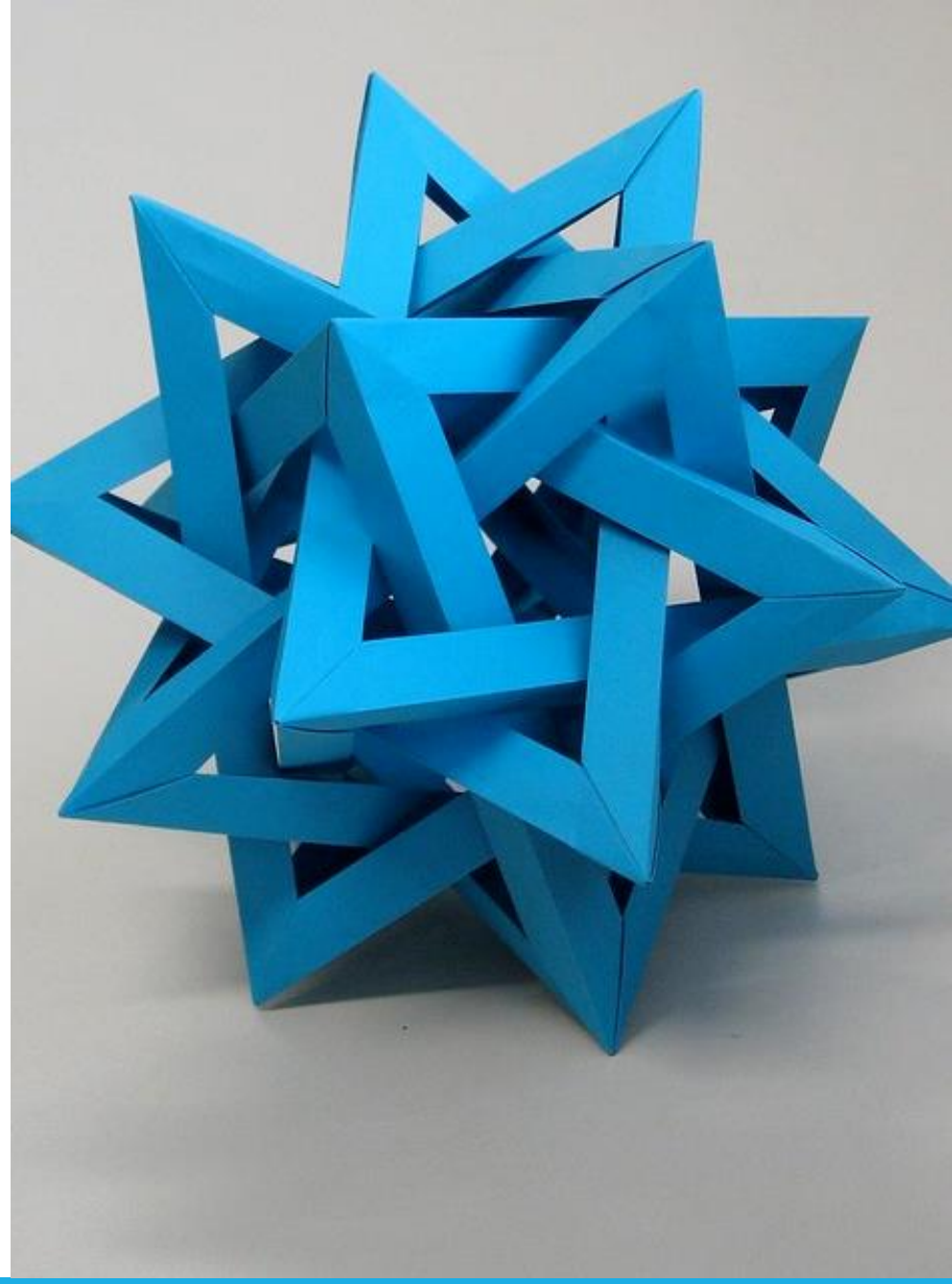
POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Automatica e Informatica

Unità T2 Architettura degli elaboratori



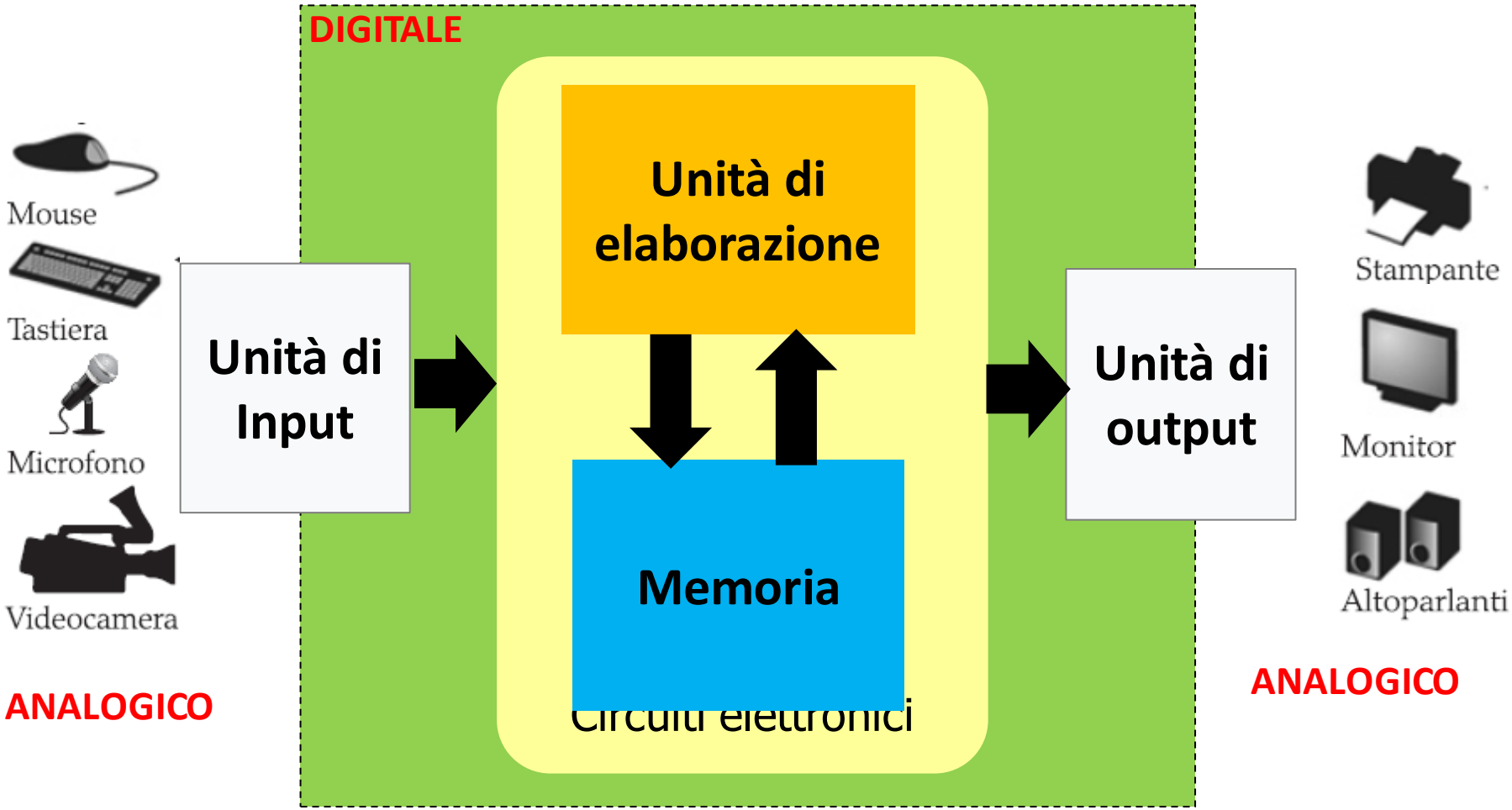
Architettura degli elaboratori

Architettura di un elaboratore

- Per comprendere il processo di programmazione, è necessario conoscere almeno per grandi linee gli elementi costitutivi di un computer.

- Faremo riferimento al tipico PC, anche se tutti i calcolatori hanno sostanzialmente la stessa struttura.

I blocchi fondamentali dell'elaboratore



Componenti fondamentali

- Unità di I/O
  - Interfaccia da/verso utente
  - Implicano un cambio di dominio fisico
    - Umano = analogico, asincrono, non elettrico
    - Calcolatore = digitale, sincrono, elettrico
    - Necessarie opportune conversioni
- Unità di elaborazione
  - Contiene i circuiti per l'esecuzione delle 'istruzioni'
  - "microprocessore"
- Memoria
  - Memorizza in modo permanente dati e programmi
  - Necessaria per l'elaborazione per motivi di efficienza

CIRCUITI (dentro la "scatola")

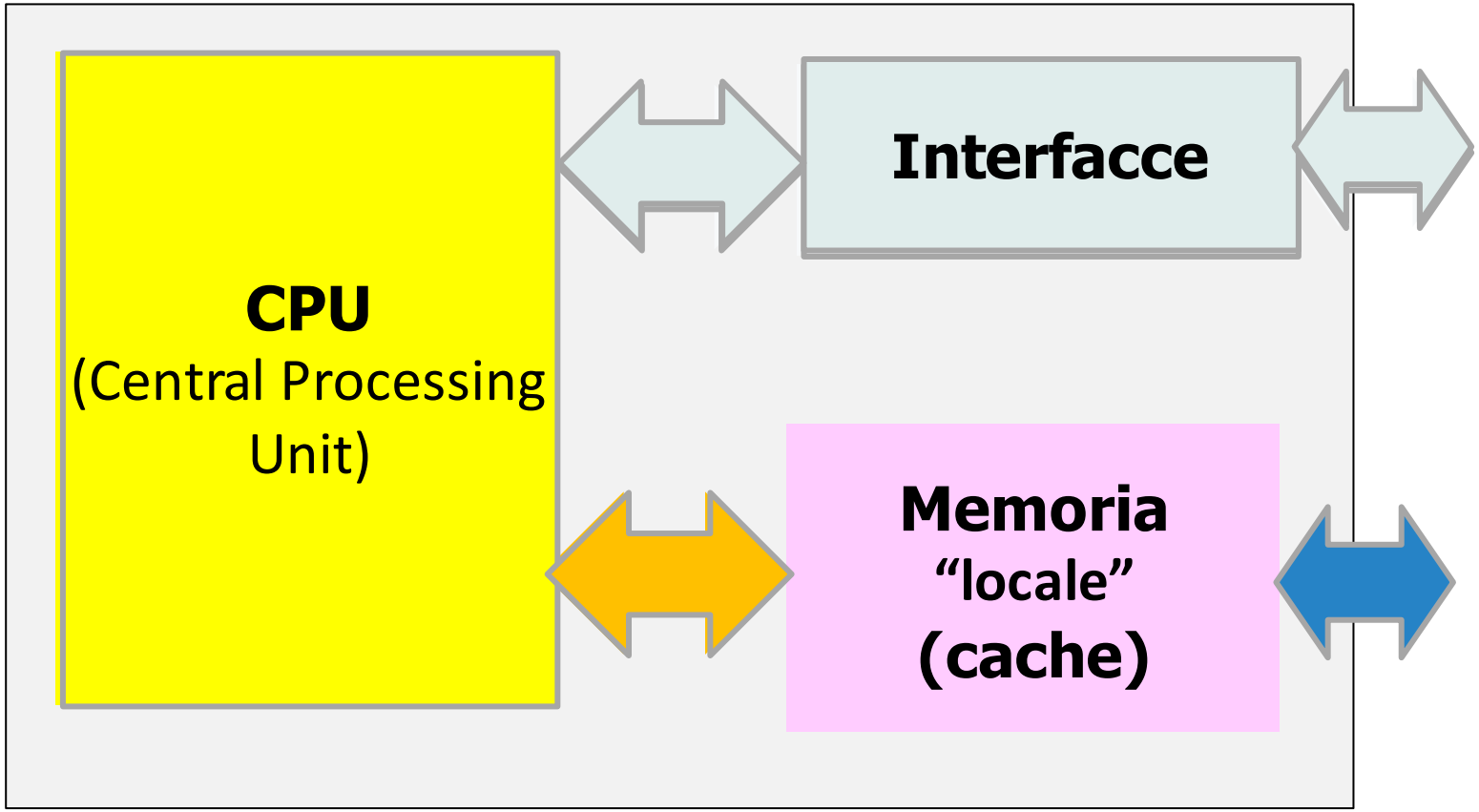
Il microprocessore

Microprocessore

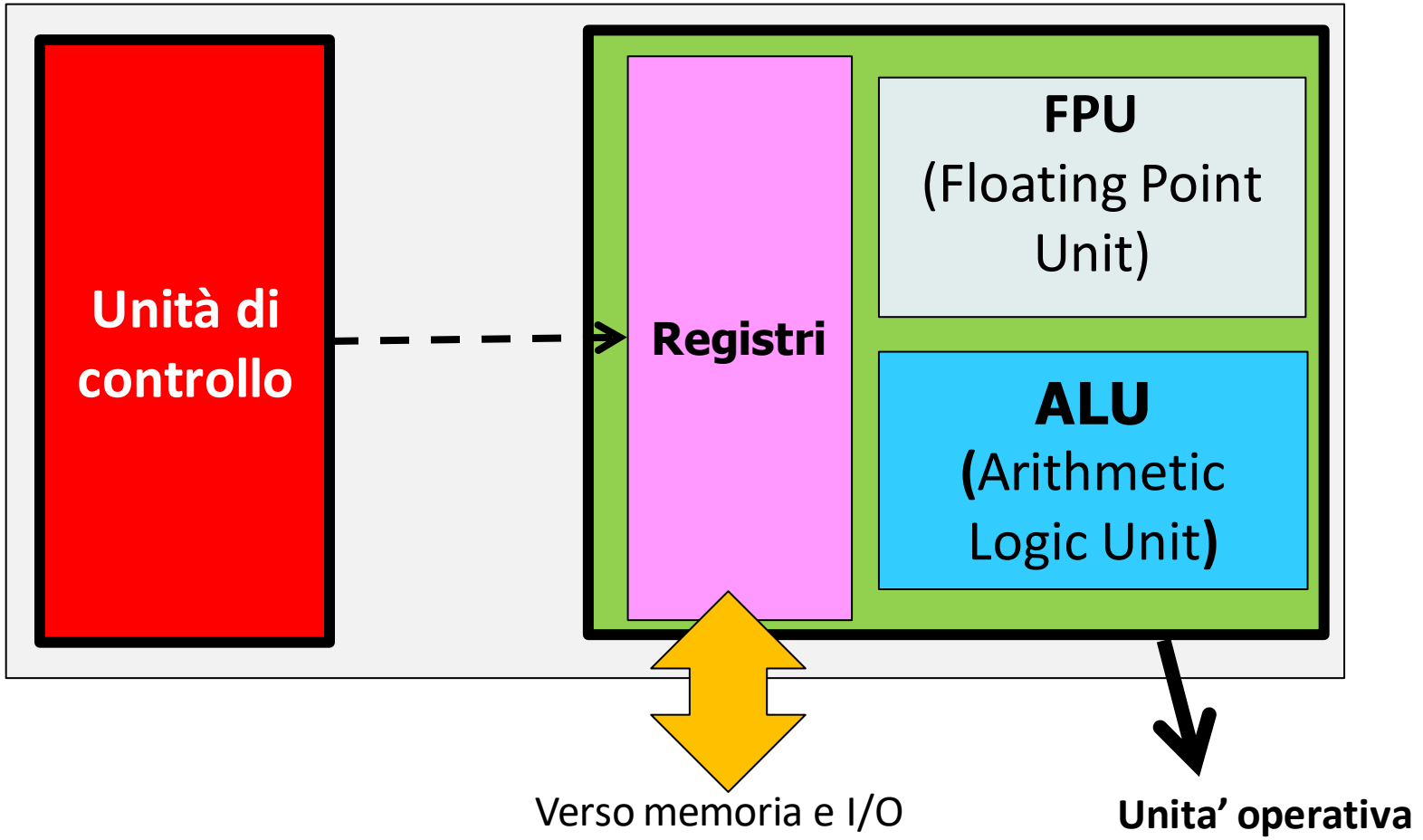
- Il microprocessore è il circuito che fisicamente esegue TUTTE le istruzioni

- Contiene quindi:
  - Tutti i circuiti per eseguire le operazioni di base su numeri interi, reali e operazioni logiche
  - Opportuni circuiti per il "coordinamento" dell'esecuzione delle istruzioni (per es. il loro sequenziamento, controllo degli errori)
  - Interfacce per spostare dati da/verso la memoria
  - Interfacce per spostare dati da/verso unità di I/O
- Ha (in linea di principio) limitate capacità di memorizzare dati e/o istruzioni
  - Lo stretto necessario per eseguire le operazioni
  - Ma per motivi di efficienza (v. dopo) una parte della memoria è "ospitata" nel microprocessore

Struttura del microprocessore



La CPU


Unità di controllo
Registri
FPU (Floating Point Unit)
ALU (Arithmetic Logic Unit)
Verso memoria e I/O
Unita' operativa

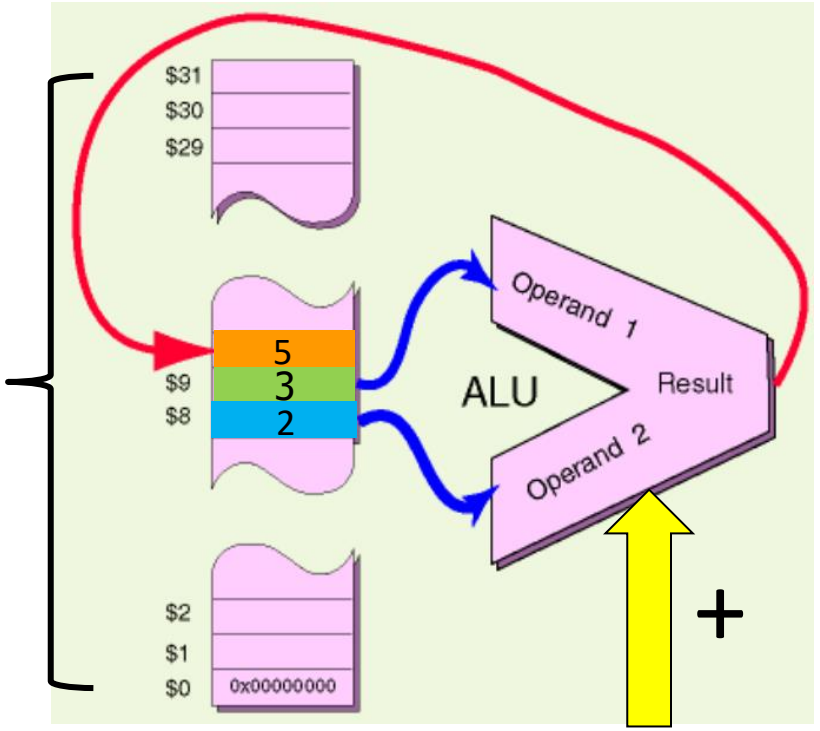
Unità operativa

- Svolge tutte le elaborazioni richieste (aritmetiche, logiche, grafiche?, ...).
- È composta di:
  - ALU (Arithmetic Logic Unit)
  - Registri istruzioni e dati
  - FPU (Floating Point Unit)
  - Registro dei Flag

Registri

- Elementi di memoria locale usati per conservare temporaneamente dei dati (es. risultati parziali) o istruzioni
  Ogni trasferimento da processore a memoria e viceversa avviene tra registri e memoria
- Numero limitato (8...128)

32 registri



Flag

- Registro che contiene un insieme di bit che segnalano determinati stati dell'insieme delle unità di calcolo e alcune informazioni sul risultato dell'ultima operazione eseguita
- Utilizzati per implementare alcune condizioni

- Alcuni flag significativi
  - Zero: Segnala se il risultato dell'operazione è o no zero.
  - Segno: indica il segno del risultato dell'operazione precedente
  - Overflow: indica se il risultato dell'operazione precedente eccede i limiti della rappresentazione

ALU e FPU

- ALU
  - Svolge tutti i calcoli (aritmetici, logici, confronti) su numeri interi
- FPU:
  - Svolge I calcoli su numeri reali

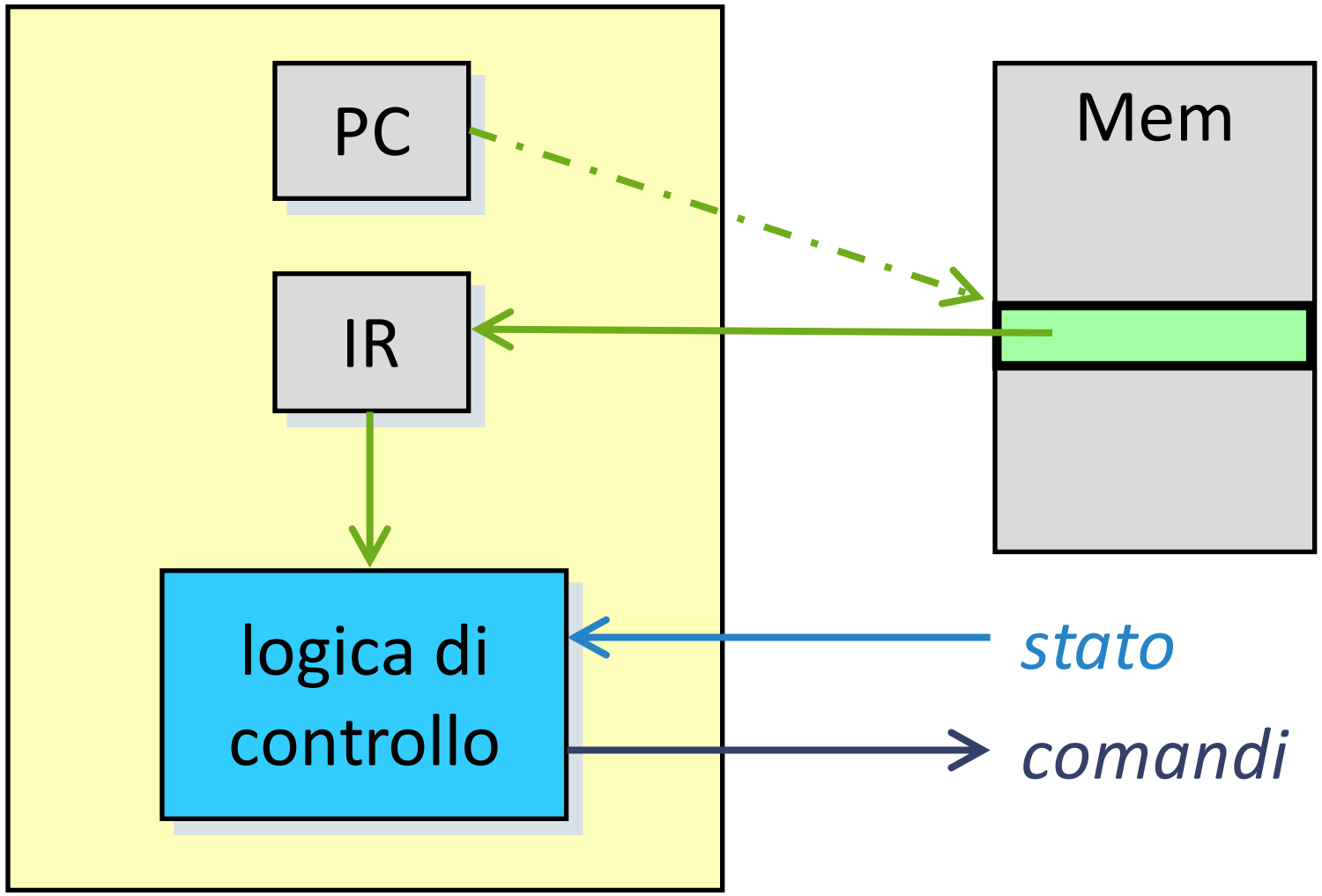
- Notevole differenza nel tempo di esecuzione!
  - Il rapporto dipende dallo specifico processore, un'operazione FPU è tipicamente più lenta di 5-50 volte più lenta di un'operazione ALU.

Unità di controllo

- È il cuore dell'elaboratore:

- In base alle istruzioni contenute nel programma che esegue ed allo stato di tutte le unità decide l'operazione da eseguire ed emette gli ordini relativi

Unità di controllo: schema funzionale



Componenti dell'UC

- PC (Program Counter)
  registro che indica sempre l'indirizzo della cella di memoria che contiene la prossima istruzione da eseguire

- IR (Instruction Register)
  registro che memorizza temporaneamente l'operazione corrente da eseguire

- Logica di controllo
  interpreta il codice macchina in IR per decidere ed emette gli ordini che le varie unità devono eseguire

Esecuzione di un'istruzione

- **Tre fasi:**

FETCH **IR ← M [PC]**
PC ← PC + 1

DECODE ordini ← **decode(IR)**

EXECUTE attiva i blocchi interessati dall'istruzione

- **IR ← M [PC]:** preleva dalla memoria l'istruzione nella posizione indicata da PC
- **PC ← PC + 1:** incrementa il valore di PC (al passo successivo conterrà la prossima istruzione da eseguire)

Un collegamento ai flowchart…

- Conoscendo ora i blocchi fondamentali, siamo in grado di valutare quali operazioni sono da considerarsi “elementari” (e sono usabili dentro i blocchi di un DDF)

Categoria	Operazioni specifiche
Operazioni aritmetiche (ALU)	+, - , * , /, resto tra numeri interi
Operazioni aritmetiche (FPU)	+, - , * , /, resto tra numeri reali
Operazioni logiche (ALU)	Operazioni su quantita’ logiche (unione, intersezione, negazione)
Confronti (ALU)	<,>,=, <=, >=, !=
CPU + Memoria	Trasferimento dati dalla/verso memoria
CPU + unita’ di I/O (+ Memoria)	Lettura/scrittura da/su dispositivo

Un breve riassunto…

- Sistema di elaborazione =
  Unità di I/O + Unità centrale (CPU) + Memoria

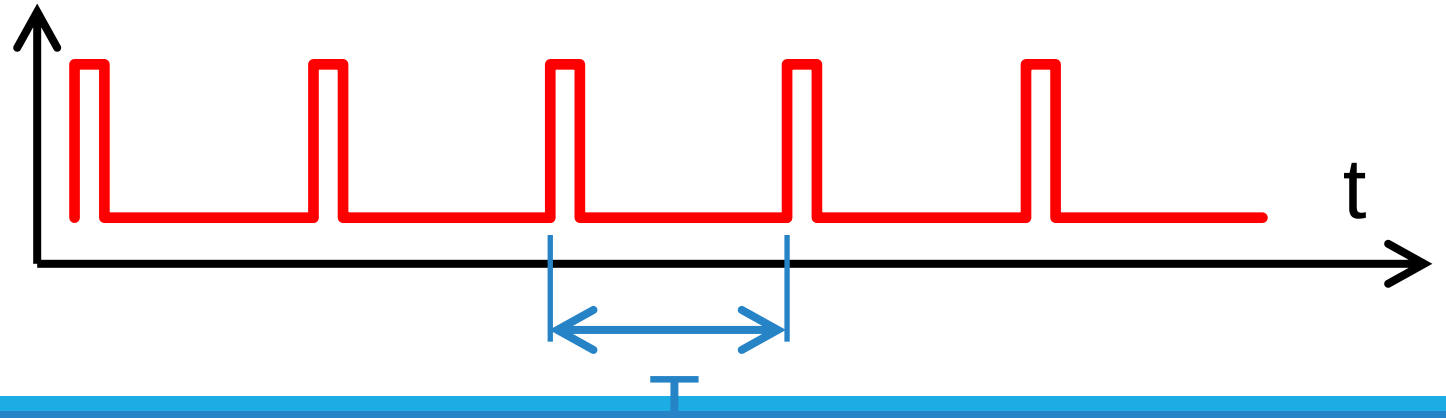
- CPU = Unità operativa + Unità di controllo

- Unità operativa:
  - Svolge i calcoli (contiene i circuiti che li eseguono)
  - Contiene alcuni registri
    ("parcheggi" per i dati da e verso memoria e I/O)

- Unità di controllo:
  - Governa l'esecuzione delle istruzioni (che legge dalla memoria)
  - Procede secondo tre fasi principali

Il clock

- Ogni elaboratore contiene un elemento di temporizzazione (detto clock) che genera un riferimento temporale comune per tutti gli elementi costituenti il sistema di elaborazione.
- T = periodo di clock
  - unità di misura = s
- f = frequenza di clock (= 1/T)
  - unità di misura = s–1 = Hz (cicli/s)



Tempistica delle istruzioni

- Un ciclo-macchina è l'intervallo di tempo in cui viene svolta una operazione elementare ed è un multiplo intero del periodo del clock
- L'esecuzione di un'istruzione richiede un numero intero di cicli macchina, variabile a seconda del tipo di istruzione
  - Esempio

Tipo	n. Cicli
ALU	1
FPU	15
MEM	5
I/O	100

- La prestazione complessiva del programma dipenderà dal mix di istruzioni!!!

La memoria

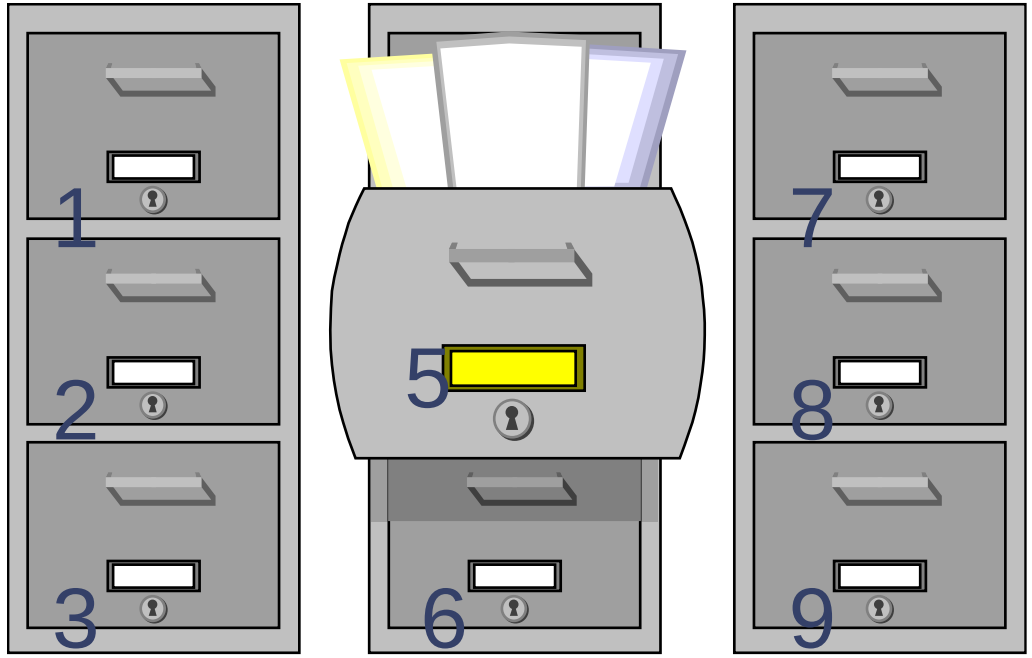
Memoria

- Memorizza i dati e le istruzioni necessarie all'elaboratore per operare
- Perché è necessaria???
  - Per motivi intrinseci di memorizzazione (memoria di massa)
  - Per motivi di efficienza

- Caratteristiche:
  - indirizzamento
  - parallelismo
  - accesso (sequenziale o casuale)
  - Struttura gerarchica

Indirizzamento

- La memoria è organizzata in celle (mimima unità accessibile direttamente). Ad ogni cella di memoria è associato un indirizzo (numerico) per identificarla univocamente.



Parallelismo

- Ogni cella di memoria contiene una quantità fissa di bit (word):
  - identica per tutte le celle (di una certa unità di memoria)
  - accessibile con un'unica istruzione
  - è un multiplo del byte
    - Tipicamente la dimensione della cella di memoria coincide con quella dei registri per consistenza e semplicità

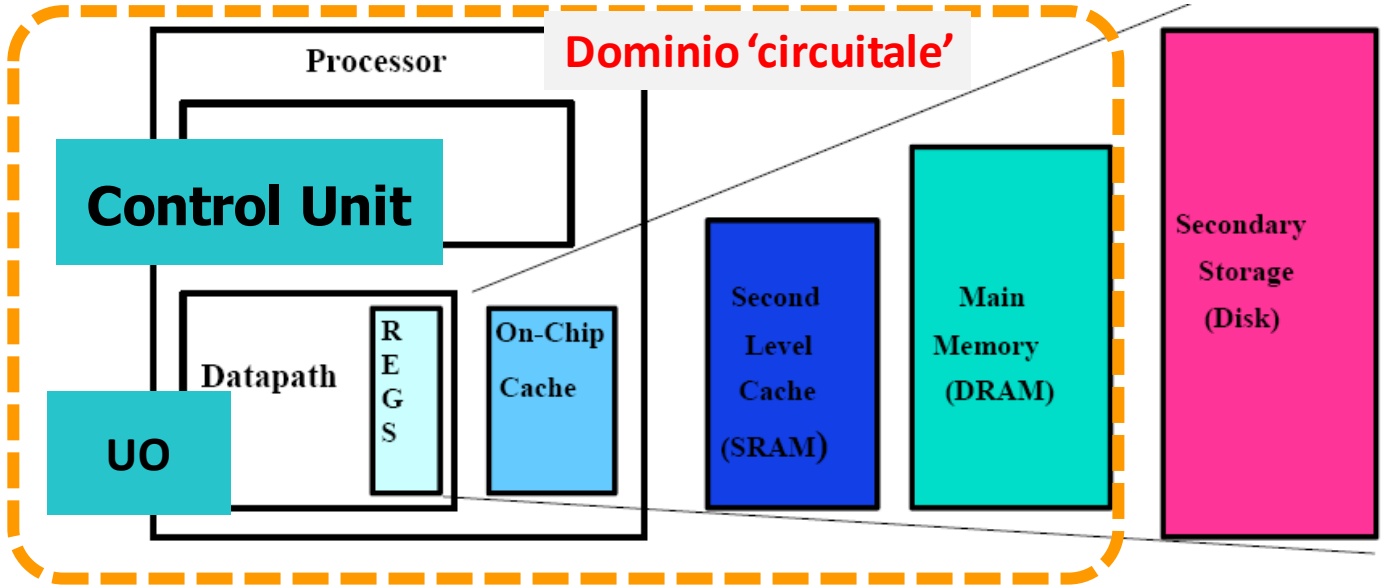
Gerarchia di memoria

- Idealmente la memoria dovrebbe essere
  - Più grande possibile
  - Più economica possibile
  - Più veloce possibile
  - Mantenere le informazioni indefinitamente (anche in assenza di alimentazione) – non volatili

- Una simile memoria non esiste (ancora)
  - Le memorie veloci hanno un costo relativamente alto e sono volatili
  - Le memorie non volatili costano relativamente poco ma sono relativamente lente
- Necessaria una gerarchia di memoria

Gerarchia di memoria

- Per ottimizzare tempo medio di accesso e costo medio, si organizza la memoria a livelli
  - Più vicino al processore le memorie più veloci, costose (e anche volatili, per motivi tecnologici)
  - Più lontano dal processore le memorie più lente, economiche e non volatili

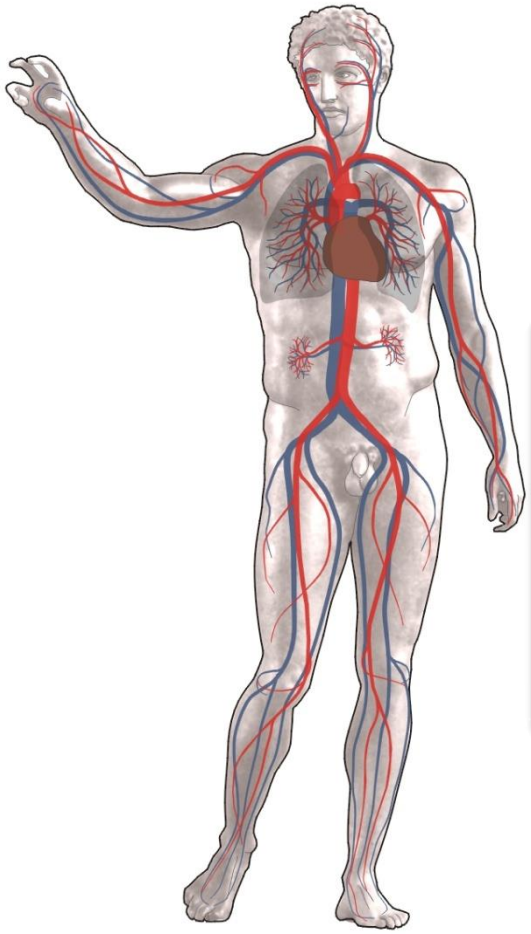


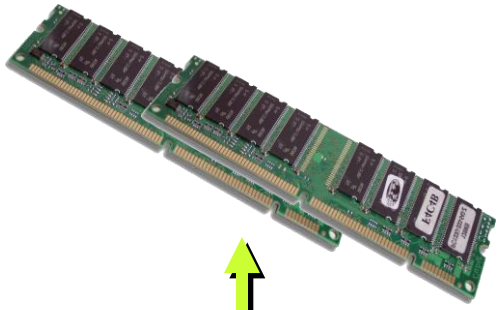
Confronto tra memorie

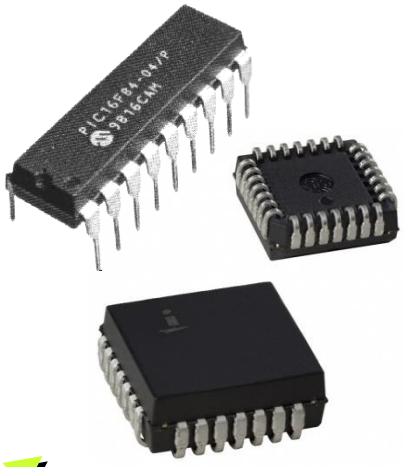
Metrica	SRAM (cache)	DRAM	FLASH	Disco
Dimensione	MB (1-16)	GB (4-16)	GB (16-512)	TB (>1)
Velocità	1-5 ns	50-150 ns	~10ms*	~10ms
Costo	10-5/byte	10-8/byte	10-9/byte	10-10 $/byte
Persistenza	Volatile	Volatile	Non volatile	Non volatile

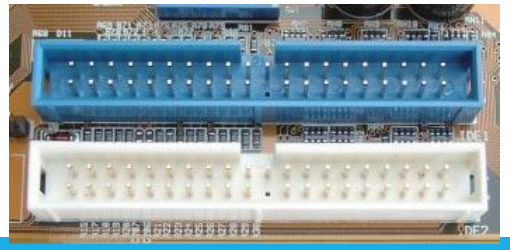
Le interconnessioni (bus)

I Bus (sistema circolatorio del PC)



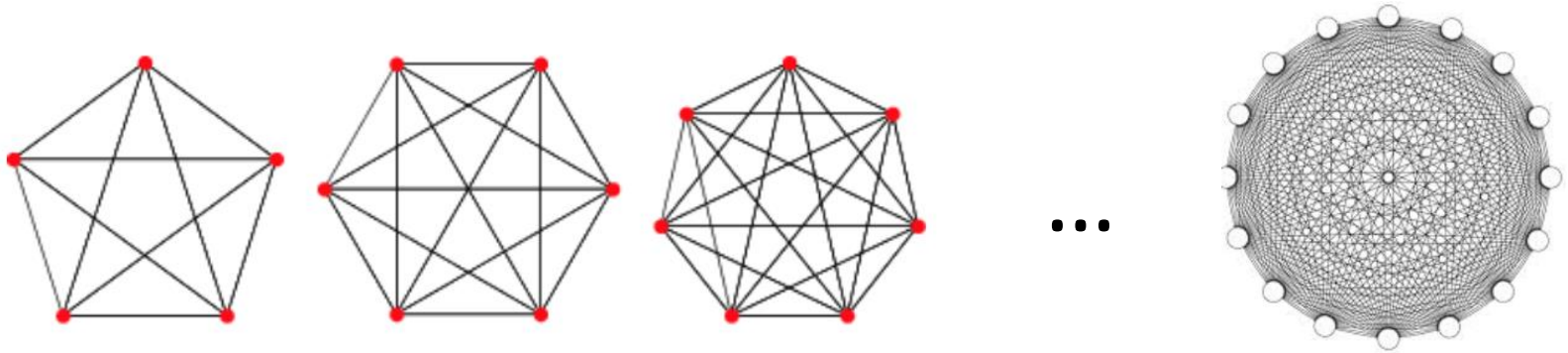






I bus

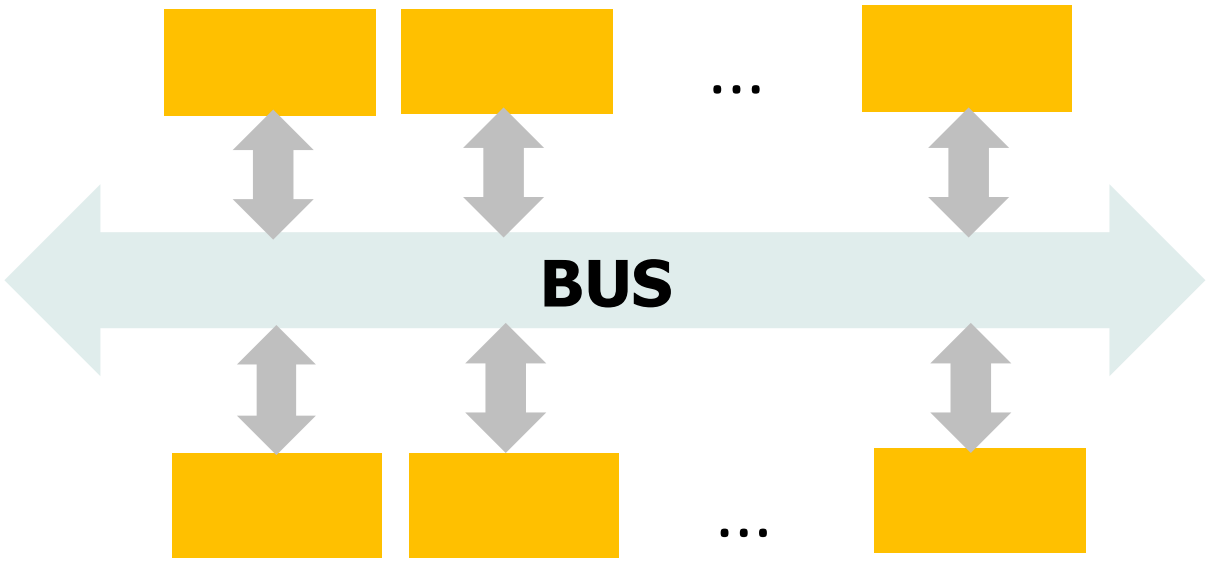
- Come connettere n unità (CPU con memorie e vari controllori di I/O) in modo efficiente?
- La connessione punto-punto non è pratica!
  - Il numero di connessioni cresce con il quadrato del numero di unita' da connettere!



n=5 n=6 n=7 n=16

I bus

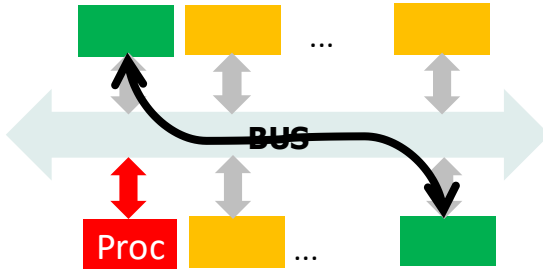
- Usiamo un'unica linea di connessione per connettere tutti i componenti
  - Fisicamente "agganciati" a questa linea



I bus

- Vantaggi:
  - costi ridotti di produzione
  - Estendibilità (scalabilità)
    - aggiunta di nuovi dispositivi molto semplice
  - Standardizzabilità
    - regole per la comunicazione da parte di dispositivi diversi

- Svantaggi:
  - Lentezza
    - utilizzo in mutua esclusione del bus
  - Sovraccarico del processore (CPU)
    - funge da “master” sul controllo del bus



Caratteristiche di un bus

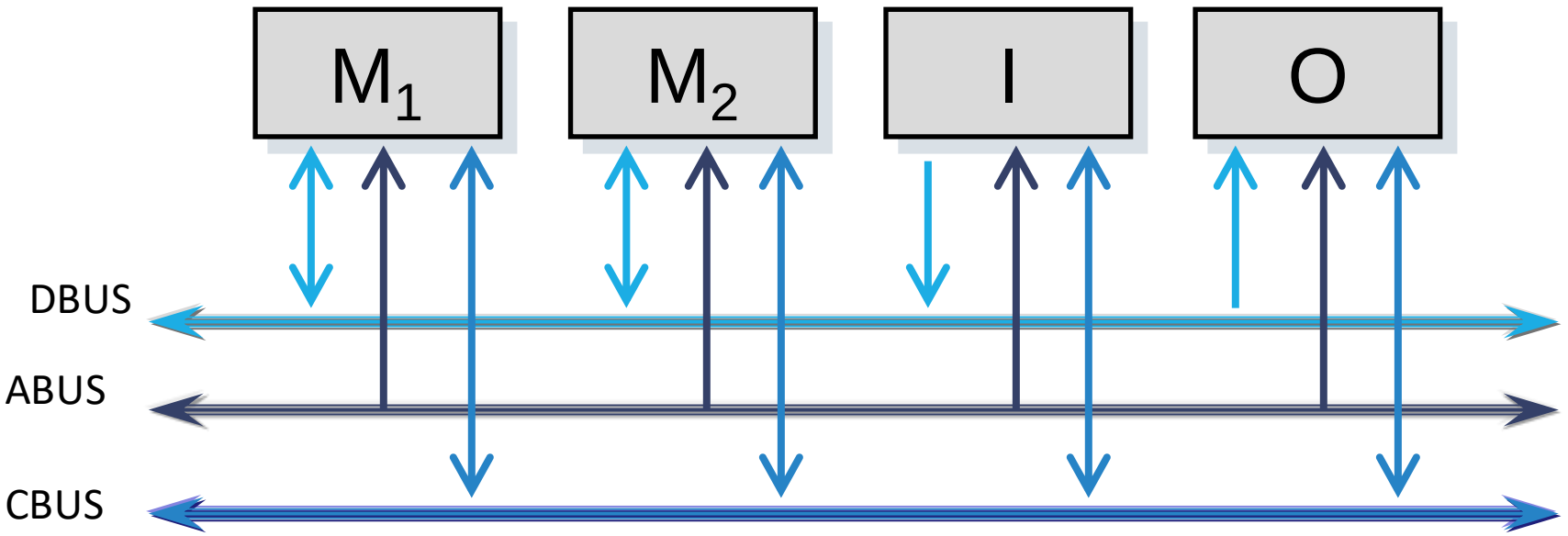
- Trasporto di un solo dato per volta

- Frequenza = n. di dati trasportati al secondo
- Ampiezza = n. di bit di cui è costituito un singolo dato

- Se mal dimensionato, potrebbe essere un collo di bottiglia

Tipi fondamentali di bus

- Un singolo bus è suddiviso in tre “sotto bus”, detti:
  - bus dati (DBus)
  - bus degli indirizzi (ABus)
  - bus di controllo (CBus)



Massima memoria interna (fisicamente presente)

- La dimensione dell'Abus determina il max numero di celle di memoria indirizzabili
- La dimensione del Dbus "indica" la dimensione di una cella di memoria

- max mem = $2^{|Abus|}$ x |Dbus| bit

- Esempio (Abus da 20 bit, Dbus da 16 bit):
  - max mem = 2^{20} x 2 byte = 2 MB
  - ossia 1 M celle di memoria, ognuna da 2 byte

Una vista di insieme