
La parte fisica di un computer (hardware)

MACCHINA DI TURING E MODELLO DI VON NEUMANN

I padri del calcolatore moderno

- Alan Mathison Turing (1912-1954)
 - Matematico e logico
 - A 25 anni elaborò la teoria della “macchina di Turing”

- John Von Neumann (1903-1957)
 - Matematico e informatico
 - Propose il modello di Von Neumann

Il problema dell'esecutore

- Due domande fondamentali:
 - È sempre possibile trovare una soluzione algoritmica ad un problema?
 - Esiste un ***esecutore automatico*** in grado di eseguire un algoritmo e se sì come è fatto?
- A queste domande risponde la *teoria della computabilità*

La computabilità

- La teoria della computabilità
 - E' parte fondamentale dell'*informatica teorica*
 - Definisce quali caratteristiche un problema deve avere per ammettere una soluzione computabile
- Computabilità secondo Turing
 - Un problema è *computabile secondo Turing* se esiste una *Macchina di Turing* che lo risolve
- Risultati analoghi forniti anche da Church

Tesi di Church-Turing

➤ Risultato fondamentale:

- Un problema è computabile se è computabile secondo Turing, ovvero se esiste una macchina di Turing in grado di risolverlo
 - Tesi non dimostrata, ma dedotta dalla sostanziale equivalenza delle varie definizioni proposte per la computabilità e mai contraddetta finora

➤ Conseguenze:

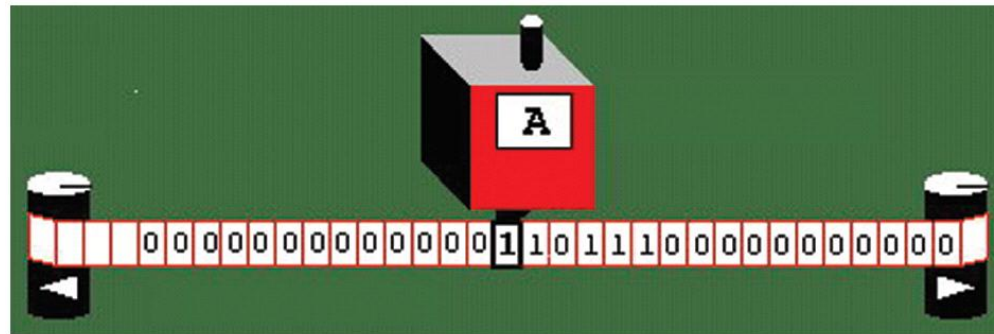
- Tutti gli esecutori sono equivalenti alla Macchina di Turing
- ***Gli esecutori differiscono tra loro solo nella velocità di risoluzione dei problemi***, non nella capacità di risolverli

La Macchina di Turing

- Primo modello di esecutore automatico
 - E' un modello teorico (ovvero non realizzabile praticamente) che risolve automaticamente un determinato problema
 - Composta da un nastro infinito ed una unità di controllo con stato che può scrivere, leggere e cancellare simboli sul nastro
- Idea fondamentale: l'”*impiegato diligente*”
 - La macchina opera eseguendo istruzioni del tipo “se è vero che... allora esegui...”
 - Set di istruzioni minimo (una!) e completo (tesi)

La macchina di Turing

- Macchina teorica in grado di eseguire procedure logiche e matematiche



La rappresentazione classica di una macchina di Turing

Componenti:

- un *nastro* diviso in celle (memoria esterna);
- una *unità di lettura e scrittura*;
- un *insieme finito di simboli*;
- una *memoria interna*.

La macchina permette di formalizzare la nozione di procedura effettiva di calcolo, o *algoritmo*.

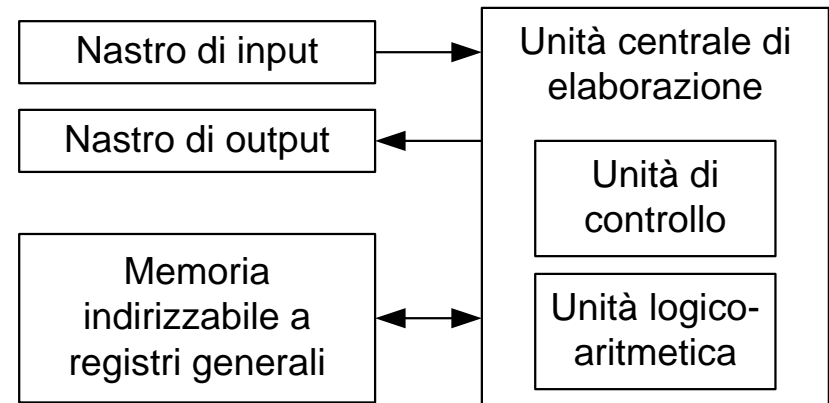
Limiti

- Troppo elementare
 - La disponibilità di una sola istruzione rende complesso realizzare anche algoritmi semplici
 - La soluzione dipende molto da una buona codifica e quindi dalla scelta dell'alfabeto di simboli del nastro

- Non realizzabile praticamente
 - Nastro infinito (si potrebbe rilassare l'ipotesi)
 - Lentezza (problema di carattere pratico)
 - Macchinosità della programmazione

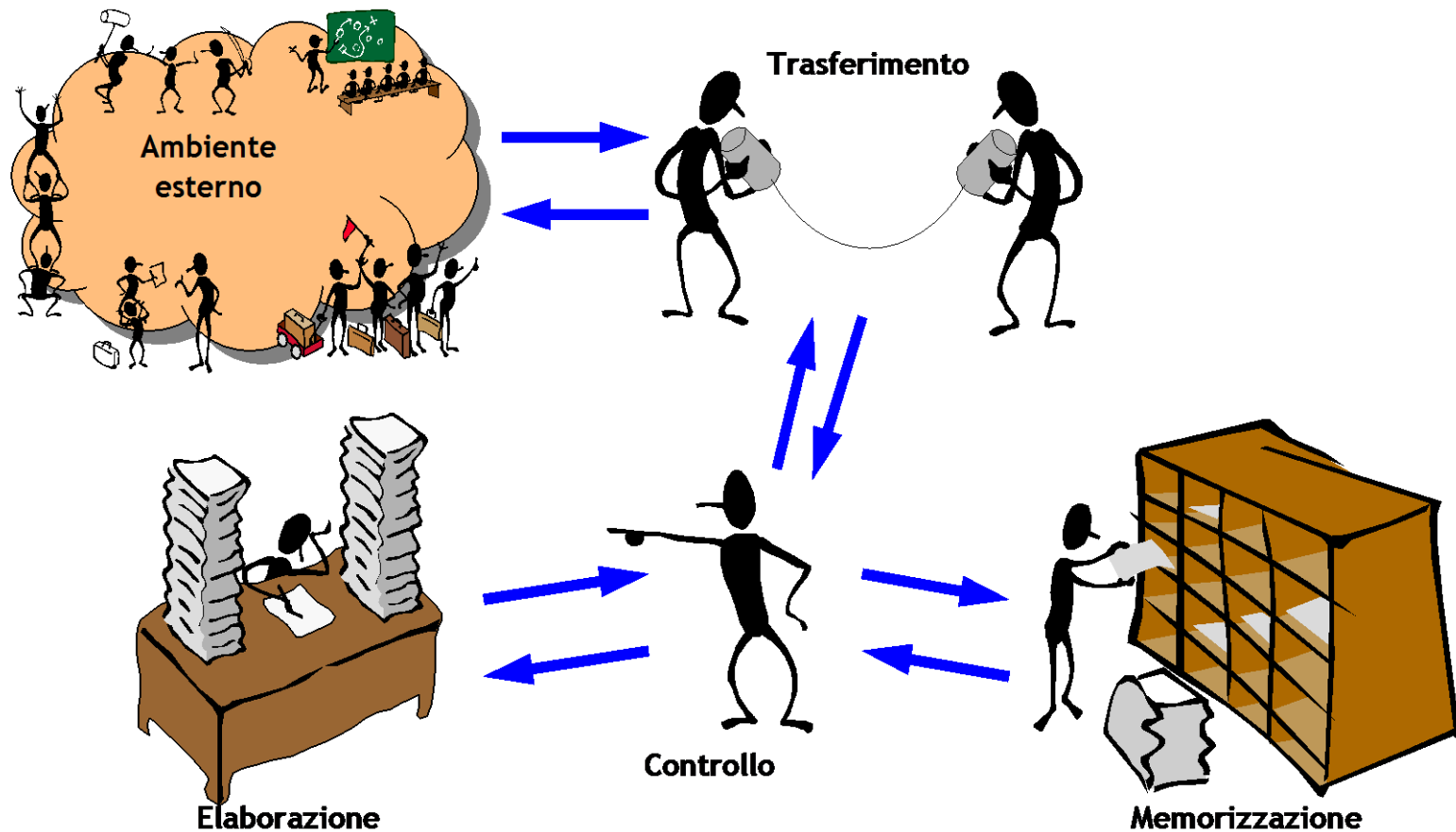
Modello di Von Neumann

- Più pragmatico
 - Equivalente alla Macchina di Turing
 - Architettura orientata alla realizzazione pratica
 - Alla base dei calcolatori odierni

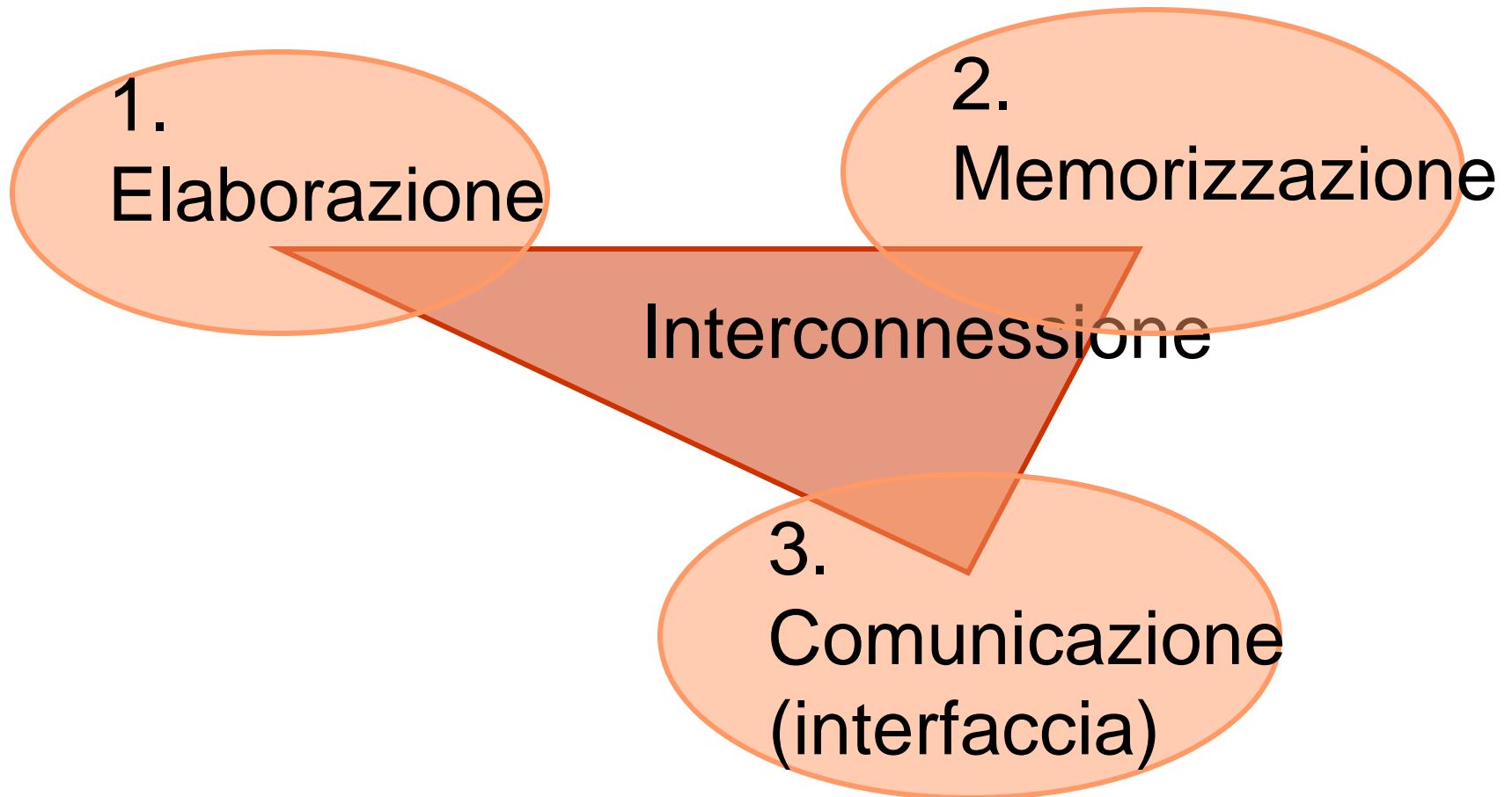


ARCHITETTURA DEL CALCOLATORE ELETTRONICO

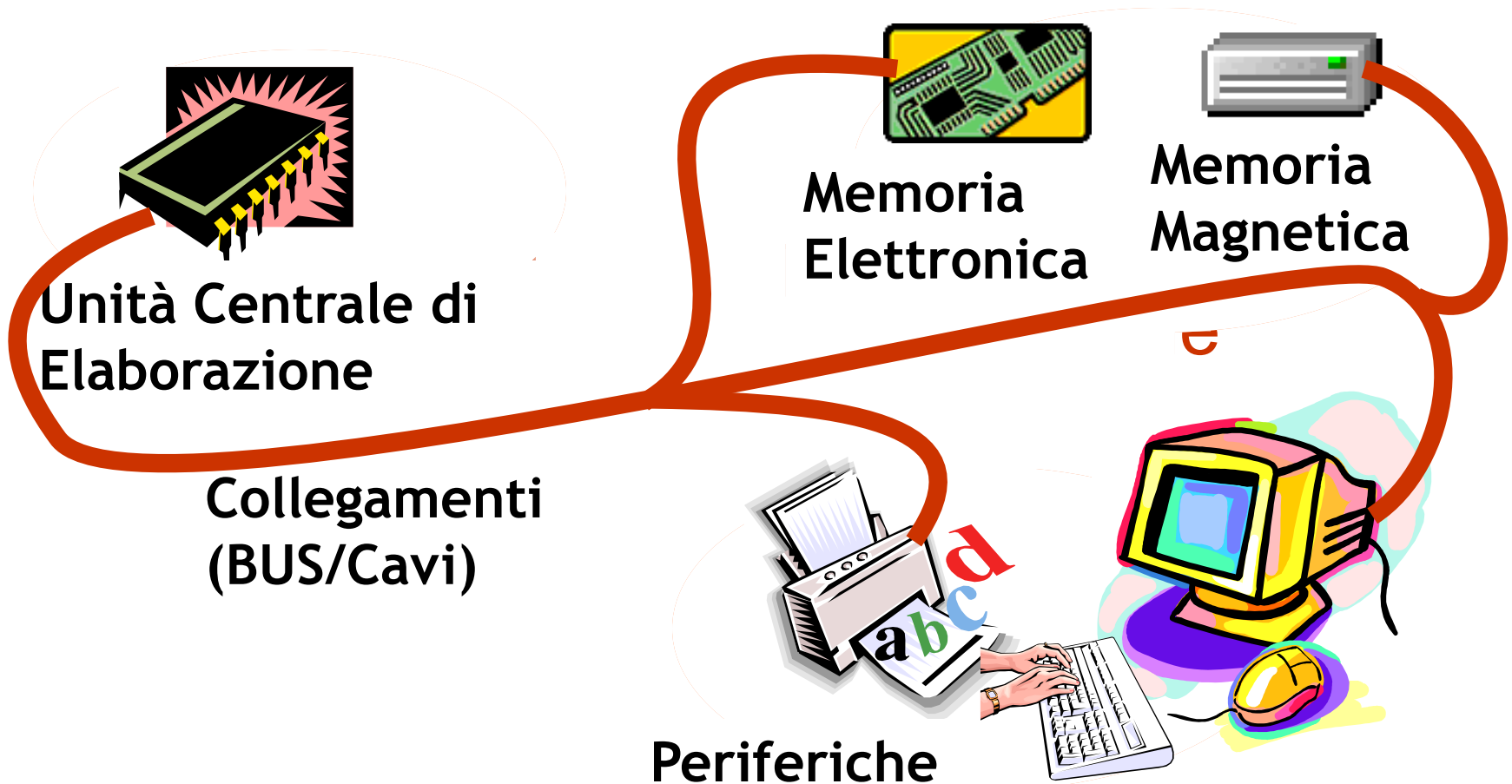
Funzionalità di un calcolatore



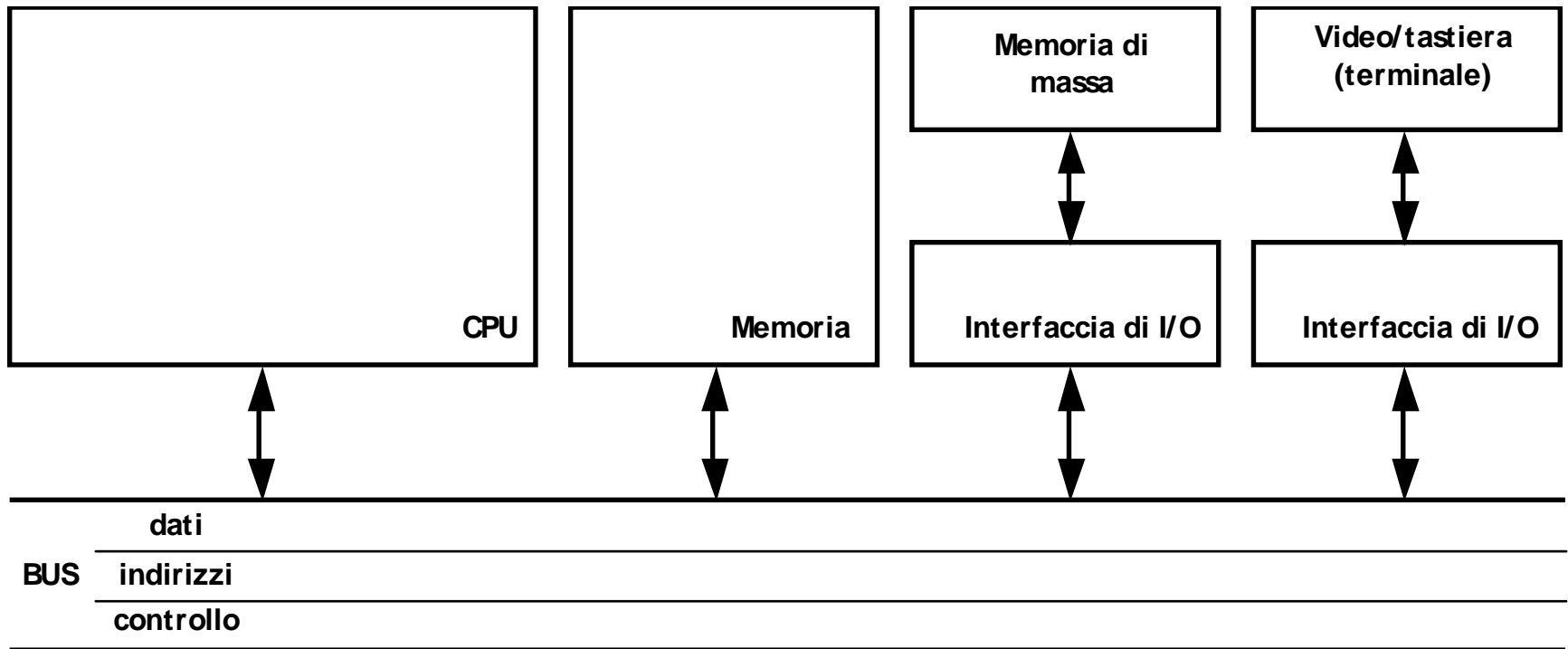
Il calcolatore: modello concettuale



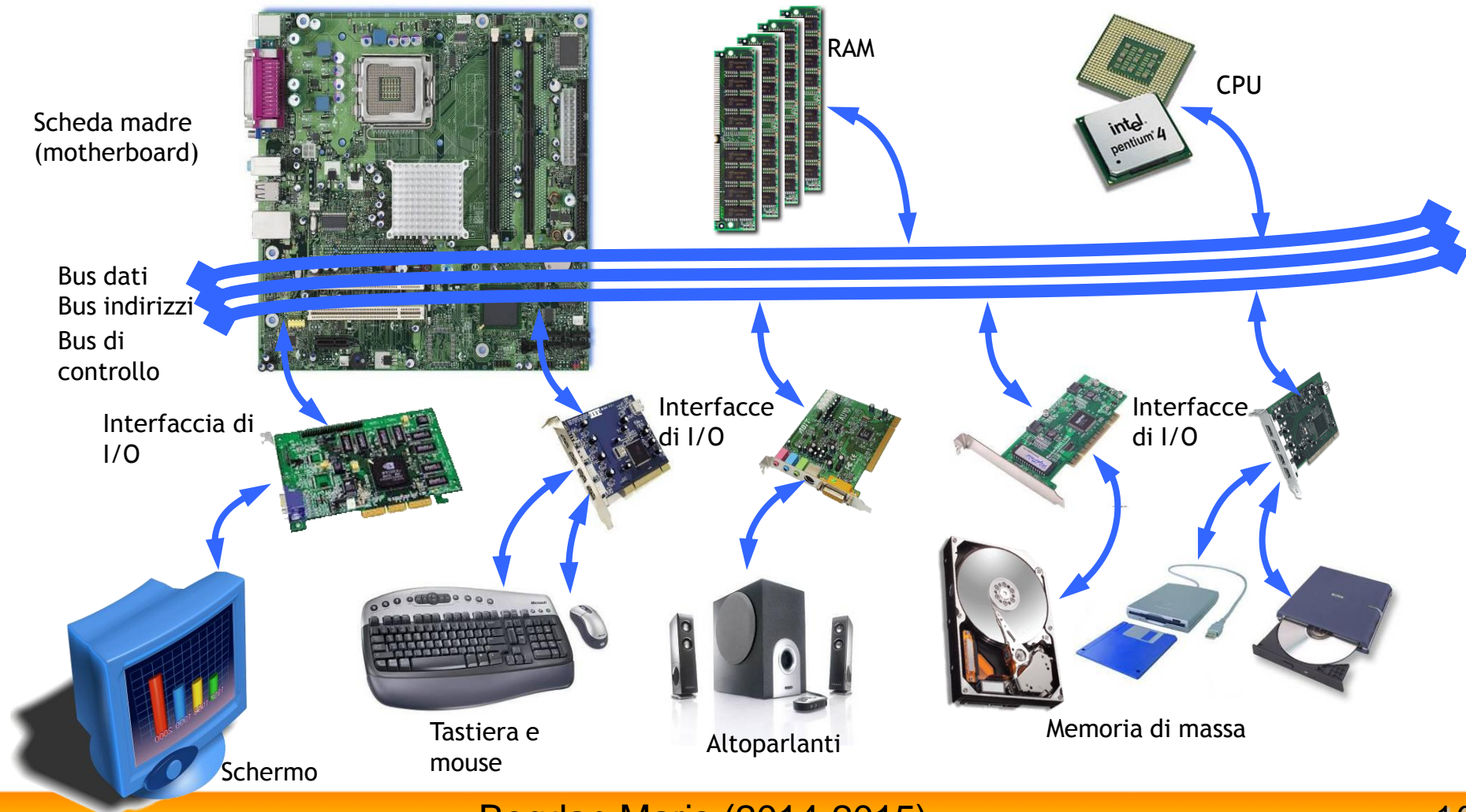
Il calcolatore: modello architetturale



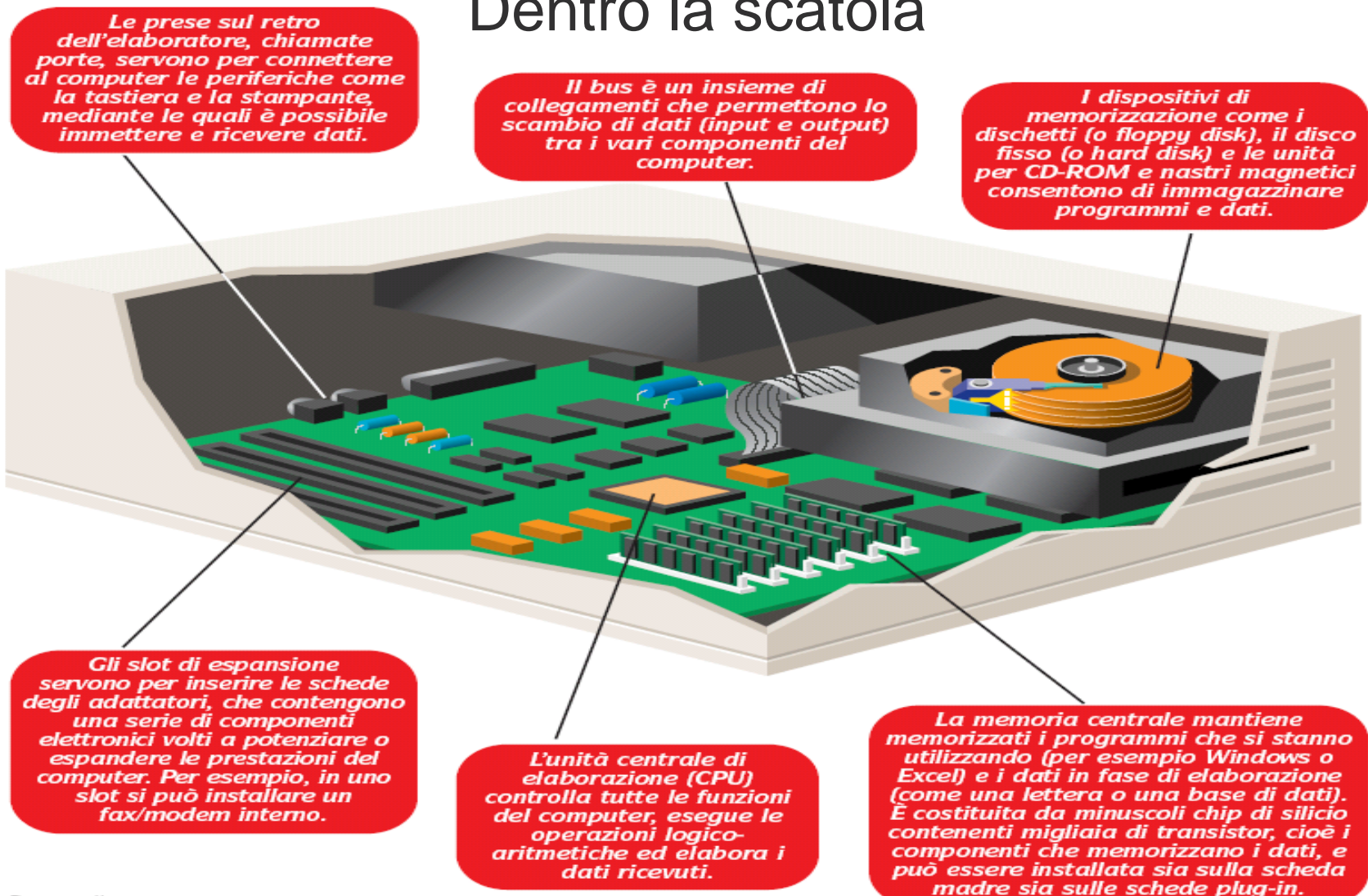
Lo schema di riferimento



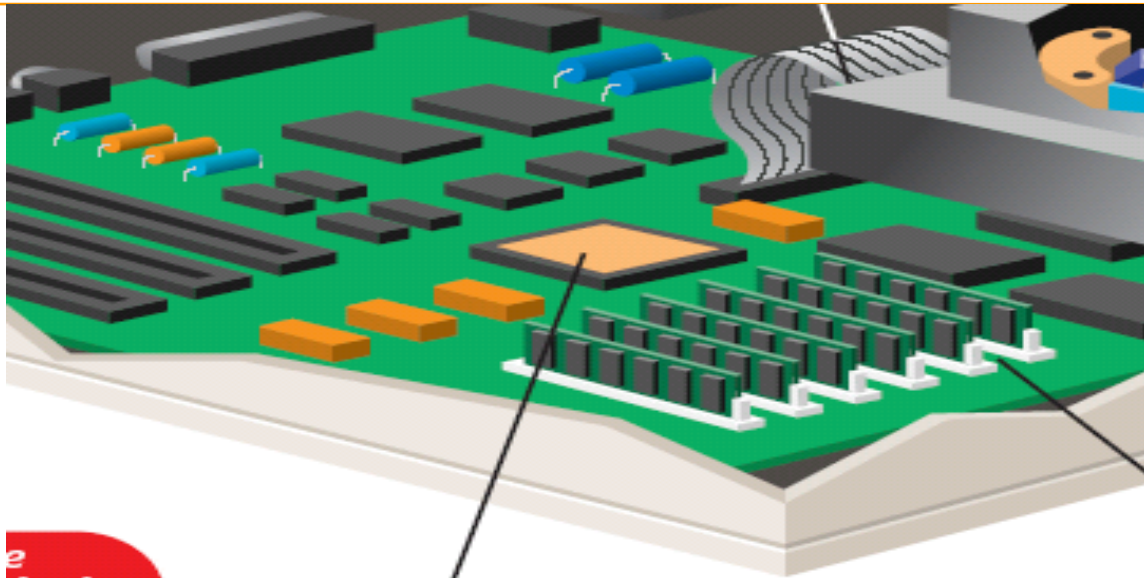
Lo schema di riferimento



Dentro la scatola



Dentro la scatola: la CPU

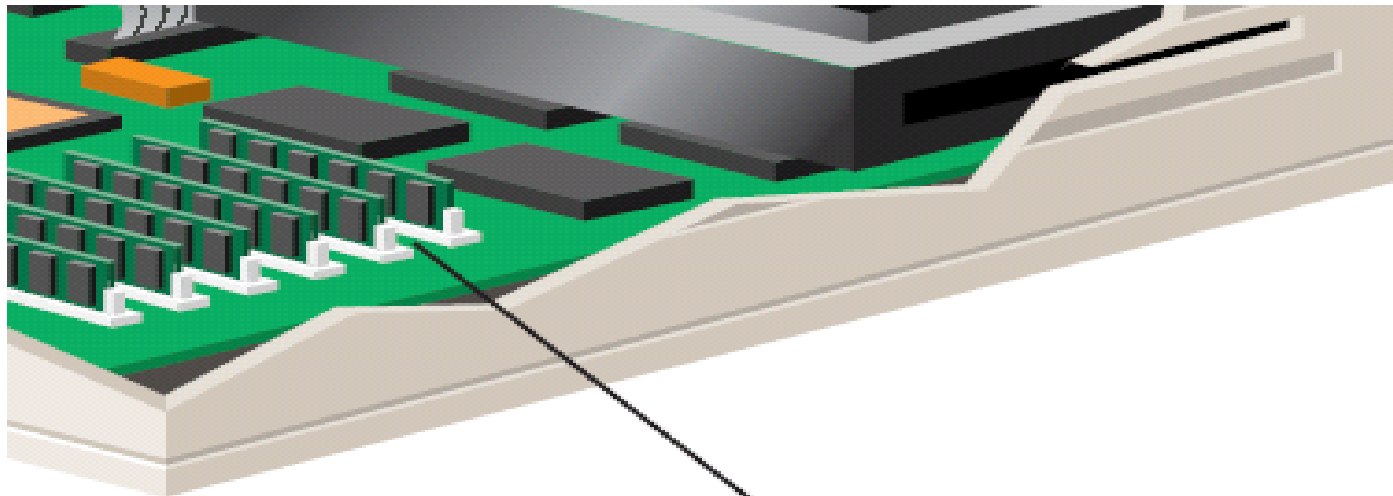


Le schede vengono montate su una scheda madre.

L'unità centrale di elaborazione (CPU) controlla tutte le funzioni del computer, esegue le operazioni logico-aritmetiche ed elabora i dati ricevuti.

La memoria RAM (come quella di Excel) è costituita da celle che contengono dati. È costosa e può essere danneggiata.

Dentro la scatola: la memoria centrale



le di
(CPU)
funzioni
segue le
gico-
labora i
ti.

La memoria centrale mantiene memorizzati i programmi che si stanno utilizzando (per esempio Windows o Excel) e i dati in fase di elaborazione (come una lettera o una base di dati). È costituita da minuscoli chip di silicio contenenti migliaia di transistor, cioè i componenti che memorizzano i dati, e può essere installata sia sulla scheda madre sia sulle schede plug-in.

Dentro la scatola: l'hard disk

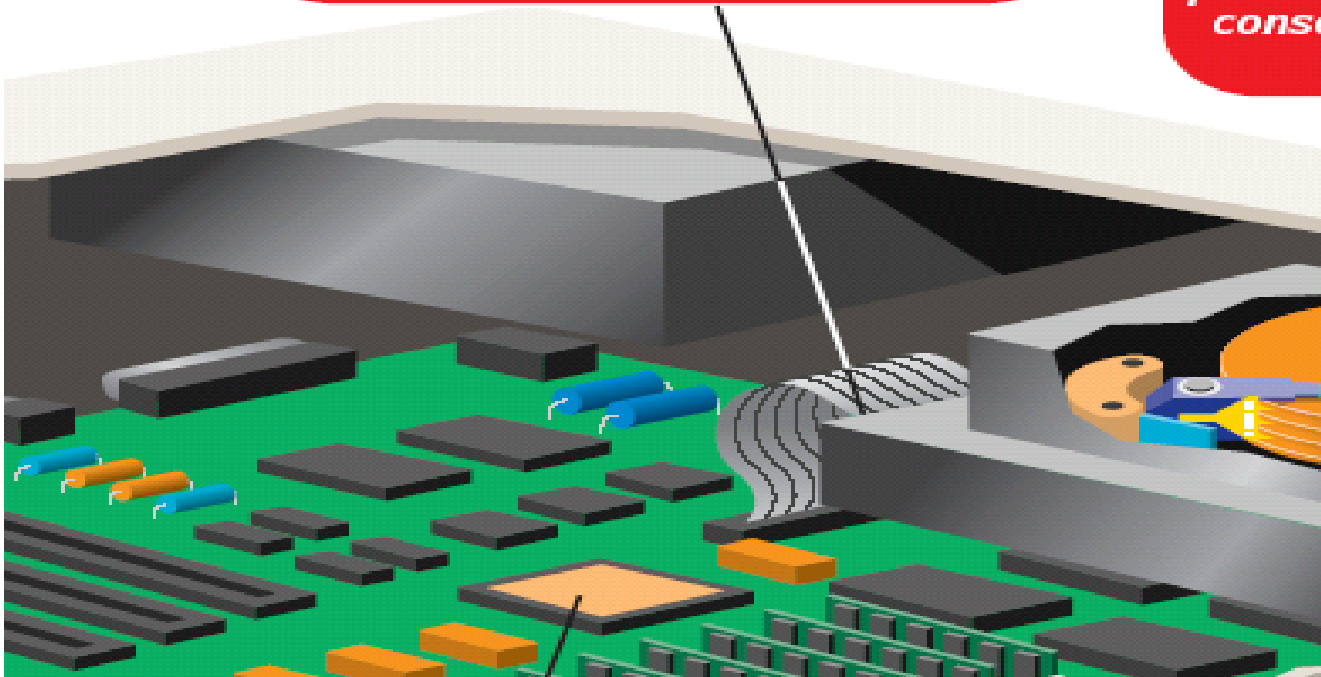


Dentro la scatola: il bus

te
tere
come
te,
pile
ci.

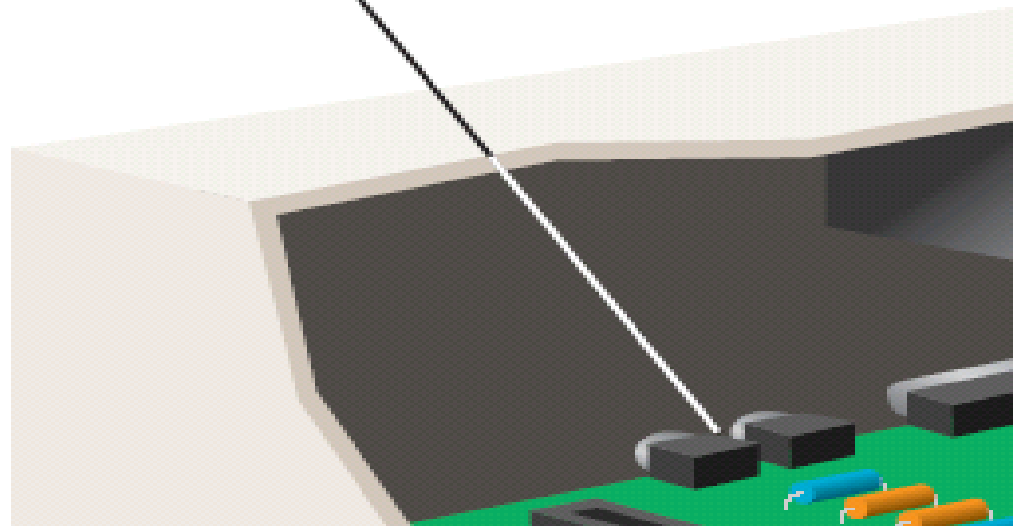
Il bus è un insieme di collegamenti che permettono lo scambio di dati (input e output) tra i vari componenti del computer.

me
dische
fisso
per CD
conse

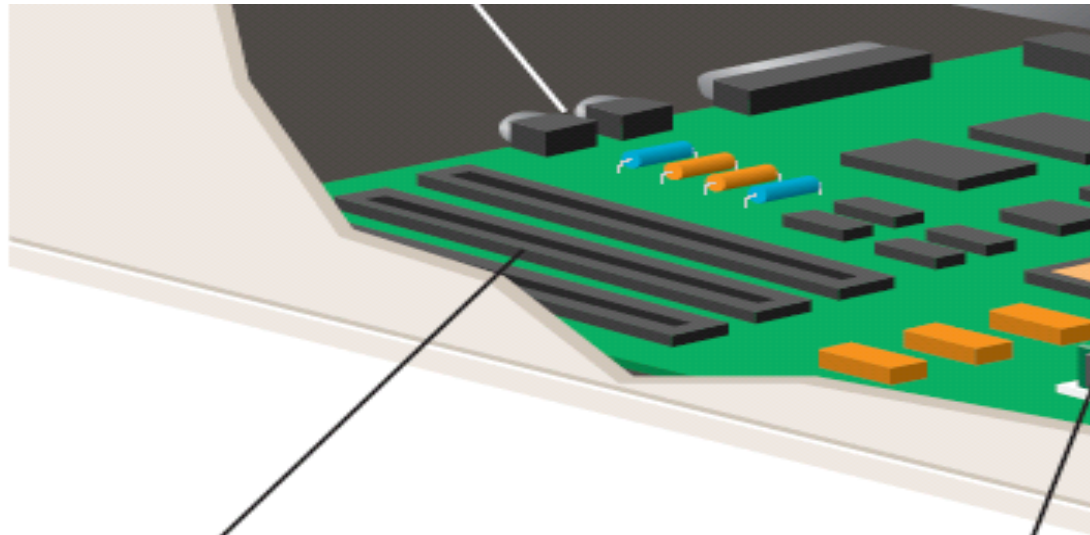


Dentro la scatola: le porte

Le prese sul retro dell'elaboratore, chiamate porte, servono per connettere al computer le periferiche come la tastiera e la stampante, mediante le quali è possibile immettere e ricevere dati.



Dentro la scatola: gli slot di espansione



Gli slot di espansione servono per inserire le schede degli adattatori, che contengono una serie di componenti elettronici volti a potenziare o espandere le prestazioni del computer. Per esempio, in uno slot si può installare un fax/modem interno.

L'unità di elaborazione controlla tutte le operazioni aritmetiche.

Collegamento a BUS

➤ Vantaggi

➤ Semplicità

- un'unica linea di connessione → costi ridotti di produzione

➤ Estendibilità

- aggiunta di nuovi dispositivi molto semplice

➤ Standardizzabilità

- regole per la comunicazione da parte di dispositivi diversi

➤ Svantaggi

➤ Lentezza

- utilizzo in mutua esclusione del bus

➤ Limitata capacità

- al crescere del numero di dispositivi collegati

➤ Sovraccarico del processore (CPU)

- perchè funge da master sul controllo del bus

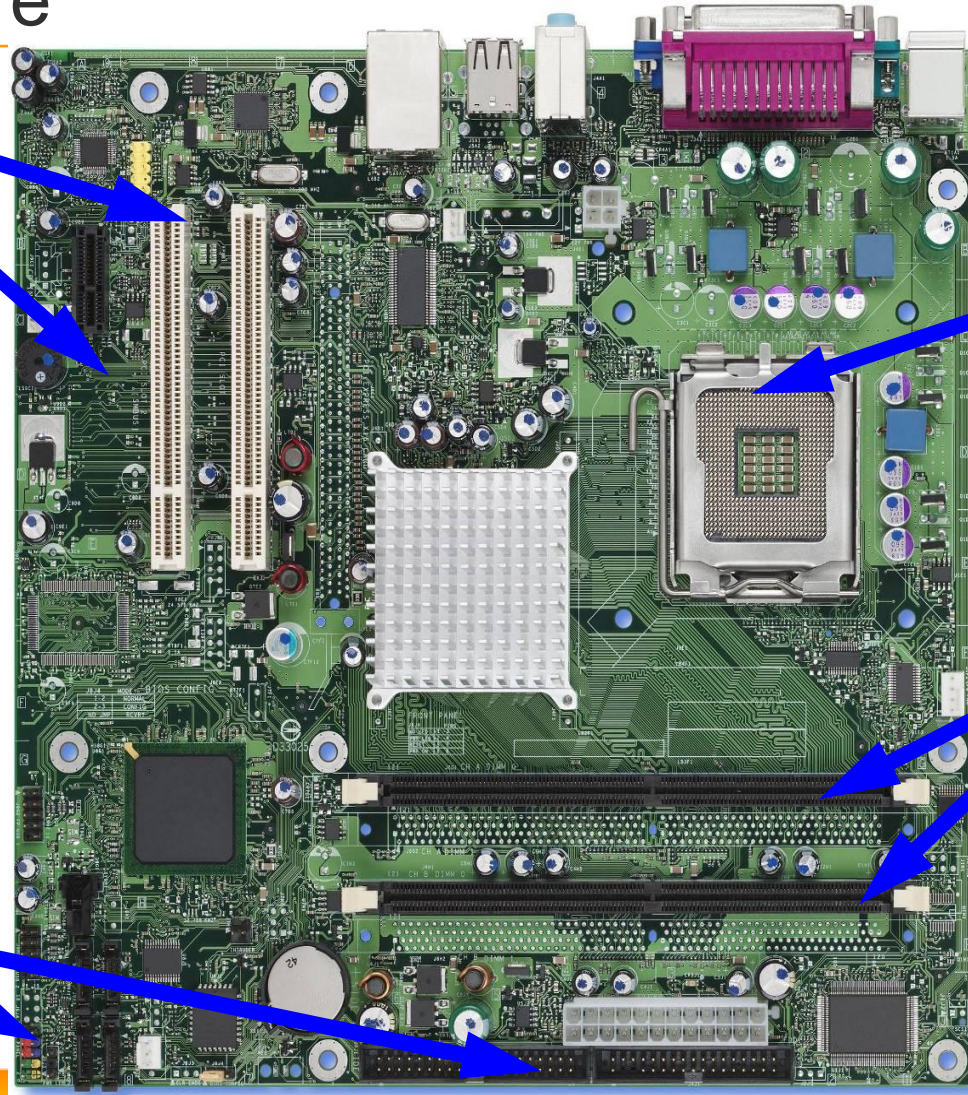
Scheda madre

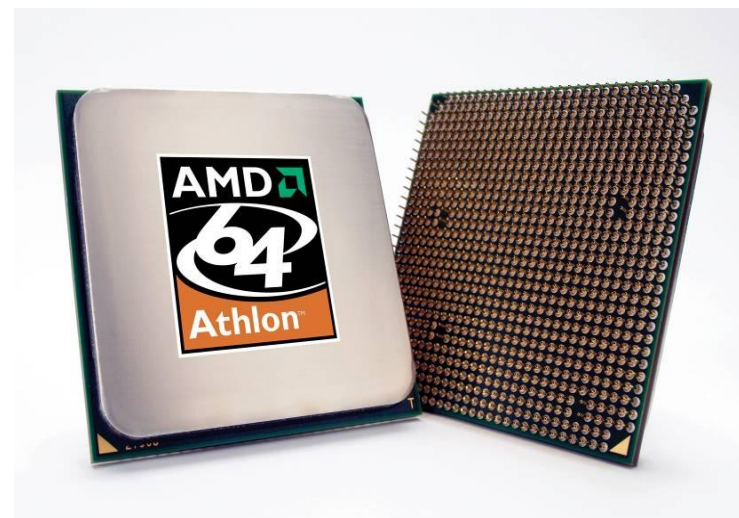
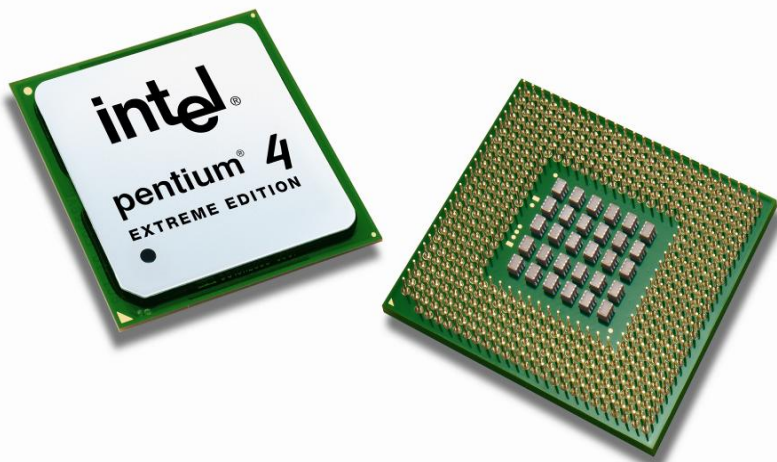
Connettori per schede di I/O aggiuntive

Zoccolo per la CPU

Connettori per la memoria

Connettori per dischi fissi





CPU (UNITÀ CENTRALE DI ELABORAZIONE)

Il processore

- C.P.U. Central Processing Unit
 - Esecutore dei programmi
 - Interagisce con la RAM
- Composto da:
 - Unità di Controllo
 - Datapath
 - ALU
 - Unità di memoria (registri)
- Ogni CPU ha un set di istruzioni diverso, e incompatibile tra diversi produttori.
 - Il software compilato per Windows (CPU Intel) non può funzionare su Apple (CPU Motorola).



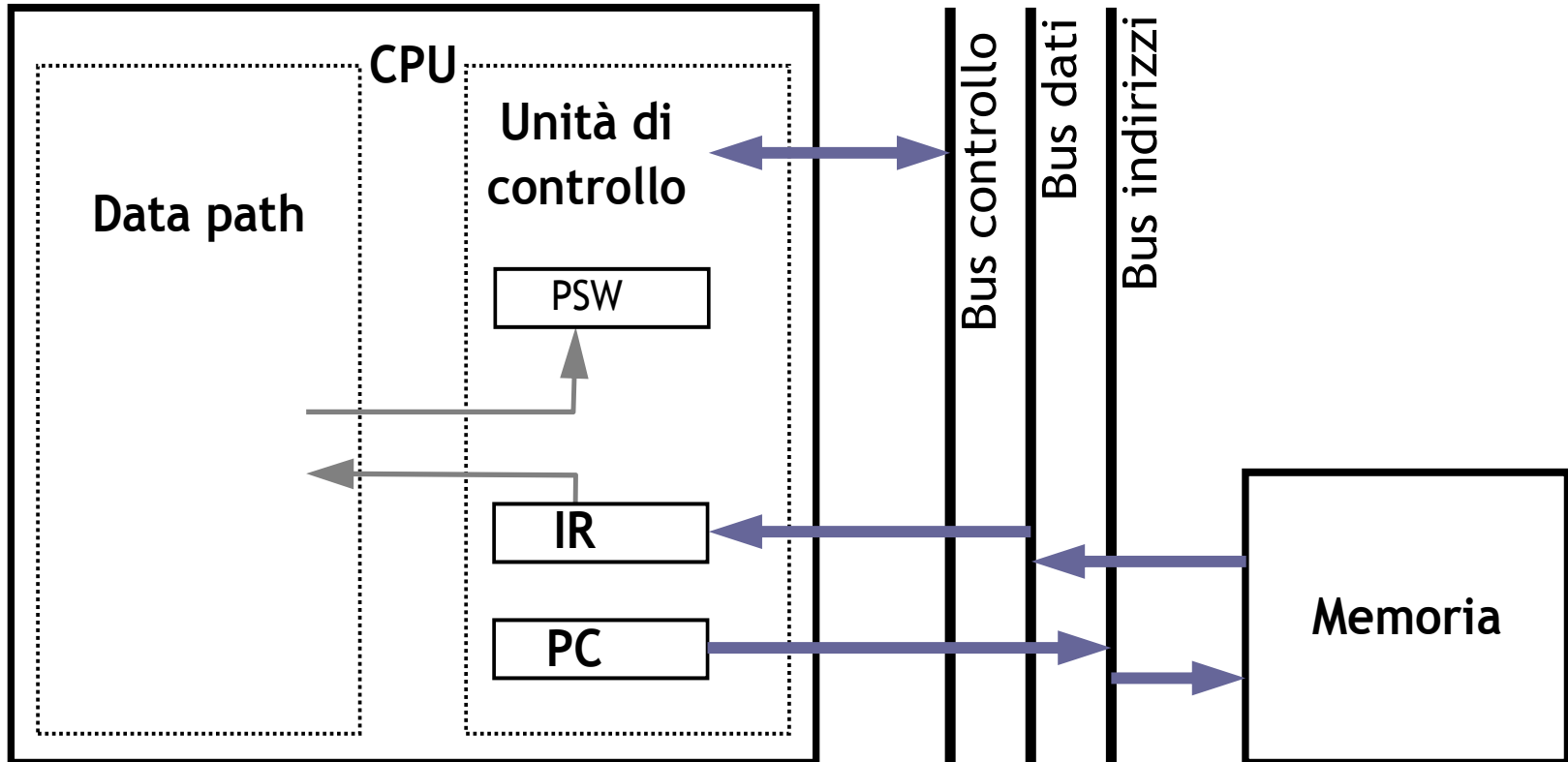
L'interazione tra CPU e memoria

- CPU (Central Processing Unit)
 - CU (Control Unit o Unità di controllo)
 - Esegue le istruzioni
 - Coordina le attività del processore
 - Controlla il flusso di informazioni con la memoria
 - ALU (Arithmetic Logic Unit o Unità Aritmetico-Logica)
 - Effettua le operazioni aritmetiche
 - Effettua le operazioni logiche
- Le due unità collaborano con la memoria in quattro fasi (ciclo della macchina).

Unità di controllo

- Coordina le operazioni di tutto il processore (anche quelle del data path);
- Regola il flusso dei dati e indica quali registri debbano essere collegati agli ingressi e all'uscita dell'ALU;
- Invia all'ALU il codice dell'operazione da eseguire;
- Riceve indicazioni sull'esito dell'operazione appena eseguita dall'ALU e gestisce opportunamente queste informazioni;
- Comprende alcuni registri di uso specifico
 - Program Counter (PC) – qual è l'istruzione successiva;
 - Instruction Register (IR) – istruzione in corso d'esecuzione;
 - ...

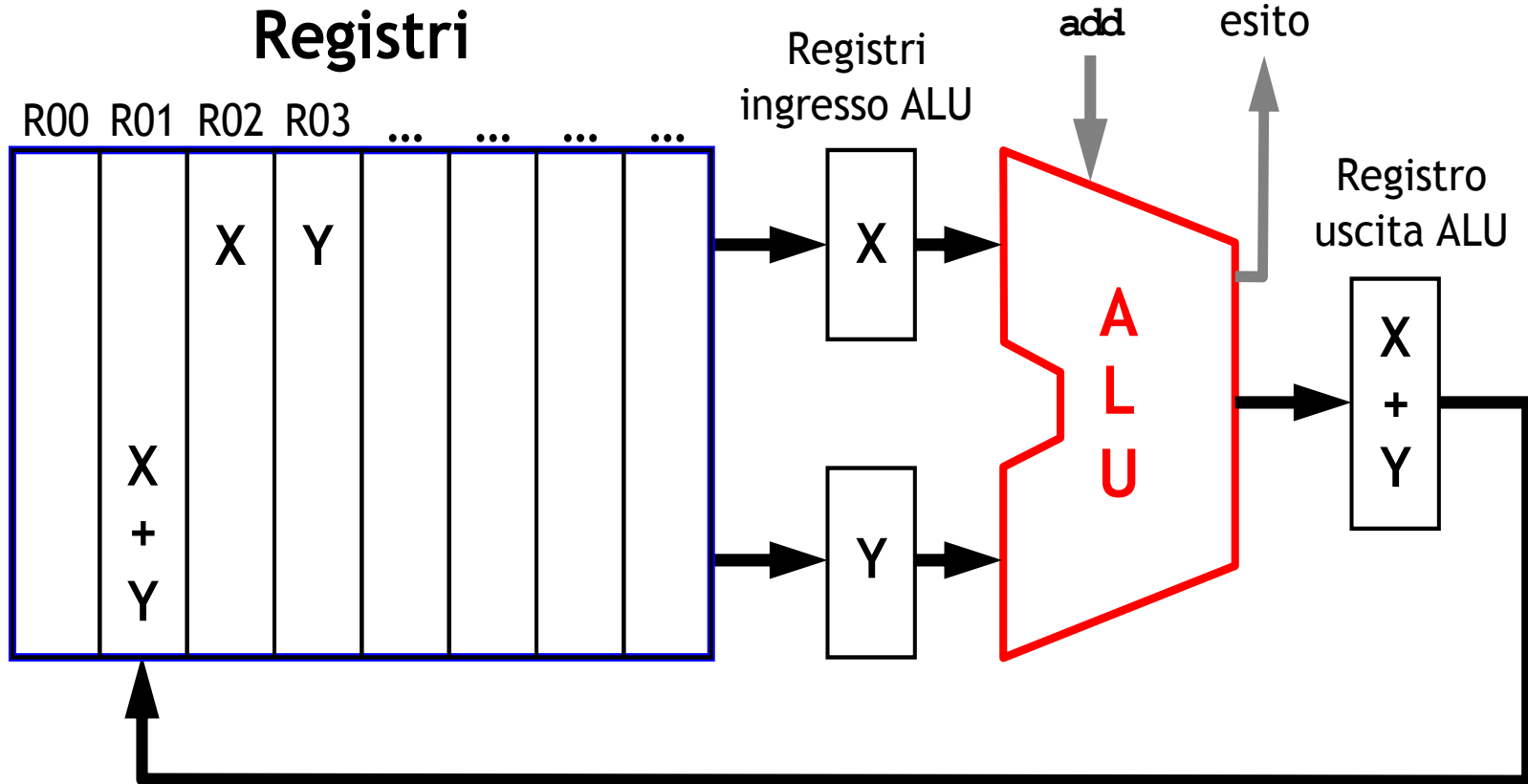
Unità di controllo



Datapath

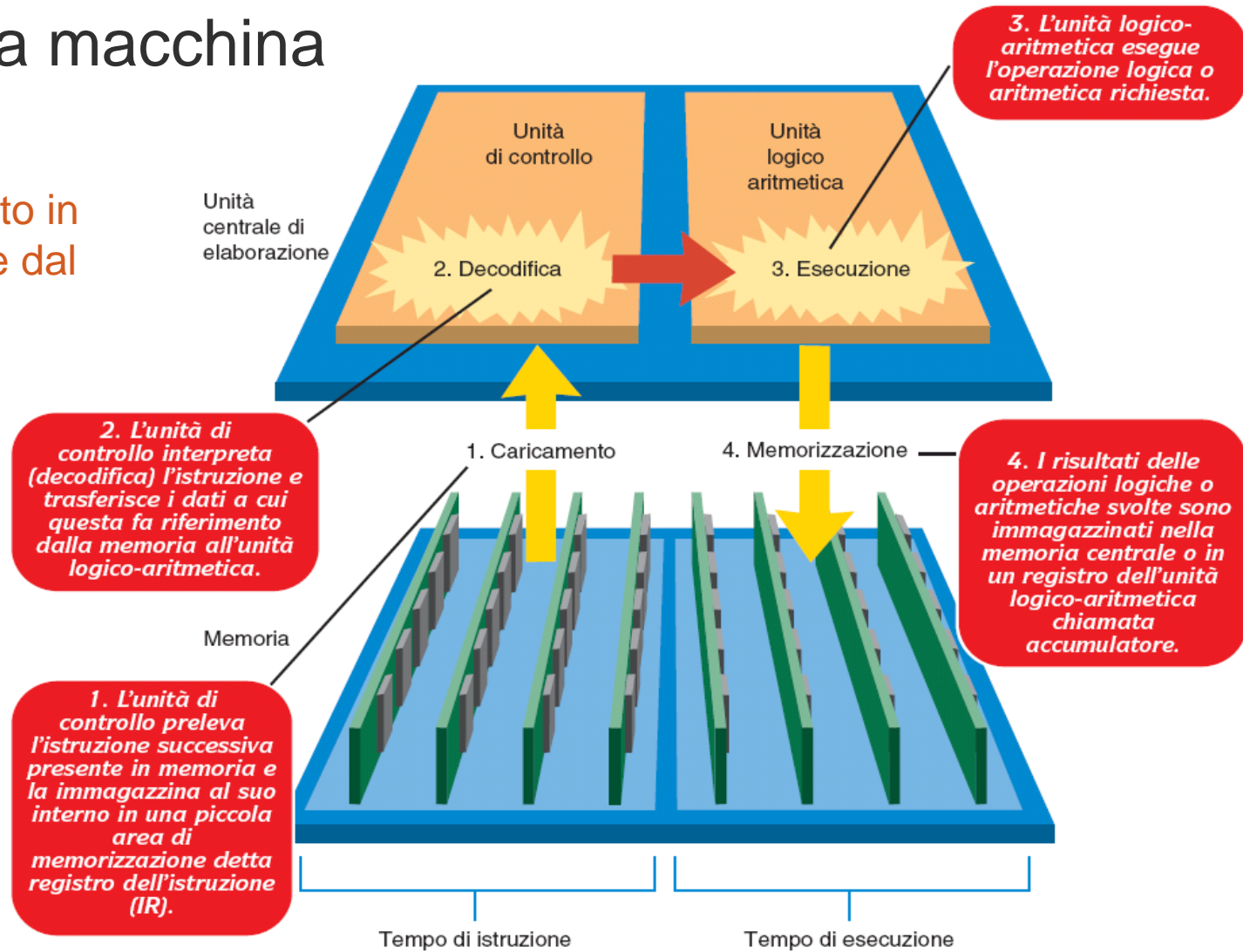
- E' la parte che si occupa dell'effettiva elaborazione dei dati
- Comprende dispositivi diversi
 - una o più unità aritmetico-logiche, dette **ALU** (Arithmetic Logic Unit)
 - alcune unità di memorizzazione temporanea, i **registri**, memoria ad alta velocità usata per risultati temporanei e informazioni di controllo

Data Path



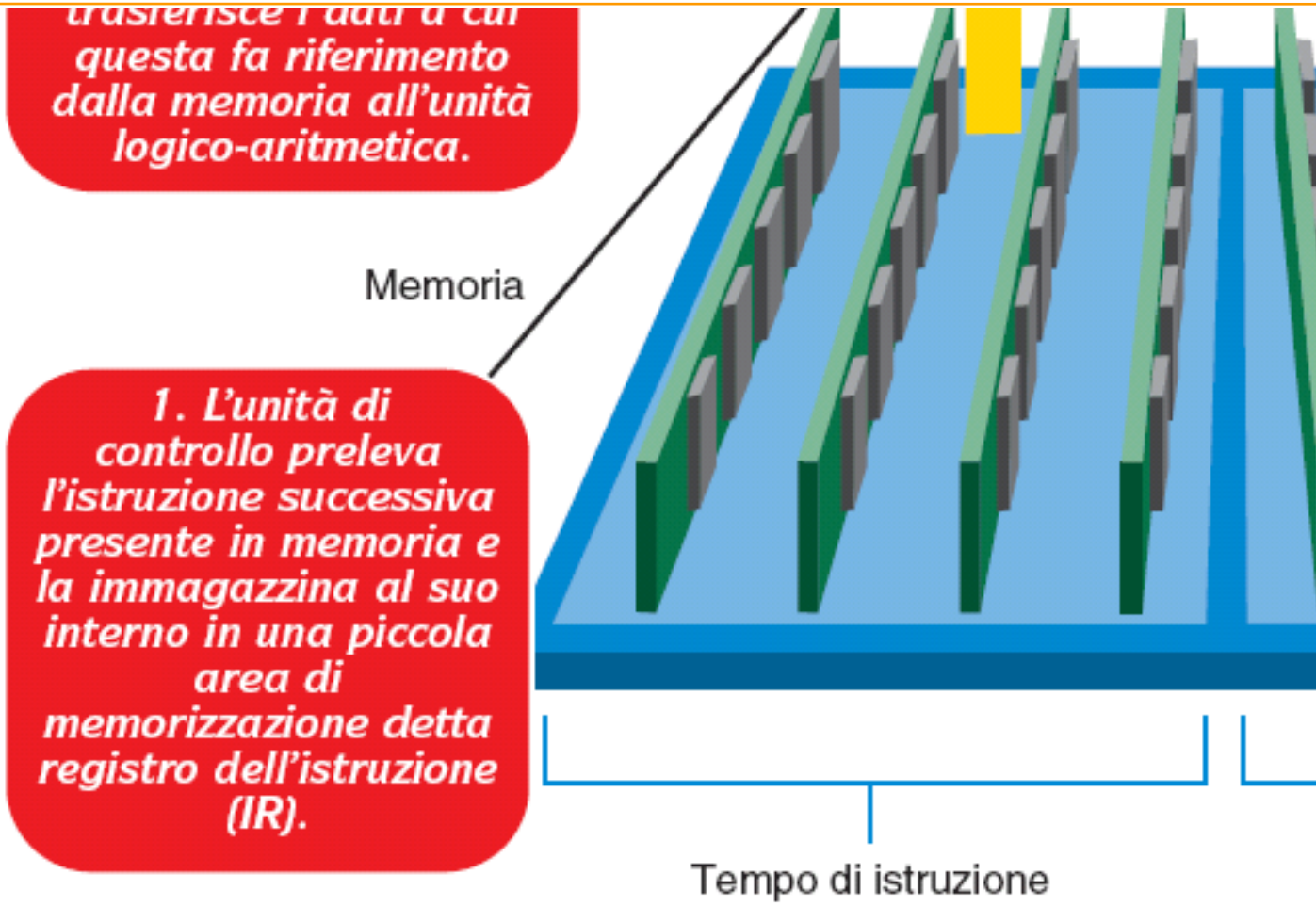
Ciclo della macchina

-viene eseguito in continuazione dal processore

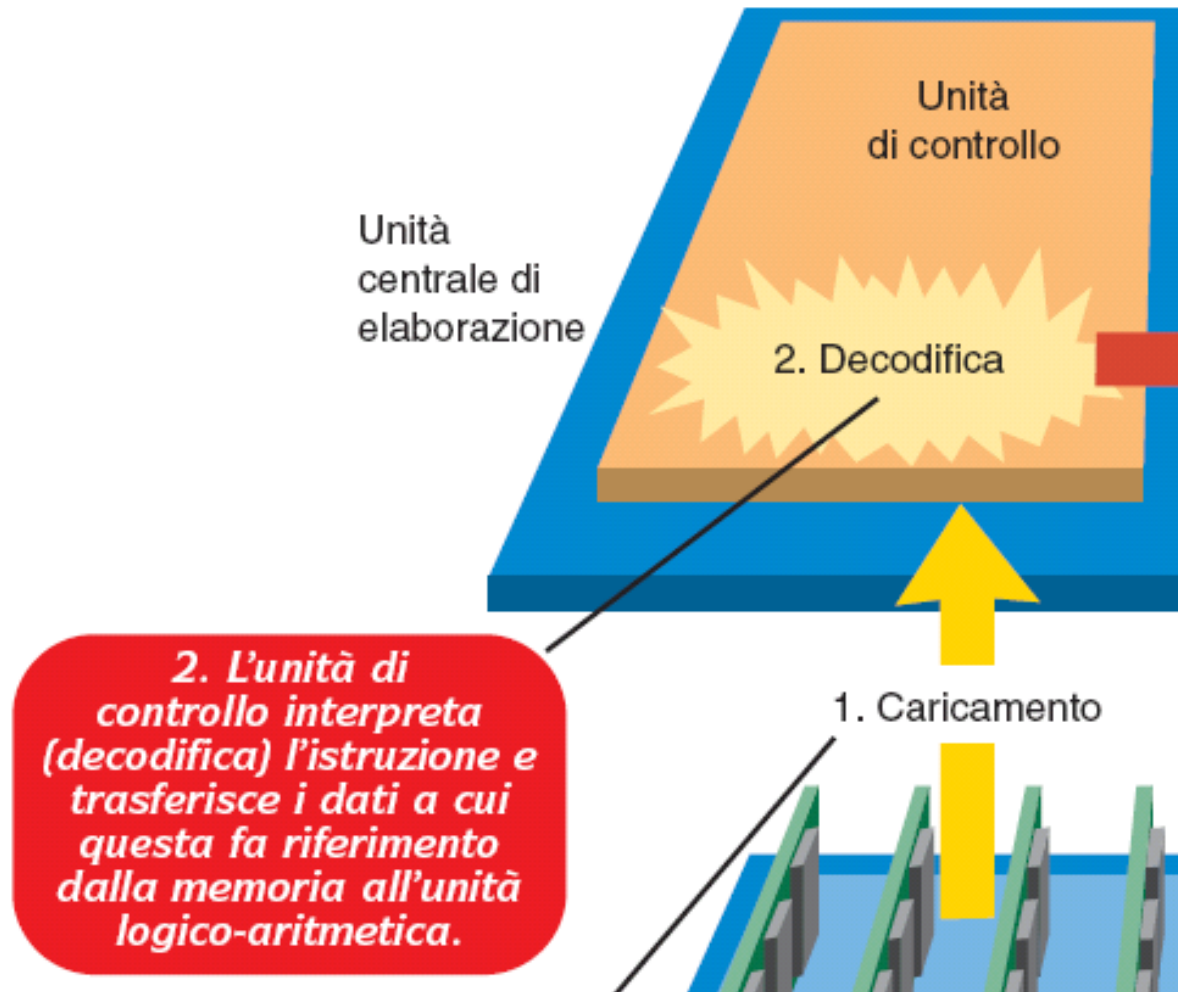


Il ciclo della macchina

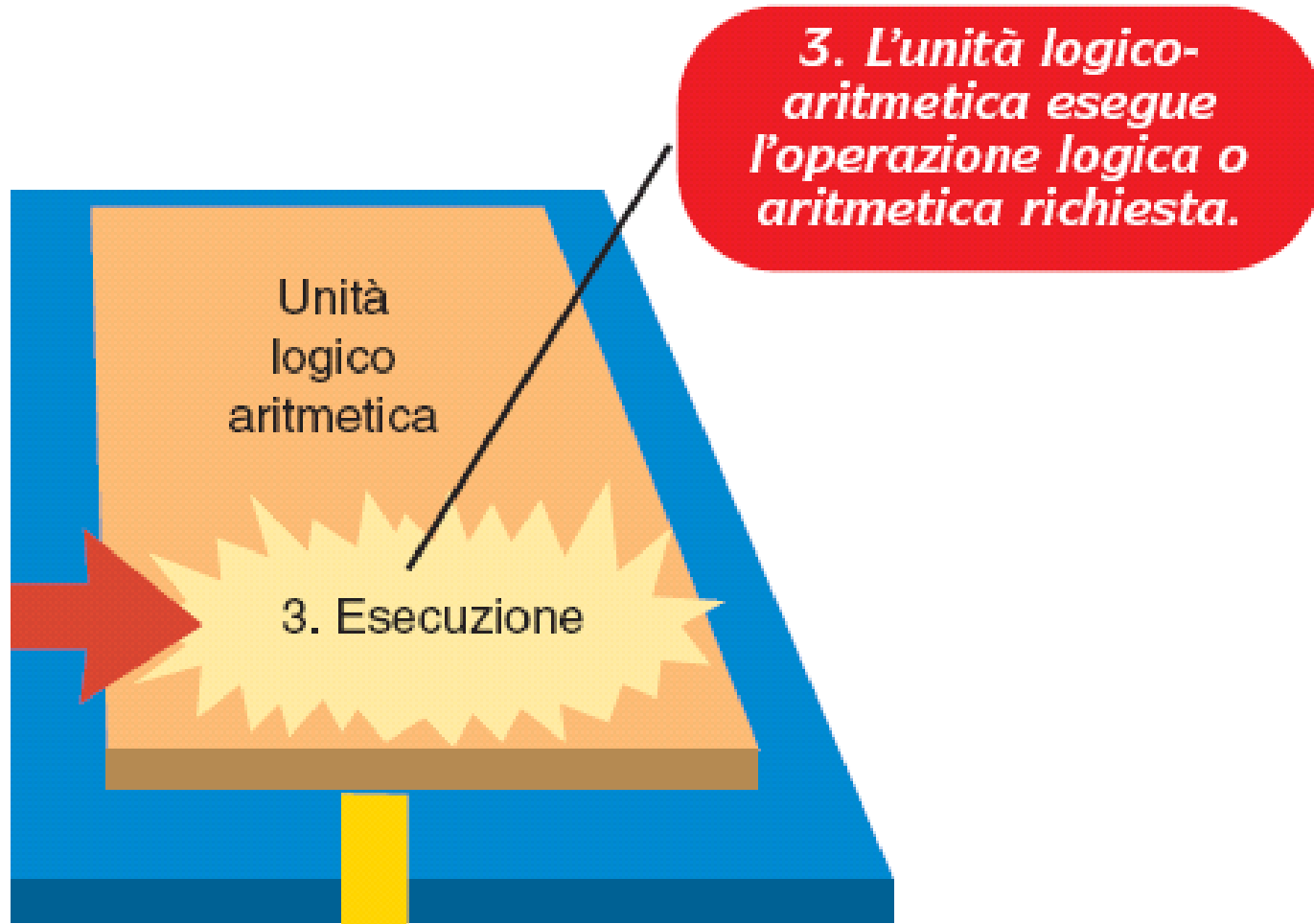
Fase di caricamento (Fetch)



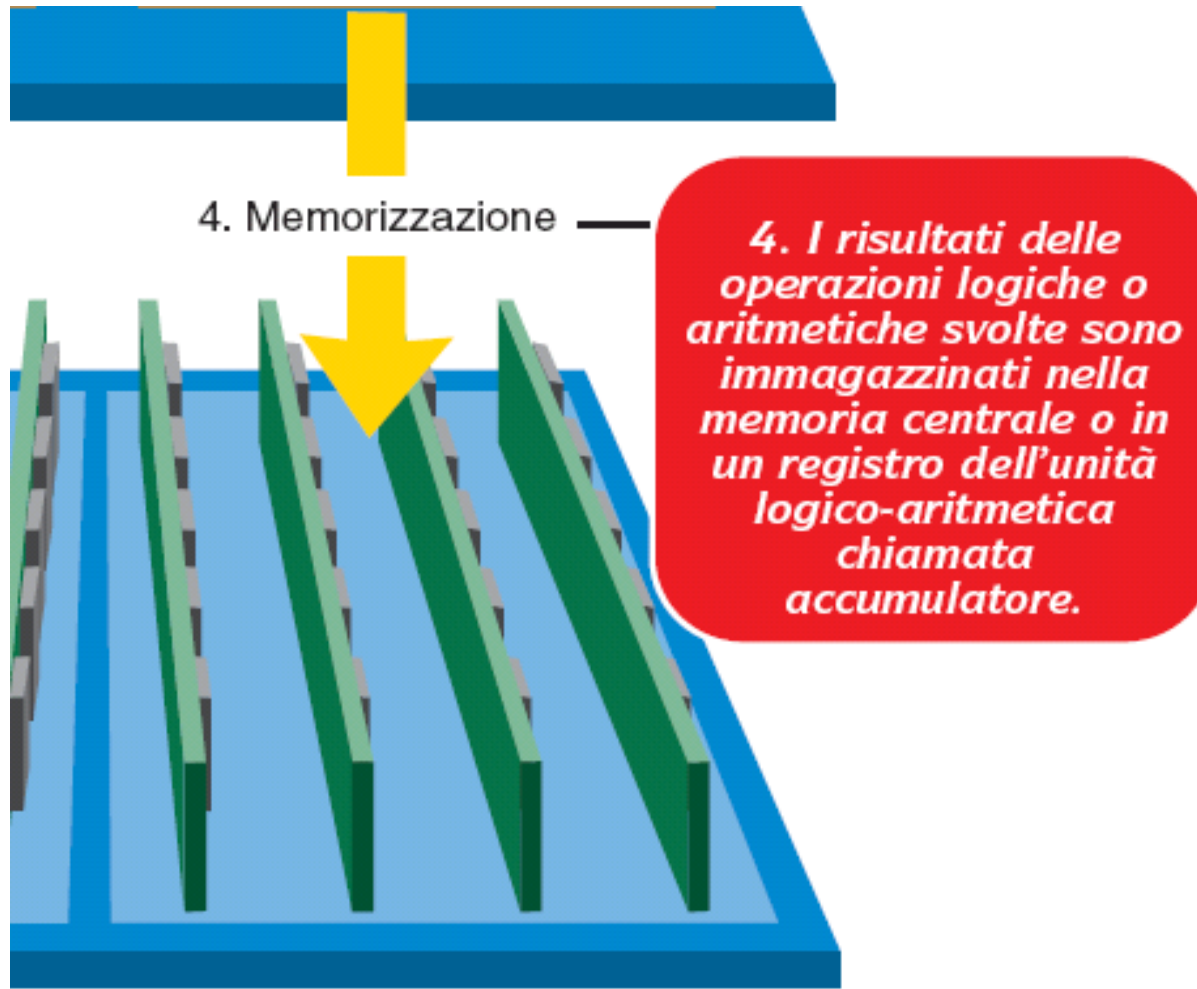
Fase di decodifica (Decode)



Fase di esecuzione (Execute)



Fase di memorizzazione



Alcune CPU Intel e AMD

Intel

- 4004/8008
- 8086/8088
- 286, 386, 486
- Pentium, Pentium II, III, IV
- Core 2 Duo, Core 2 Quad
- i3, i5, i7

AMD

- K5
- K6
- K7
 - Athlon, Duron, Sempron
- K8
 - Athlon 64, Sempron 64

Velocità del microprocessore

- Velocità del clock
 - Megahertz (Mhz o milioni di cicli al secondo)
 - Esempio
 - Intel i5-540M ha una frequenza di 2.53Ghz
- Un'istruzione può richiedere più di un ciclo di clock per essere eseguita

INCREMENTARE LE PRESTAZIONI CON IL PARALLELISMO

Migliorare le prestazioni di una CPU

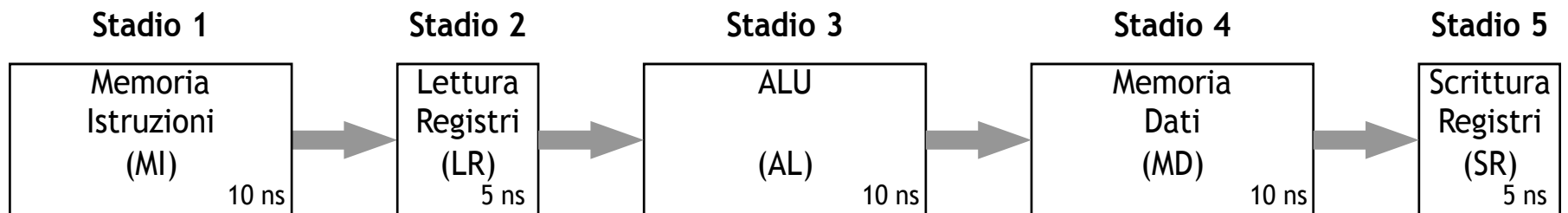
- La **frequenza** di clock
 - influenza direttamente il tempo di ciclo del data path e quindi le prestazioni di un calcolatore
 - è limitata dalla tecnologia disponibile
- Il **parallelismo** permette di migliorare le prestazioni senza modificare la frequenza di clock. Esistono due forme di parallelismo:
 - parallelismo **a livello delle istruzioni** (architetture pipeline o architetture superscalari);
 - parallelismo **a livello di processori** (Array computer, multiprocessori o multicomputer).

Architettura pipeline

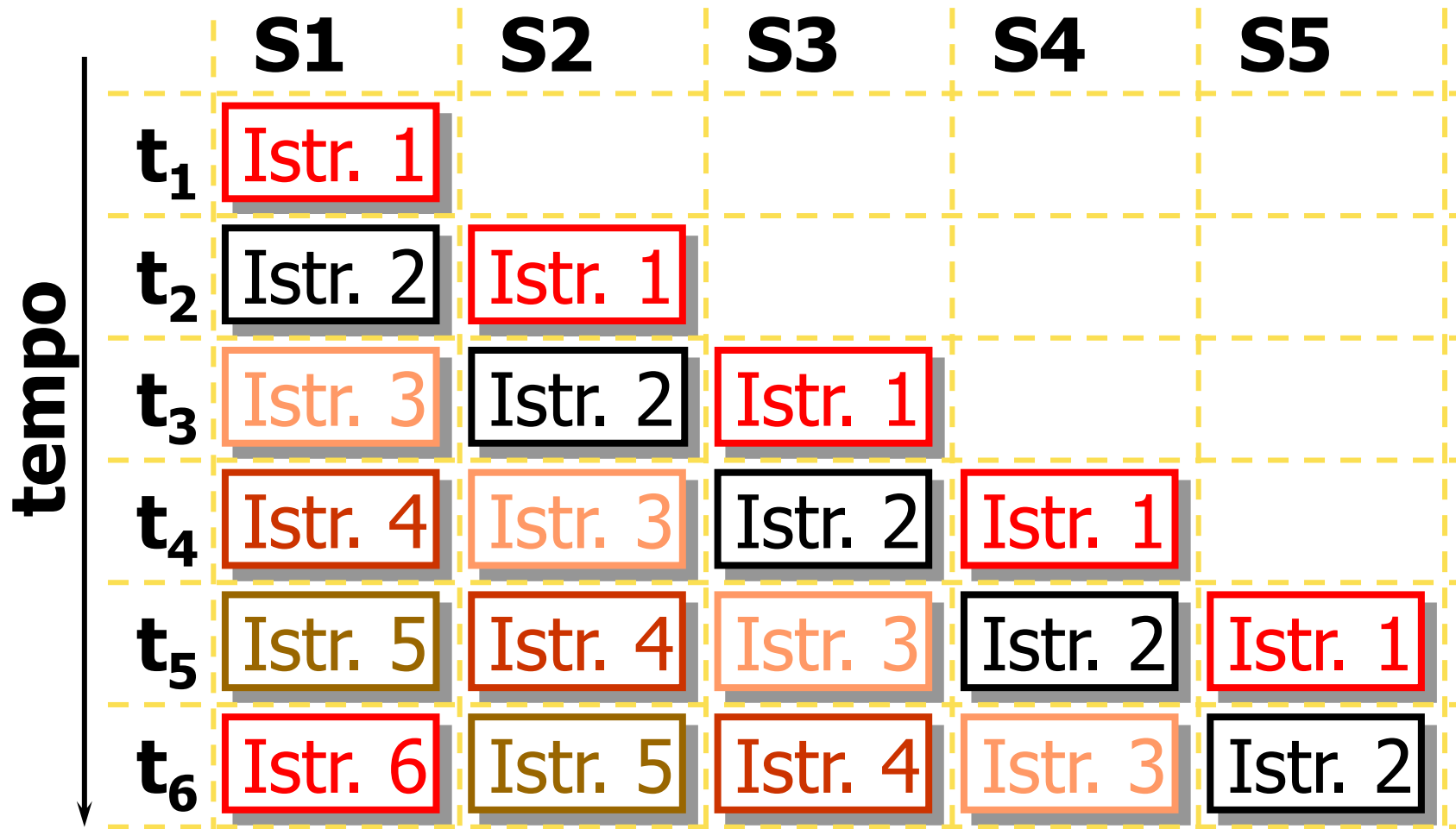
- Organizzazione della CPU come una **“catena di montaggio”**
 - la CPU viene suddivisa in **“stadi”**, ognuno dedicato all’esecuzione di un compito specifico;
 - l’esecuzione di un’istruzione richiede il passaggio attraverso (tutti o quasi tutti) gli stadi della pipeline;
 - in un determinato istante, ogni stadio esegue la parte di sua competenza di una istruzione;
 - in un determinato istante, esistono diverse istruzioni contemporaneamente in esecuzione, una per ogni stadio.

Esempio di pipeline

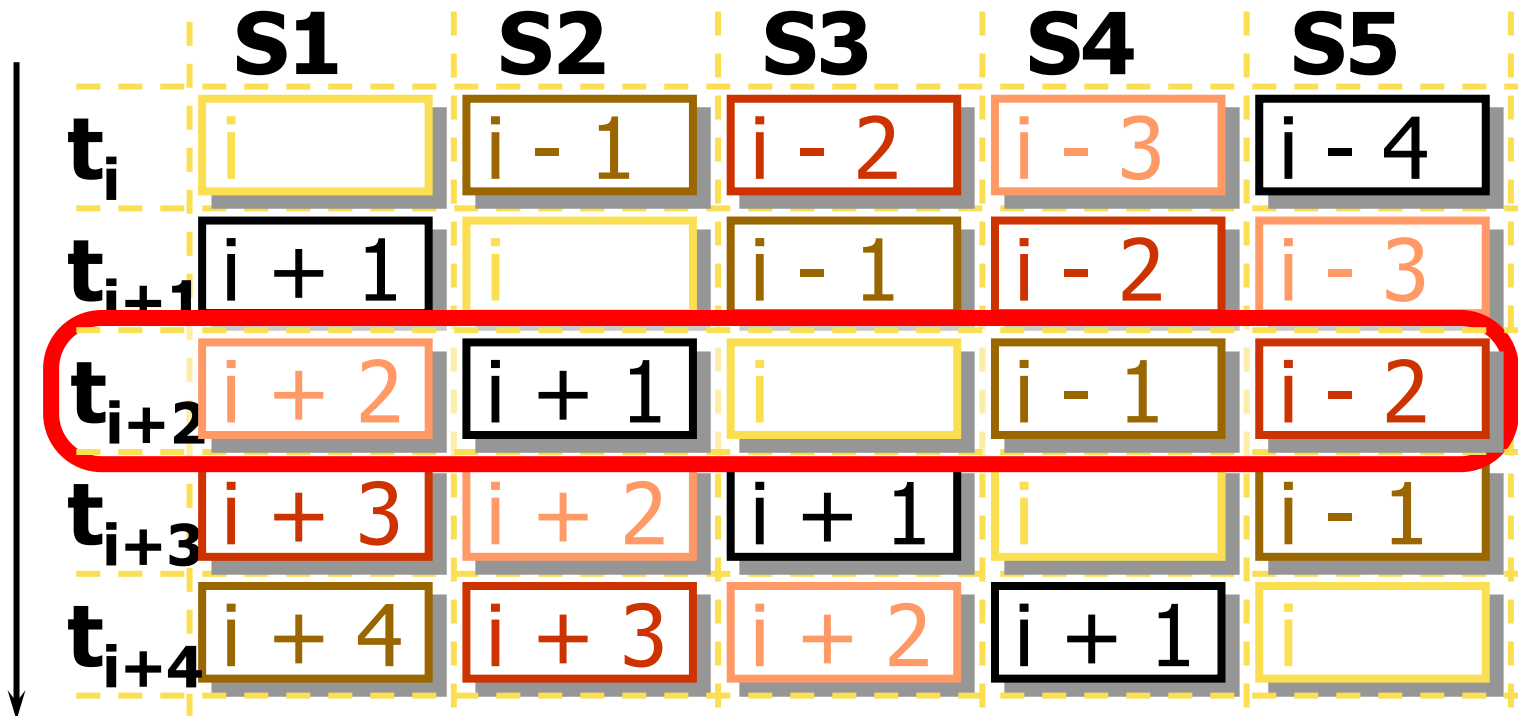
- Pipeline in cinque stadi:
 - S1 [MI] lettura istruzioni dalla memoria, caricamento IR e incremento PC;
 - S2 [LR] lettura dai registri degli operandi richiesti;
 - S3 [AL] esecuzione delle operazioni aritmetico-logiche necessarie;
 - S4 [MD] accesso alla memoria dati (per lettura o scrittura);
 - S5 [SR] scrittura nei registri dei risultati.



Esempio di pipeline

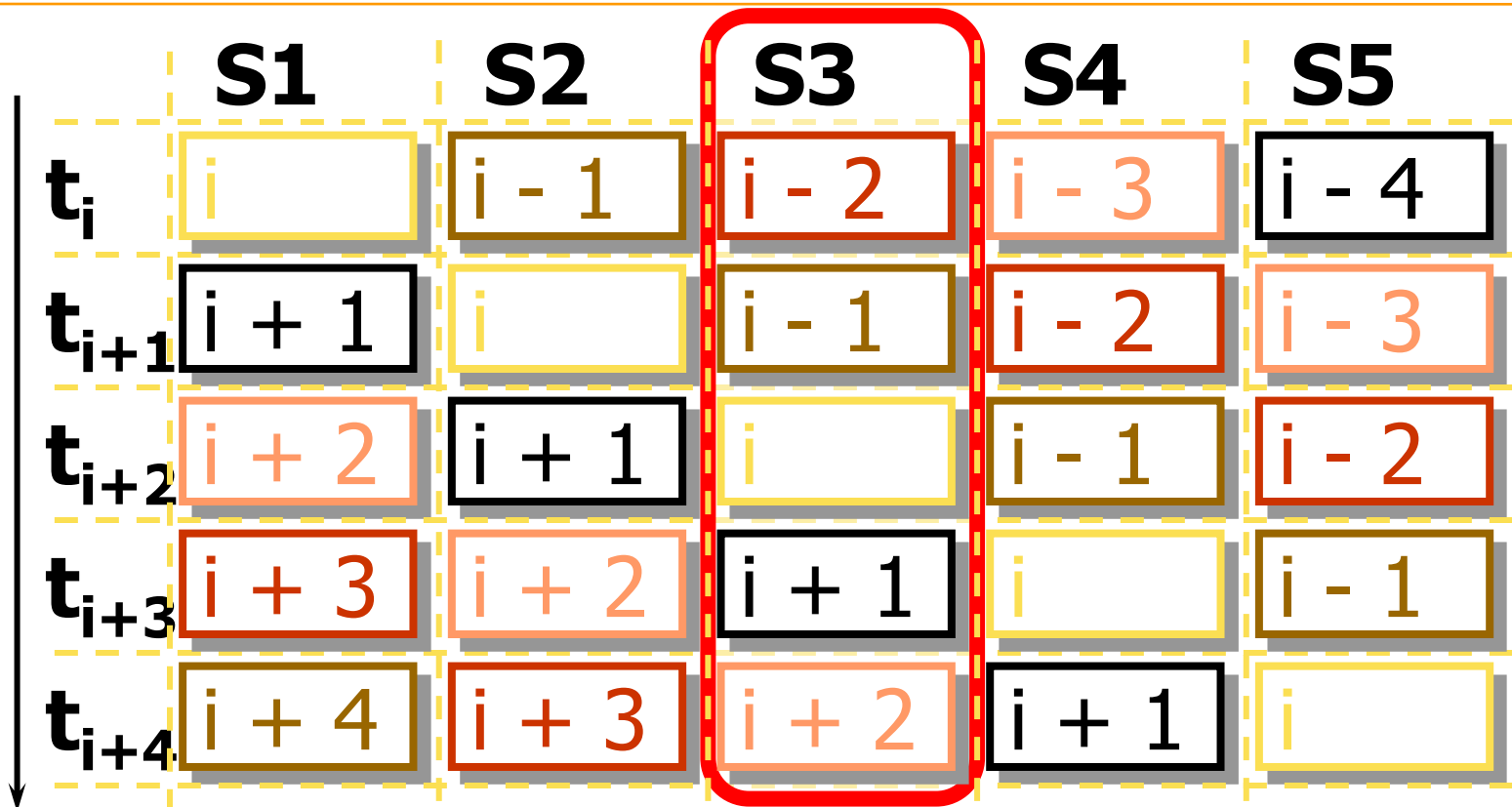


Esecuzione in pipeline



All'istante t_{i+2} ci sono 5 istruzioni in esecuzione

Esecuzione in pipeline



Lo stadio S3 esegue la parte di sua competenza su istruzioni successive l'una all'altra.

Con e senza pipeline

➤ Esempio:

➤ Senza pipeline

$$T = 145\text{ns}$$

➤ Con pipeline

$$T = 80\text{ns}$$

➤ Rapporto

$$145/80 = 1.81$$

➤ Con 1M istruzioni

➤ Senza pipeline

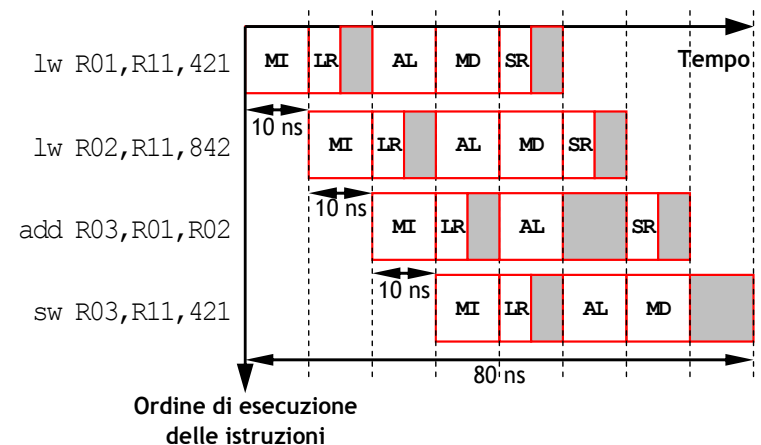
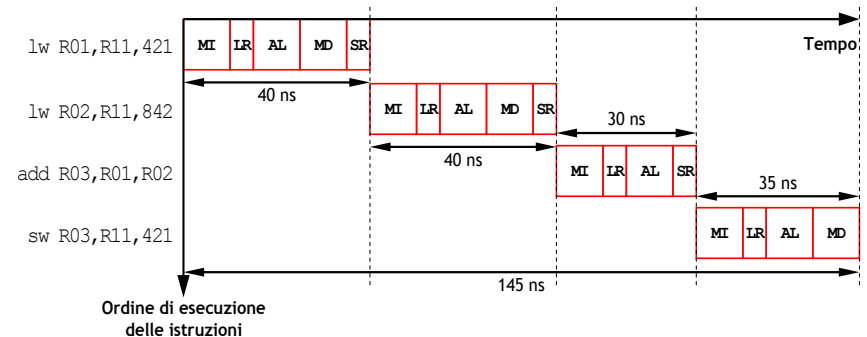
$$T \geq 30\text{ms}$$

➤ Con pipeline

$$T = 10\text{ms} + 40\text{ns}$$

➤ Rapporto

$$30/10.00004 = 2.99998$$

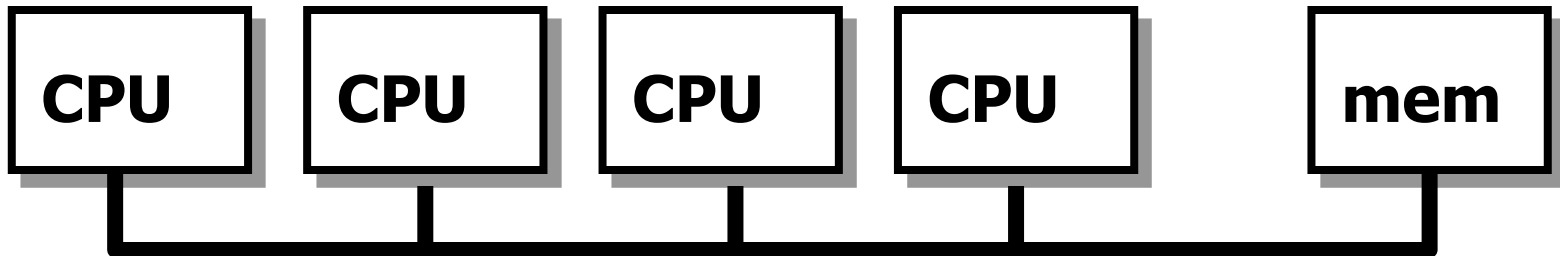


Prestazioni di una pipeline

- Il tempo di esecuzione (latenza) della singola istruzione non diminuisce, anzi aumenta
 - il tempo di attraversamento (latenza) della pipeline corrisponde al numero degli stadi (N) moltiplicato per il tempo di ciclo (T);
 - il tempo di ciclo è limitato dallo stadio più lento!
- Aumenta il numero di istruzioni completate nell'unità di tempo (throughput)
 - si completa un'istruzione a ogni ciclo di clock;
 - l'incremento di throughput è quasi proporzionale al numero degli stadi!

Architetture multiprocessore

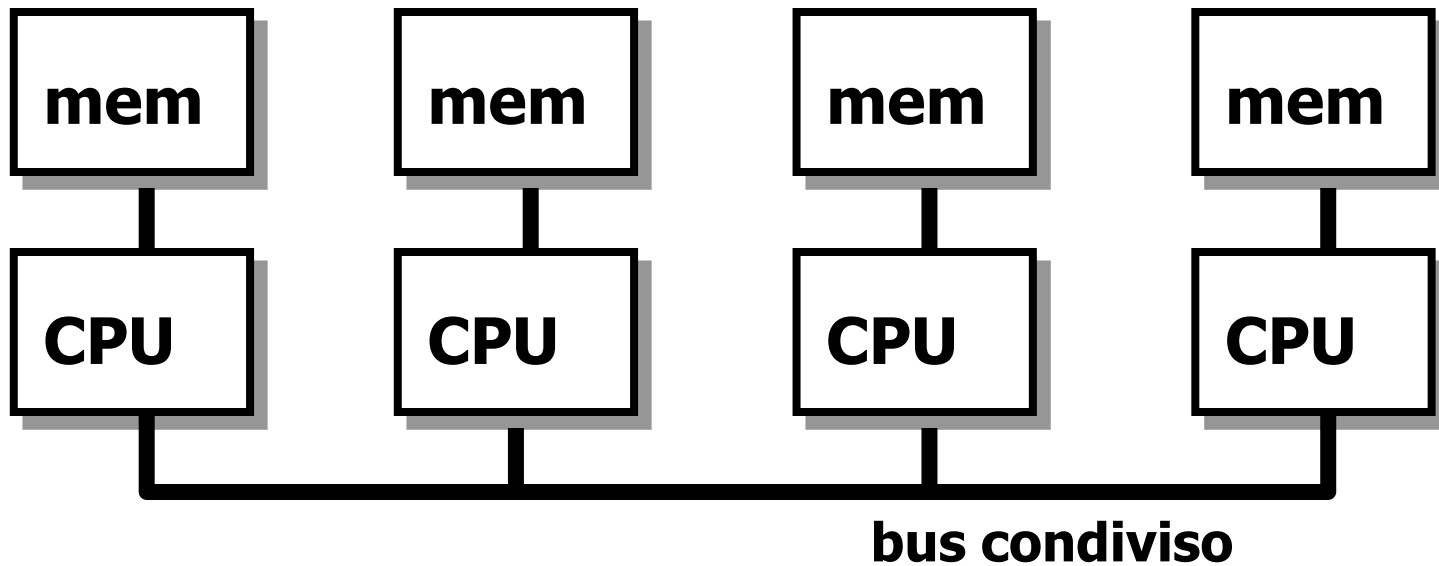
- Diverse CPU condividono una memoria comune:
 - le CPU debbono coordinarsi per accedere alla memoria;
 - esistono diversi schemi di collegamento tra CPU e memoria (che complicano il progetto della scheda madre, più cara), quello più semplice prevede che ci sia un bus condiviso;
 - se i processori sono veloci il bus diventa un collo di bottiglia;
 - esistono soluzioni che permettono di migliorarne le prestazioni, ma si adattano a sistemi con un numero limitato di CPU (<20).
- La memoria condivisa rende più semplice il modello di programmazione:
 - si deve parallelizzare l'algoritmo, ma si può trascurare la "parallelizzazione" dei dati.

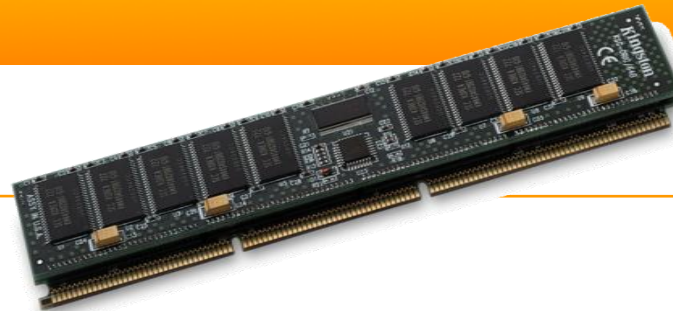


Architetture multicomputer

- Sistemi composti da tanti calcolatori collegati fra loro
 - ogni calcolatore è dotato di una memoria privata e non c'è memoria in comune;
 - comunicazione tra CPU basata su scambio di messaggi;
 - uso di reti di calcolatori (spesso con tecnologie specializzate).
- Non è efficiente collegare ogni calcolatore a tutti gli altri, quindi vengono usate topologie particolari:
 - griglie a 2/3 dimensioni, alberi e anelli;
 - i messaggi, per andare da fonte a destinazione, spesso devono passare da uno o più calcolatori intermedi o switch.
 - Tempi di trasferimento dei messaggi dell'ordine di alcuni microsecondi sono comunque facilmente ottenibili.
- Sono stati costruiti multicalcolatori con ~10.000 CPU.

Struttura di un multicomputer

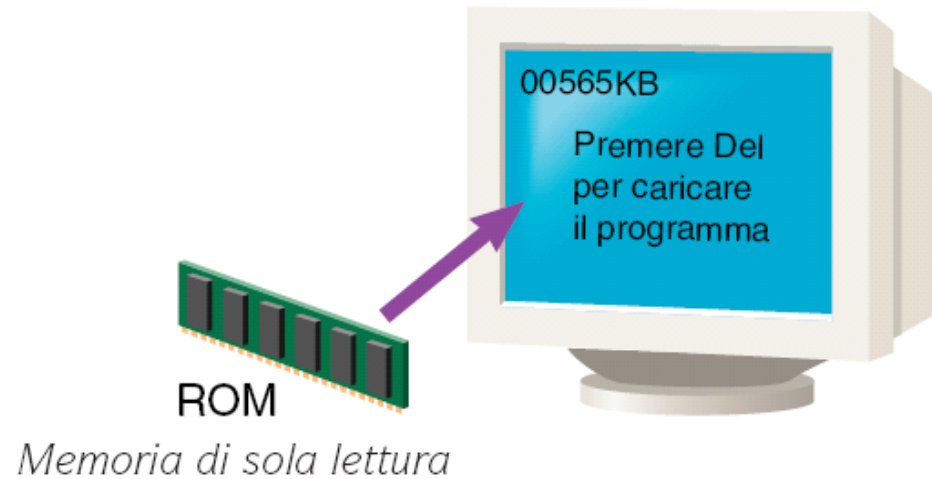




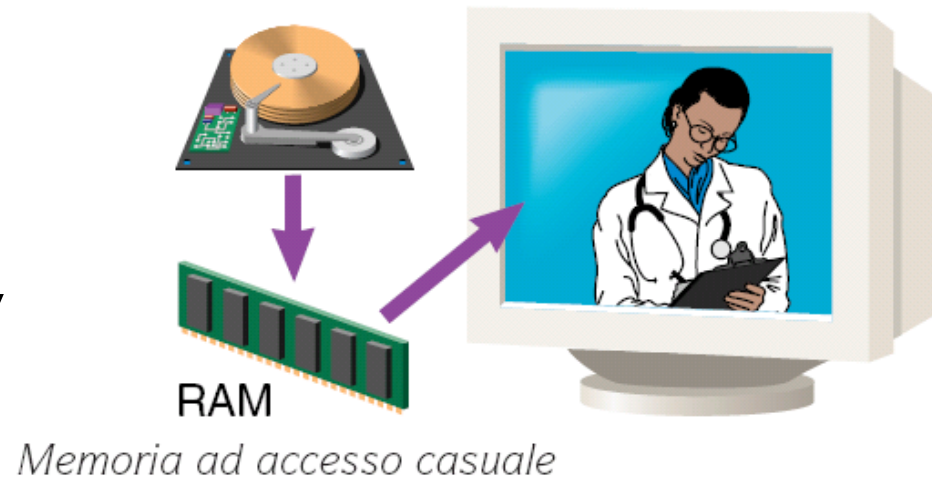
MEMORIA PRINCIPALE

Tipi di memoria

ROM = memoria non volatile, in cui è memorizzato il firmware.



RAM = memoria volatile, random (accesso libero a qualunque sua parte), in cui si memorizza il software.



Capacità della memoria

- La capacità della memoria si misura in byte
- 1 byte = 8 bit
- 1 Kilobyte = 2^{10} byte = 1024 byte
- 1 Megabyte = 2^{20} byte = 1.048.576 byte
- 1 Gigabyte = 2^{30} byte = 1073741824 byte

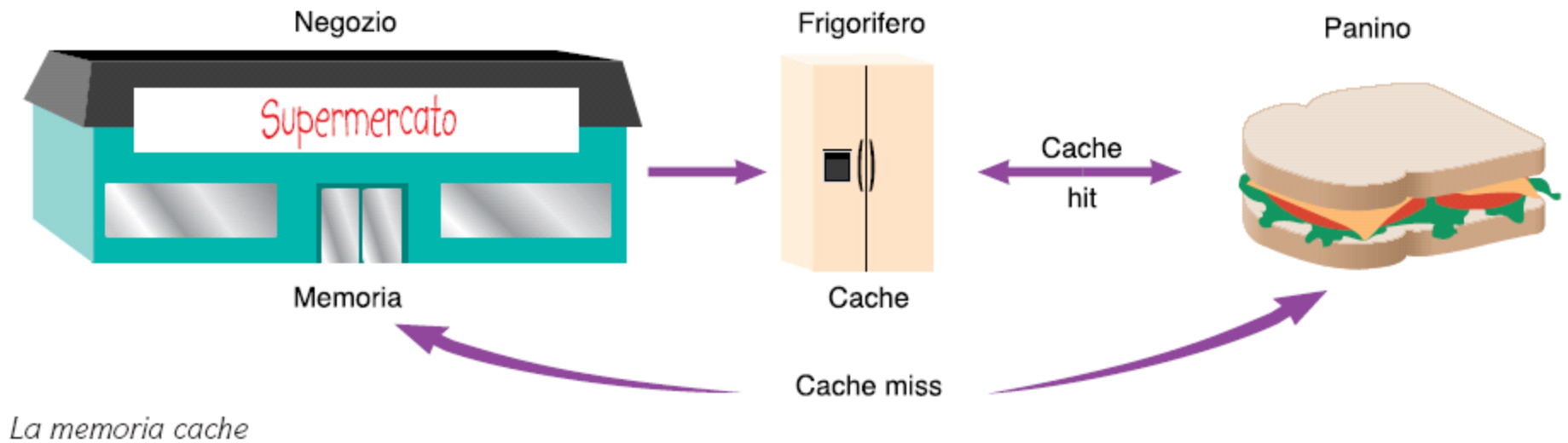
La memoria centrale (RAM)

- Mantiene al proprio interno i dati e le istruzioni dei programmi in esecuzione
 - Memoria ad accesso “casuale”
 - **Tecnologia elettronica**
 - **veloce ma volatile e costosa**
 - Dimensioni
 - Primi PC: 128 KB
 - Oggi: almeno 2 GB
- Due “eccezioni”
 - ROM: elettronica ma permanente e di sola lettura
 - Flash: elettronica ma non volatile e riscrivibile

Memoria cache

- Memoria più veloce della RAM che contiene i dati utilizzati più di recente
- Possono esserci vari livelli di cache
 - Livello 1
 - Cache interna o primaria o L1
 - interna al processore
 - Livello 2
 - Cache esterna o secondaria o L2
 - Esterna al processore

Funzionamento della cache



La memoria cache è velocissima ma il suo contenuto può essere superfluo per le operazioni in corso, quindi risultare inutile.

Perché ha senso la cache?

➤ Località spaziale

- quando si accede all'indirizzo A , è molto probabile che gli accessi successivi richiedano celle vicine ad A .
 - le istruzioni del codice vengono in genere lette da locazioni consecutive della memoria;

➤ Località temporale

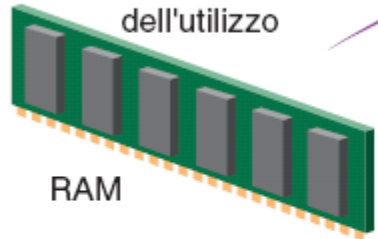
- quando si accede all'indirizzo A , è molto probabile negli accessi successivi si richieda di nuovo la cella A .
 - cicli di istruzioni accedono ripetutamente alle stesse locazioni di memoria;
 - istruzioni vicine tendono ad utilizzare le stesse variabili.

Memoria virtuale

- Estensione della memoria RAM utilizzando parte del disco fisso
- Vantaggi
 - Esecuzione di programmi più grandi della RAM
 - Esecuzione di un maggior numero di programmi rispetto a quelli che potrebbero stare nella sola RAM

Funzionamento della memoria virtuale

I dati in eccesso rispetto allo spazio disponibile nella RAM vengono immagazzinati sull'hard disk fino al momento dell'utilizzo



RAM

All'occorrenza i dati vengono trasferiti nella RAM, da dove altri dati passano nell'hard disk per fare posto



Hard disk

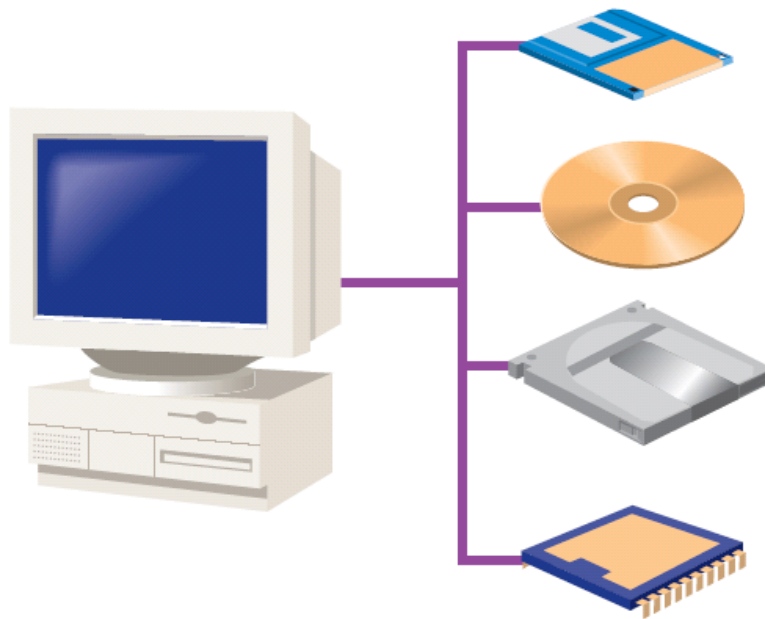
La memoria virtuale

La memoria virtuale rallenta l'esecuzione dei programmi, ma permette di far funzionare applicazioni più grandi della ram stessa.



MEMORIA DI MASSA (SECONDARIA)

I diversi supporti



La registrazione magnetica viene usata di norma per memorizzare dati su dischetti, dischi rigidi e nastri.

La registrazione ottica viene impiegata per i CD e DVD.

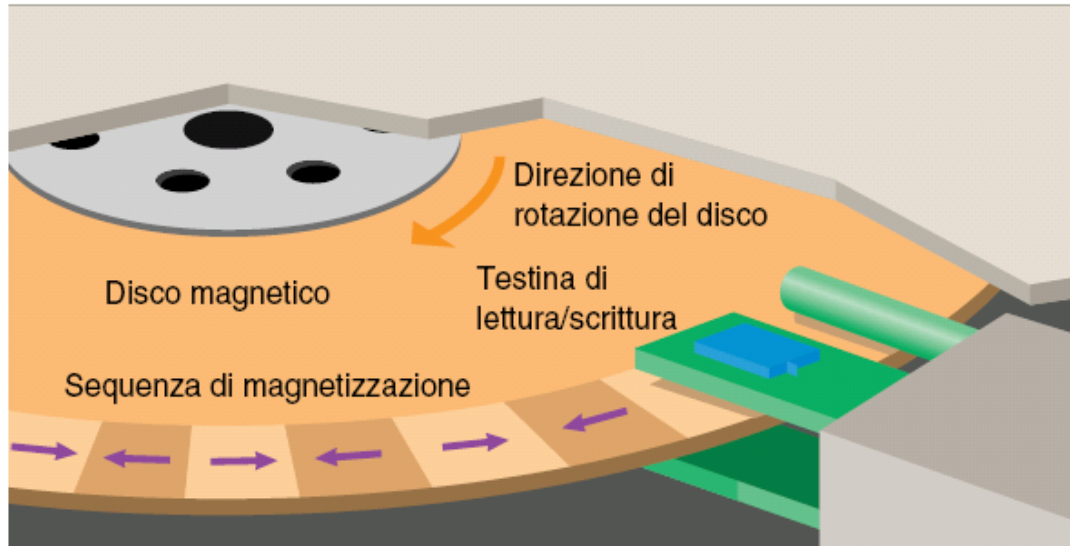
La registrazione magneto-ottica serve per archiviare file di grandi dimensioni su dischi ad alta capacità.

La memoria flash (o allo stato solido) è impiegata soprattutto in dispositivi di piccole dimensioni, come macchine fotografiche, telefoni, computer tascabili e schede intelligenti.

Dispositivi e supporti di memorizzazione

Per la memoria a stato solido, oggi la più diffusa, vengono usati chip del tutto simili a quelli della RAM, ma che non perdono le informazioni una volta spenta l'alimentazione di corrente.

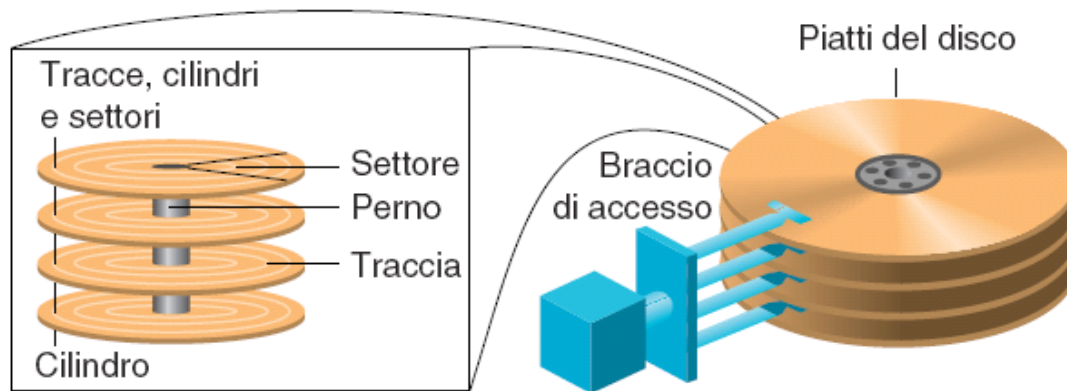
La memoria magnetica



La memorizzazione su disco magnetico

Le particelle magnetiche presenti sul supporto ricevono una polarità che le allinea, traducendo fisicamente i codici binari fatti di 0 e 1 come polarità positiva o negativa. In questo modo registrano i dati gli hard disk.

Come è fatto un disco fisso

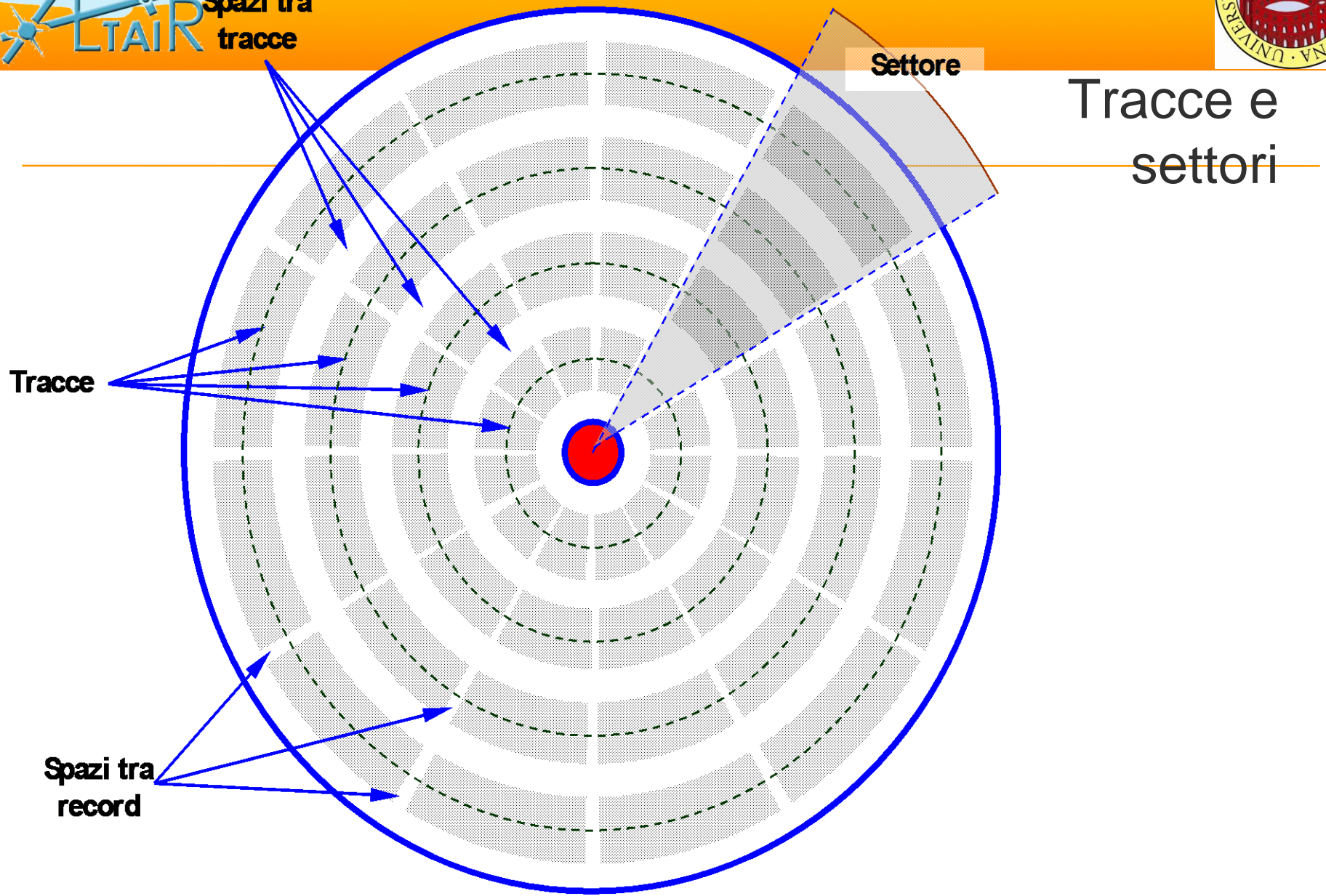


La struttura di un disco fisso

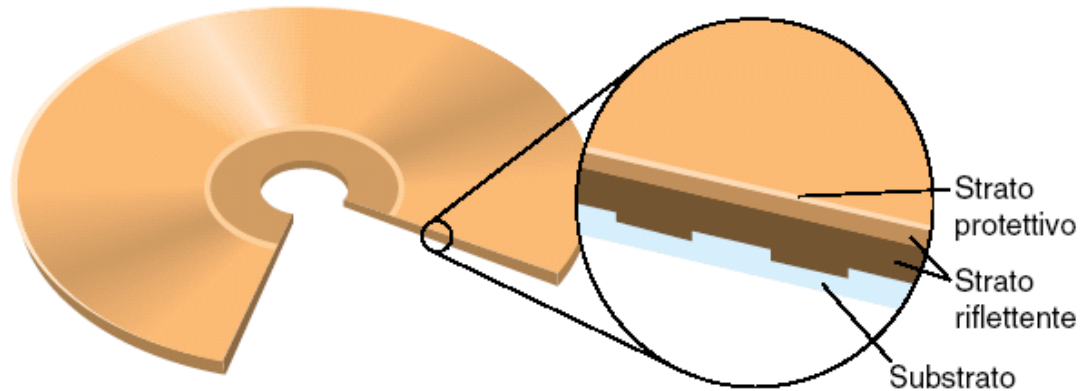
Tutti questi meccanismi sono “compressi” in una scatoletta sigillata e sottovuoto grande come la metà di un contenitore per DVD. Il rumore che spesso fanno può sollevare dei dubbi, ma pensate che possono arrivare a fare tanti giri al minuto quanto un motore di Formula 1!

Tracce e settori

- **Traccia** (track): sequenza circolare di bit scritta mentre il disco compie una rotazione completa
- **Settore** (sector): parte di una traccia corrispondente a un settore circolare del disco
- **Formattazione**: operazione che predispone tracce e settori per la lettura/scrittura



La memoria ottica

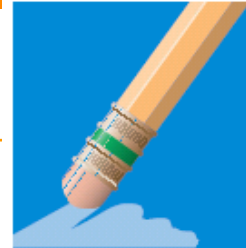


Disco ottico

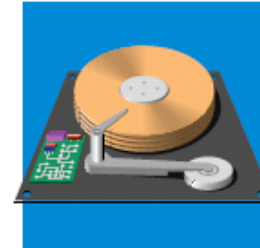
Un sottile raggio laser legge le scanalature presenti sulla superficie come un alternarsi di 0 e 1, a seconda della direzione del riflesso di luce. In questo modo funzionano i CD e i DVD.

Importanza del backup

- Backup permette di copiare i dati su altri supporti.
- Il computer ci trasmette spesso una sensazione di indistruttibilità, ma non è affatto così. Non esiste utente di computer che, almeno una volta, non abbia perso dei dati per uno dei motivi illustrati qui a fianco.



Un errore umano, come la scorretta installazione o utilizzazione di un programma e la caduta accidentale di un portatile, può provocare l'eliminazione istantanea dei dati.



Il cattivo funzionamento del sistema, provocato per esempio da un guasto al disco fisso, può causare la perdita dei dati. In molti casi capita che la testina entri in contatto con il disco che gira ad alta velocità e ne raschi la superficie magnetica e i dati in essa contenuti.



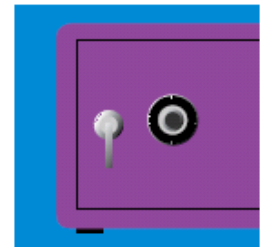
Catastrofi naturali come un incendio, un terremoto o un'alluvione possono distruggere un intero sistema, ma anche incidenti di minor portata come lo scoppio dei tubi dell'acqua, un black-out o un temporale possono provocare la cancellazione dei dati.



Quando viene a mancare la corrente o si verifica un calo di tensione, si possono verificare problemi sia con i file aperti che con quelli presenti sul disco.



Un incendio nell'edificio che ospita l'elaboratore o nell'elaboratore stesso può distruggere tutti i dati.



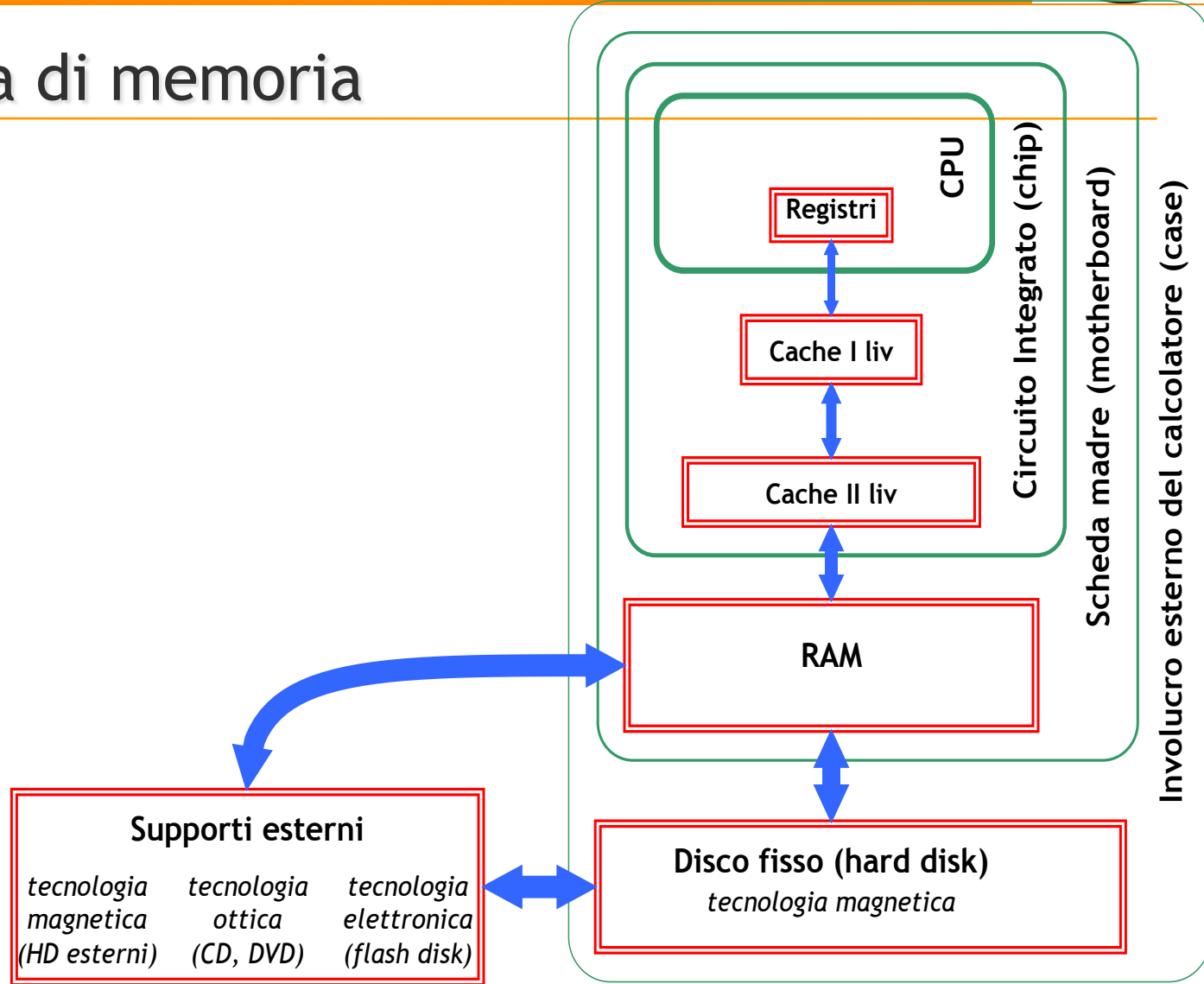
La copia di backup consente di trasferire i dati in un luogo sicuro o di inviarli a un altro sistema.

L'importanza del backup

Una gerarchia di memoria

- Ottenuta per “generalizzazione” dell’applicazione del principio di località e tipicamente costituita da
 - registri contenuti nella CPU (qualche KB)
 - cache (da circa 32KB a circa 1024KB)
 - memoria principale (da circa 64MB a qualche GB)
 - dischi fissi (da qualche GB a qualche TB)
 - nastri magnetici e dischi ottici (da qualche GB a qualche TB per ogni supporto)
- Man mano che ci si sposta verso il basso nella gerarchia aumenta il valore dei parametri fondamentali:
 - aumenta il tempo di accesso;
 - aumenta la capacità di memorizzazione;
 - ma diminuisce il costo per bit.

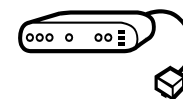
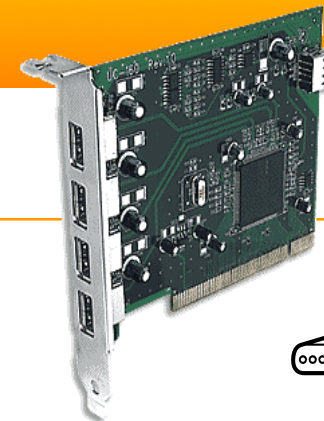
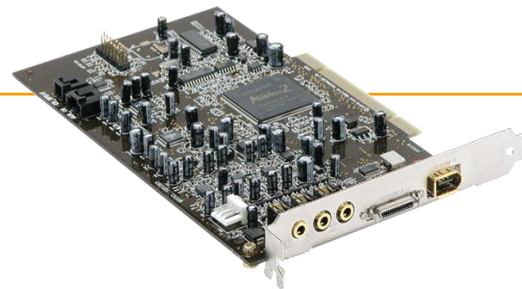
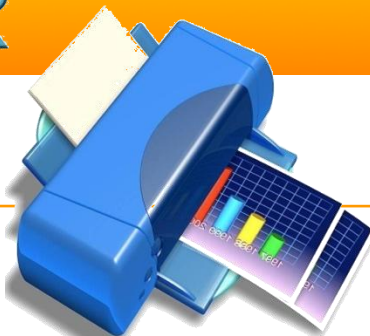
Una gerarchia di memoria



Memorie Flash

- Funzioni:
 - **trasferimento** dati (la capacità dei floppy è limitata)
 - archiviazione dati “sensibili”
- Tecnologia elettronica non volatile
 - bassi consumi
 - piccole dimensioni
 - capacità dai 256MB ai 128GB
- File system come per i dischi
 - Il sistema operativo gestisce l’accesso come se fossero dischi

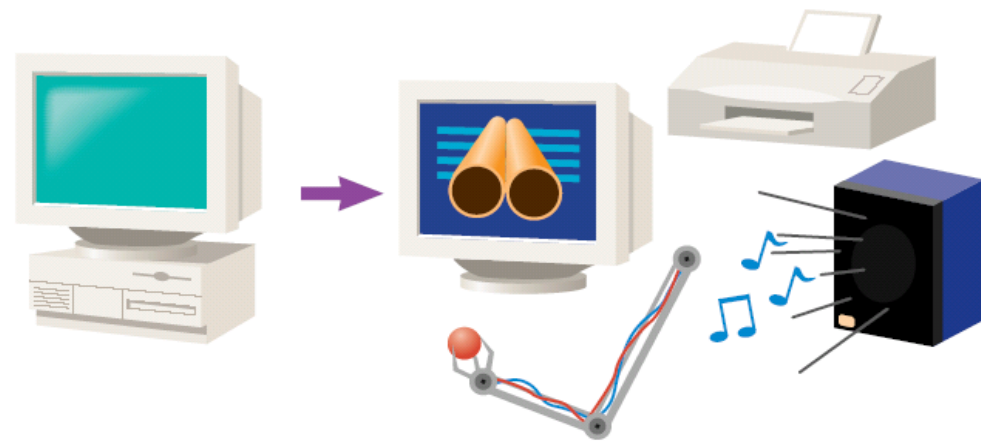




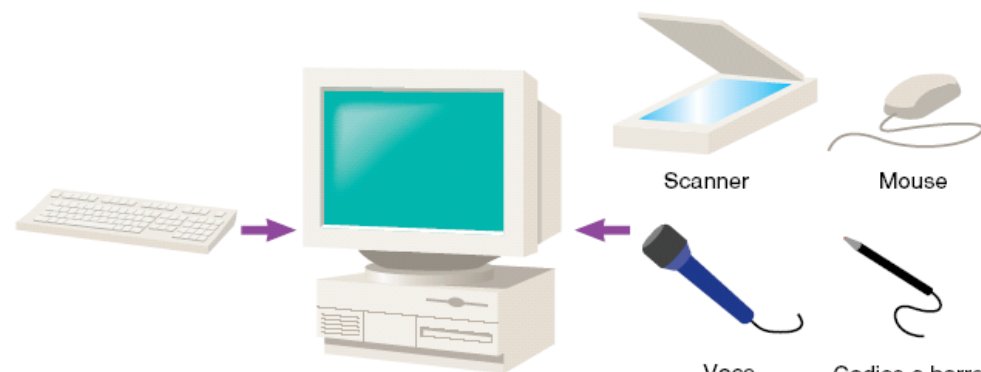
PERIFERICHE DI INGRESSO/USCITA (I/O)

Dispositivi di I/O

I dispositivi di I/O sono molti di più di quelli qui illustrati. Innanzitutto un computer può essere un mezzo di input per un altro, trasmettendogli informazioni: poi, non vanno dimenticati i mezzi “special purpose” usati in molti settori, come termometri, sensori, telecamere digitali, e molti altri.



Dispositivi di output



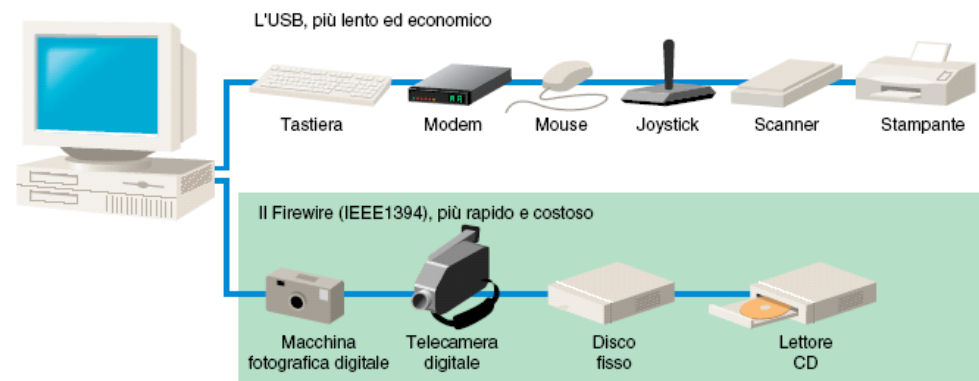
Inserimento dei dati tramite tastiera

Dispositivi di input

Voce Codice a barre
Inserimento dei dati diretto

Connessioni con periferiche

- Porta seriale o parallela
 - connessioni “storiche” dei computer, usate la prima per il modem e la seconda per le stampanti.
- Porta USB e Firewire
 - più recenti, hanno molti vantaggi rispetto alle precedenti connessioni.
 - Velocità.
 - Si possono connettere in serie, un dispositivo dopo l'altro.
 - Riconoscimento automatico dei dispositivi connessi(Plug & Play).



Le porte USB e Firewire

Universal Serial Bus – USB

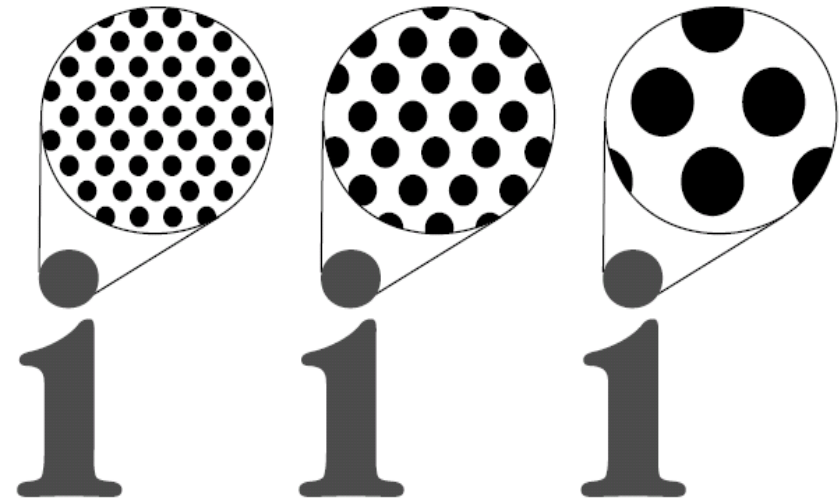
- Definito da un consorzio (Intel, Compaq, Microsoft, ...), con l'intento di sostituire le attuali porte seriali e parallele.
- Velocità di 12 MBit/sec. (da 1,5Mbit/sec fino a 4,8Gbit/sec)
- Collega fino a 127 periferiche in cascata.
- Può alimentare direttamente le periferiche a basso consumo (e.g. tastiere e mouse).
- Completamente Plug and Play (anche per collegamento “a caldo”).
- USB 2.0 (1999) arriva fino a 360-480Mbps **USB 3.0 4,8Gbit/sec**

Firewire 1394

- Bus seriale ad alte prestazioni per la connessione di periferiche.
- Connette 64 periferiche in cascata.
- Supporta il Plug and Play e connessione a caldo.
- Velocità di trasferimento di 400/800 Mbps.
- Adatto per videocamere e videoregistratori digitali, lettori DVD e periferiche audio.

Concetti base dell'output

- Pixel = picture element
 - più piccolo elemento di una griglia in cui è diviso lo schermo.
 - A ogni pixel si assegna un indirizzo in memoria, così che il computer può deciderne colore e luminosità.
- Cella = unità minima nella quale è divisa la pagina stampata
 - Le sfumature di colore dipendono dalla tonalità preponderante nei puntini all'interno della cella.
- Risoluzione = qualità di un'immagine
 - per gli schermi conta il numero di pixel (640x480, 1024x768, etc.)
 - per le stampanti la qualità è misurata in dpi (dot per inch, punti per pollice).



Diversi gradi di risoluzione

Concetti base dell'output

- Font = un tipo di carattere con uno stile e una forma propri. Si classificano con un nome, che ne distingue il tipo, uno stile e una dimensione.
- Esempio
 - Tahoma, tondo, 18
 - *Times New Roman, corsivo, 22*
 - **Verdana, grassetto corsivo, 18**
- Oggi la tecnica più usata per memorizzare i font è quella di usare i font scalabili: all'interno del file di font sono memorizzate le formule matematiche che ne descrivono la struttura, in modo da poter realizzare qual font in qualunque dimensione (rasterizzazione).
- Grazie a questa tecnica i font dello schermo e della stampante sono gli stessi, realizzando una modalità di lavoro WYSIWYG (what you see is what you get) per la quale sullo schermo vediamo esattamente il documento che otterremo dalla stampante.

Concetti base dell'output

- Tavolozza
 - insieme di colori, rappresentati da numeri, che può assumere un singolo pixel.
- Profondità di colore
 - numero di bit assegnati a ciascun pixel per le informazioni sul colore. 1 bit = 0 bianco o nero; 24 bit = 16 milioni di colori.
- Quindi:
 - per un'immagine in bianco e nero a 640x480 pixel serviranno $640 \times 480 \times 1 = 37,5$ Kb di memoria, mentre per una foto grande 1024x768 pixel a colori occorreranno $1024 \times 768 \times 24 = 4$ Mb di memoria.

Calcolatore o calcolatrice?

- Qual' è la differenza tra un calcolatore e una calcolatrice?
 - Da Wikipedia
 - Un computer è un dispositivo fisico che implementa il funzionamento di una macchina di Turing
 - La calcolatrice è un dispositivo in grado di eseguire calcoli numerici, non qualificabile come macchine di Turing

Computer a DNA

- Composta da enzimi e molecole di DNA invece di microchips di silicio
- DNA computing è una forma di calcolo parallelo, in quanto sfrutta le molte molecole diverse di DNA per provare molte possibilità diverse in una sola volta
- Weizmann Institute of Science di Rehovot, in Israele: 100000 volte più rapido del PC più rapido allora disponibile

Computer quantistico

- La computazione quantistica è stata introdotta da Yuri Manin nel 1980 e Richard Feynman nel 1982.
- nuovo dispositivo per il trattamento ed elaborazione delle informazioni che per eseguire le classiche operazioni sui dati utilizza i fenomeni tipici della meccanica quantistica
- Il principio che sta alla base del computer quantico, è che le proprietà quantistiche delle particelle possono essere utilizzate per rappresentare strutture di dati, e che il complesso meccanismo della meccanica quantistica possa essere sfruttato per eseguire operazioni su tali dati.