

Corso di Calcolatori Elettronici I

Architettura di un calcolatore: introduzione

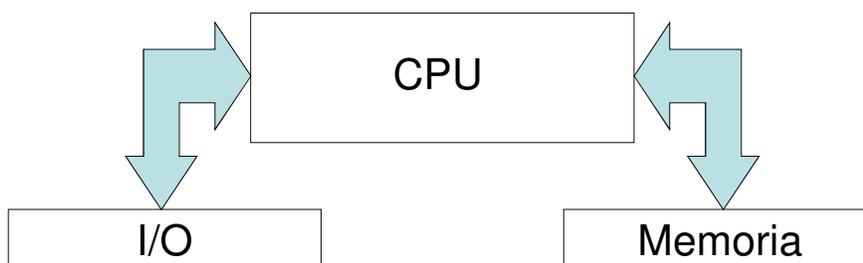
Prof. Roberto Canonico



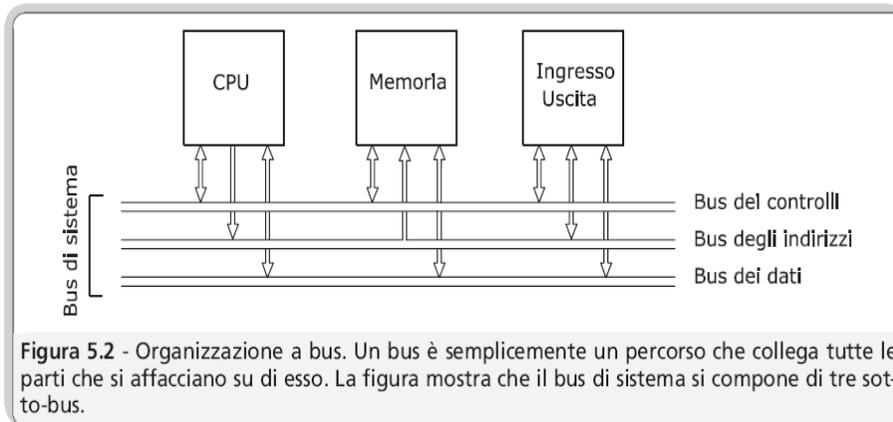
Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Elettrica
e delle Tecnologie dell'Informazione
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione

Calcolatore: sottosistemi

- Processore o CPU (*Central Processing Unit*)
- Memoria centrale
- Sottosistema di input/output (I/O)



Calcolatore: organizzazione a bus



da: G. Bucci. Calcolatori Elettronici – Architettura e organizzazione. © McGraw-Hill, 2009

Il processore o CPU



Processore o CPU

CPU: struttura interna

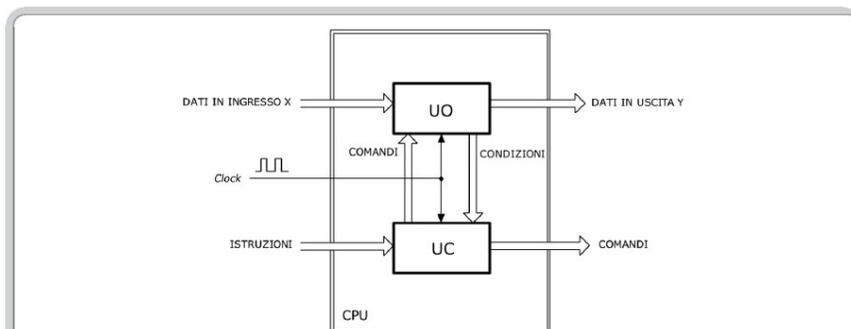


Figura 5.8 - Struttura generale della CPU. Lo schema mette in evidenza due parti: l'unità operativa (UO) e l'unità di controllo (UC). Lo schema mostra anche i flussi informativi tra UC e UO e tra l'intera CPU e l'esterno [LP86].

Il funzionamento della CPU è scandito dal clock.

da: G. Bucci. Calcolatori Elettronici – Architettura e organizzazione. © McGraw-Hill, 2009

CPU: struttura interna (2)

- Componenti fondamentali del processore:
 - Unità di controllo
 - registro Program Counter (PC) o Prossima Istruzione
 - Instruction Register o registro di decodifica (IR o D)
 - registri di Macchina
 - Unità aritmetico-logica (ALU)
 - Sezione di Collegamento con la memoria
 - registro degli indirizzi di memoria o Memory Address Register MAR
 - registro di transito dei dati dalla memoria DTR o Memory Buffer MB
 - Sezione di Collegamento con Ingresso-Uscita

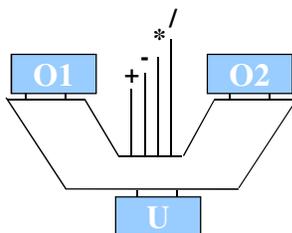
- Il *linguaggio macchina* di un processore è costituito dalla codifica in binario delle istruzioni eseguibili dal processore

Registri della CPU

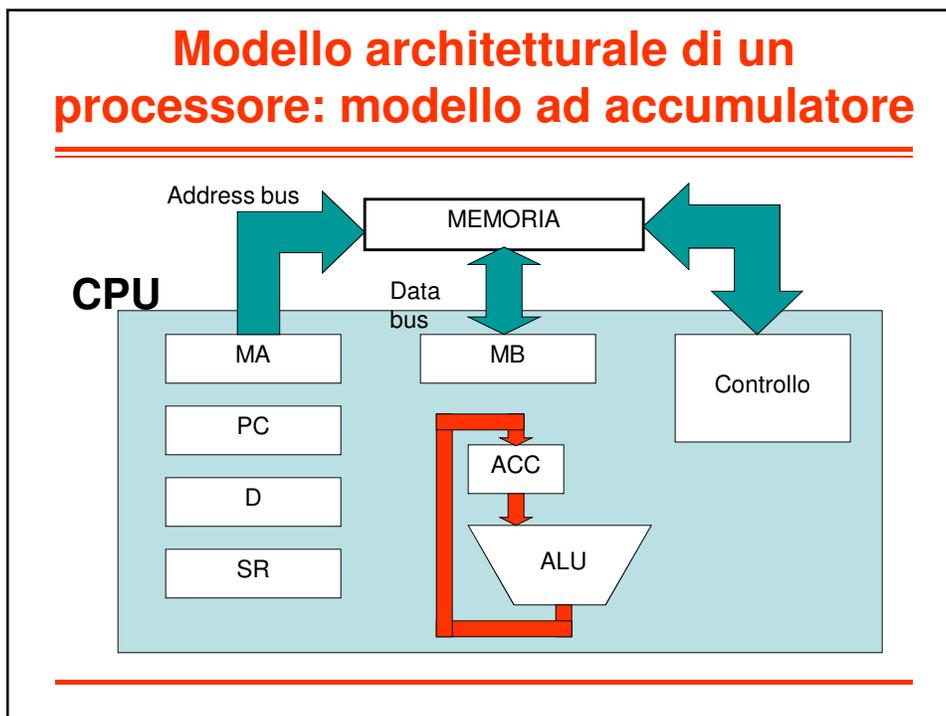
- Registri interni
 - » Necessari al funzionamento del processore
 - » Non direttamente visibili al programmatore
 - » non appartengono al *modello di programmazione*
 - » Es. MAR, MDR, IR, ...
- Registri di macchina
 - » Visibili al programmatore
 - » appartengono al *modello di programmazione*
 - Registri generali (R0, R1, Rn-1)
 - Registri speciali (PC, SR, ...)

Unità Aritmetico-Logica (ALU)

- L'Unità di controllo fornisce alla ALU gli operandi, insieme ad un comando che indica l'operazione da effettuare
- Gli operandi sono copiati nei registri di ingresso della ALU (O1, O2)
- La ALU esegue l'operazione e pone il risultato nel registro risultato (U); inoltre, altera il valore dei flag del registro di stato (SR) in funzione del risultato



Modello architetturale di un processore: modello ad accumulatore

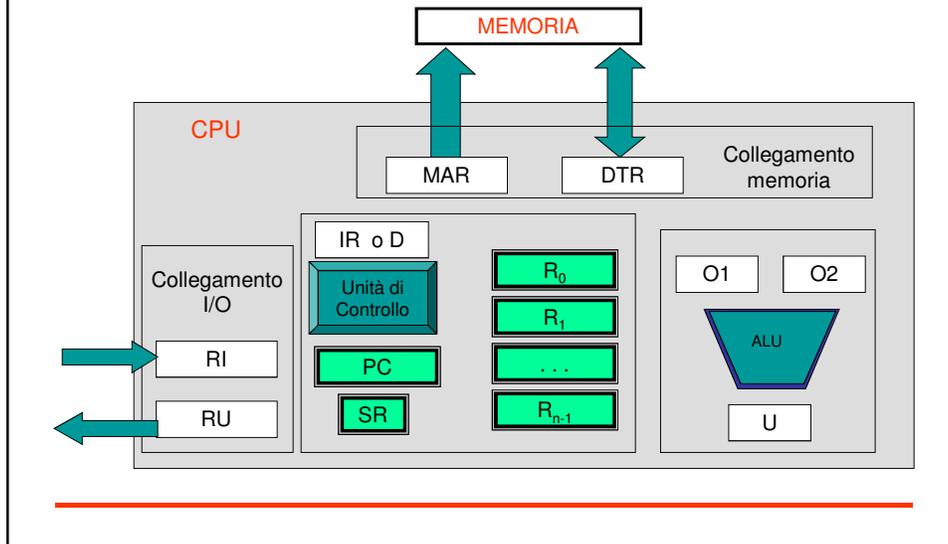


Processori ad accumulatore

- In un processore ad accumulatore tutte le istruzioni aritmetiche, logiche e di confronto hanno un operando in memoria ed un altro (riferito implicitamente) contenuto in un registro interno del processore detto *accumulatore*
- Esempio: per realizzare $[x]+[y] \rightarrow z$ con una macchina ad accumulatore (es. Motorola 6809) occorre eseguire una sequenza di istruzioni del tipo

LDA x	[x] → accumulatore (Istruzione LOAD)
ADDA y	[y]+[accumulatore] → accumulatore
STA z	[accumulatore] → z (Istruzione STORE)
- Dimensione e velocità di esecuzione dei programmi penalizzate dal fatto che tutte le istruzioni devono indirizzare un dato in memoria

Modello architetturale di un processore: modello a registri generali



CPU: struttura interna ad 1 bus

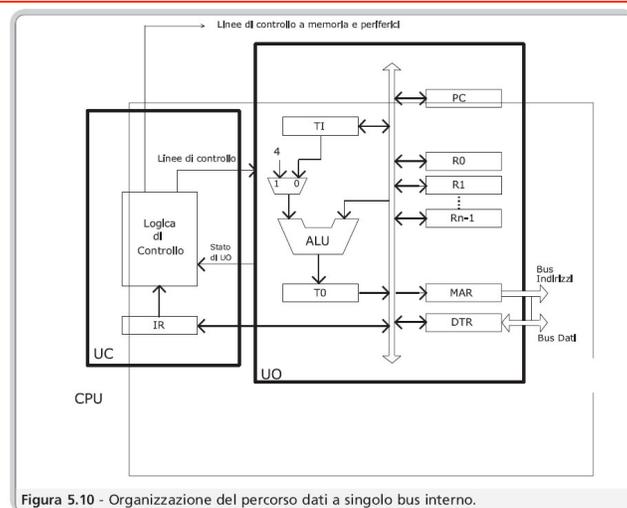


Figura 5.10 - Organizzazione del percorso dati a singolo bus interno.

da: G. Bucci. Calcolatori Elettronici – Architettura e organizzazione. © McGraw-Hill, 2009

Processore a registri generali

- Il processore dispone di un set di registri R_0, R_1, \dots, R_{N-1} utilizzabili indifferentemente dal programmatore
 - Le istruzioni che operano su registri sono più veloci di quelle che operano su locazioni di memoria
 - Il programmatore può utilizzare i registri del processore per memorizzare i dati di uso più frequente
 - concetto di gerarchia di memorie
 - Istruzioni con operandi registri:
 $[R_0] + [R_1] \rightarrow R_1$
 - Istruzioni con operandi memoria-registri:
 $[R_0] + M[1000] \rightarrow R_0$ *memory-to-register*
 $M[1000] + [R_1] \rightarrow M[1000]$ *register-to-memory*
-

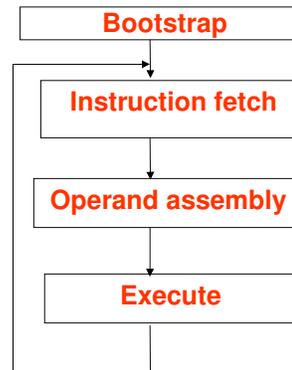
Algoritmo del Processore

- **Prelievo dell'istruzione (Fetch)**
 - La CPU preleva dalla memoria l'istruzione il cui indirizzo è in PC
 - L'istruzione viene copiata nel registro IR
 - **Decodifica / prelievo degli operandi (Operand Assembly)**
 - L'unità di controllo esamina il contenuto di IR e ricava il tipo di operazione ed i relativi operandi
 - Eventuali operandi contenuti in memoria vengono prelevati
 - **Esecuzione dell'istruzione (Execute)**
 - L'unità di controllo richiede all'ALU di effettuare l'operazione specificata nell'istruzione ed invia il risultato ad un registro o alla memoria
-

Algoritmo del processore

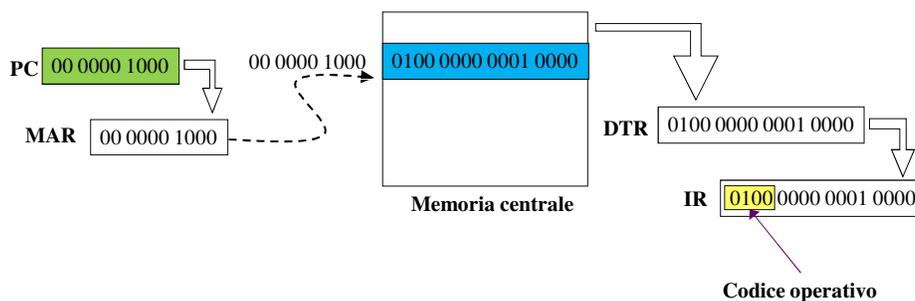
- L'unità di controllo opera in un ciclo infinito:
 1. Prelievo
 2. Preparazione degli operandi
 3. Esecuzione

Nella fase di bootstrap il ciclo viene inizializzato;
viene assegnato un valore iniziale opportuno a PC in modo da avviare l'esecuzione di un programma iniziale in ROM



Fase fetch

- $IR = M[PC]; PC = PC + k$



Fase fetch: sottopassi

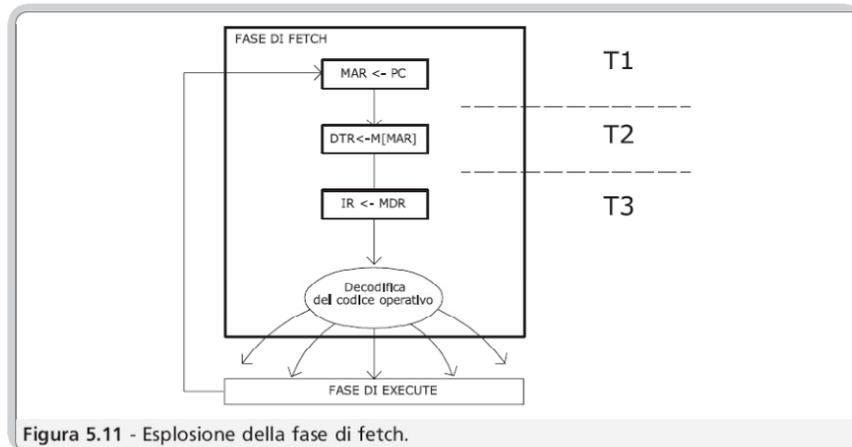
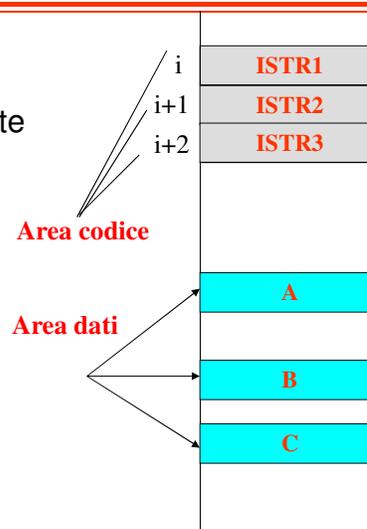


Figura 5.11 - Esplosione della fase di fetch.

da: G. Bucci. Calcolatori Elettronici – Architettura e organizzazione. © McGraw-Hill, 2009

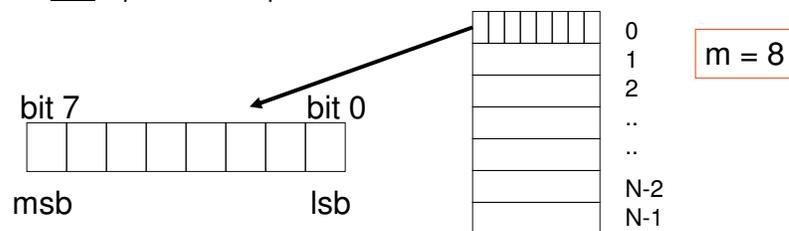
Esecuzione sequenziale delle istruzioni

- Alla fine della fase fetch:
 - $PC = PC + k$
 - k = lunghezza istruzioni in byte
- serve a far sì che PC punti all'istruzione posta subito dopo
- Esecuzione delle istruzioni in sequenza così come sono memorizzate
- Per cicli e figure di controllo (if-then, if-then-else, switch) occorrono istruzioni di salto

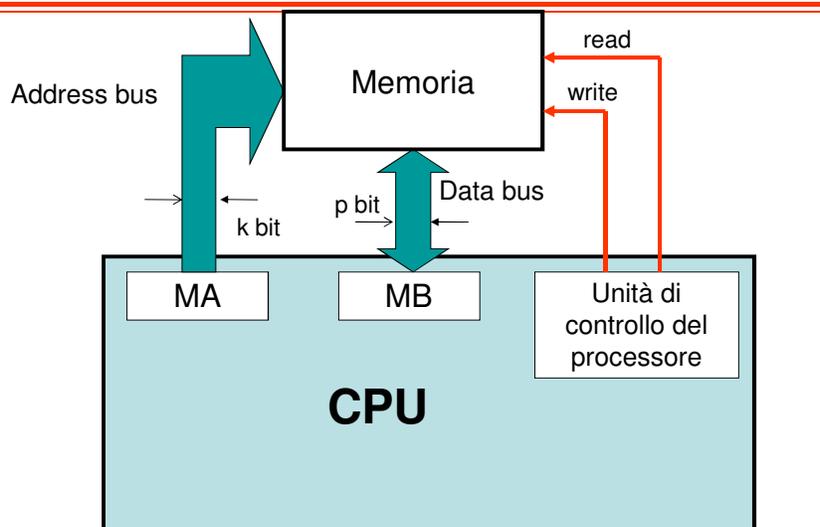


La memoria centrale

- La memoria centrale di un computer è organizzata come un array di stringhe di bit di lunghezza m , dette *locazioni*
- Gli m bit di una locazione sono accessibili dal processore (in lettura/scrittura) mediante un'unica operazione
- Ogni locazione è individuata da un *indirizzo*, cioè un intero compreso tra 0 e $N-1$, con $N = 2^k$
 - » $[0, N-1]$ = SPAZIO DI INDIRIZZAMENTO
- La memoria centrale è *ad accesso casuale* (RAM) cioè il tempo di accesso non dipende dalla posizione del dato



Interazione processore-memoria



Processori a carattere e processori a parola

- I processori “a carattere” accedono alla memoria con parallelismo 1 byte (8 bit)
 - prime CPU ad accumulatore
- I processori “a parola” hanno la capacità di indirizzare ed accedere la memoria per unità (parole o *word*) di 16 bit, 32 bit o 64 bit
- In questi sistemi (tranne pochissime eccezioni nel passato) l’unità indirizzabile di memoria (*locazione*) è ancora il byte
 - Si parla di sistemi a memoria *byte-addressable*: ogni byte ha il suo indirizzo
- Terminologia Motorola 68000:
word = 2 byte, longword = 4 byte

Big-endian e little-endian

- I processori possono disporre in memoria i byte che formano una parola da 16, 32 o 64 bit in 2 modi

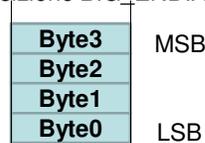
- *Big-endian*:

i byte sono disposti in memoria in modo che il più significativo MSB occupi la locazione di memoria di indirizzo minore, e poi via via gli altri, fino a quello meno significativo LSB che è collocato nella locazione di indirizzo maggiore

- *Little-endian*: disposizione opposta

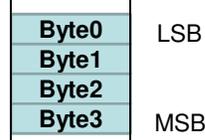
- Il processore Motorola 68000 usa la convenzione Big Endian

Disposizione BIG ENDIAN



Indirizzi crescenti

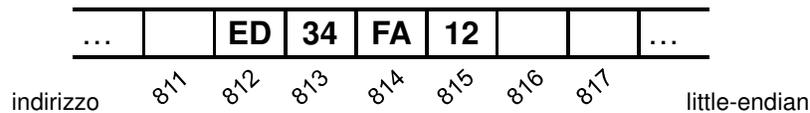
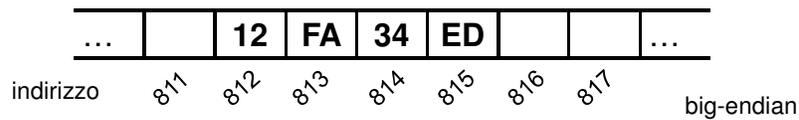
Disposizione LITTLE ENDIAN



Indirizzi crescenti

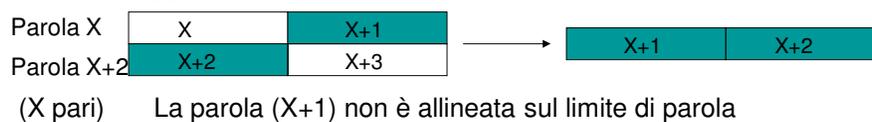
Big-endian e little-endian: un esempio

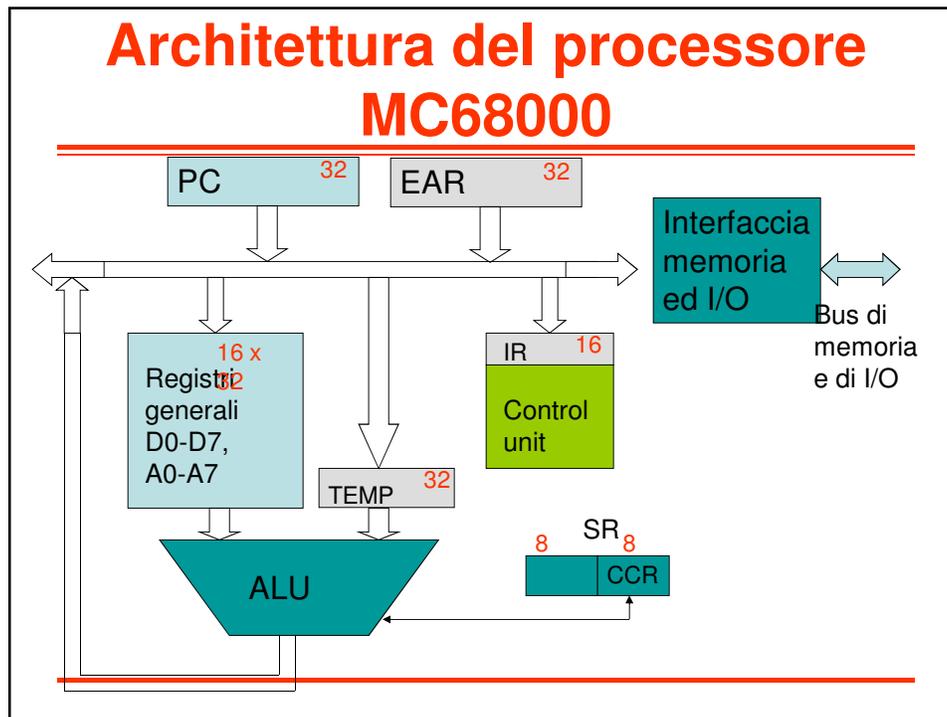
- Immaginiamo di avere un processore a parola, con parole di 32 bit (4 byte) e voler scrivere in memoria il valore intero (esadecimale) **\$12FA34ED** all'indirizzo **812**
- Le figure sottostanti illustrano il contenuto della memoria nei due casi big-endian e little-endian



Memoria: parole allineate e non

- Per un processore a parola di 16 bit, una *parola* che inizia ad un indirizzo pari si dice “allineata sul limite di parola”
- Tipicamente, un tale processore è in grado di accedere ai due byte che costituiscono una parola allineata mediante una sola operazione di lettura
- Il processore 8086 consente l'utilizzo di parole non allineate, cioè parole che iniziano ad un indirizzo dispari, ma in tal caso sono necessari 2 distinti accessi in memoria
- Il processore 68000 NON consente l'accesso a parole non allineate

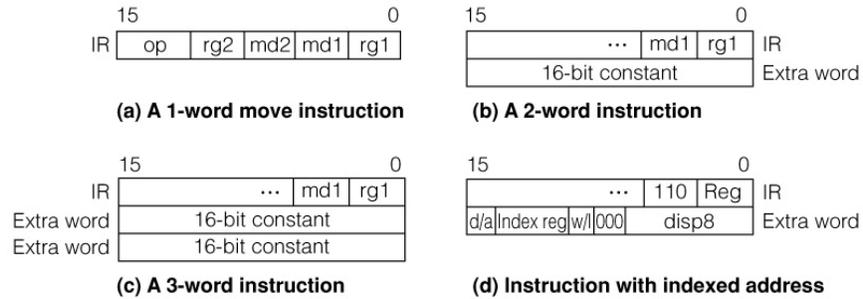




Caratteristiche del processore MC68000

- Dati:
 - All'esterno:
 - parola di 16 bit (16 pin per i dati)
 - All'interno:
 - registri di 32 bit
- Indirizzi:
 - All'esterno:
 - 24 bit (spazio di indirizzamento fisico $2^{24} = 16M$)
 - 512 pagine (2^9) da 32K (2^{15})
 - All'interno:
 - 32 bit

Codifica istruzioni MC68000

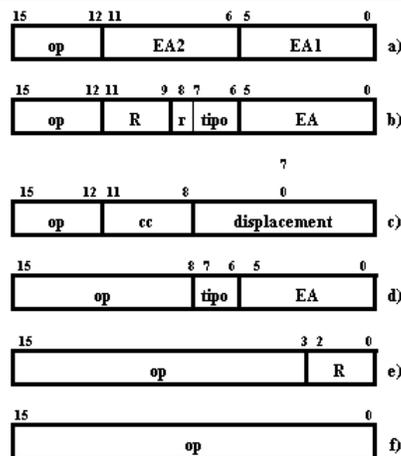


**Codifica a lunghezza variabile multipla di 2 byte:
opcode word + extra word(s)**

Copyright © 2004 Pearson Prentice Hall, Inc.

Codifica istruzioni MC68000 (2)

Si analizza qui solo la struttura della prima word (16 bit) del codice di una istruzione, detta OPCODE WORD

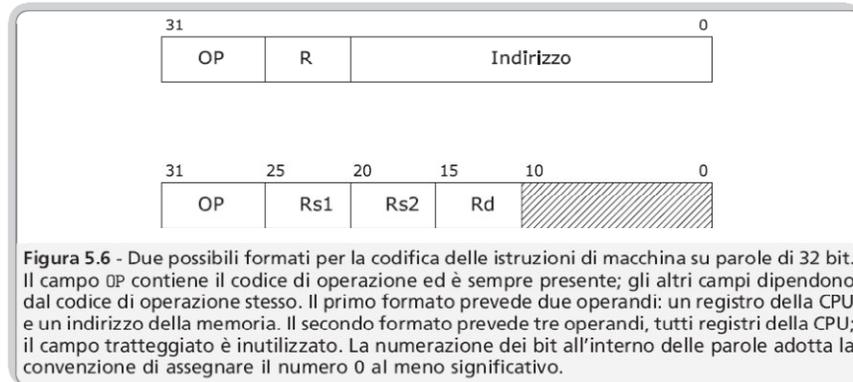


op= codice operativo
 R =indirizzo di registro D oppure A
 tipo= tipo di operando (B,W,L)
 displacement =indirizzo di salto relativo

EA = Effective Address (cfr. § 4)
 r =il registro è origine o destinazione
 cc= codice di condizione

Codifica delle istruzioni di un processore in stile RISC

ESEMPIO: una CPU con istruzioni a lunghezza fissa di 32 bit



LD R1, Var ; R1 ← M[Var]

ADD R1, R2, R3 ; R1 ← R2 + R3

da: G. Bucci. Calcolatori Elettronici – Architettura e organizzazione. © McGraw-Hill, 2009

Sequenze di istruzioni in memoria

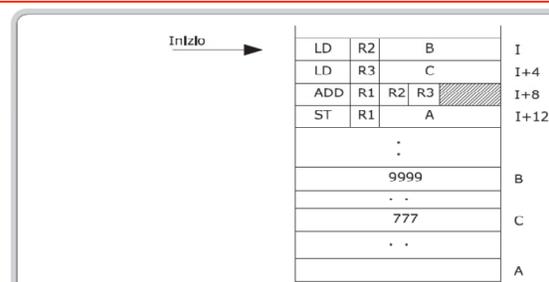


Figura 5.7 - Mappa della memoria con le tre variabili e la sequenza di istruzioni equivalenti allo statement C "a = b+c" per il caso della seconda soluzione. Si è fatta l'ipotesi che la variabile b valga 9999 e che la variabile c valga 777. Dopo l'esecuzione del tratto di codice, nella posizione A si trova il numero 10776, qualunque sia il contenuto precedente della cella, mentre il contenuto delle altre due è immutato.

Lo statement $a = b + c$ si traduce come:

LD R2, B ;B indirizzo a cui è allocata la parola b
 LD R3, C ;C indirizzo a cui è allocata la parola c
 ADD R1, R2, R3
 ST A, R1 ;A indirizzo a cui è allocata la parola a

da: G. Bucci. Calcolatori Elettronici – Architettura e organizzazione. © McGraw-Hill, 2009