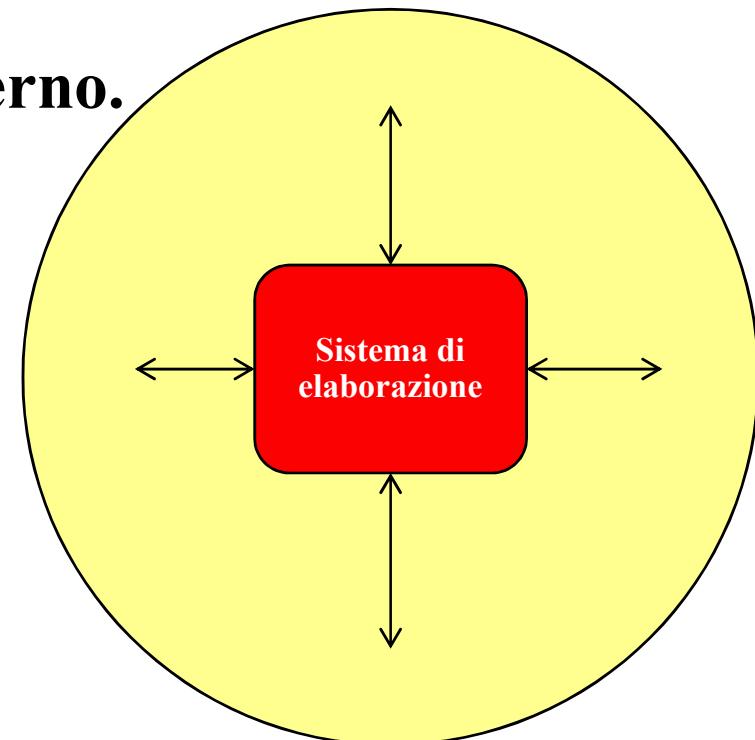
Obiettivi

- **Riassumere come si è arrivati all'attuale scenario nell'area dei sistemi di elaborazione dell'informazione**
- **Introdurre informalmente alcuni concetti elementari e la relativa nomenclatura**
- **Descrivere sommariamente la situazione attuale.**

I sistemi di elaborazione

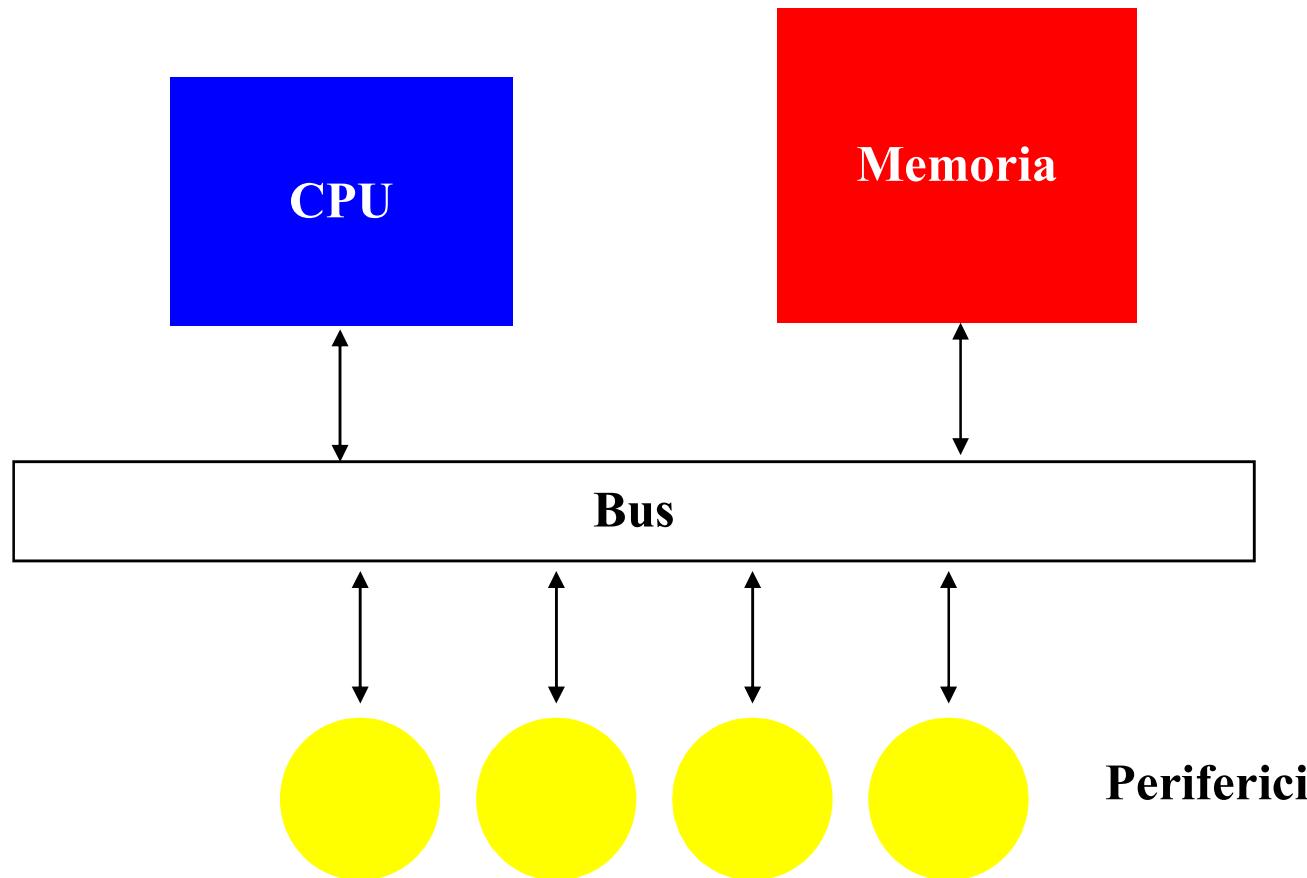
Un *sistema di elaborazione* è un sistema in grado di

- Ricevere informazioni dall'esterno
- Eseguire operazioni di elaborazione
- Inviare comandi e informazioni all'esterno.



Sistemi a processore

Un sistema di elaborazione corrisponde spesso ad un sistema a processore.



Vantaggi

I sistemi di elaborazione delle informazioni sono particolarmente vantaggiosi rispetto ad un'alternativa manuale in termini di:

- *Velocità*
- *Dimensione*
- *Affidabilità*
- *Costo.*

Sistemi *special-purpose* e sistemi *general-purpose*

I sistemi di elaborazione delle informazioni possono essere divisi in due categorie

- Sistemi *general-purpose*
 - Sono sistemi progettati e venduti senza una precisa applicazione come obiettivo; il sistema può eseguire un'applicazione o un'altra a seconda del software che l'utente richiede di eseguire.
- Sistemi *special-purpose*
 - Sono sistemi progettati e venduti per una precisa applicazione; il sistema può eseguire un'unica applicazione, il cui software è caricato nel sistema e non può essere modificato (se non per eventuali aggiornamenti).

Sistemi general-purpose



Desktop



Server



HPC

Notebook



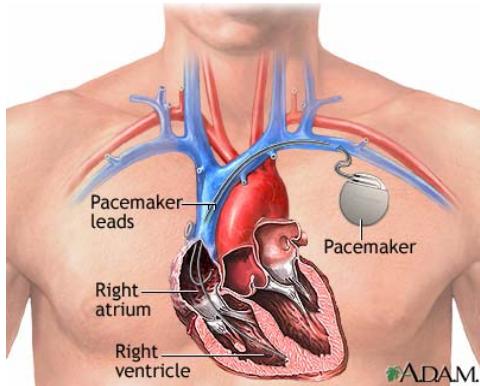
SmartPhone



Tablet



Sistemi special-purpose



Biomedicale



Videogiochi



Elettrodomestici



Smart card

Automobili



Robot



Spazio



Avionica



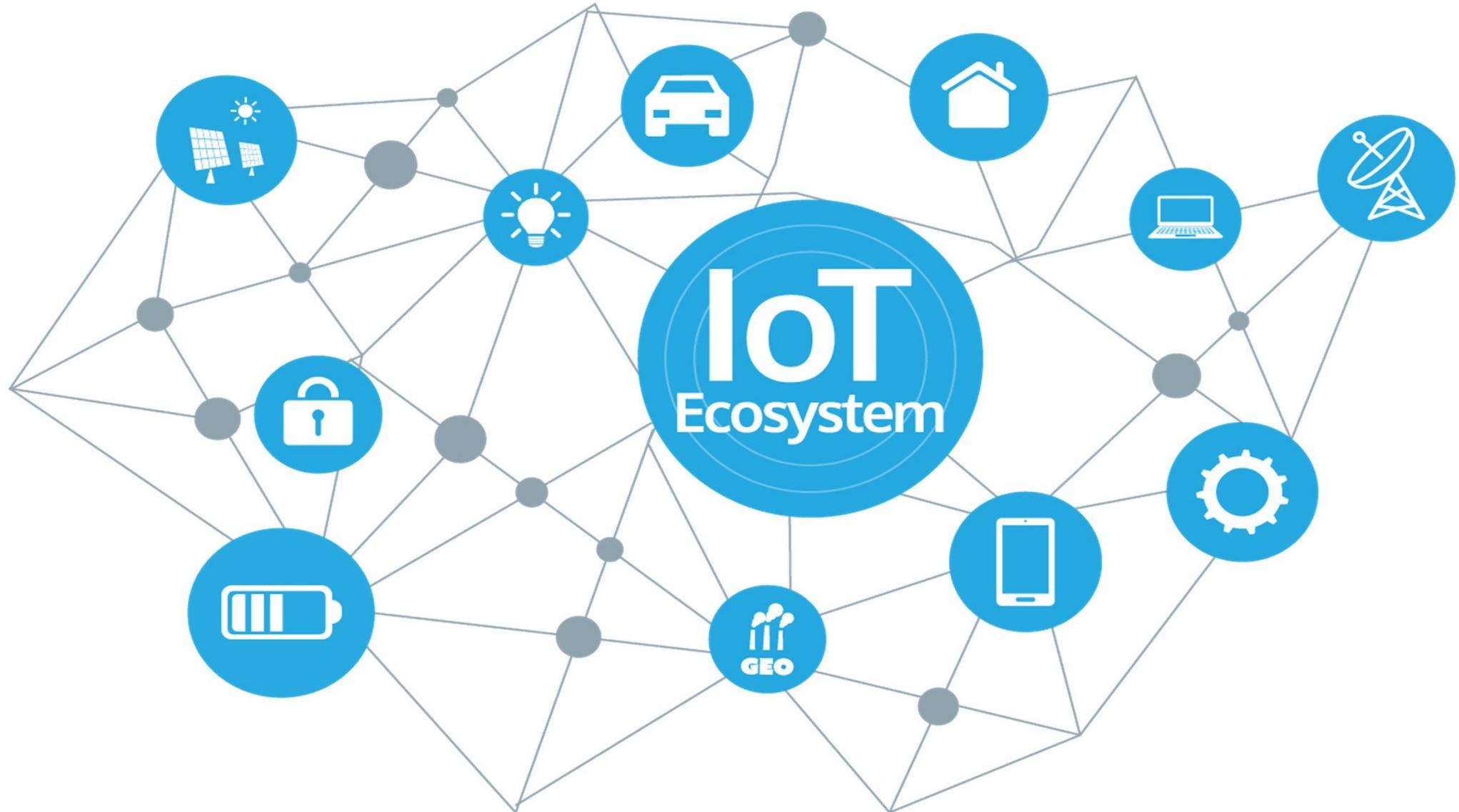
Sistemi integrati

I sistemi di elaborazione delle informazioni di tipo special-purpose sono spesso di tipo integrato (*embedded*), ossia fanno parte di sistemi più complessi (a volte definiti *cyberphysical system*) che comprendono parti meccaniche, sensori e attuatori di vario tipo.

Negli ultimi anni i sistemi integrati hanno iniziato ad essere spesso interconnessi tra di loro, costituendo reti di sistemi integrati, analogamente a quanto già successo ai sistemi general-purpose via Internet.

Si è quindi iniziato a parlare di *Internet of Things* (IoT).

Sistemi embedded / IoT

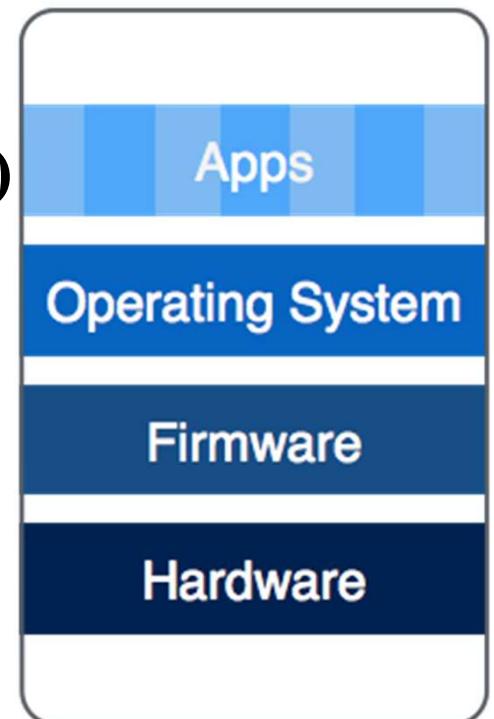


Sistemi di elaborazione

I sistemi di elaborazione possono avere funzioni, costi e caratteristiche molto diversi.

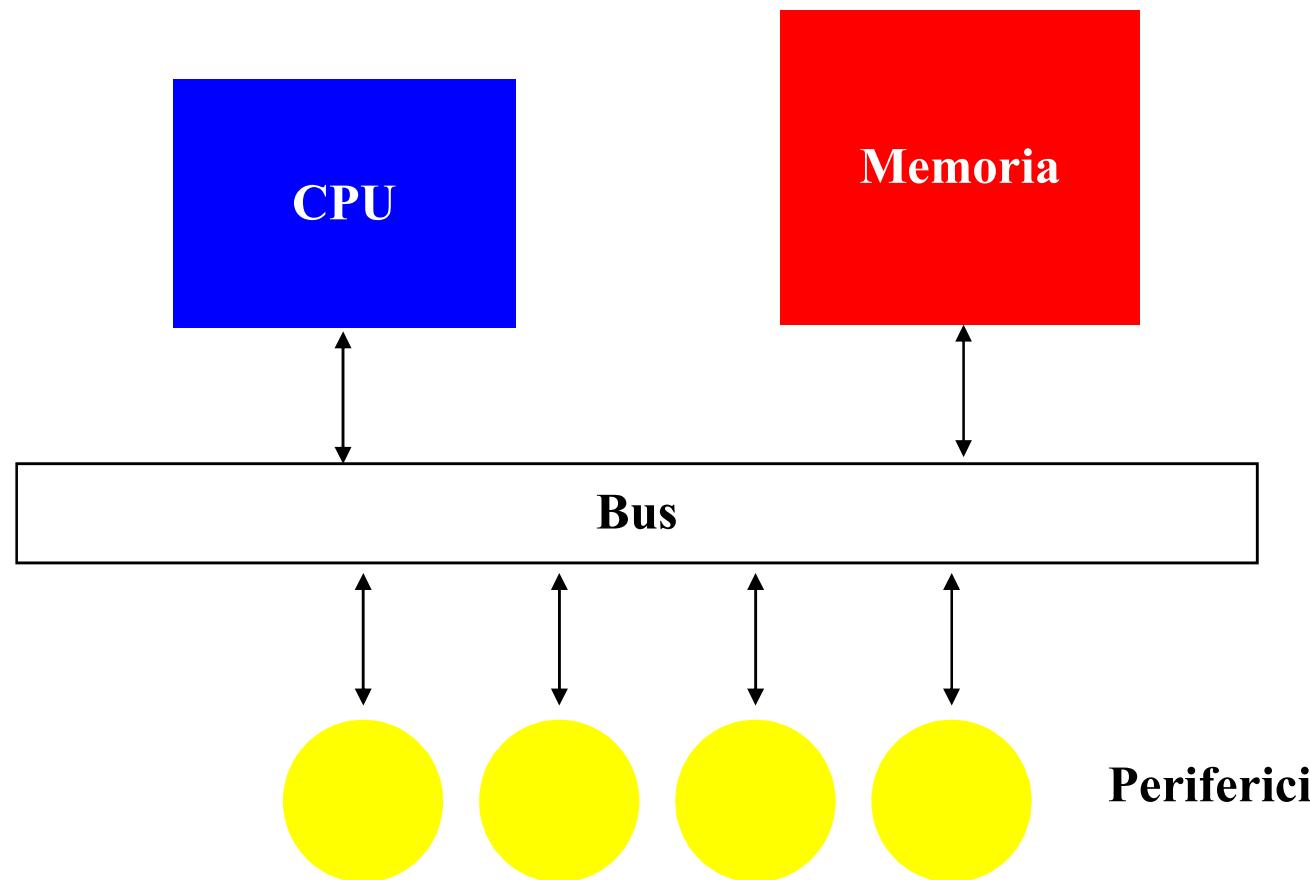
La loro architettura complessiva è però riconducibile ai seguenti componenti:

- L'hardware
- Il firmware (ad esempio i driver delle periferiche)
- Il sistema operativo
- Il codice di una o più applicazioni.

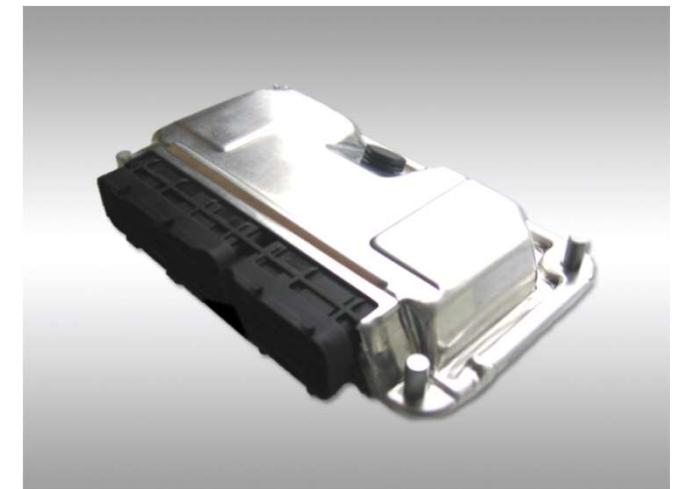
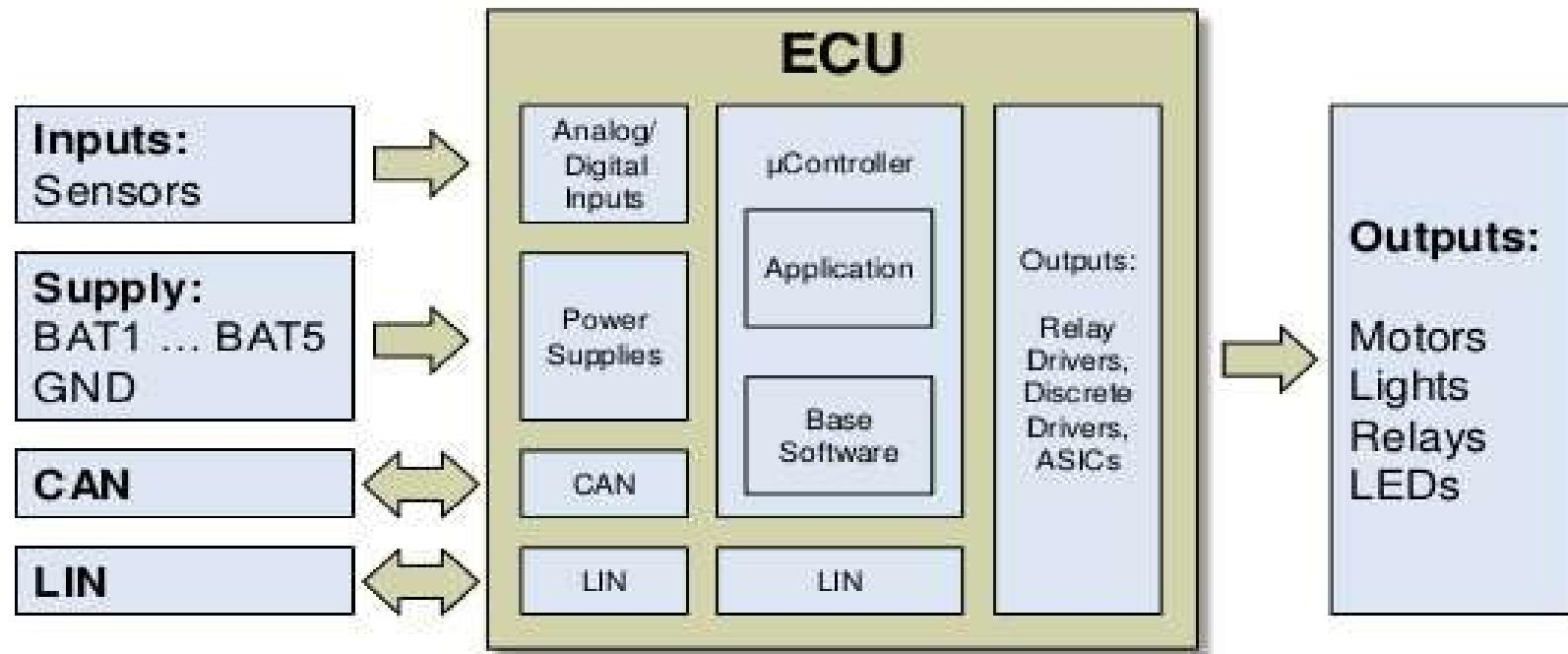


Sistemi di elaborazione

L'hardware di un sistema di elaborazione (o calcolatore elettronico) è quasi sempre riconducibile alla seguente architettura di base (nota come *architettura di von Neumann*)



Esempio: centralina di controllo motore



Idee chiave

I sistemi di elaborazione (che sono nati e si sono diffusi a partire dagli anni ‘50) sono principalmente basati su:

- Tecniche per la *rappresentazione delle informazioni* (numeriche, testuali, multimediali)
- Tecniche per l'identificazione e la descrizione della sequenza di operazioni (*algoritmo*) necessaria per risolvere un problema
- Tecniche per la *memorizzazione* dei dati e l'*automazione* delle operazioni.

La suddivisione in ere

- Era *meccanica* (sino al 1945)
- Era *elettronica* (dal 1945 al 1975)
suddivisa in tre generazioni
- Era *del VLSI* (dal 1975 ad oggi).

Era meccanica

- Macchina di *B. Pascal* (1623-1662)
- Macchina di *G. Leibniz* (1646-1716)
- Telaio di *J. Jacquard* (1752-1834)
- Macchine di *C. Babbage* (1792-1871)
- Z1 (1938), Z3 (1941) di *K. Zuse*
- Mark I (1944) e Mark II di *H. Aiken*

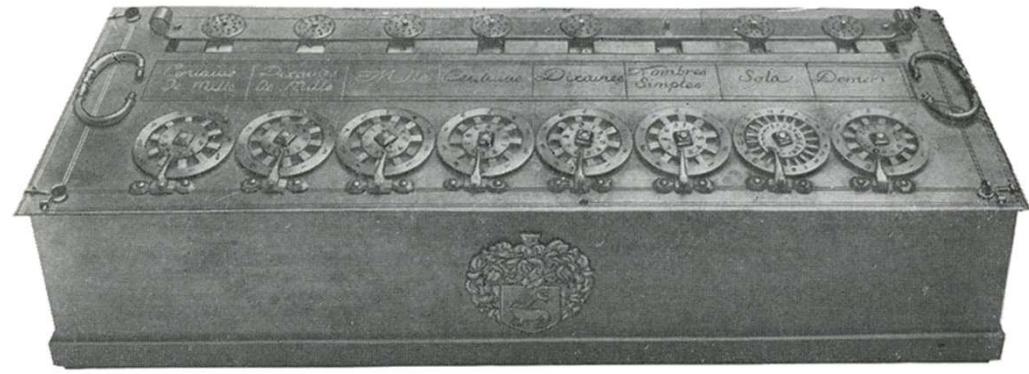
Macchina di Pascal

Fu costruita nel 1642.

Rappresentò la prima macchina calcolatrice realmente funzionante.

Eseguiva somme e sottrazioni tra un registro di input ed il registro accumulatore.

Era composta di 2 insiemi di 6 ruote dentate ciascuno; su ciascuna ruota erano rappresentate le 10 cifre decimali. Ogni insieme funzionava quindi da *registro*.



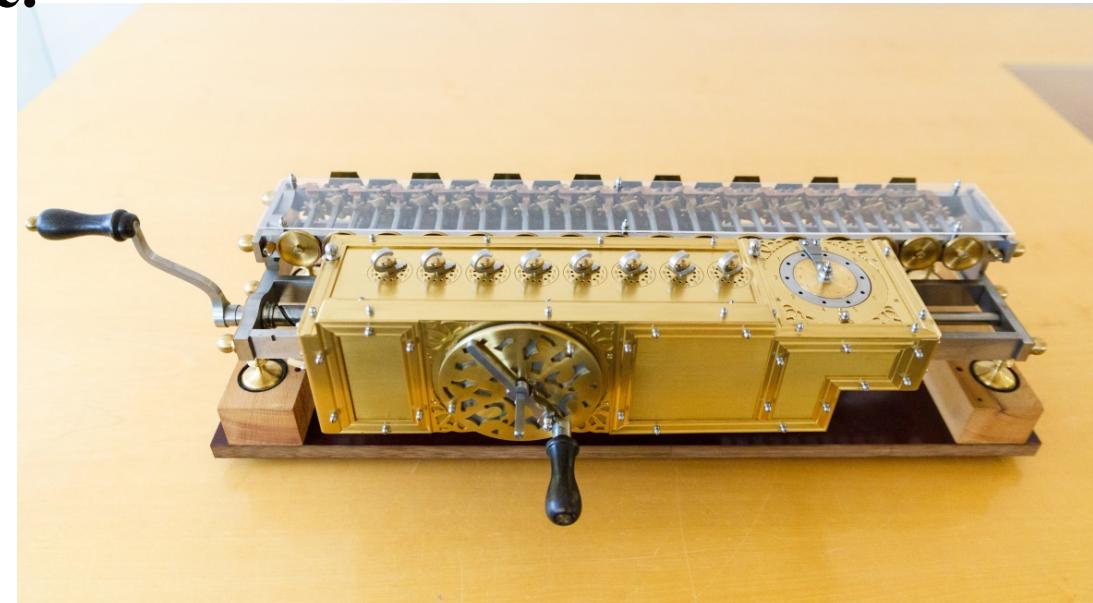
Macchina di Leibniz

Fu costruita attorno al 1671.

Poteva eseguire somme, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni.

Era composta da una macchina di Pascal duplicata (4 insiemi di ruote dentate).

Moltiplicazione e divisione venivano eseguite tramite somme e sottrazioni successive.



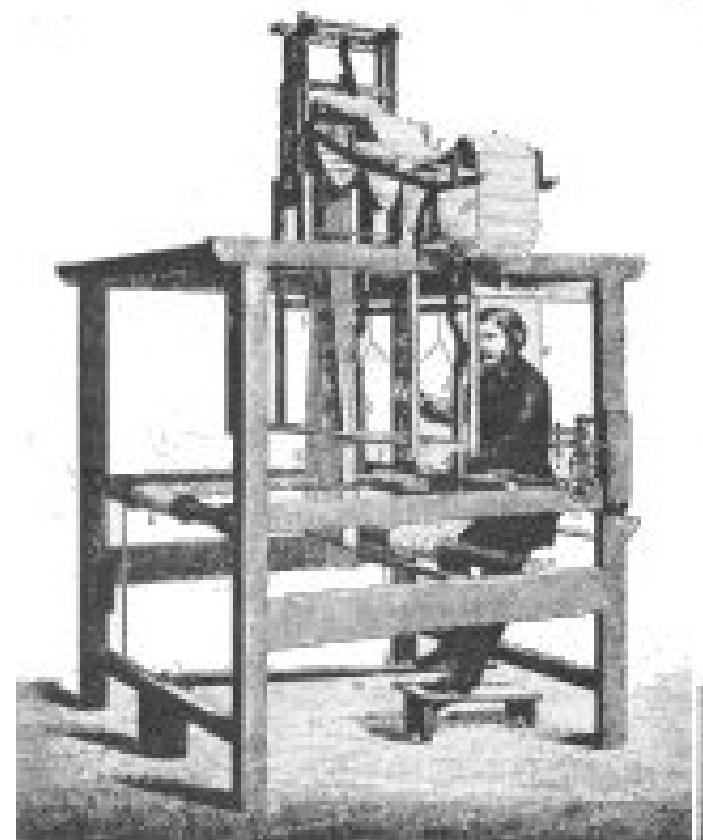
Telaio di Jacquard

Fu costruito nel 1801 da *J. Jacquard*.

È il primo esempio di macchina *programmabile* per il controllo di un processo (in questo caso la tessitura).

Le operazioni compiute dal telaio venivano determinate tramite un insieme di schede perforate (come per le pianole meccaniche).

Jacquard scrisse un *programma* composto da 24.000 schede perforate per la tessitura di un arazzo con la sua immagine.



Macchina differenziale

Fu progettata e realizzata da *C. Babbage*, inventore del tachimetro, attorno al 1823.

La sua finalità era quella di calcolare tabelle di numeri utili per la navigazione.

Eseguiva un solo algoritmo (quello delle differenze finite con l'uso di polinomi).

Possedeva un meccanismo di output basato sull'incisione di un piatto di rame con una punta d'acciaio.



Macchina analitica

È l'evoluzione della precedente e l'idea di base risale al 1834. Non fu mai realizzata.

Era composta di 4 parti:

- il *magazzino* (la memoria, composta da 1000 parole da 50 cifre decimali ciascuna)
- il *mulino* (l'unità di calcolo)
- il dispositivo di *input* (schede perforate); le schede determinavano il tipo di operazione da svolgere e la provenienza di ogni operando.
- il dispositivo di *output* (piatti di rame o schede perforate).

Macchina analitica

È l'evoluzione della precedente e l'idea di base ri
1834. Non fu mai realizzata.



Era composta di 4 parti:

- il *magazzino* (la memoria, composta da 1000 parole da 50 cifre decimali ciascuna)
- il *mulino* (l'unità di calcolo)
- il dispositivo di determinavano il provenienza di ogni dato (il dispositivo di perforate).

Babbage presentò per la prima volta la Macchina Analitica al *Secondo Congresso degli Scienziati Italiani*, svoltosi a Torino nel settembre del 1840, su invito dall'astronomo *Giovanni Plana*.

L. Menabrea



L'ingegnere e generale *Luigi Menabrea* contribuì a diffondere le idee di Babbage.

Zuse

Tra il 1939 ed il 1944 K. Zuse progettò e costruì in Germania 4 modelli di calcolatore (Z1, Z2, Z3, Z4).

Sono il primo esempio funzionante di calcolatore programmabile. La tecnologia usata era quella dei *relè elettromagnetici*.

Per la prima volta era usata una rappresentazione binaria delle informazioni.

I finanziamenti per la loro progettazione furono cancellati dal governo tedesco in quanto si riteneva che la guerra sarebbe stata vinta prima della loro realizzazione.

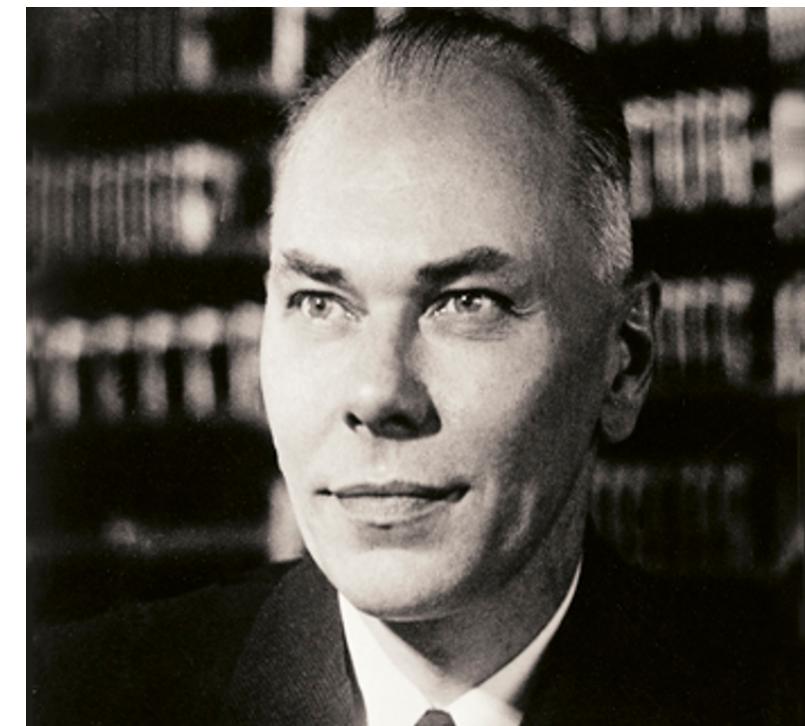
Furono quasi tutti distrutti durante i bombardamenti di Berlino nel 1944/45.



Harvard Mark I e II

Furono realizzati (il primo) e progettati (il secondo) da *H. Aiken* ad Harvard.

Il progetto si basava sulle idee di Babbage, sfruttando però i relè. La memorizzazione avveniva tramite ruote dentate.



Mark I

Mark I fu completata nel 1944 nei laboratori IBM di Endicott.

Aveva 72 parole di 23 cifre decimali ciascuna ed un tempo di ciclo di 6 secondi.

Input ed output avvenivano su nastri di carta perforata.

Problemi:

- La velocità era limitata dall'inerzia delle parti in movimento.
- La trasmissione delle informazioni attraverso leve e pulegge era difficile ed inaffidabile.



Era elettronica

- I flussi di informazione sono rappresentati dal movimento degli elettroni.
- Le commutazioni sono veloci grazie all'uso dei *tubi a vuoto*.



Atanasoff-Berry Computer

- L'Atanasoff-Berry Computer (ABC) è stato il primo computer digitale totalmente elettronico.
- Il computer fu progettato e costruito dal bulgaro John Vincent Atanasoff e da Clifford E. Berry all'Iowa State University nel periodo 1937-42.
- Il prototipo dell'Atanasoff-Berry Computer fu costruito nel dipartimento di Fisica dell'Iowa State University nel novembre del 1939.
- Il sistema pesava circa 320 chilogrammi e conteneva circa 1,6 chilometri di cavi, 280 valvole termoioniche, 31 thyratron e aveva una forma simile a quella di una scrivania.
- Rispetto alle architetture successive, l'architettura dell'ABC non poteva memorizzare i programmi, che quindi erano cablati

Colossus

Il gruppo di scienziati di *Bletchley Park* lavorò durante la guerra allo sviluppo di un calcolatore finalizzato a decodificare i messaggi tedeschi (creati attraverso i dispositivi *Enigma*).

A Bletchley Park fu costruito *Colossus*, basato su valvole termoioniche. Lo scienziato più importante del gruppo era Alan Turing.

Alla fine della guerra la macchina fu distrutta e i progetti relativi bruciati per ordine del servizio segreto inglese.



Turing

Contemporaneamente alla nascita dei primi sistemi di elaborazione, Alan Turing nel 1937 elaborava un modello di calcolatore in grado di eseguire qualsiasi algoritmo (*Macchina Universale*).

Tale modello permette di

- determinare ciò che è *computabile* e ciò che non lo è
- identificare la complessità di un algoritmo.



ENIAC

L'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Calculator*) fu costruito tra il 1943 ed il 1946 alla University of Pennsylvania da *J.W. Mauchly* e *J.P. Eckert*.

Era composto da 18.000 tubi a vuoto, pesava 30 tonnellate e serviva per la compilazione di tavole balistiche per la U.S. Army.



Caratteristiche

- Rappresentazione decimale: ogni cifra occupava un anello di 10 tubi a vuoto di cui uno solo era a 1
- 20 accumulatori da 10 cifre ciascuno
- unità speciali per moltiplicazione, divisione e radice quadrata
- programmazione manuale (tramite commutatori e cavi)
- *master programmer unit* per operazioni multiple o iterative
- memorie speciali per le costanti (*Function Tables*)
- dati e programma separati
- acquisizione dei dati attraverso lettori di schede
- uscita dei dati attraverso perforatori o telescriventi.

EDVAC

L'EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) fu progettato nel 1951 dallo stesso gruppo dell'ENIAC, cui appartenevano anche *J. von Neumann* e *John Atanasof*.

Caratteristiche:

- rappresentazione binaria
- memoria più ampia, divisa in 2 parti:
 - memoria principale: 1K word, tecnologia a linee di mercurio
 - memoria secondaria: 20Kword, tecnologia a bobine
- anche il programma risiedeva in memoria
- input/output attraverso telescrivente.

EDVAC

L'EDVAC fu progettato apparteneva a Caratteristiche:

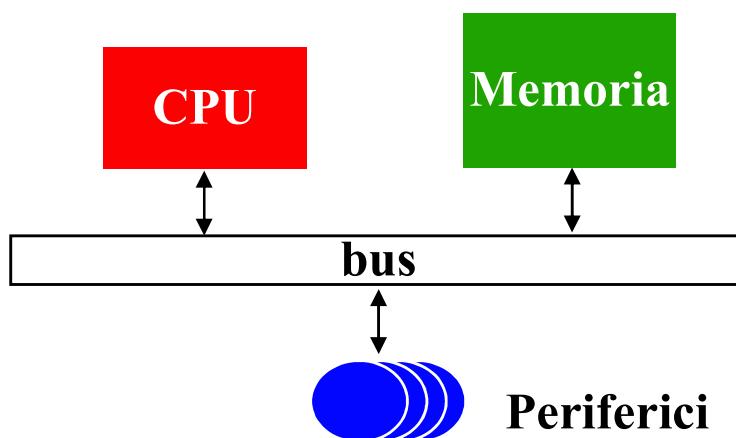
- rapido
- memoria più ampia, divisa in 2 parti:
 - memoria principale: 1K word, tecnologia a linee di mercurio
 - memoria secondaria: 20Kword, tecnologia a bobine
- anche il programma risiedeva in memoria
- input/output attraverso telescrivente.

L'EDVAC non fu mai costruito, in quanto Eckert e Mauchley lasciarono l'Università di Pennsylvania per fondare una società da cui poi sarebbe derivata la *Unisys*.

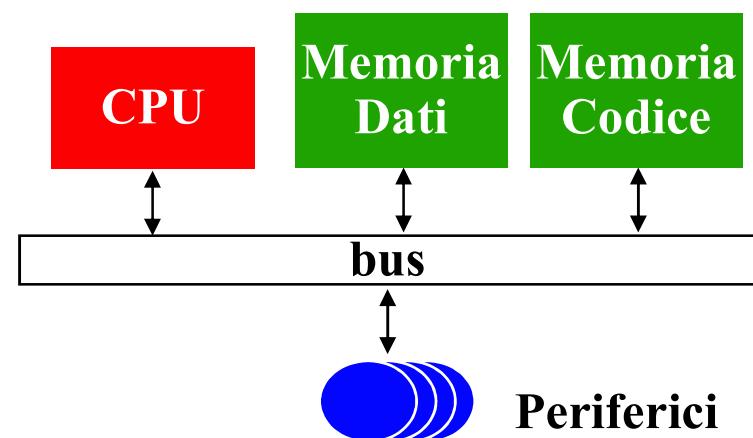
Architettura di von Neumann

Si definisce architettura di von Neumann quella basata su un'unica memoria contenente dati e codice, a cui la CPU accede attraverso un bus.

L'architettura di von Neumann si contrappone all'*architettura Harvard*, nella quale la memoria contenente le istruzioni è separata da quella contenente i dati.



Architettura di Von Neumann

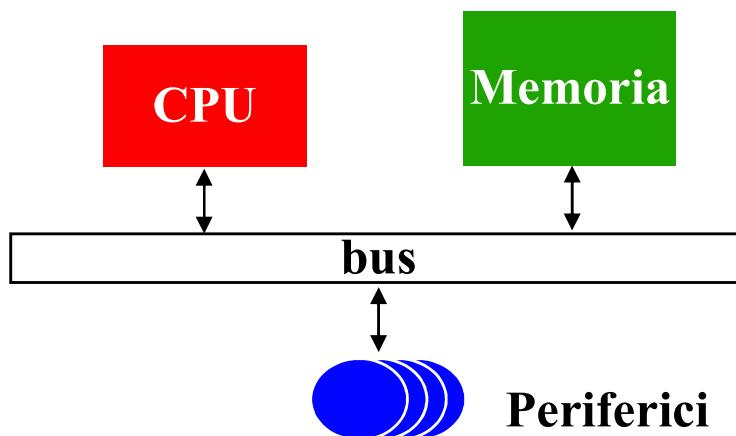


Architettura Harvard

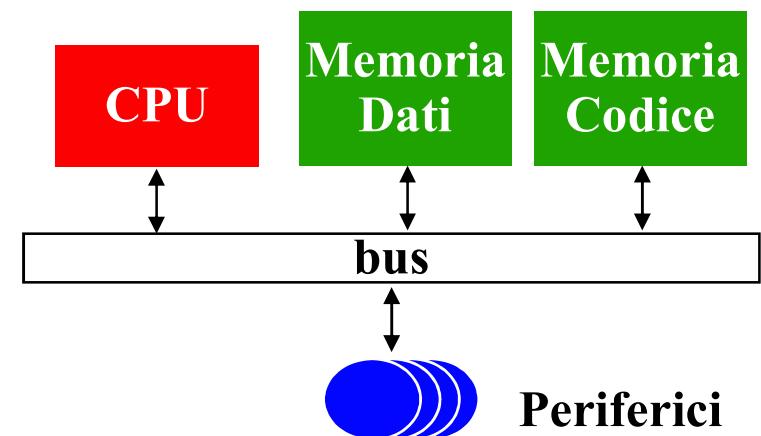
Oggi iniziano a diffondersi architetture completamente diverse da quella di von Neumann, basate sul paradigma noto come *Computing In Memory*.

Esse permettono di evitare il collo di bottiglia rappresentato dal bus, che limita le prestazioni e domina i consumi.

le istruzioni è separata da quella contenente i dati.



Architettura di Von Neumann



Architettura Harvard

Prima generazione

È costituita dai calcolatori costruiti a cavallo del 1950.

Caratteristiche:

- **tecnologia basata sui tubi a vuoto**
- **architettura centralizzata: ogni operazione richiede l'intervento diretto della CPU**
- **uso del linguaggio macchina**
- **software di sistema quasi inesistente**
- **un solo utente alla volta può usare la macchina.**



Seconda generazione

È composta dalle macchine apparse intorno al 1960.

Caratteristiche:

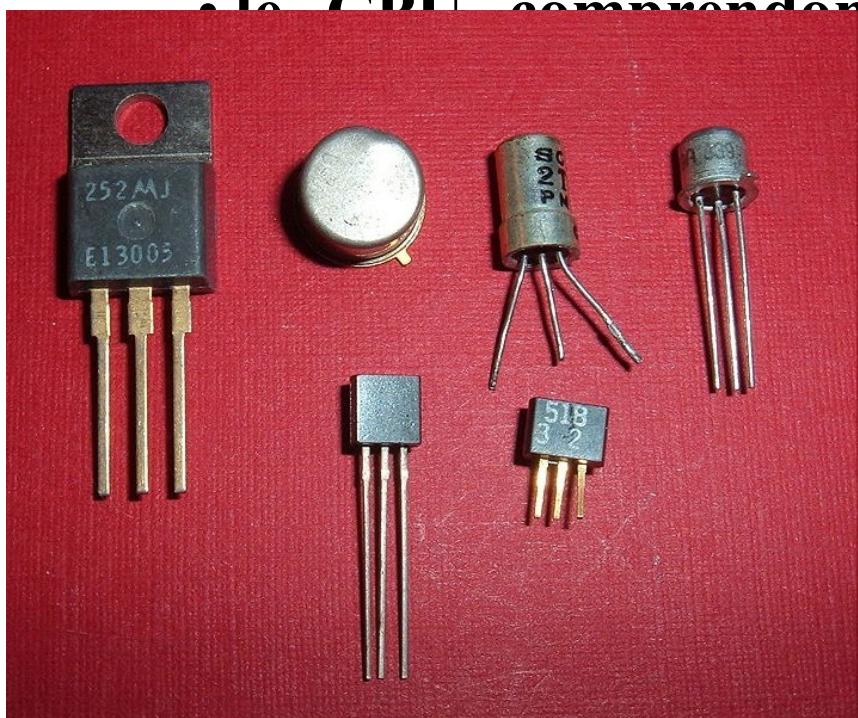
- il transistor sostituisce i tubi a vuoto
- le memorie a tubi a raggi catodici e a linee di ritardo sono sostituite con quelle a nuclei di ferrite e a tamburi magnetici
- le CPU comprendono registri indice e hardware per le operazioni in floating-point
- vengono introdotti i primi linguaggi *hardware-independent* quali ALGOL, COBOL e FORTRAN
- i processori di I/O liberano la CPU dal controllo delle periferiche
- vengono distribuiti i primi software di sistema (sistemi operativi, compilatori, librerie).

Seconda

È composta dalle macchine

Caratteristiche:

- il transistor sostituisce i tubi
- le memorie a tubo sono sostituite con quelle a transistor
- le CPU comprendono registri a-point



Il Transistor fu inventato ai Bell Labs nel 1948 da J Bardeen, W. Brattain e W. Shokley (premi Nobel nel 1956).

La prima macchina a transistor fu il TX-0 (*Transistorized eXperimental computer 0*), realizzato all'MIT nei primi anni '50.

primi linguaggi *hardware-independent*: COBOL e FORTRAN

liberano la CPU dal controllo delle

i primi software di sistema (sistemi operativi, librerie).

Terza generazione



I computer della III generazione compaiono attorno al 1965.

Caratteristiche:

- i *circuiti integrati* (IC) sostituiscono i circuiti a transistor
- le *memorie a semiconduttore* sostituiscono quelle a nuclei di ferrite
- viene utilizzata la *microprogrammazione*
- si introducono le architetture a *pipeline*
- i *sistemi operativi* permettono la condivisione delle risorse di un sistema.

L'era del VLSI

La possibilità di integrare in un unico chip decine di migliaia di transistor (*Very Large Scale of Integration*) fa sì che interi sistemi (CPU, periferiche, memoria) possano essere realizzati su un solo dispositivo, con notevoli risparmi in termini di:

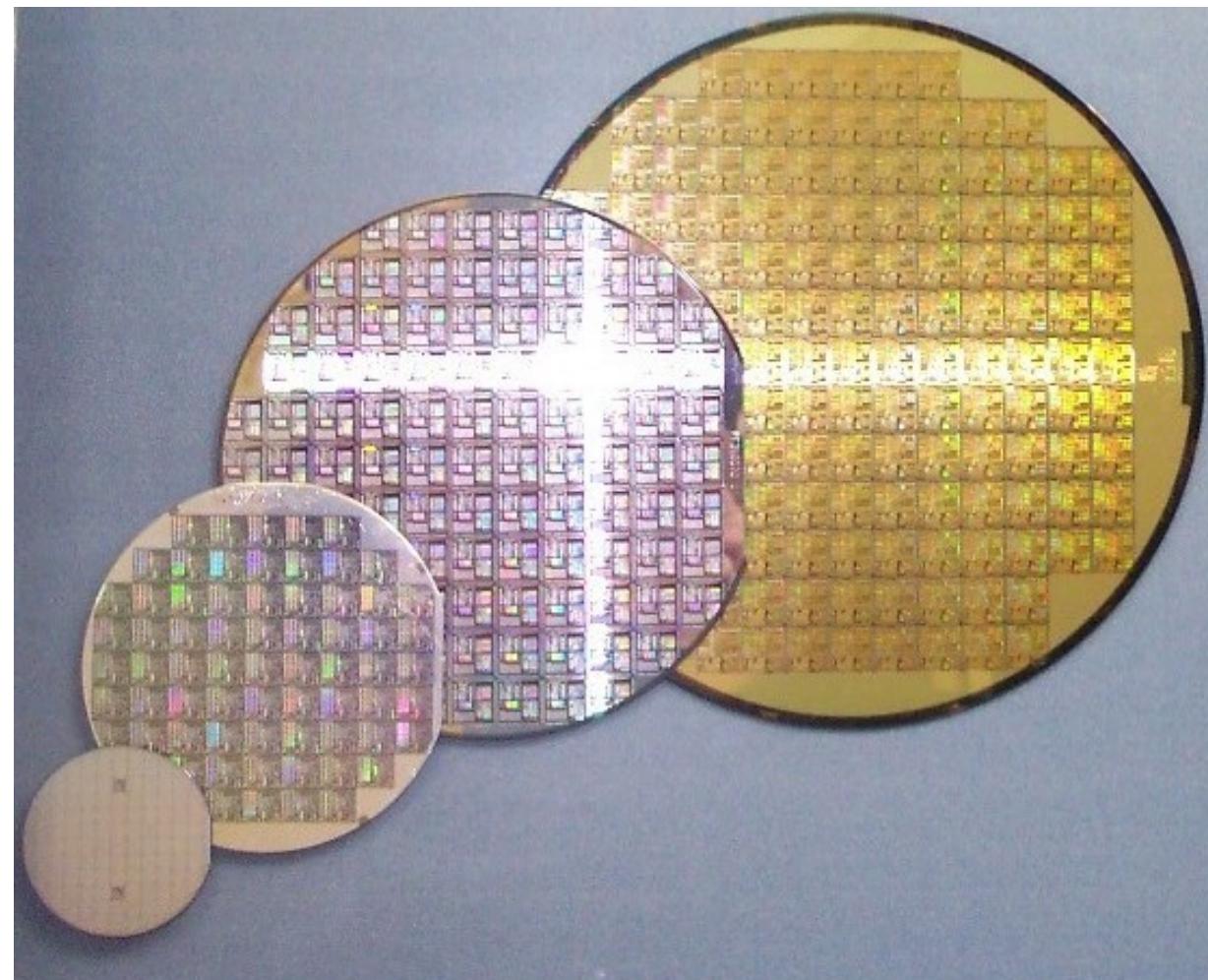
- costo
- spazio
- velocità.

I circuiti integrati

Un circuito integrato (*Integrated Circuit* o IC) è composto da:

- silicio
- package
- pin.

Un singolo IC può oggi contenere svariati miliardi di transistor.



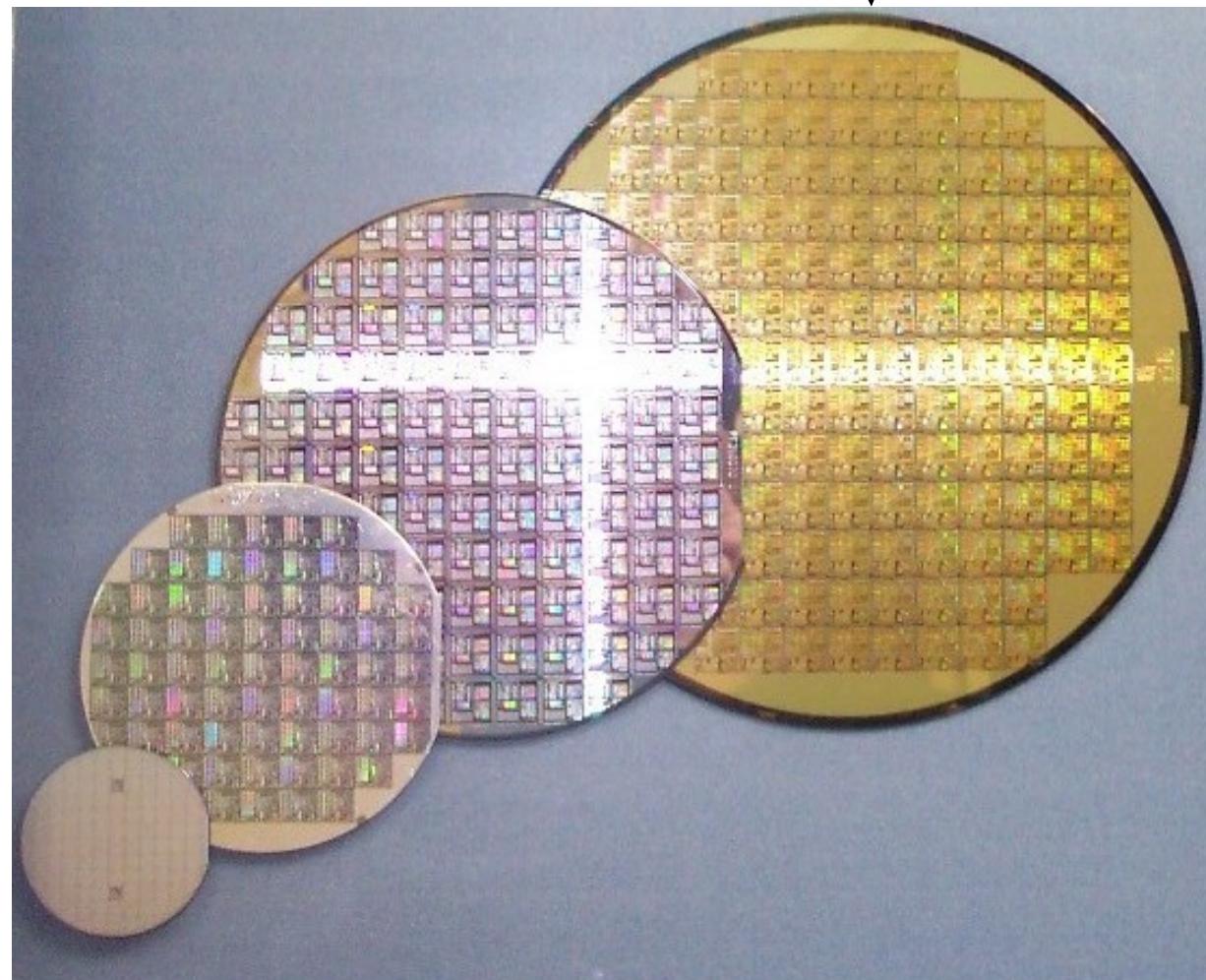
I circuiti i

Wafer di silicio, su cui sono realizzati i die

Un circuito integrato (*Integrated Circuit* o IC) è composto da:

- silicio
- package
- pin.

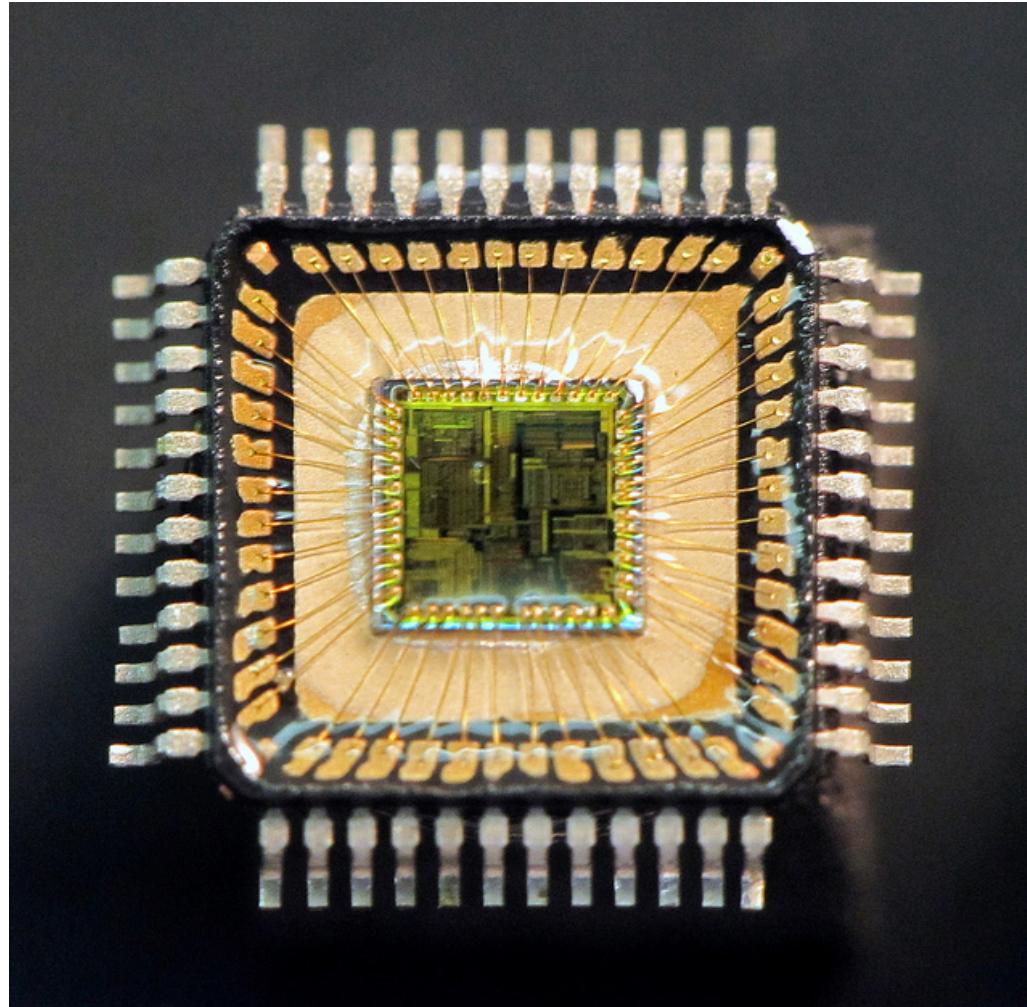
Un singolo IC può oggi contenere svariati miliardi di transistor.



Bonding

Una volta isolati i die dal wafer (*slicing*), ciascuno di essi viene inserito nel package e i segnali di input / output sono connessi ai pin (*bonding*).

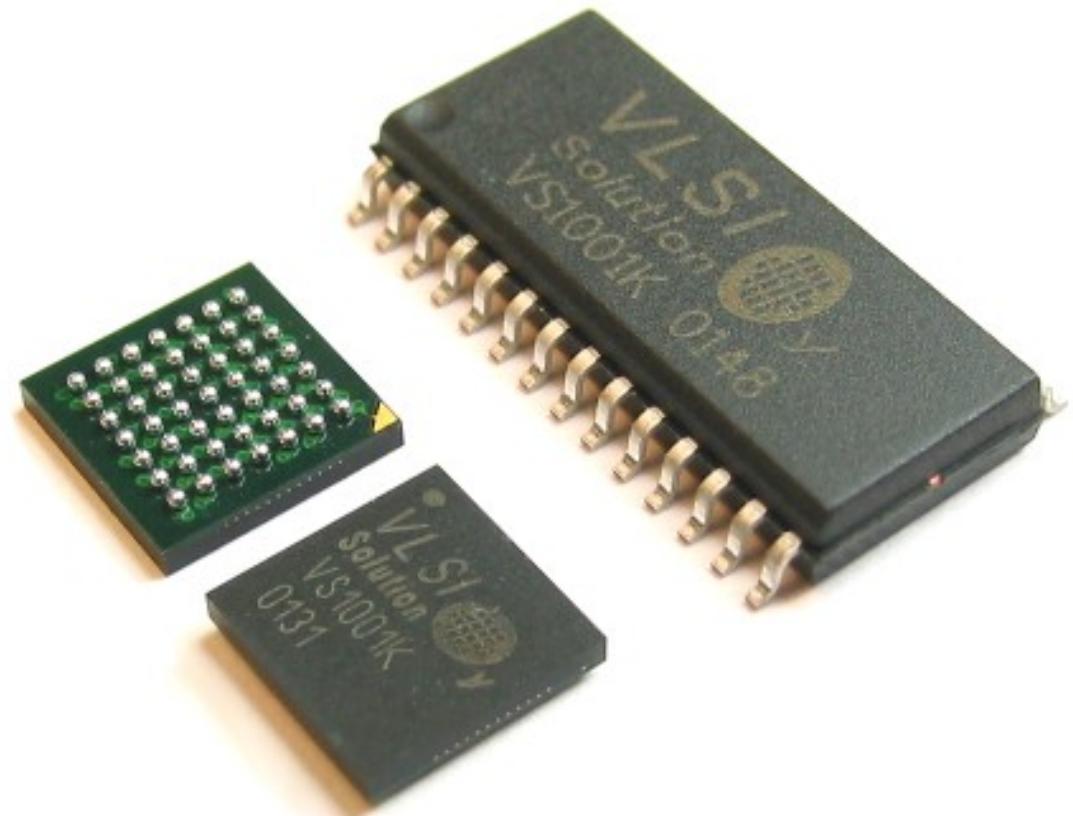
Il tutto viene poi inserito nel *package*.



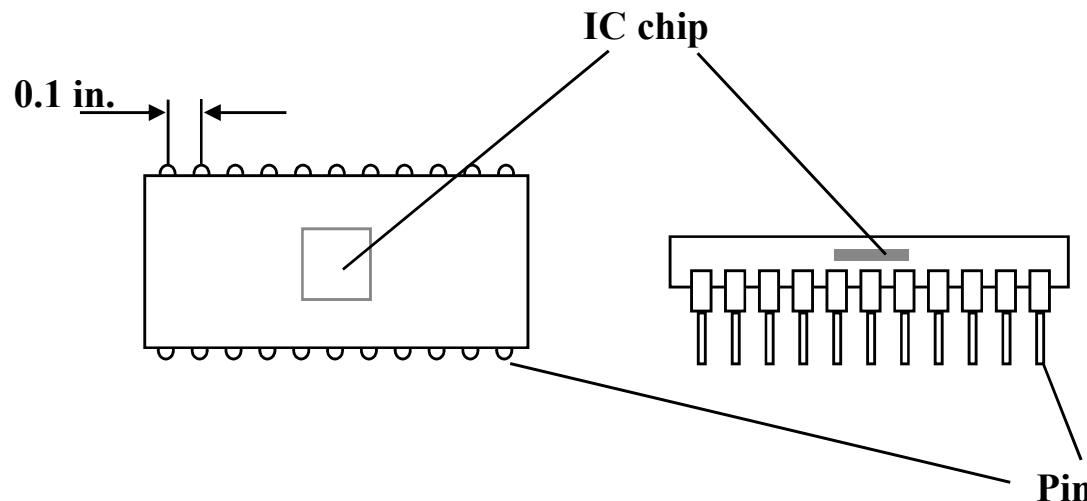
Tipi di package

I principali sono:

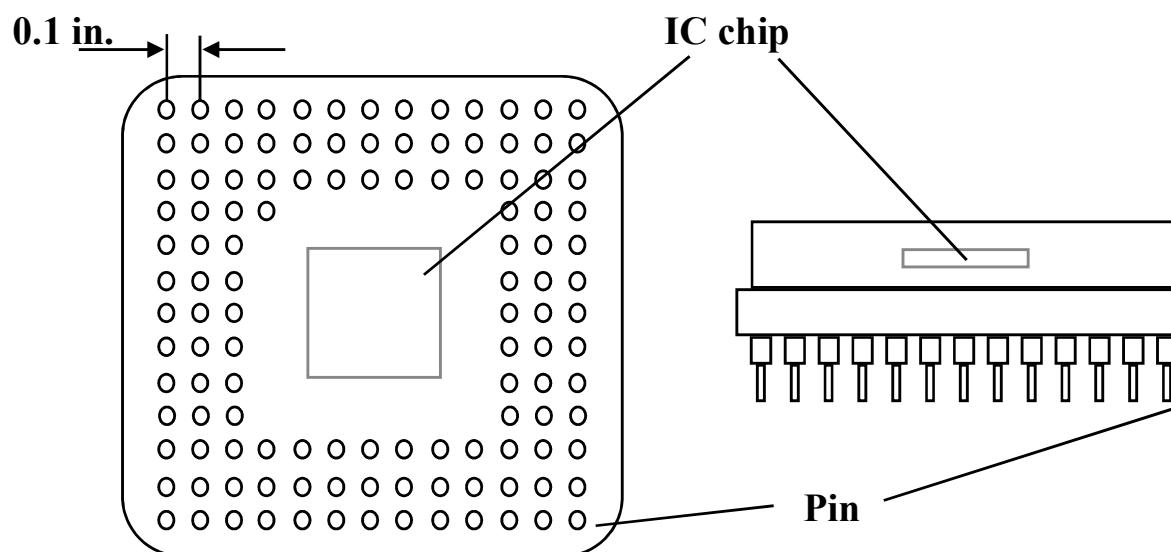
- **DIP** (Dual In-Line Package): da 14 a 68 pin su 2 file
- **PGA** (Pin-Grid Array): 144 pin
- **BGA** (Ball-Grid Array).



DIP e PGA



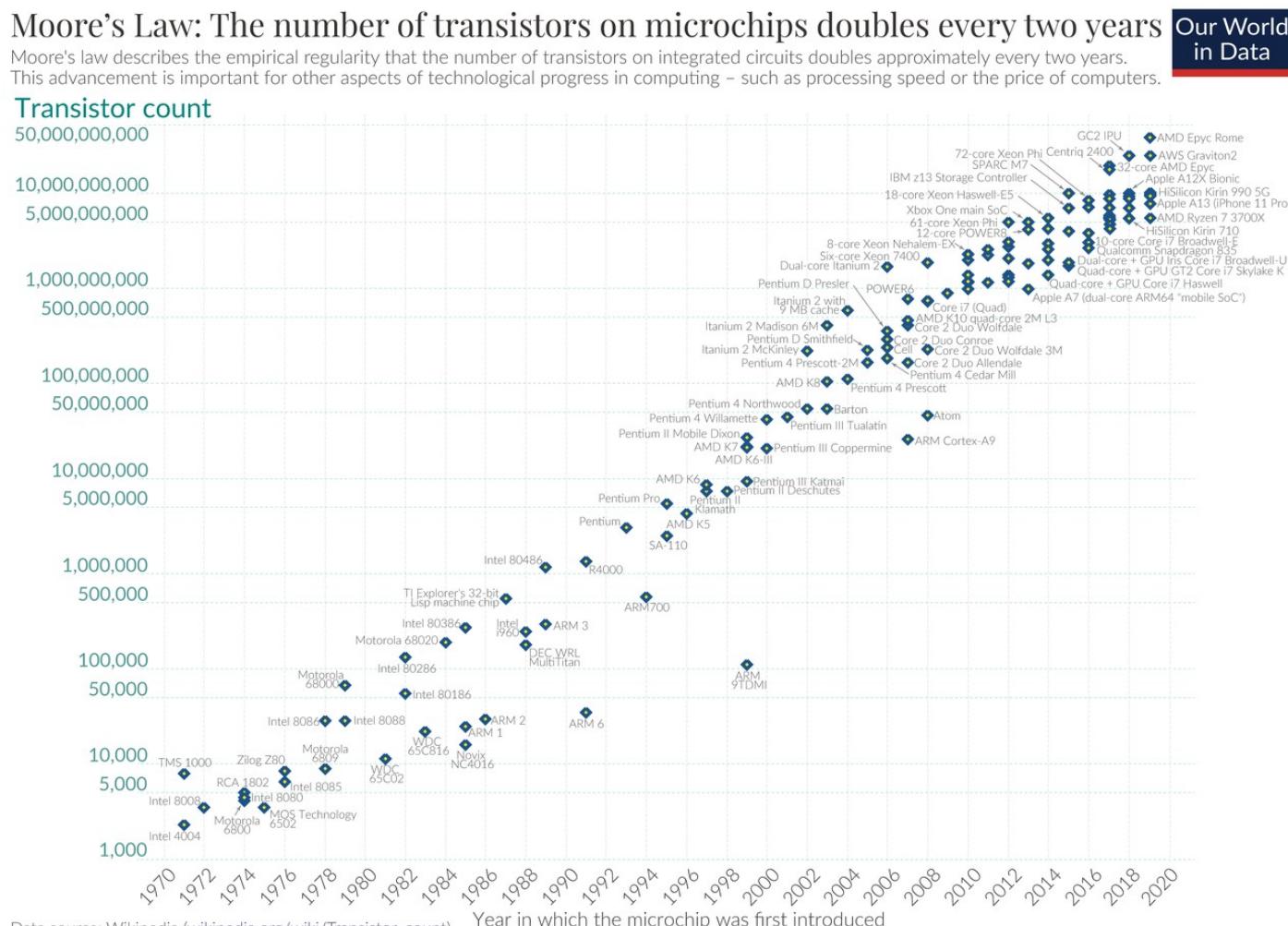
Package *Dual In line*
(DIP)



Package *Pin Grid Array*
(PGA)

Legge di Moore

Prevede che il numero di transistor integrati in un singolo circuito raddoppi ogni 18/24 mesi.



Legge d

2005

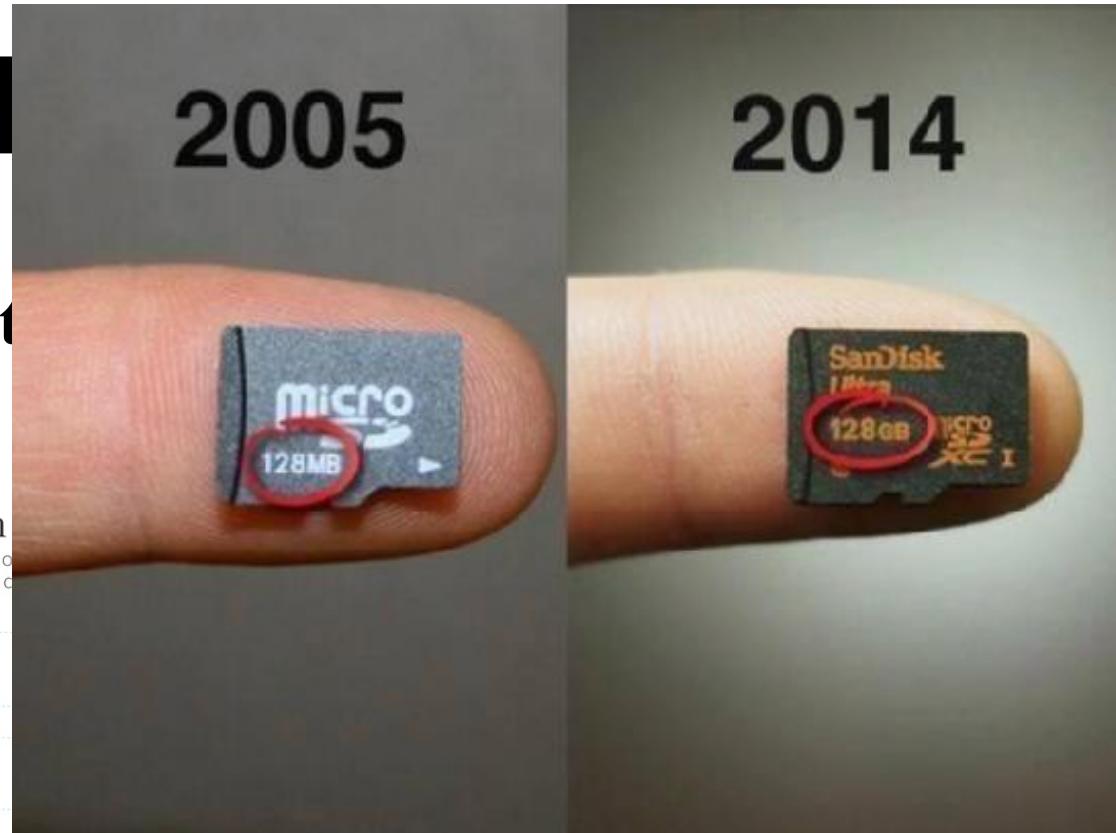
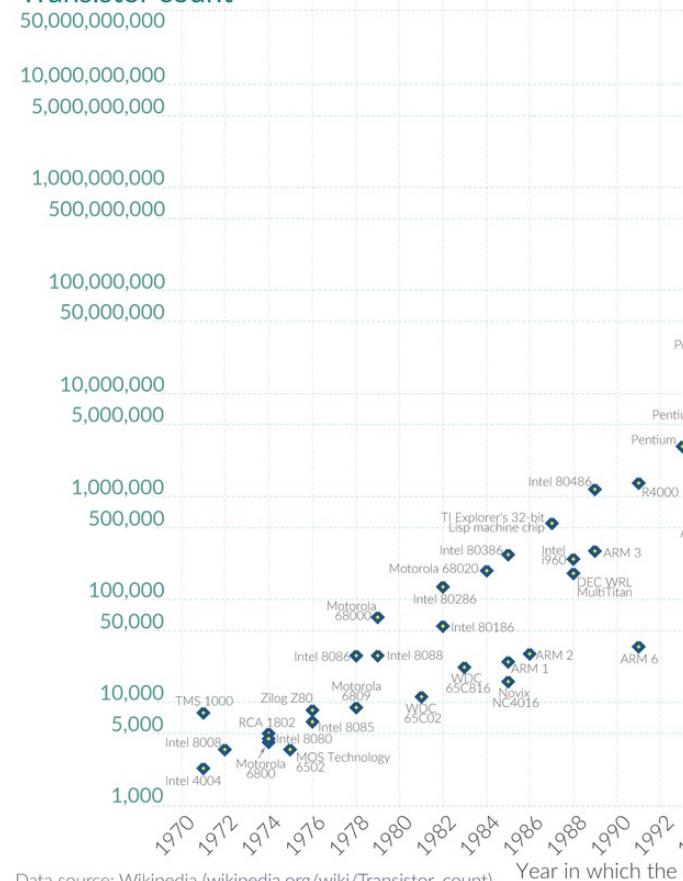
2014

Prevede che il numero di transistor raddoppi ogni 18/24 mesi.

Moore's Law: The number of transistors on

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on a chip doubles every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing.

Transistor count



2024

2018



Densità di integrazione

L'evoluzione tecnologica permette oggi di integrare un numero elevatissimo di transistor (fino a vari miliardi) a bordo di un solo dispositivo.

Questo permette di realizzare i dispositivi *System on a Chip* (SoC), che integrano a bordo di un unico circuito uno o più processori, memoria, periferici, logica special-purpose.

Esempio (estremo): il chip A18 di Apple, composto da alcune decine di miliardi di transistor e realizzato da TSMC con tecnologia a 3nm.

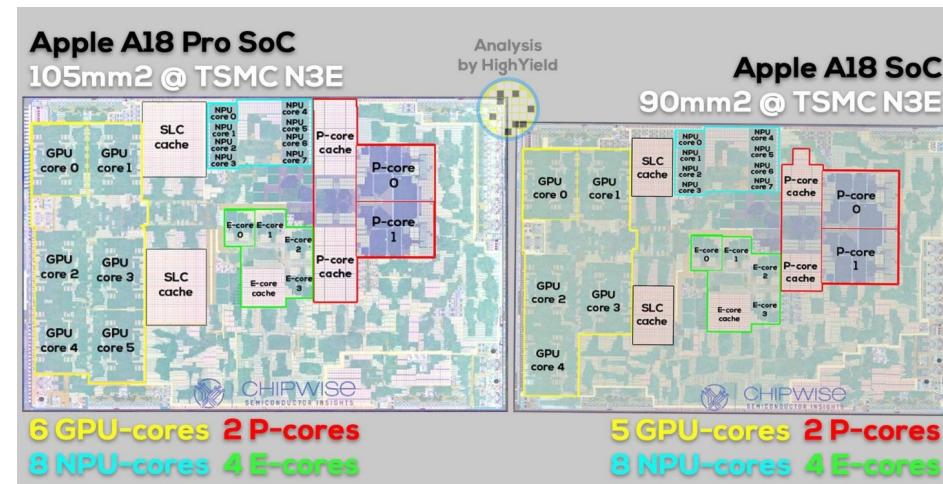
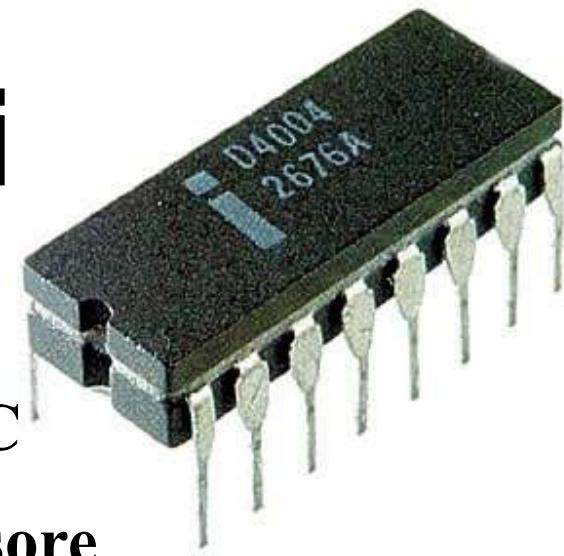


Image by ChipWise: <https://chipwise.tech/our-portfolio/apple-a18-a18-pro-die-shot/>

I microprocessori

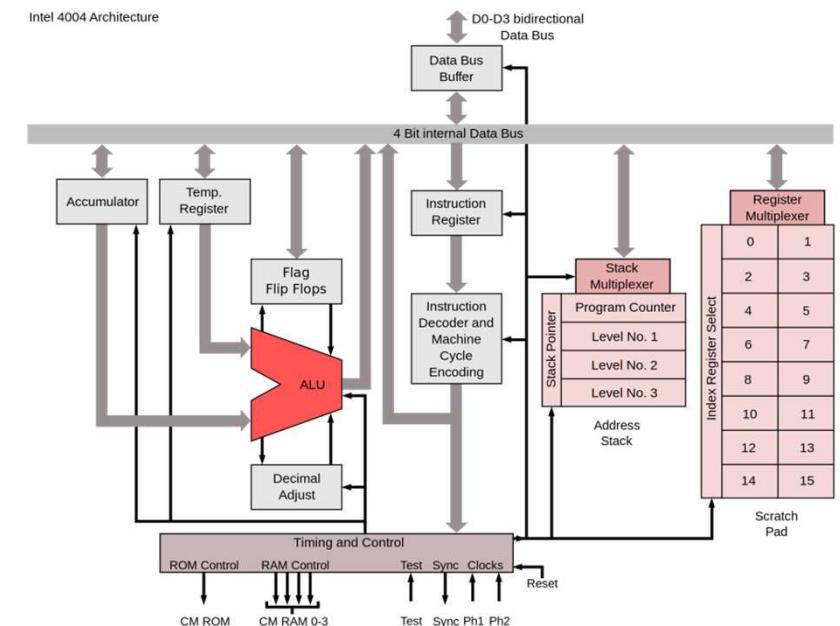


Microprocessore = processore integrato su un solo IC

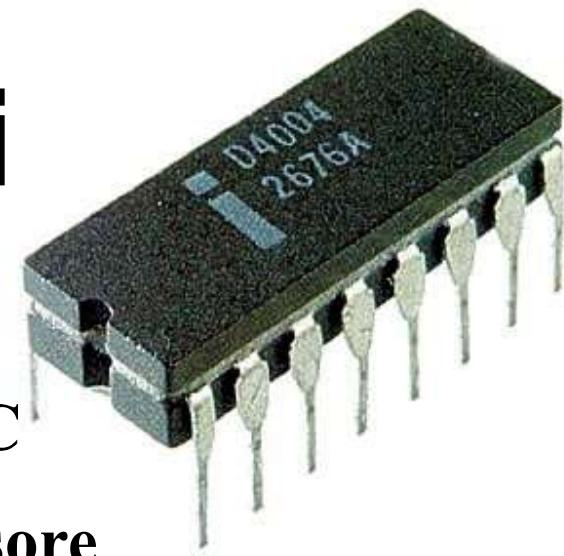
Microcomputer = calcolatore basato su microprocessore

Il primo microprocessore messo in commercio fu l'Intel 4004 (1971), composto da circa 2.300 transistor.

Un processore (o CPU) esegue istruzioni.



I microprocessori



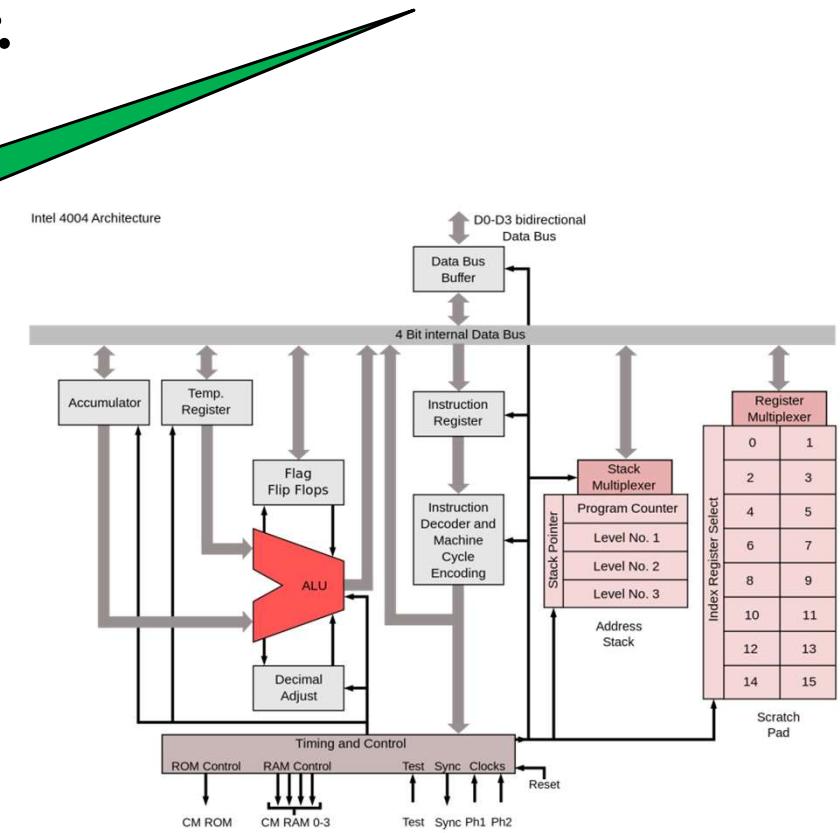
Microprocessore = processore integrato su un solo IC

Microcomputer = calcolatore basato su microprocessore

Il primo microprocessore messo in commercio fu l'Intel 4004 (1971), composto da circa 2.300 transistor.

Un processore (o CPU) esegue istruzioni.

Il capo-progetto del 4004 era l'italiano *Federico Faggin*.



Processori CISC

I processori esistenti fino agli anni '80 erano tutti di tipo **CISC** (*Complex Instruction Set Computer*), ossia caratterizzati da un set di istruzioni relativamente ampio (>100 istruzioni).

I processori CISC richiedono un certo numero di periodi di clock per eseguire una singola istruzione.

I processori RISC

I processori RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) sono caratterizzati da:

- set di istruzioni ridotto (ad esempio 32 istruzioni)
- architettura a pipeline
- elevato numero di registri (ad esempio 128).

Un processore RISC è normalmente in grado di completare l'esecuzione di un'istruzione per ogni periodo di clock.

I primi processori RISC sono apparsi sul mercato negli anni '80.

I processori superscalari

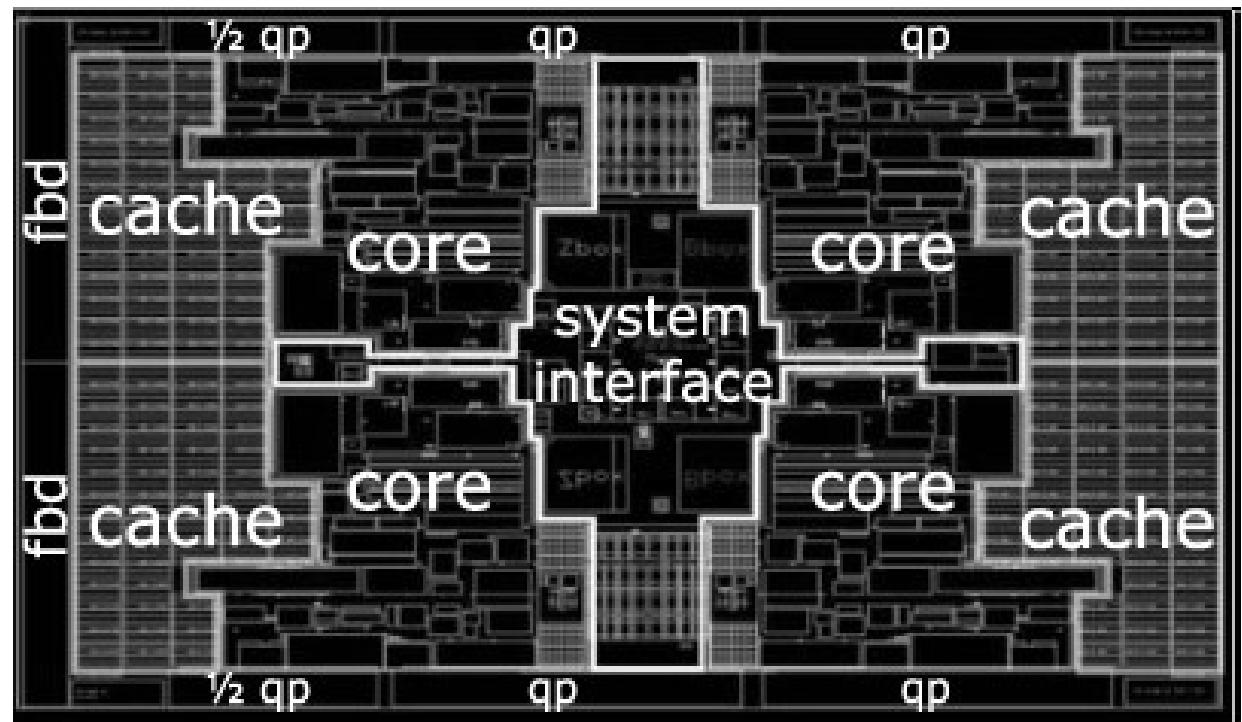
I processori superscalari sono in grado di completare l'esecuzione di più di un'istruzione per ogni periodo di clock.

Utilizzano un set di istruzioni di tipo RISC.

La loro architettura è basata su una struttura a pipeline e sulla presenza di unità funzionali multiple.

I processori multicore

Dal momento che è difficile aumentare indefinitamente le prestazioni di un singolo processore mantenendo sotto controllo il consumo di potenza, negli ultimi anni si sono introdotti dispositivi *multicore*, che integrano in un unico dispositivo più processori.

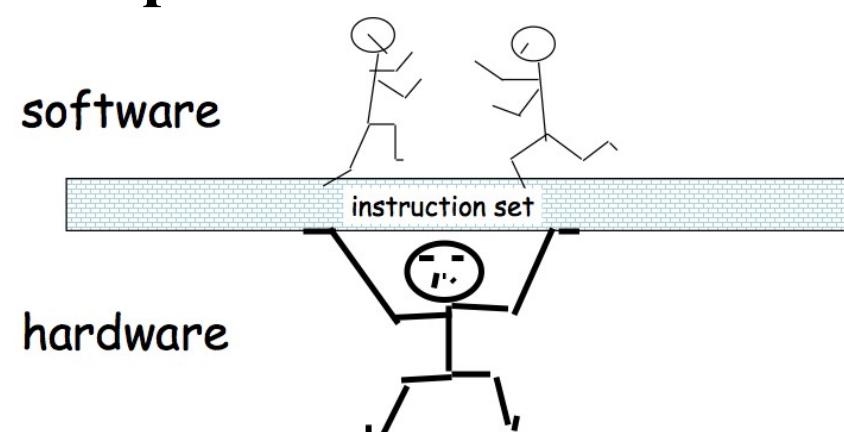


Instruction Set Architecture

- I processori sono organizzati in *famiglie*
- I processori di una stessa famiglia sono compatibili a livello software, ossia

Il codice di qualunque applicazione sviluppata per un processore può essere eseguito su tutti i processori successivi della stessa famiglia

- La compatibilità si ottiene adottando una stessa *Instruction Set Architecture (ISA)*, corrispondente all'insieme di informazioni relative al processore usate dal programmatore.



GPU

Accanto alle tradizionali CPU, negli ultimi anni hanno avuto grande successo le *Graphics Processing Unit* (GPU).

Inizialmente pensate per applicazioni grafiche, le GPU vengono oggi utilizzate più in generale per applicazioni scientifiche e di Intelligenza Artificiale.

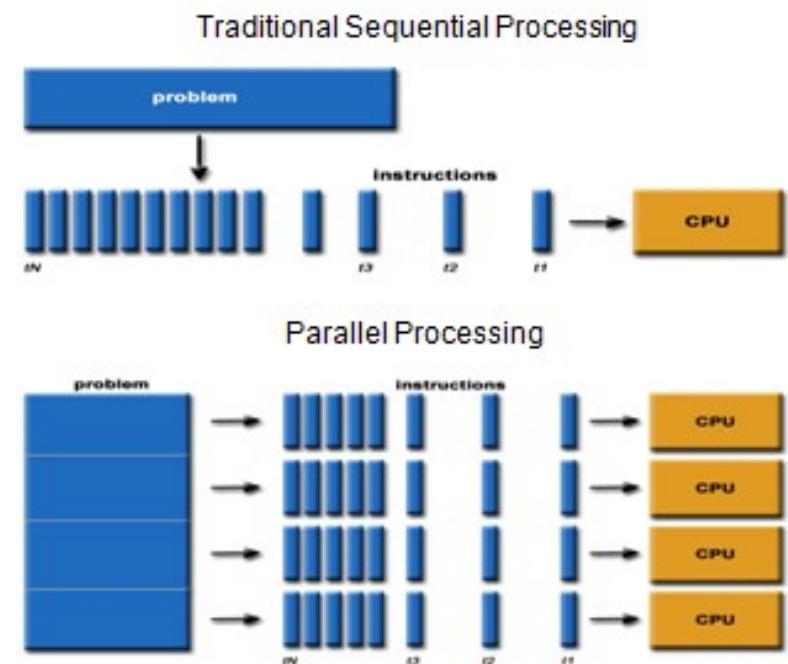
Le GPU sono in grado di lavorare in parallelo su dati vettoriali.

Una GPU è composta da molti moduli di elaborazione (*Processing Element* o *PE*), ciascuno con la sua memoria dati.

Tutti i PE eseguono in parallelo la stessa istruzione sui propri dati.

In tal modo si rendono molto più veloci le operazioni su strutture dati regolari (come ad esempio le matrici).

Le GPU sono particolarmente efficienti nell'esecuzione degli algoritmi di *Intelligenza Artificiale*.



Microcontrollori (o MCU)

Sono dispositivi destinati ai sistemi special-purpose.

Sono realizzati su un unico IC che integra anche altri moduli (periferiche, memorie, ecc.).

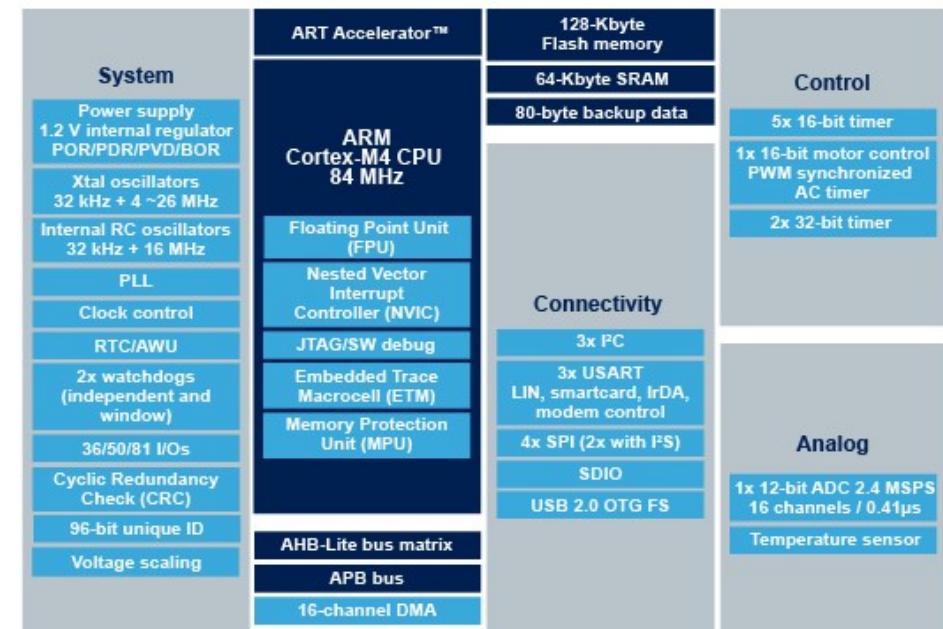
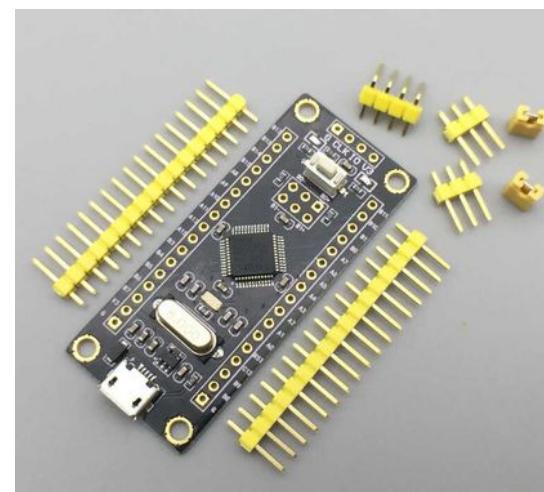
Sono composti da:

- processore (con caratteristiche molto variabili a seconda dell'applicazione)
- memoria ROM, RAM, Flash
- porte ed interfacce per I/O
- contatori.

Nel campo dei microcontrollori le prestazioni sono importanti al pari di altri parametri, quali ad esempio il costo, il consumo, la dimensione, l'affidabilità, la facilità di utilizzo.

STM32

- È una famiglia di MCU con CPU ARM a 32 bit progettata e prodotta da STMicroelectronics
- I primi prodotti della famiglia furono introdotti nel 2007
- I dispositivi della famiglia sono usati in numerosissime applicazioni, quali
 - Automotive
 - Industrial
 - Medical
 - Railway
 - ...



Realizzazione di sistemi Special-Purpose

Per la realizzazione dei sistemi special-purpose esistono spesso varie alternative:

- Soluzione SW: usa una scheda esistente (equipaggiata di microprocessore o microcontrollore che esegue un programma, di norma contenuto in una ROM o Flash)
- Soluzione HW: basata su un ASIC (*Application Specific IC*) progettato e realizzato specificatamente per quell'applicazione. Se un ASIC contiene uno o più processori, viene denominato SoC.

Soluzione Software

È così definita perché spesso utilizza un hardware commerciale, basato su un una scheda a microprocessore (o microcontrollore).

In questo caso quindi il lavoro di implementazione si concentra sulla scrittura del software eseguito dal processore.

In genere è la soluzione meno efficiente in termini di velocità di esecuzione, ma anche la meno costosa e più flessibile.



Soluzione Hardware

Consiste nel realizzare un ASIC che implementi la funzionalità desiderata.

Il costo è molto più alto in termini di progetto e messa in produzione, ma il costo unitario del prodotto finito è molto minore.

Ha senso quando i volumi in gioco sono elevati (>1M).

Inoltre (in linea generale)

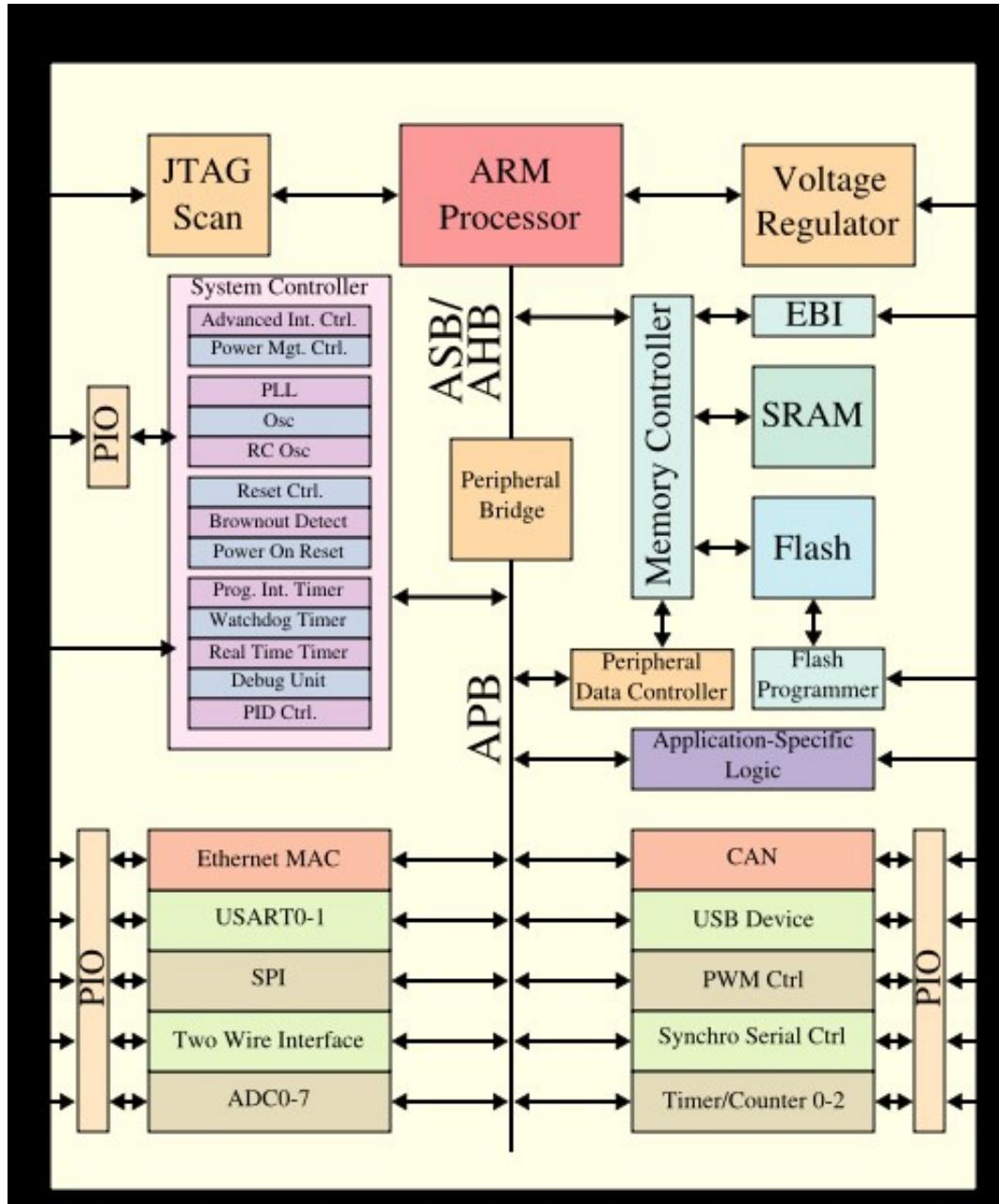
- le prestazioni sono più elevate**
- l'ingombro è minore**
- il consumo è minimizzato**
- la flessibilità è molto minore: una volta progettato e realizzato l'ASIC non è più modificabile.**

System on Chip

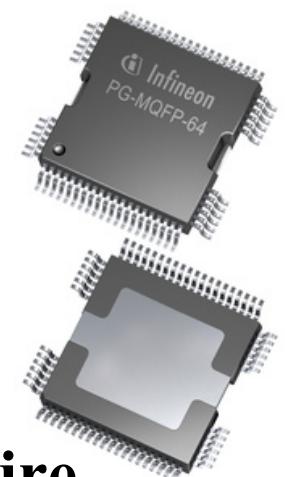
Molte applicazioni (ad esempio i telefoni cellulari) si basano su IC complessi (denominati *System on Chip* o SoC), che integrano al loro interno

- uno o più processori
- vari moduli di memoria
- i moduli di interfaccia
- eventuali moduli specifici.

Ciascun SoC è rivolto ad una specifica applicazione e integra i moduli (*IP core*) necessari.

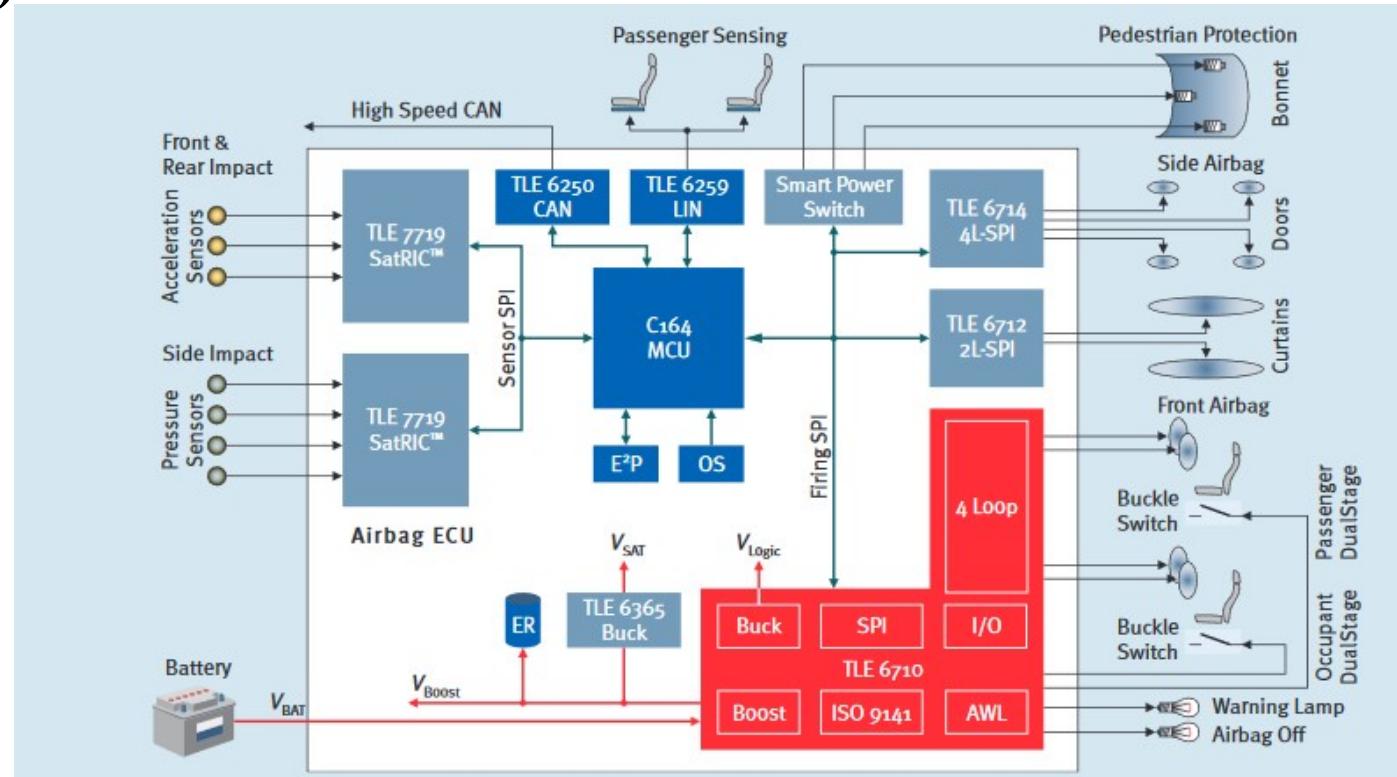


Infineon Airbag SoC



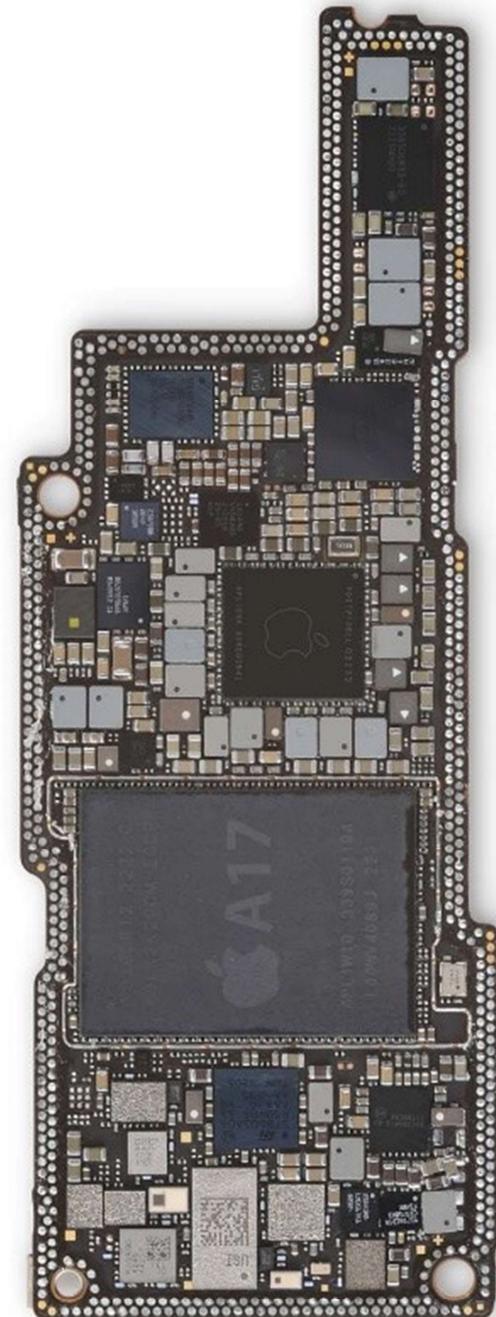
Questo tipo di dispositivi per applicazioni automotive:

- Utilizza tecnologie mature, in grado di garantire maggiore affidabilità
- Contiene un numero relativamente ridotto di transistor (qualche milione).



Apple A17 Pro

- Apple A17 Pro è un SoC a 64-bit progettato da Apple Inc. su base ARM e prodotto esclusivamente da TSMC con processo produttivo a 3 nm
- Contiene una CPU a 6 core, di cui 2 ad alte prestazioni funzionanti a 3,78 GHz, e 2 a basso consumo a 2,11 GHz
- È usato negli iPhone 15 Pro e Pro Max
- Il dispositivo contiene circa 19 miliardi di transistor
- Include un acceleratore hardware (GPU) per ray tracing e mesh shading.



MobilEye EyeQ5M

- È un dispositivo progettato congiuntamente da Mobileye (parte di Intel) e STMicroelectronics
- Integra 8 CPU, un multi-thread processor cluster (MPC), un vector microcode processor (VMP), un acceleratore per deep learning, un programmable macro array (PMA)
- Mobileye dichiara che EyeQ5 è in grado di fornire 2.4 DL TOPS (Tera Operations Per Second) per Watt (oltre 2 volte meglio del dispositivo Xavier di NVIDIA)
- È prodotto da TSMC's con tecnologia FinFET a 7nm
- È utilizzato nella Aptiv's ADCAM Mid ECU della BMW iX
- Mobileye ha già introdotto EyeQ6, che aumenta ulteriormente le prestazioni rispetto a EyeQ5.

