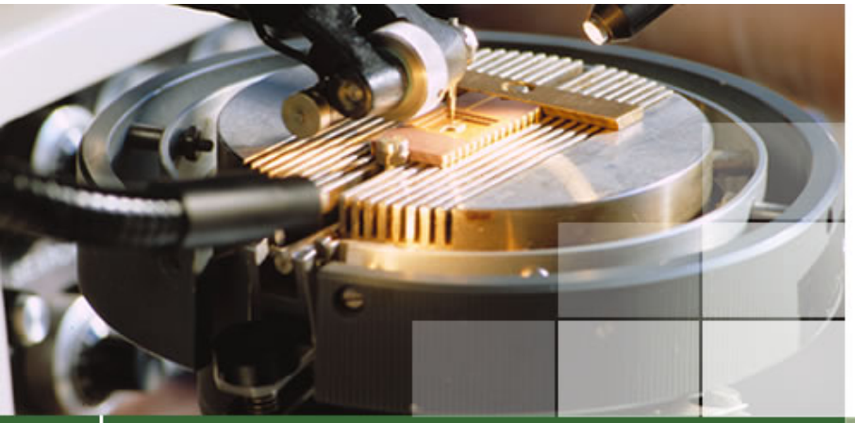


POLITECNICO DI MILANO

Dipartimento di
Elettronica e Informazione

Memorie, processi e temi d'esame

Matteo Ferroni

matteo.ferroni@polimi.it

26/01/2016

Agenda

(20’) La gerarchia di memoria (teoria)

(10’) Cache e tempi di accesso (Es.3 - TE 01/09/2015)

(20’) Memoria fisica e memoria virtuale (Es.3 - TE ?)

(15’) Stato dei processi (Es.4 - TE 19/02/2015)

(30’) Ordine superiore e ricorsione (Es3 - TE 19/2/2015)

(20’) Iterazione vs. Ricorsione (Es.3 - TE 19/02/2015)

(20’) Congettura di Goldbach (Es.1 - TE 19/02/2015)

La memoria cache

Il problema della memoria: costo vs. prestazioni

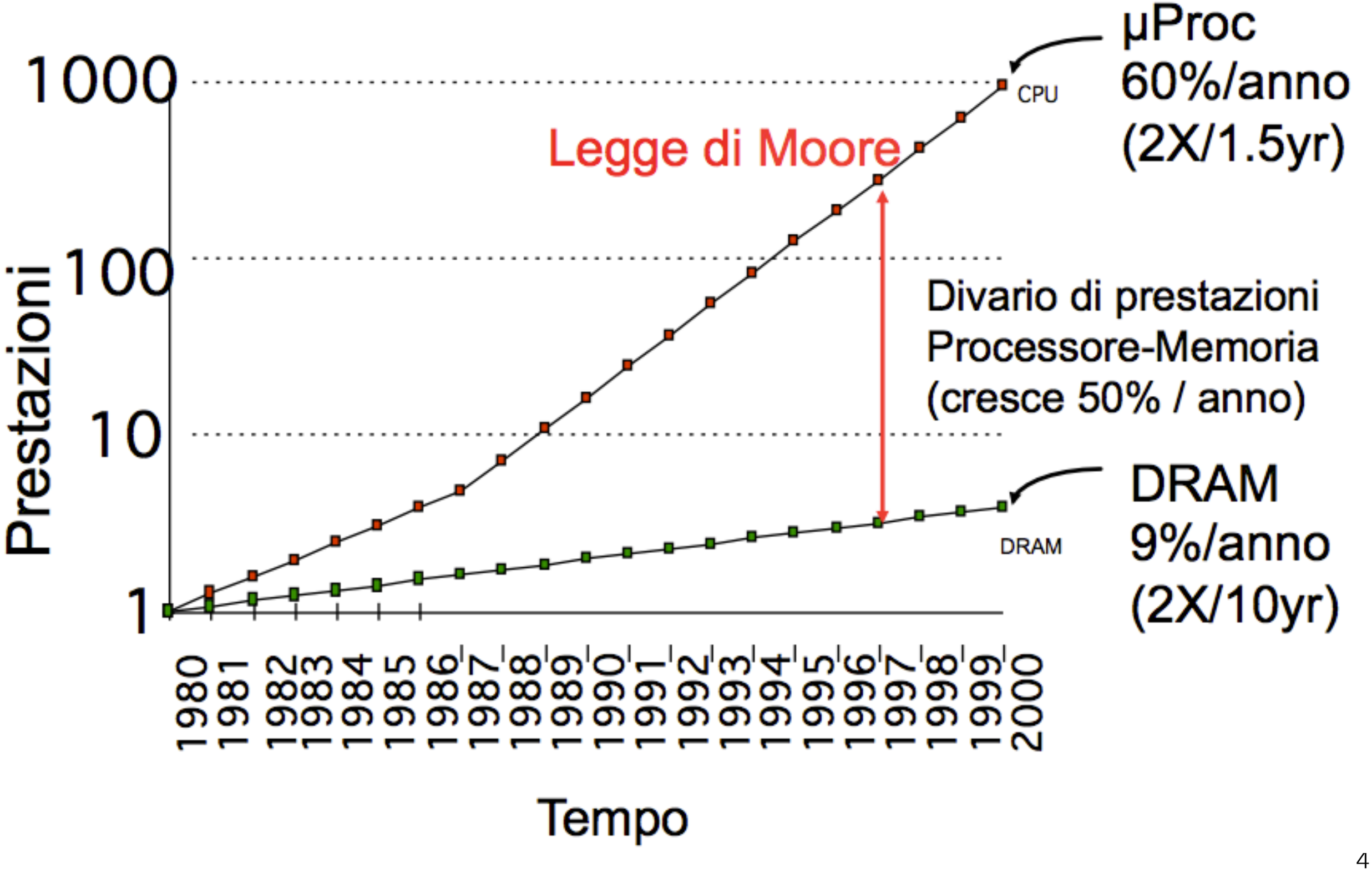
Obiettivo:

- fornire agli **utenti** una memoria grande e veloce
- fornire al **processore** i dati alla velocità con cui è in grado di elaborarli

Problema: Il tasso di crescita nella velocità dei processori non è stato seguito da quello delle memorie

- Tempo di accesso alle **SRAM** (Static Random Access Memory):
  - 2 - 25ns al costo di $100 - $250 per Mbyte.
- Tempo di accesso alle **DRAM** (Dynamic Random Access Memory):
  - 60 - 120ns al costo di $5 - $10 per Mbyte.
- Tempo di accesso al **disco**:
  - 10 - 20 million ns al costo di $0.10 - $0.20 per Mbyte.

Prestazioni di processori e cache



Gerarchia di memoria

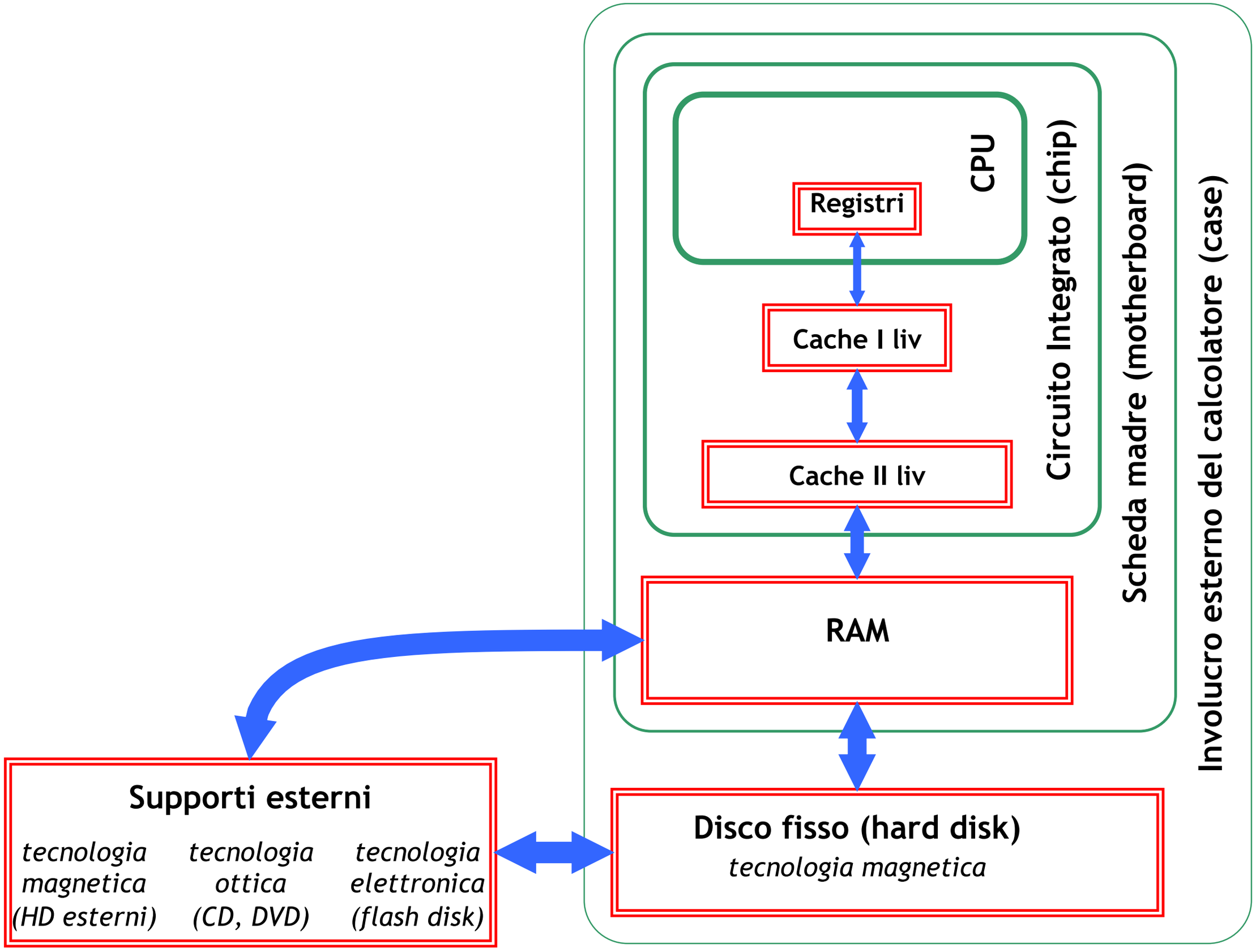
Tipicamente costituita da:

1. **registri** contenuti nella CPU (qualche KB)
2. **cache** (da circa 32KB a circa 4096KB)
3. **memoria principale** (da circa 512MB a qualche GB)
4. **dischi fissi** (da qualche centinaio di GB a qualche TB)
5. **nastri magnetici** e **dischi ottici** (da qualche centinaio di 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



Caratteristiche dei diversi livelli

Livello	Capacità	Tempo di accesso	Transfer rate (GB/s)
Registri	~ 1 KB	~ 0.2 ns (1 ciclo di clock)	-
Cache I livello	~ 32 KB	~ 0.4 ns (2/4 cicli di clock)	-
Cache II livello	~ 1/2 MB	~ 1/2 ns (5/10 cicli di clock)	~ 100
Cache III livello	~ 2/8 MB	~ 5 ns	~ 50
Memoria centrale	~ 2/8 GB	~ 50 ns (1ª parola richiesta) ~ 10 ns (parole successive)	~ 5/10
Dischi interni	> 300 GB	~ 10 ms	0.15/0.6
Dischi esterni	> 300 GB	~ 10 ms	~ 0.05

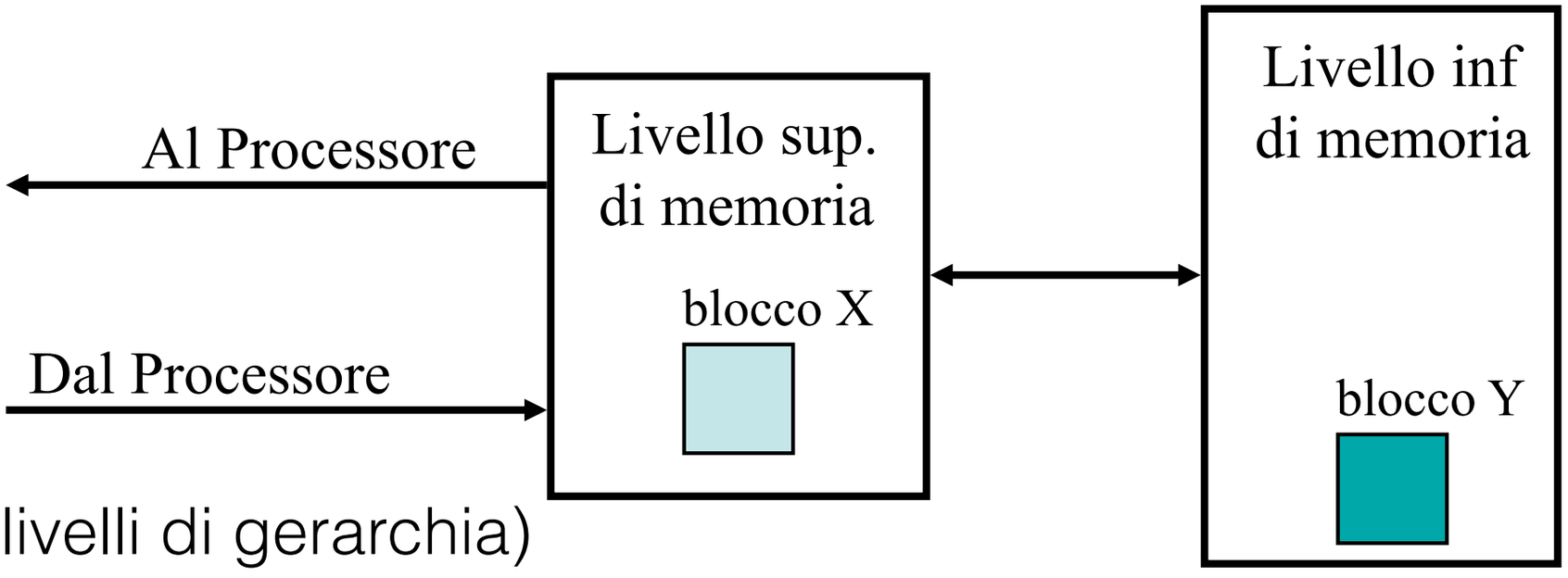
Località

- E’ la proprietà fondamentale dei programmi che rende possibile sfruttare l’organizzazione gerarchica della memoria per incrementarne le prestazioni

- **Località**: in ogni istante di tempo un programma accede a una parte relativamente piccola del suo spazio di indirizzamento
  - Località **temporale**: se un dato viene referenziato in un dato istante, è probabile che lo stesso dato venga nuovamente richiesto entro breve
  - Località **spaziale**: Se un dato viene utilizzato in un dato istante, è probabile che dati posizionati in celle di memoria adiacenti vengano richiesti entro breve

Cache

- Memoria al livello superiore della gerarchia, veloce ma piccola
- **Obiettivo**: fornire dati al processore in uno o due cicli di clock
- **Idea**: Sfruttare il **principio di località** dei programmi e tenere in memoria cache i dati utilizzati più di recente
- Il processore richiede un dato al sistema di memoria:
  - La richiesta viene *prima* inviata al livello di memoria **superiore** (più *vicino* al processore)
  - Se il dato non è presente nel livello **superiore** (*fallimento* della richiesta) la ricerca viene effettuata nel livello **inferiore**



(Si considerino solo due livelli di gerarchia)

Gerarchia di memoria: definizioni

- **Hit (successo)**: dati presenti in un blocco del livello superiore (esempio: Blocco X)
  - Hit **Rate** (**"%"** di successo): numero di accessi a memoria che trovano il dato nel livello superiore sul numero totale di accessi
  - Hit **Time** (**tempo** di successo): tempo per accedere al dato nel livello superiore della gerarchia

- **Miss (fallimento)**: i dati devono essere recuperati dal livello inferiore della memoria (Blocco Y)
  - Miss **Rate** (**"%"** di fallimento) = 1 - (Hit Rate)
  - Miss **Penalty** (**tempo** di fallimento): tempo per determinare il MISS + tempo necessario a sosituire un blocco nel livello superiore + tempo per trasferire il blocco al processore

Tipicamente si ha: **Hit Time << Miss Penalty**

Cache e principio di località

- **Tempo medio** di accesso in presenza di memoria cache:
  - semplicemente la **media pesata** con le probabilità

HitTime*HitRate + **MissRate*MissPenalty**

- Le memorie cache sfruttano il principio di **località spaziale** trasferendo dal livello inferiore della gerarchia più dati di quanti non ne siano stati strettamente richiesti (blocco o linea di cache)

- La **località temporale** viene sfruttata nella scelta del blocco da sostituire nella gestione di un fallimento (es: sostituire il blocco a cui si è fatto accesso meno di recente)

Cache e tempi di accesso (Es.3 - TE 01/09/2015)

- Un calcolatore è dotato di un sistema di memoria centrale e memoria cache con le seguenti caratteristiche:
  - **MissRate** = 25%
  - **MissPenalty** = 800 ns
  - **HitTime** = 40ns
  - **HitRate** = 1 - **MissRate** = 75%

- Rispondere alle seguenti domande (giustificando i risultati ottenuti con gli opportuni calcoli):

A. Calcolare il tempo medio di accesso ai dati del sistema con memoria cache.

Tempo medio = **HitRate** * **HitTime** + **MissRate** * **MissPenalty**

B. Mantenendo invariati Miss Rate e Hit Time, qual è il valore massimo che può avere Miss Penalty affinchè il tempo medio sia inferiore a 200 ns?

Cache e tempi di accesso (Es.3 - TE 01/09/2015)

- Un calcolatore è dotato di un sistema di memoria centrale e memoria cache con le seguenti caratteristiche:
  - **MissRate** = 25%
  - **MissPenalty** = 800 ns
  - **HitTime** = 40ns
  - **HitRate** = 1 - **MissRate** = 75%

- Rispondere alle seguenti domande (giustificando i risultati ottenuti con gli opportuni calcoli):

A. Calcolare il tempo medio di accesso ai dati del sistema con memoria cache.

Tempo medio = **0.75*40ns** + **0.25*800ns** = 30 + 200 = **230 ns**

B. Mantenendo invariati Miss Rate e Hit Time, qual è il valore massimo che può avere Miss Penalty affinchè il tempo medio sia inferiore a 200 ns?

0.75*40 ns + **0.25*x** < 200 ns

30 ns + **0.25*x** < 200 ns

x < 170/0.25 ns

x < 680 ns

Memoria fisica e memoria virtuale (Es.3 - TE ?)

Parte A

- Un sistema dispone di 64 Kbyte di memoria fisica indirizzabile e di 128 Kbyte di memoria virtuale indirizzabile; inoltre la memoria virtuale è organizzata in pagine di 512 byte.

- Rispondere alle seguenti domande (giustificando i risultati ottenuti con gli opportuni calcoli):
  1. Quante sono le pagine di memoria virtuale?
  2. Definire la struttura dell'indirizzo virtuale e di quello fisico indicando la lunghezza dei campi che li costituiscono.

Memoria fisica e memoria virtuale (Es.3 - TE ?)

Parte A

- Un sistema dispone di 64 Kbyte di memoria fisica indirizzabile e di 128 Kbyte di memoria virtuale indirizzabile; inoltre la memoria virtuale è organizzata in pagine di 512 byte.

- Rispondere alle seguenti domande (giustificando i risultati ottenuti con gli opportuni calcoli):

1. Quante sono le pagine di memoria virtuale?

64 Kbyte memoria **fisica** = 64*1024 byte

128 Kbyte memoria **virtuale**

512 byte per **pagina** = 0,5 Kbyte

64/0,5 = 128 pagine di memoria **fisica**

128/0,5 = 256 pagine di memoria **virtuale**

Memoria fisica e memoria virtuale (Es.3 - TE ?)

2. Definire la struttura dell'indirizzo virtuale e di quello fisico indicando la lunghezza dei campi che li costituiscono.

512 byte per **pagina** = 0,5 Kbyte

- ogni byte deve essere singolarmente indirizzabile
- 512 "valori" diversi con una sola parola binaria
  - ho bisogno di *ceil(log(2, 512))* = **9 bit**

64/0,5 = 128 pagine di memoria **fisica**

- devo identificare ognuna delle 128 pagine di memoria virtuale
  - ho bisogno di *ceil(log(2, 128))* = **7 bit**

Indirizzo fisico = 9+7 = **16 bit**

128/0,5 = 256 pagine di memoria **virtuale**

- devo identificare ognuna delle 256 pagine di memoria virtuale
  - ho bisogno di *ceil(log(2, 256))* = **8 bit**

Indirizzo virtuale = 9+8 = **17 bit**

Memoria fisica e memoria virtuale (Es.3 - TE ?)

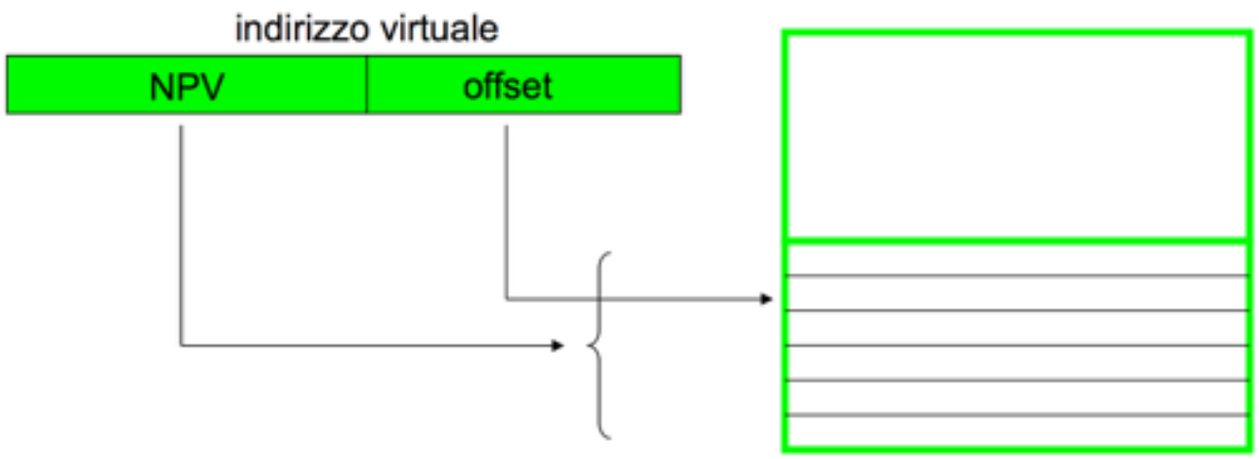
Parte B

- Si consideri un sistema con le seguenti caratteristiche:
  - Indirizzo virtuale di 8 bit
  - Indirizzo fisico di 7 bit
  - Dimensione pagine 16 byte
    - ogni byte deve essere singolarmente indirizzabile
      - 16 “valori” diversi con una sola parola binaria
        - ho bisogno di *ceil(log(2, 16)) =* **4 bit**

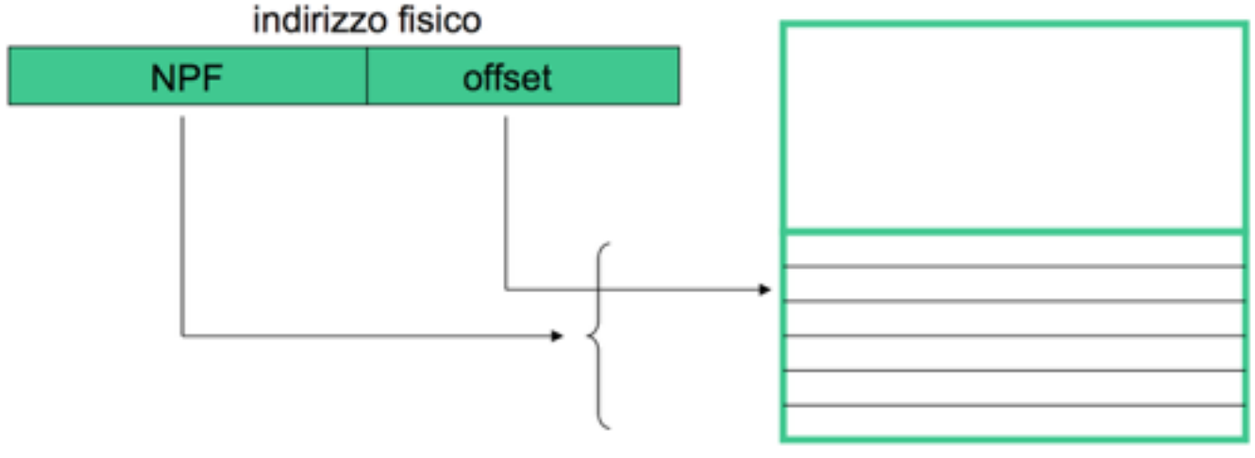
- L’indirizzo virtuale 00101000 può corrispondere all’indirizzo fisico 0010100? Giustificare la risposta.

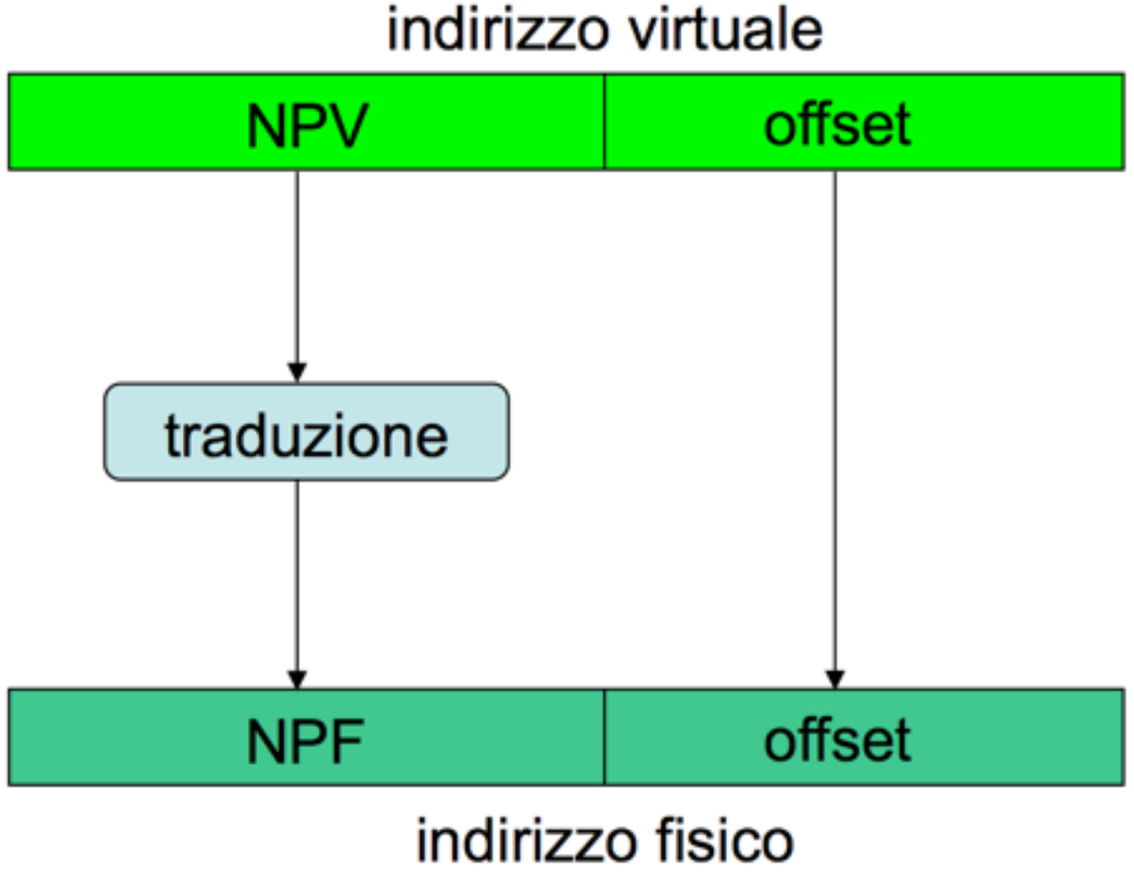
Memoria fisica e memoria virtuale (Es.3 - TE ?)

- Un indirizzo virtuale è costituito da un numero di pagina virtuale (NPV) e da uno spiazzamento (offset) all'interno della pagina



- E' del tutto analoga: si hanno un numero di pagina fisica (NPF) e da uno spiazzamento (offset) all'interno della pagina





le pagine virtuali e quelle fisiche hanno la stessa dimensione, quindi l'offset è lo stesso

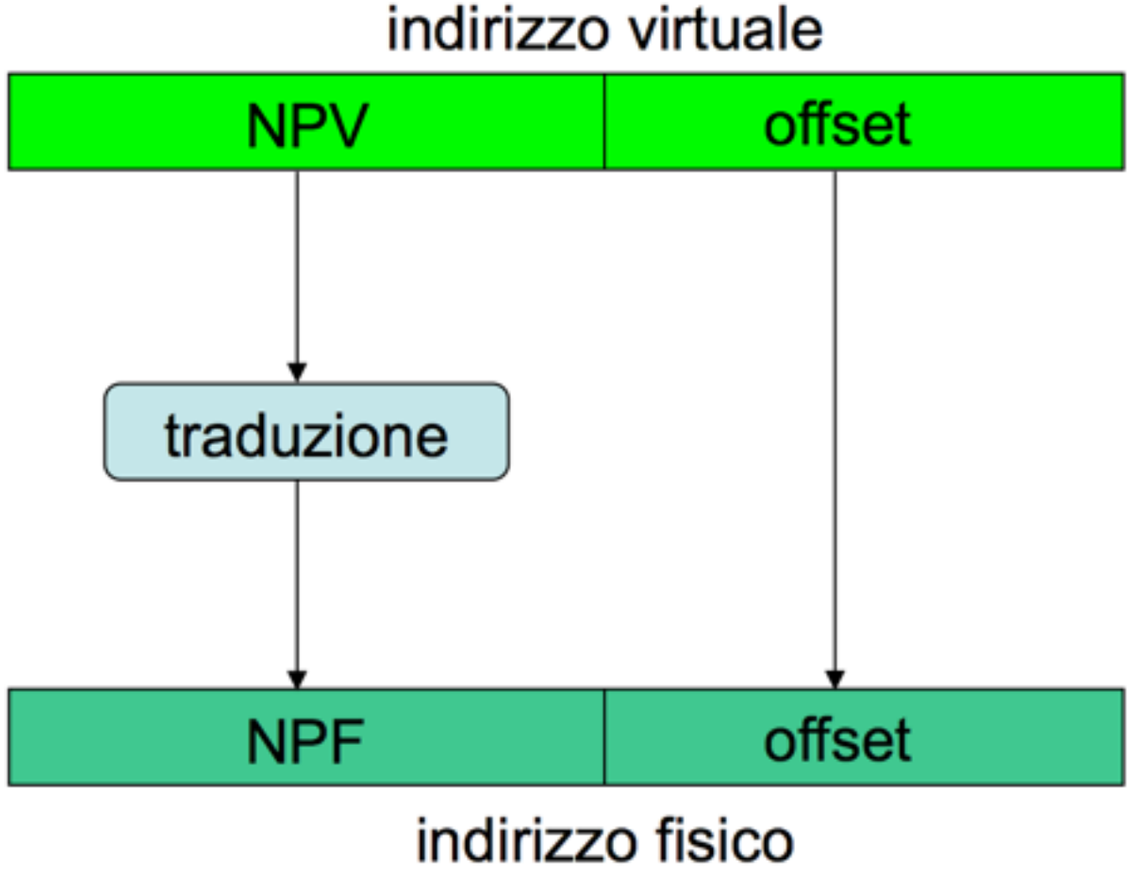
Memoria fisica e memoria virtuale (Es.3 - TE ?)

- Dimensione pagine 16 byte
  -> **4 bit**
- L'indirizzo virtuale **00101000** può corrispondere all'indirizzo fisico **0010100**?

No!

Infatti, il primo indirizzo identifica il bit **1000** della pagina **0010** mentre il secondo identifica il bit **0100** della pagina **001**.

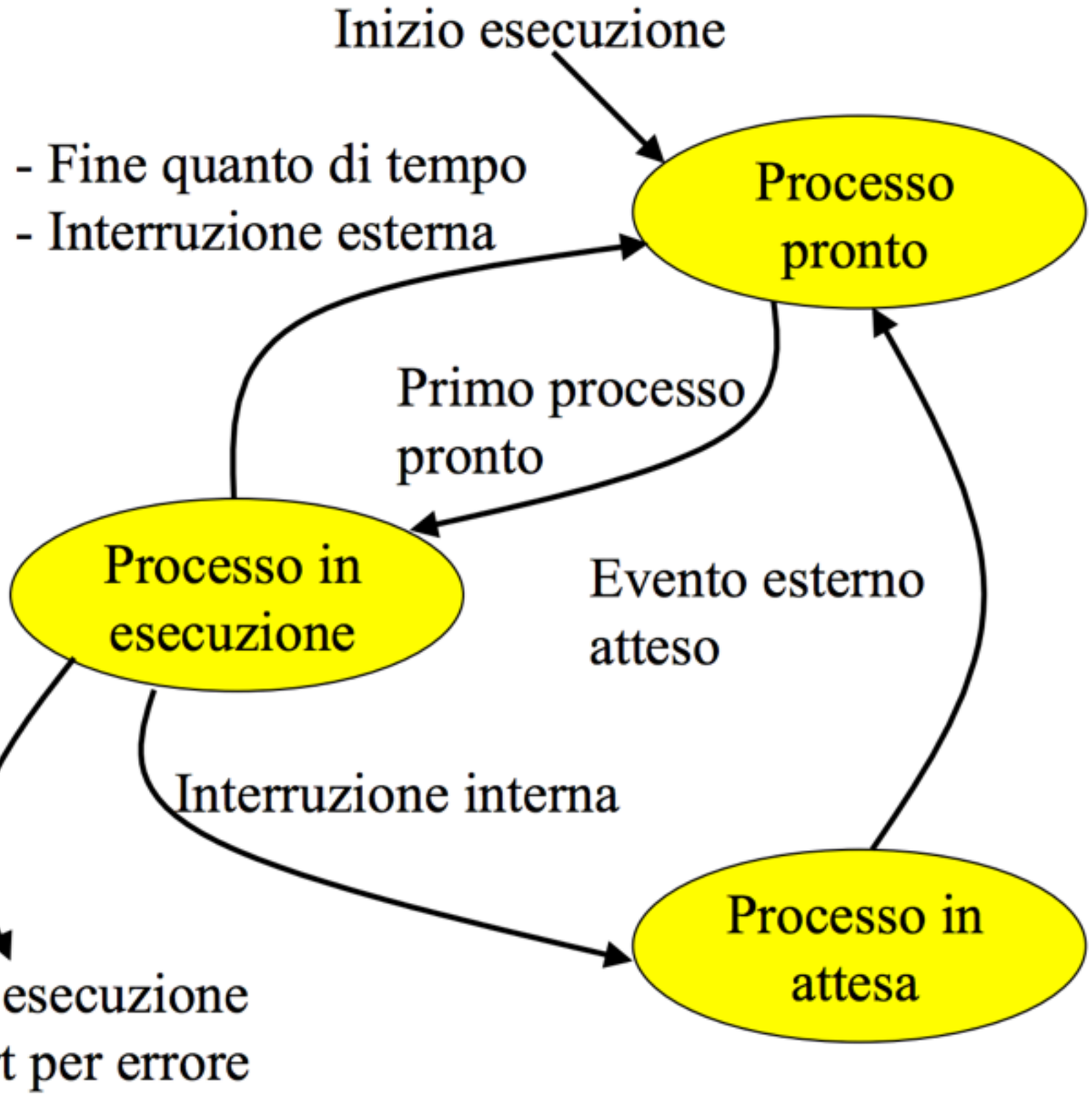
Siccome gli **spiazzamenti** dei bit all'interno delle pagine corrispondenti sono **sempre uguali** — cambiano infatti solo gli indici delle pagine — non abbiamo un match tra gli indirizzi.



le pagine virtuali e quelle fisiche hanno la stessa dimensione, quindi l'offset è lo stesso

Stato dei processi (teoria)

- In **esecuzione**: assegnato al processore ed eseguito da esso
- **Pronto**: può andare in esecuzione, se il gestore dei processi lo decide
- In **attesa**: attende il verificarsi di un evento esterno per andare in stato di pronto



Stato dei processi (Es.4 - TE 19/02/2015)

Si consideri un **sistema monoprocessore** in cui si avviano **quattro diversi processi** (A, B, C, D) che eseguono il seguente programma; si consideri ciascuna delle situazioni elencate qui sotto e si dica se può verificarsi.

```
#include <stdio.h>
int main() {
  int dato, risultato, i;

  while (1){
    risultato=0;
    printf("\n\nInserire un numero intero positivo da tastiera: ");
    scanf("%d", &dato);
    for (i=2; i<(dato/2)+1; i++)
      if (i*i==dato)
      risultato = i;
    printf("\nDato: %d\nRisultato: %d",dato, risultato);
  }
  return 0;
}
```

Stato dei processi (Es.4 - TE 19/02/2015)

1. A, B, C sono tutti e quattro in stato di pronto.

Si – **tutti** gli eseguibili **caricati in memoria** ed associati al rispettivo processo, **in attesa** che lo **scheduler** li metta in esecuzione

```
#include <stdio.h>
int main() {
  int dato, risultato, i;

  while (1){
    risultato=0;
    printf("\n\nInserire un numero intero positivo da tastiera: ");
    scanf("%d", &dato);
    for (i=2; i<(dato/2)+1; i++)
      if (i*i==dato)
      risultato = i;
    printf("\nDato: %d\nRisultato: %d",dato, risultato);
  }
  return 0;
}
```

Stato dei processi (Es.4 - TE 19/02/2015)

2. A, B, C sono tutti e quattro in stato di attesa.

Si – ad esempio tutti **bloccati sulla scanf**

```
#include <stdio.h>
int main() {
  int dato, risultato, i;

  while (1){
    risultato=0;
    printf("\n\nInserire un numero intero positivo da tastiera: ");
    scanf("%d", &dato);
    for (i=2; i<(dato/2)+1; i++)
      if (i*i==dato)
      risultato = i;
    printf("\nDato: %d\nRisultato: %d",dato, risultato);
  }
  return 0;
}
```

Stato dei processi (Es.4 - TE 19/02/2015)

3. A, B, sono in stato di esecuzione e C e D sono in stato di attesa.

No – sistema **monoprocessore**

```
#include <stdio.h>
int main() {
  int dato, risultato, i;

  while (1){
    risultato=0;
    printf("\n\nInserire un numero intero positivo da tastiera: ");
    scanf("%d", &dato);
    for (i=2; i<(dato/2)+1; i++)
      if (i*i==dato)
      risultato = i;
    printf("\nDato: %d\nRisultato: %d",dato, risultato);
  }
  return 0;
}
```

Stato dei processi (Es.4 - TE 19/02/2015)

4. A è in stato di attesa, B è in stato di esecuzione, C e D sono in stato di pronto.

```
#include <stdio.h>
int main() {
  int dato, risultato, i;
  while (1){
    risultato=0;
    printf("\n\nInserire un numero intero positivo da tastiera: ");
    scanf("%d", &dato);
    for (i=2; i<(dato/2)+1; i++)
      if (i*i==dato)
      risultato = i;
    printf("\nDato: %d\nRisultato: %d",dato, risultato);
  }
  return 0;
}
```

Si – ad esempio: **A è bloccata** sulla scanf, **B è in esecuzione** sul processore, **C e D sono pronti**, in attesa che lo scheduler li metta in esecuzione

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

- Si consideri la seguente funzione di ordine superiore:

```
function r = fun(v,f)
  r = v(1);
  for i = 2:length(v)
    r = f(r,v(i));
  end
```

A. Qual è il valore ritornato dalla chiamata **fun([8 9 10 9 6 0],@max)**? Giustificare la risposta. max è una funzione offerta dalla libreria di Matlab. In particolare, se X e Y sono due scalari, max(X,Y) ritorna il maggiore tra i due valori.
B. Dire che cosa fa la funzione fun quando l'argomento v è un vettore numerico (di lunghezza pari almeno ad 1) ed f è @max
C. Implementare una versione ricorsiva della funzione fun che non richieda di utilizzare cicli (for o while). L'intestazione della funzione deve rimanere invariata.

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

A. Qual è il valore ritornato dalla chiamata **fun([8 9 10 9 6 0],@max)**?

```
function r = fun(v,f)
  r = v(1);
  for i = 2:length(v)
    r = f(r,v(i));
  end
```

v = **[8 9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**

r = 8

i = 2 , f(**8**, **9**) = max(8,9) r = 9
i = 3 , f(9, **10**) = max(9,10) r = 10
i = 4 , f(10, **9**) = max(10,9) r = 10
i = 5 , f(10, **6**) = max(10,6) r = 10
i = 6 , f(10, **0**) = max(10,0) **r = 10**

B. Dire che cosa fa la funzione fun quando l'argomento v è un vettore numerico (di lunghezza pari almeno ad 1) ed f è @max

La funzione restituisce **l'elemento di maggior valore di v**

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

C. Implementare una versione ricorsiva della funzione fun che non richieda di utilizzare cicli (for o while). L'intestazione della funzione deve rimanere invariata.

```
function r = fun(v,f)
  n = length(v);
  if n == 1
    r = v;
  else
    r = f(v(1),fun(v(2:end),f));
  end
```

```
function r = fun(v,f)
  r = v(1);
  for i = 2:length(v)
    r = f(r,v(i));
  end
```

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

```
function r = fun(v,f)
  n = length(v);
  if n == 1
     r = v;
  else
     r = f(v(1),fun(v(2:end),f));
  end
```

fun(**[8 9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**)

r = **max**(**8** , fun(**[9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**9** , fun(**[10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**10** , fun(**[9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**9** , fun(**[6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**6** , fun(**[0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **0**

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

```
function r = fun(v,f)
  n = length(v);
  if n == 1
     r = v;
  else
     r = f(v(1),fun(v(2:end),f));
  end
```

fun(**[8 9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**)

r = **max**(**8** , fun(**[9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**9** , fun(**[10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**10** , fun(**[9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**9** , fun(**[6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**6** , 0) = 6

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

```
function r = fun(v,f)
  n = length(v);
  if n == 1
     r = v;
  else
     r = f(v(1),fun(v(2:end),f));
  end
```

fun(**[8 9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**)

r = **max**(**8** , fun(**[9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**9** , fun(**[10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**10** , fun(**[9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**9** , 6) = 9

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

```
function r = fun(v,f)
  n = length(v);
  if n == 1
     r = v;
  else
     r = f(v(1),fun(v(2:end),f));
  end
```

fun(**[8 9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**)

r = **max**(**8** , fun(**[9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**9** , fun(**[10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

r = **max**(**10** , 9) = 10

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

```
function r = fun(v,f)
  n = length(v);
  if n == 1
     r = v;
  else
     r = f(v(1),fun(v(2:end),f));
  end
```

fun(**[8 9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**)

...

r = **max**(**8** , fun(**[9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**))

...

r = **max**(**9** , 10) = 10

Ordine superiore (Es3 - TE 19/2/2015)

```
function r = fun(v,f)
  n = length(v);
  if n == 1
     r = v;
  else
     r = f(v(1),fun(v(2:end),f));
  end
```

fun(**[8 9 10 9 6 0]** , f = **max(X,Y)**) ⟶ 10

...

r = **max**(**8** , 10) = 10

Iterazione vs. Ricorsione (Es.3 - TE 19/02/2015)

- Scrivere in MATLAB la funzione **ricorsiva** che, preso in ingresso un vettore P di K elementi interi ed un numero h (con K < h), restituisca al chiamante il vettore *"ruotato a destra"* di h posizioni.
- Si scriva quindi una seconda funzione che risolve lo stesso problema in maniera **iterativa**.

Esempio:

Input: P = [1, 2, 3, 4, 5, 6] , h = 3

Output: P = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

Iterazione (Es.3 - TE 19/02/2015)

```
function out = g(P, h)
        if (h<1)
            return
        end
        for H=1:h
            P = [P(end) P(1:end-1)];
        end
        out = P;
end
```

H = 0, **P** = [1, 2, 3, 4, 5, 6]

H = 1, **P** = [**6**, 1, 2, 3, 4, 5]

H = 2, **P** = [**5**, **6**, 1, 2, 3, 4]

H = 3, **P** = [**4**, **5**, **6**, 1, 2, 3]

Ricorsione (Es.3 - TE 19/02/2015)

```
function out = rec(P, h)
    if (h==0)
        out = P;
    else
        out = rec([P(end) P(1:end-1)],h-1);
end
```

```
rec( [1, 2, 3, 4, 5, 6], 3)
    ...
    out = rec( [6, 1, 2, 3, 4, 5], 2)
            ...
            out = rec( [5, 6, 1, 2, 3, 4], 1)
                    ...
                    out = rec( [4, 5, 6, 1, 2, 3], 0)
                            ...
                            out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]
```

Ricorsione (Es.3 - TE 19/02/2015)

```
function out = rec(P, h)
    if (h==0)
        out = P;
    else
        out = rec([P(end) P(1:end-1)],h-1);
end
```

```
rec( [1, 2, 3, 4, 5, 6], 3)
    …
    out = rec( [6, 1, 2, 3, 4, 5], 2)
            …
            out = rec( [5, 6, 1, 2, 3, 4], 1)
                    …
                    out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]
                            …
                            out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]
```

Ricorsione (Es.3 - TE 19/02/2015)

```
function out = rec(P, h)
    if (h==0)
        out = P;
    else
        out = rec([P(end) P(1:end-1)],h-1);
end
```

```
rec( [1, 2, 3, 4, 5, 6], 3)
    …
    out = rec( [6, 1, 2, 3, 4, 5], 2)
            …
            out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]
                    …
                    out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]
                            …
                            out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]
```

Ricorsione (Es.3 - TE 19/02/2015)

```
function out = rec(P, h)
    if (h==0)
        out = P;
    else
        out = rec([P(end) P(1:end-1)],h-1);
end
```

rec([1, 2, 3, 4, 5, 6], 3)

…

out = **[4, 5, 6, 1, 2, 3]**

…

out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

…

out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

…

out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

Ricorsione (Es.3 - TE 19/02/2015)

```
function out = rec(P, h)
    if (h==0)
        out = P;
    else
        out = rec([P(end) P(1:end-1)],h-1);
end
```

rec([1, 2, 3, 4, 5, 6], 3) → **[4, 5, 6, 1, 2, 3]**

…

out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

…

out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

…

out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

…

out = [4, 5, 6, 1, 2, 3]

Congettura di Goldbach (Es.1 - TE 19/02/2

Scorsa esercitazione

- In matematica, la **congettura di Goldbach** è uno dei più vecchi problemi irrisolti nella teoria dei numeri. Essa afferma che *ogni numero pari maggiore di 2 può essere scritto come somma di due numeri primi* (che possono essere anche uguali).

- Si scriva quindi una funzione in MATLAB (chiamata ***goldbach***) che, dato un numero pari, stampa a video i due numeri primi che sommati lo compongono. Nel realizzare la funzione goldbach, si consiglia di **utilizzare una seconda funzione**, chiamata ***primo***, che dato un numero x in ingresso dica se tale numero sia primo o meno. L'interfaccia della funzione primo è la seguente:

```
function [ris] = primo(x)
```

- Nota: questa esercizio richiede quindi la creazione di UNA SOLA funzione: goldbach

Congettura di Goldbach (Es.1 - TE 19/02/2

Scorsa esercitazione

```
function [x,y] = goldbach(n, primo)

    if (mod(n,2) ~= 0 || n<=2)
        return
    end

    for x=2:n
        if (primo(x))
            for y=2:x
                if (primo(y))
                    if ((x+y) == n)
                        display([num2str(x) ' + '  num2str(y)])
                        return
                    end
                end
            end
        end
    end
end

display 'congettura errata *_*'
```

Esempio di uso di *goldbach*

Scorsa esercitazione

```
% Esempio di invocazione goldbach
numero = 936;

primo = @(x) numeroPrimoIterativa(x);
goldbach(numero, primo);
```

```
primo = @(x) numeroPrimoRicorsiva(x,2);
goldbach(numero, primo);

primo = @(x) numeroPrimoVettoriale(x);
goldbach(numero, primo);
```