UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Corso di Laurea in

"Ingegneria Informatica, Elettronica e delle Telecomunicazioni"

Architettura dei Calcolatori Elettronici

Linguaggio Assembly 8086

Andrea Prati

I LINGUAGGI ASSEMBLY

Caratteristiche dei linguaggi Assembly

- Sono linguaggi di basso livello
- Vi è corrispondenza uno a uno con le istruzioni del linguaggio macchina
- I simboli mnemonici utilizzati sono associati a
  - Istruzioni
  - sequenze di istruzioni
  - indirizzi di memoria
  - aree di memoria
  - dispositivi di I/O
- Possibilità di utilizzare al meglio la macchina hardware
- La stesura di un programma Assembly è molto complessa
- Possibilità, nei macro-assemblatori, di definire macro-istruzioni
- Possibilità di introdurre nel programma chiamate di libreria

Statements

- Un programma Assembly è composto di **Statements**. Ogni statement comprende una direttiva per l'Assemblatore e corrisponde ad una riga del programma.
- Se la direttiva corrisponde ad una istruzione macchina eseguibile dalla CPU, essa è detta **Istruzione**, altrimenti è una Pseudo-Istruzione.
- Nel seguito verranno quindi analizzate:
  - Istruzioni
    - Etichette
    - Codici Operativi
    - Operandi
  - Pseudo-Istruzioni
  - Macro
  - Commenti

Istruzioni

- Vengono tradotte dall'Assemblatore in istruzioni macchina. Ogni istruzione è composta in generale da:
  - una **Etichetta** (o Label)
  - un **Codice Operativo** (o Operation Code)
  - uno o più **Operandi** (o Operands)
- Esempio:

```
Label   OpCode      Operand(s)
START:  MOV         AX, BX
        CMP         AX, 12h
        JZ          EQUAL
        INT         21h
        RET
EQUAL:  ...
        ...
```

Etichette

- Sono identificatori associati ad una istruzione; l'assemblatore le sostituisce con l'indirizzo dell'istruzione che rappresentano.
- Offrono i seguenti vantaggi:
  - permettono di trovare più facilmente un punto del programma
  - permettono di non avere a che fare con indirizzi fisici
  - facilitano la modifica del programma

- Esempio:

```
                              (0111)
                  010C   JLE DIGIT1
                  010E   SUB DL
        DIGIT1:   0111   MOV CL, 2
                  0113   SHL DL, 1
```

Codici operativi

- È lo mnemonico di un'istruzione assembly: in altri termini specifica l'operazione che deve essere eseguita dalla CPU
- È l'unico campo che non può mai mancare in un'istruzione

- Esempio:

```
START:  MOV     AX, BX
        CMP     AX, 12h
        JZ      EQUAL
        INT     21h
        RET
EQUAL:  ...
        ...
```

Operandi

- Contiene l'indicazione necessaria a reperire gli operandi (uno o più, a seconda dei casi) richiesti dall'istruzione.
- Sulla base di quanto indicato in questo campo, la CPU provvederà, durante l'esecuzione del programma, a reperire gli operandi:
  - nell'istruzione stessa
  - in un registro
  - in memoria
  - su una porta di I/O

- Esempio:

```
MOV AX, 2
MOV AX, BX
MOV AX, VALORE
IN AX, DX
```

Pseudo-istruzioni

- Sono comandi utilizzati durante il processo di assemblaggio (dall'Assemblatore o Assembler), che non vengono tradotti in istruzioni macchina eseguibili dalla CPU.

- Esempio:

```
SECTION DATA
LETTURA_SN          ;Inizio procedura LETTURA_SN
END                 ;Fine del codice da assemblare
```

Macro

- Sono comandi utilizzati per semplificare la stesura di un programma complesso in cui c'è la necessità di ripetere più volte determinati segmenti di codice.
- Vengono tradotti in sequenze di istruzioni macchina eseguibili dalla CPU.
- Esempio:

```
%macro SHIFT_LEFT_AX_4 0
        SHL AX, 1
        SHL AX, 1
        SHL AX, 1
        SHL AX, 1
%endmacro
%macro LOAD_AX_AND_MUL_16 1
        MOV AX, %1
        SHIFT_LEFT_AX_4
%endmacro

        MOV AX, [MEM]
        SHIFT_LEFT_AX_4
        MOV BX, AX
        LOAD_AX_AND_MUL_16 20
        MOV BX, AX
        ...
```

Commenti

- Sono parole o frasi inserite dal programmatore per rendere il programma più comprensibile; servono al programmatore stesso e a chi analizzerà in futuro il codice. Vengono ignorati dall'assemblatore, che si limita a visualizzarli quando si richiede il listato del programma. Tutti i caratteri compresi tra un ';' e un < CR >, vengono considerati commenti.
- Devono essere utili ed esplicativi; ad esempio:

```
; programma mal commentato
      START:  MOV AX, BX    ;Carico AX con il contenuto di BX
              CMP AX, 24    ;Confronto AX con il valore 24 dec.
              JZ EQUAL      ;Se AX=24 allora salta a EQUAL
              INT 21h       ;Chiama l'INTERRUPT numero 21 hex.
              RET           ;Ritorna alla procedura chiamante
      EQUAL:  ...

; programma ben commentato
      START:  MOV AX, BX    ;Carico in AX il numero della riga
              CMP AX, 24    ;Se sono al termine dello schermo
              JZ EQUAL      ; allora non scrivo nulla
              INT 21h       ;Scrivi la prossima riga del testo
              RET           ;Ritorna
      EQUAL:  ...
```

Vantaggi dei programmi Assembly

- L'utilizzo del linguaggio Assembly anzichè di un linguaggio ad alto livello (tipo C o Pascal) è talvolta giustificato dalla maggiore efficienza del codice; infatti i programmi in Assembly sono tipicamente:
  - più veloci,
  - più corti,
  - ma più complessi

  dei programmi scritti in linguaggi ad alto livello.
- La maggior complessità è data dal fatto che anche le più comuni routines devono essere sintetizzate dal programmatore (talvolta per semplificare la programmazione e per aumentare la compatibilità del codice, si utilizzano librerie general purpose, ma sono ovviamente meno efficienti).
- Come esempio si consideri un programma per stampare i numeri pari da 0 a 100:
- Il programma BASIC è:

```
100 I=0
110 PRINT I
120 I=I+2
130 IF I<100 GOTO 110
```

Vantaggi dei programmi Assembly

- Il codice Assembly generato da un compilatore BASIC è il seguente:

```
I           DW ?
L00100:     MOV I, 0
L00110:     MOV AX, I
            CALL STAMPA
L00120:     MOV AX, I
            ADD AX, 2
            MOV I, AX
L00130:     MOV AX, I
            CMP AX, 100
            JB L00110
```

- Si notano almeno due semplici modifiche, che ne migliorano notevolmente le prestazioni:
  - L'uso di registri al posto di locazioni di memoria
  - L'uso di particolari caratteristiche dell'Assembly

Vantaggi dei programmi Assembly

- Il programma scritto direttamente in Assembly è quindi il seguente:

```
        MOV AX,0 ;Inizializza il valore del contatore
CICLO:  CALL STAMPA ;Stampa il valore corrente di AX
        INC AX ;Calcola il nuovo numero pari a
        INC AX ; partire dal vecchio AX
        CMP AX, 100 ;Se AX non ha raggiunto il valore
        JB CICLO ; massimo, ritorna a CICLO
```

- Il programma così ottenuto presenta rispetto a quello prodotto dal compilatore BASIC due fondamentali vantaggi:
  - è più veloce (perchè usa i registri e non locazioni di memoria)
  - è composto da un numero minore di istruzioni e quindi occupa una minore estensione di memoria
- NB: si noti che l'operazione generale di somma (in questo caso +2) è stata tradotta in una sequenza di operazioni elementari ad hoc.
- Per programmi più articolati risulta più evidente la maggiore complessità di sintesi direttamente in Assembly.

Messa a punto del codice

- Facciamo un esempio (dal Tannenbaum):

	Anni/uomo di programmazione richiesti	Tempo d'esecuzione del programma in secondi
Linguaggio assemblativo	50	33
Linguaggio di alto livello	10	100
Approccio misto senza messa a punto		
10% più critico	**1**	**90**
Restante 90%	9	10
Totale	10	100
Approccio misto con messa a punto		
10% più critico	**6**	**30**
Restante 90%	9	10
Totale	15	40

Esempio di procedura Assembly: assemblato e disassemblato

```
;*************************************************************
;*                                                           *
;* Procedura di attesa di risposta (S/N) via tastiera        *
;*                                                           *
;*************************************************************
LETTURA_SN                          ;Inizio procedura LETTURA_SN
NUOVA_LETTURA:  MOV AH,07h          ;Servizio DOS 'Read Keyboard
                INT 21h             ; Without Echo'
                OR AL,20h           ;Converte in minuscolo
                CMP AL,'n'          ;Se il tasto premuto e' 'N'
                JZ FINE_LETTURA     ; esce dalla procedura
                CMP AL,'s'          ;Se non e' 'S',
                JNZ NUOVA_LETTURA   ; ne legge un altro
FINE_LETTURA:   RET                 ;Ritorno alla proc. chiamante
```

```
57DA:00A2 B407  MOV AH,07
57DA:00A4 CD21  INT 21
57DA:00A6 0C20  OR AL,20
57DA:00A8 3C6E  CMP AL,6E
57DA:00AA 7404  JZ 00B0
57DA:00AC 3C73  CMP AL,73
57DA:00AE 75F2  JNZ 00A2
57DA:00B0 C3    RET
```

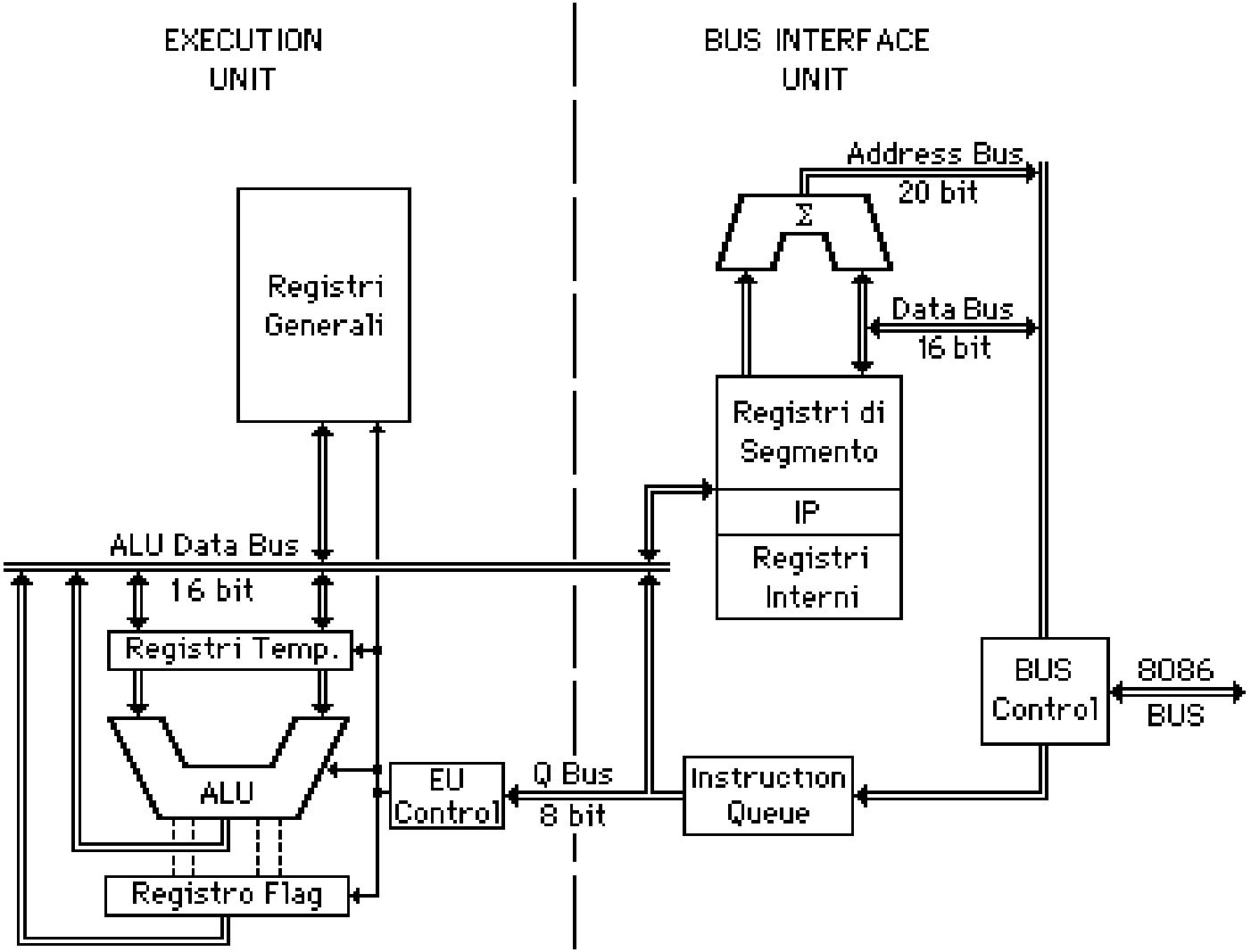
ARCHITETTURA LOGICA DELLA CPU INTEL 8086

L'ISA di riferimento

- Il processore Intel 8086 è un processore *general purpose* a 16 bit:
  - Capacità di indirizzamento di 1 Mbyte
  - 14 registri interni a 16 bit
  - 7 modi di indirizzamento
  - Alimentazione a 5 volt
  - 48 pin di interconnessione
  - Set di istruzioni esteso (CISC)

- Perché studiare l'8086/8088
  - È stato il primo processore Intel per il PC-IBM.
  - I programmi scritti per questo processore funzionano ancora sui processori moderni.
  - È più semplice, dato che ha meno istruzioni e funzionalità rispetto ai processori moderni.
  - Consente di apprendere tutte le nozioni fondamentali sulla programmazione di basso livello.

Intel 8086


EXECUTION UNIT
BUS INTERFACE UNIT
Address Bus
20 bit
Σ
Registri Generali
Data Bus
16 bit
Registri di Segmento
IP
Registri Interni
ALU Data Bus
16 bit
Registri Temp.
BUS Control
8086 BUS
ALU
EU Control
Q Bus
8 bit
Instruction Queue
Registro Flag

ISA

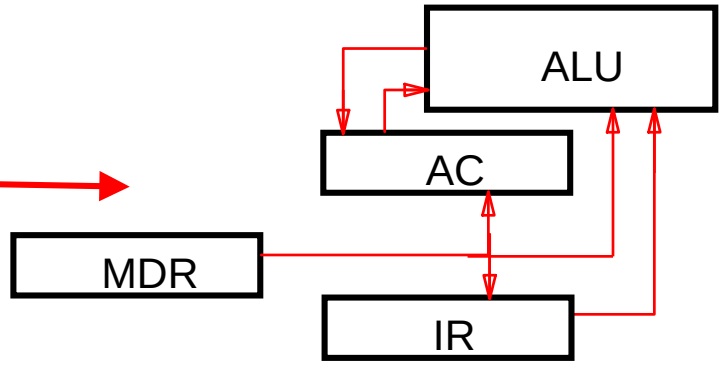
- In alcuni casi l'ISA è definita da standard (es.: SPARC V9 nel 1994), in altri è proprietaria e non nota (es: Intel)

- **Scelte progettuali per l'ISA:**

1) dove sono memorizzati gli operandi nella CPU
2) con che istruzioni si accede agli operandi
3) modello di memoria
4) formato delle istruzioni → linguaggio macchina
5) modalità di indirizzamento
6) tipo e struttura degli operandi
7) che tipo di operazioni sono previste

1) Dove sono memorizzati gli operandi nella CPU?

- Memorizzazione degli operandi:
  1. STACK
  2. ACCUMULATORE
  3. SET DI REGISTRI



AC <- f(AC, MDR)

- Esempio: C = A+B

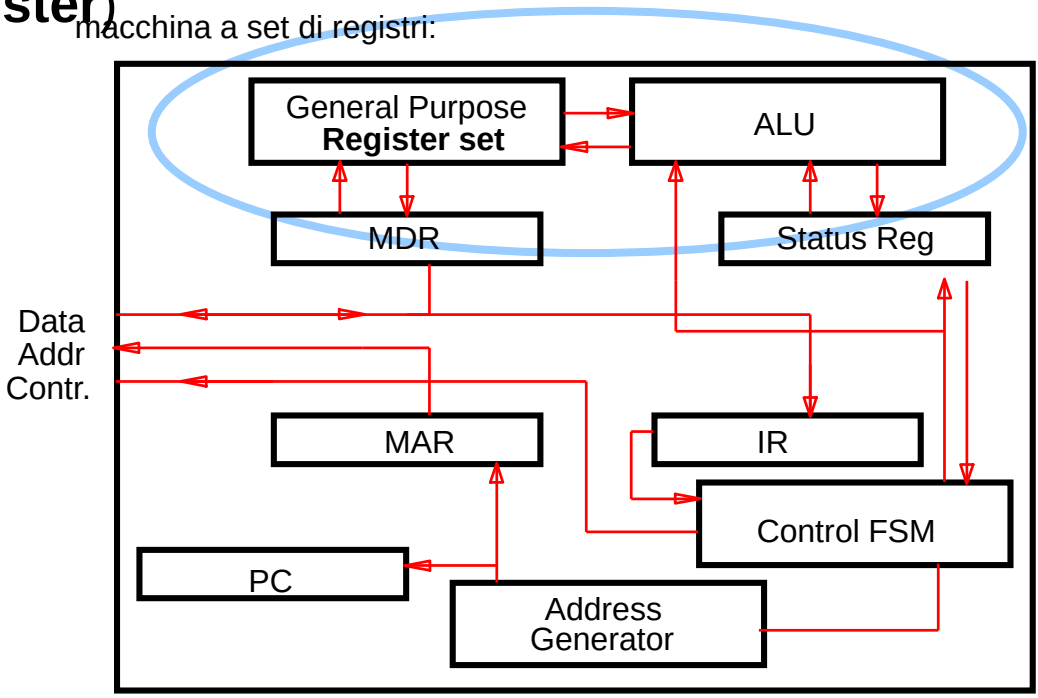
STACK	ACCUMULATORE	SET DI REGISTRI
PUSH A	LOAD A	LOAD R1,A
PUSH B	ADD B	ADD R1,B
ADD	STORE C	STORE C,R1
POP C		

- STACK: difficoltà di accesso, collo di bottiglia. *Vantaggi*: indipendenza dal register set. *Esempi*: Java Virtual Machine; unità floating point dei processori Intel x86
- ACCUMULATORE: gestione più semplice, ma l'accumulatore è il collo di bottiglia
- SET DI REGISTRI: molto generale, tutti gli operandi espliciti, codice più lungo

1) Dove sono memorizzati gli operandi nella CPU?

- GPR (**General Purpose Register**)

macchina a set di registri:



- Altre scelte progettuali:
  - set di registri si dicono **ortogonali** se possono essere tutti usati indifferentemente l'uno dall'altro nelle istruzioni previste dall'ISA
  - registri della stessa lunghezza o di lunghezze diverse
- famiglia Intel: registri di lunghezza diversa non ortogonali
- famiglia Motorola**:** 8 registri di dato a 32 bit, ortogonali: 8 registri di address a 32 bit
- SPARC, PowerPC: 32 registri a 32 bit

La CPU 8086 del punto di vista del programmatore

- La parte fondamentale della CPU, per il programmatore, sono certamente i registri.
- Tre categorie: General Purpose Registers, Segment Registers, Miscellaneous Registers.
- I General Purpose Registers (registri a scopo generico) hanno in realtà uno scopo ben preciso insito nel loro nome, anche se molte istruzioni consentono di utilizzare i registri generici indipendentemente dal loro scopo primario.
- I registri sono AX, BX, CX, DX, SI, DI, BP, SP.
- Questi sono registri a 16 bit e per i primi 4 è possibile accedere direttamente agli 8 bit più significativi (parte alta/high) o agli 8 bit meno significativi (parte bassa/low) specificando H o L invece che X. Cioè, per esempio, CL è il registro a 8 bit corrispondente alla parte bassa di CX, mentre AH è la parte alta di AX.

I registri generici

- Vediamo nel dettaglio lo scopo primario di ognuno di questi registri:
  - AX è l'accumulatore: serve per numerose operazioni matematiche o per speciali trasferimenti di dati.
  - BX è il registro base: serve per contenere l'indirizzo di partenza durante gli indirizzamenti in memoria.
  - CX è il registro di conteggio: serve per effettuare conteggi durante cicli o ripetizioni.
  - DX è il registro dati: serve per contenere parte di dati eccedenti durante le operazioni aritmetiche e per gli indirizzi delle istruzioni di I/O.
  - SI e DI sono registri indice utilizzati principalmente durante le operazioni con stringhe di byte. Tipicamente SI punta alla sorgente, mentre DI punta alla destinazione.
  - BP è il puntatore base e, in modo molto simile a BX, serve come indirizzo di partenza, tipicamente durante l'accesso a parametri e variabili di funzioni.
  - SP è il puntatore allo stack: l'8086 ha istruzioni per la gestione di questa struttura dati direttamente nella sua architettura e questo registro viene implicitamente referenziato da tutte queste istruzioni.

Registri speciali

- Esistono due ulteriori registri speciali che non vengono modificati direttamente dal programmatore, ma sono fondamentali per l'esecuzione del software:
  - IP è l'instruction pointer, cioè l'indirizzo, all'interno del code segment dal quale prelevare la prossima istruzione.
  - FLAG è un registro a 16 bit nel quale ogni bit ha un significato speciale che indica la modalità di funzionamento del software, lo stato del sistema o il risultato dell'istruzione precedente.
- Le istruzioni possono fare riferimento a tutti i registri generali e di segmento per leggerne o scriverne il valore, con l'eccezione di CS che può solo essere letto.
- Non è possibile fare riferimento a IP o a FLAG, perché questi sono implicitamente o esplicitamente modificati da istruzioni apposite.

Il registro FLAG

15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00
				OF	DF	IF	TF	SF	ZF		AF		PF		CF

- Ecco una breve descrizione del significato dei singoli bit:
  - Overflow: Indica che operazione ha riportato un risultato troppo grande
  - Direction: Indica se decrementare o incrementare per le istruzioni con le stringhe
  - Interrupt Enable: Indica se le interruzioni mascherabili sono abilitate
  - Trap: Questo flag è usato dai debugger per eseguire i programmi un passo alla volta. Genera un INT 3 dopo ogni istruzione
  - Sign: Viene posto a 1 se il risultato di una operazione è negativo
  - Zero: Abilitato se il risultato di una operazione è 0
  - Auxiliary Carry: Indica un riporto o un prestito tra la parte bassa e quella alta di un numero. Viene usato dalle istruzioni aritmetico decimale.
  - Parity Flag: Posto a 1 quando c'è un numero pari di bit a 1 nel risultato dell'operazione. Utilizzato dai programmi di comunicazione.
  - Carry Flag: Indica un riporto o un prestito nella parte alta dell'ultimo risultato. Serve per realizzare istruzioni multi word.

2) Con che istruzioni si accede agli operandi

Con che istruzioni si accede agli operandi nelle macchine a set di registri?

- si possono dividere a seconda del numero di riferimenti diretti in memoria (0:3) indicati nelle istruzioni di ALU e del numero di operandi indicati in modo esplicito (0:3) nelle istruzioni
- Architetture **register-register** o **load-store** se le istruzioni di ALU non hanno riferimenti dirette in memoria (e si accede alla memoria solo con load e store)
- Architetture **register-memory** invece se esistono istruzioni di ALU con cui accedere direttamente alla memoria

register/register	(0,3)	Macchine RISC: MIPS, SPARC, Intel i860
register/memory	(1,2)	macchine CISC: Motorola, Intel, IBM 360 …
memory/memory	(3,3)	VAX

VAR3= VAR1+VAR2

macchina register-memory (Intel) (sintassi destinazione,sorgente)

```
mov AX,var1
add AX,var2
mov var3,AX
```

macchina register-register (Sparc) (sintassi sorgenti,destinazione)

```
ld r1,var1
ld r2,var2
add r1,r2,r3
st var3,r3
```

3) Modelli di memoria: ordinamento

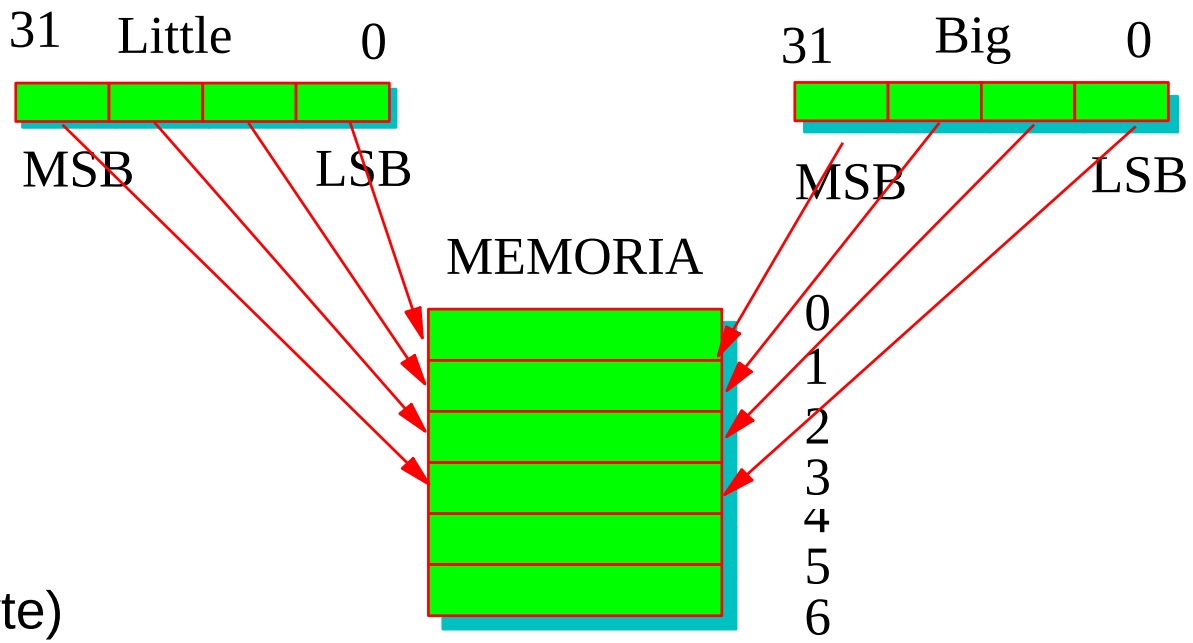
Le istruzioni e i dati sono composti da più byte. L'indirizzamento però si riferisce sempre al byte

L'unità logica del dato è la parola che è composta da n byte. Viene acceduta indirizzando il primo degli n byte. Ad esempio, una parola a 32 bit (4 byte) occupa 4 indirizzi

Ordinamento

1) in che ordine sono memorizzati:

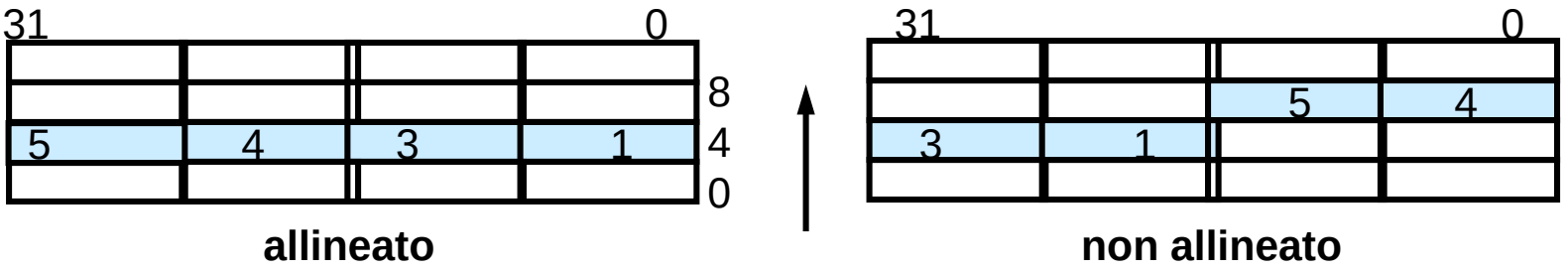
- **little endian** il LSB (Least Significant Byte) all'indirizzo più basso → macchine Intel
- **big endian** il MSB (Most Significant Byte) all'indirizzo più basso → macchine Motorola



3) Modelli di memoria: allineamento

2) Indirizzi allineati

- l'ISA definisce la larghezza di base della parola (es: 32 bit, 4 byte)
- **se la parola è memorizzata a partire da un indirizzo non multiplo dei byte della parola, allora si dice che l'indirizzo non è allineato**
- sono necessarie più letture o più scritture per accedere ad un solo dato
- architetture con allineamento permettono solo indirizzi di partenza allineati alla lunghezza della parola (es: multipli di 4 per ISA a 32 bit) → macchine RISC



Rilocazione: memoria lineare

- EFFECTIVE ADDRESS (EA) è l'indirizzo effettivo che viene utilizzato per accedere alla memoria (ciò che viene scritto sul MAR) e deve tener conto della **rilocazione.**

1) modello di memoria lineare

La memoria è organizzata come un lungo vettore di byte da 0000….000 fino al massimo indirizzo possibile. La posizione del codice e dei dati nella memoria viene però deciso dal sistema operativo nel momento in cui codice e dati viene caricato dalla memoria di massa alla memoria centrale.

Il SO carica i dati a partire dall'indirizzo AD e il codice dall'indirizzo AC.

Per eseguire il codice il SO carica il valore AC nel PC, invece l'indirizzo dei dati che si suppone parta dall'indirizzo viene aggiustato in seguito alla rilocazione sommando il valore AD dal linker

E' compito dell'assemblatore o del compilatore indicare se l'indirizzo è assoluto (come avviene quando non è previsto il SO nei processori embedded) o se segue la rilocazione

Rilocazione: modello segmentato

- Alcune ISA (come quella Intel) prevedono un modello segmentato in cui è possibile dividere codice e dati in più segmenti logici di memoria (anche eventualmente sovrapposti) la cui base è indicata in opportuni registri interni
- In questo caso l'EA viene calcolato **a tempo di esecuzione** sommando l'indirizzo indicato in memoria (secondo la modalità di indirizzamento) e gli opportuni registri di segmento.

Architettura Intel

- Registri di segmento
  - CS di default per il codice (a cui si somma il PC)
  - SS di default per lo stack (a cui si somma BP o SP)
  - DS di default per i dati (a cui si somma l'indirizzo dati)
  - ES aggiuntivo per dati se indicato esplicitamente
  - (FS aggiuntivo per dati se indicato esplicitamente)
  - (GS aggiuntivo per dati se indicato esplicitamente)

Segmentazione 8086

- Lo spazio di memoria viene visto come un gruppo di **paragrafi** e **segmenti:**
  - un paragrafo è una zona di memoria di 16 byte e non possono sovrapporsi
  - Un segmento:
    - è un'unità logica di memoria **indipendente**, indirizzabile separatamente dalle altre unità
    - inizia a un indirizzo di memoria multiplo di 16 (**allineato** ad un paragrafo)
    - è costituito da locazioni contigue di memoria
    - è al massimo di 64k byte
    - I segmenti possono essere sovrapposti
- Ogni segmento è identificabile univocamente dai 16 bit più significativi del suo indirizzo di partenza in memoria:

  indirizzo fisico 220h

  indirizzo segmento 22h

Calcolo dell'Effective Address

- L'indirizzo fisico di una cella di memoria è espresso da 20 bit (bus degli indirizzi a 20 bit – 1 MB indirizzabile); non è quindi possibile un indirizzamento mediante un solo registro a 16 bit. Esso è infatti ottenuto mediante la somma di due contributi:
  - il *Segment Address*: è l'indirizzo di testa del segmento e viene ottenuto moltiplicando per 16 il numero del segmento.
  - l'*Effective Address (EA)*: è l'indirizzo effettivo all'interno del segmento, calcolato come offset (spostamento) rispetto all'inizio del segmento stesso.
- NB: la moltiplicazione per 16 può essere notevolmente velocizzata da un semplice shift a sinistra di 4 posizioni della rappresentazione binaria del numero:

  EA←DSx16 +adr

  mov AX,ALFA
- ALFA è indicato direttamente nella istruzione

  AX<--M[DS:ALFA] Ea=DSx16+ALFA

I registri di segmento

- Esistono quindi 4 registri di segmento che hanno la funzione di suddividere la memoria in parti relative ai dati in esse contenuti:
  - CS è l'indirizzo del segmento codice, cioè l'area di memoria da cui vengono lette le istruzioni da eseguire.
  - DS è l'indirizzo del segmento dati, cioè l'area di memoria che contiene le variabili o le costanti necessarie al programma.
  - ES è l'indirizzo del segmento ausiliario che consente di disporre rapidamente di ulteriore spazio per i dati senza dovere continuamente modificare DS.
  - SS è l'indirizzo del segmento di stack.
- L'utilizzo dei segmenti consente una notevole flessibilità, ma complica notevolmente la progettazione del software, in particolare per le strutture dati di dimensioni superiori ai 64KB.

4) Formato delle istruzioni

Che formato hanno le istruzioni?

- E' l'aspetto più critico di un'ISA in quanto può caratterizzare generazioni di processori.
- Le informazioni che devono essere desunte da una istruzione sono: il **codice operativo**, gli **operandi**, il **risultato** (o l'indirizzo degli operandi e del risultato) e l'**indirizzo della prossima istruzione**. Sarebbero necessari troppi bit. Diverse ISA si differenziano da quali campi indicano esplicitamente
- Esempio (Intel 80x86 – dopo 386)

reg	w = 0	w = 1		r/m	mod = 0		mod = 1		mod = 2		mod = 3
16b	32b	16b	32b	16b	32b	16b	32b				
0	AL	AX	EAX	0	ind=BX+SI	=EAX	*stesso ind di mod=0*	*stesso ind di mod=0*	*stesso ind di mod=0*	*stesso ind di mod=0*	*come il campo reg*
1	CL	CX	ECX	1	ind=BX+DI	=ECX	"	"	"	"	"
2	DL	DX	EDX	2	ind=BP+SI	=EDX	"	"	"	"	"
3	BL	BX	EBX	3	ind=BP+DI	=EBX	+disp8	+disp8	+disp16	+disp32	"
4	AH	SP	ESP	4	ind=SI	=*(sib)*	SI+disp8	*(sib)*+disp8	SI+ disp8	*(sib)*+disp32	"
5	CH	BP	EBP	5	ind=DI	= disp32	DI+disp8	EBP+disp8	DI+disp16	EBP+disp32	"
6	DH	SI	ESI	6	ind=disp16	=ESI	BP+disp8	ESI+disp8	BP+disp16	ESI+disp32	"
7	BH	DI	EDI	7	ind=BX	=EDI	BX+disp8	EDI+disp8	BX+disp16	EDI+disp32	"

- La decodifica delle macchine Intel è pesante

5) Modalità di Indirizzamento

- Indipendentemente dal tipo di rilocazione esistono molti modi per indicare nell'istruzione dove trovare l'operando:
  - REGISTRO: l'operando si trova in un registro
  - IMMEDIATO: l'operando è nella istruzione
  - MEMORIA: se è in memoria, ci sono diversi modi di calcolare l'indirizzo; alcune CPU prevedono molte modalità, maggiore flessibilità e diminuzione del numero delle istruzioni; ma questo implica reti logiche più complesse nella gestione ed un codice operativo con più bit

Modo	Esempio	Funzionamento
Registro	Add R4,R3	R4 ← R4 + R3
Immediato	Add R4, #3	R4 ← R4 + 3
Base	Add R4,100(R1)	R4 ← R4 + M[100+R1]
Indiretto(R)	Add R4,(R1)	R4 ← R4 + M[R1]
Indiciato	Add R3,(R1+R2)	R3 ← R3 + M[R1+R2]
Diretto	Add R1,(1001)	R1 ← R1 + M[1001]
Indiretto(M)	Add R1,@(R3)	R1 ← R1 + M[M[R3]]
Autoincr.	Add R1,(R2)+	R1 ← R1 + M[R2] R2 ← R2 + d
Autodecr	Add R1,- (R2)	R2 ← R2 - d R1 ← R1 + M[R2]
Scalato	Add R1,100(R2)[R3]	R1 ← R1 + M[100+R2+R3*d] (d = dimensione dell'elemento

Modi di indirizzamento nella ISA Intel

- **Operando nei registri:** mov BL,AL
- **Operando immediato:** mov BL,12
- **Operando in memoria:** esistono 17 possibilità per specificare un indirizzo di memoria. Queste possono essere raggruppate in 3 categorie:
  - **Indirizzamento diretto**: si specifica l'indirizzo di memoria tramite un valore numerico detto displacement, cioè spostamento: mov AX,[ALFA]

    EA ← [DS:ALFA] AX←M[EA]
  - **Indirizzamento indiretto tramite registro base**: si specifica l'indirizzo di memoria tramite il valore contenuto in uno tra i registri base BX o BP: mov AX,[BX]

    EA ← [DS:BX] AX←M[EA]
  - **Indirizzamento indiretto tramite registro indice**: si specifica l'indirizzo di memoria tramite il valore contenuto in uno tra i registri indice SI o DI.
- È possibile combinare queste tre modalità ottenendo diverse combinazioni:

  mov AX,[ALFA+BX+SI]

  EA ← [DS:(ALFA+BX+SI)] AX←M[EA]
- Per ricordare le combinazioni valide è sufficiente memorizzare la tabella seguente (ognuno dei tre elementi può non essere presente):

Disp	+	BX	+	SI
		BP		DI

Modi di indirizzamento nella ISA Intel

- Abbiamo parlato di indirizzi in memoria, ma per l'8086 l'indirizzo fisico è sempre costituito da una coppia segmento:offset.
- Le modalità di indirizzamento viste si riferiscono sempre e solo al calcolo dell'offset, ovvero di un valore a 16 bit dato dalla somma dei tre possibili campi.
- **Se nella modalità di indirizzamento compare il registro BP, il segmento di riferimento sarà SS, cioè l'indirizzo è relativo allo stack, altrimenti il riferimento è sempre DS, cioè il segmento dati.**
- E' poi possibile forzare esplicitamente l'utilizzo di un altro segmento tramite il cosiddetto *segment override* ovvero specificando un segmento davanti all'indirizzo seguito da due punti:

```
mov     AX,[CS:BX+5]
```

Modi di indirizzamento nel trasferimento di controllo

- **L'indirizzamento del codice è indicato dal program counter PC** (che in famiglia Intel si chiama **IP** – Instruction Pointer)
- In caso di istruzione di salto l'indirizzamento diretto indicato nell'istruzione può essere assoluto o relativo al PC (es: nell'ISA PowerPC viene indicato tramite un bit)
- Si possono utilizzare anche altri tipi di indirizzamento come indiretto tramite registro o indicizzato.
- Inoltre, nell'ISA Intel, posso usare l'indirizzamento relativo al PC:

1) **salti intrasegment diretto**

   senza cambiare il CS, ma si ha un solo scostamento a 8 o 16 bit

2) **salti intrasegment indiretto**

   senza cambiare il CS, ma con l'indirizzo in un registro con tutti i modi previsti per gli operandi

3) **salti intersegment diretto**

   nell'istruzione viene indicato il nuovo CS e il nuovo IP

4) **salti intersegment indiretto**

   viene sostituito il CS ed IP con due parole contenute in memoria a cui ci si riferisce con uno dei modi previsti per gli operandi

Modi di indirizzamento di I/O

- Molte ISA non prevedono istruzioni diverse e spazio di indrizzamento separato per le periferiche di I/O (si parla di **MEMORY MAPPED I/O**)
- In questo caso per leggere o scrivere su periferiche si usano le stesse istruzioni per leggere o scrivere in memoria a particolari indirizzi RISERVATI dal S.O. all'I/O
- altre architetture come l'Intel ha **uno spazio di indirizzamento specifico per l'I/O ed istruzioni specifiche (SEPARATED I/O)**

- 1) **indirizzamento diretto,**

  indirizzo può essere solo a 8 bit nella istruzione (fino a 256 indirizzi diversi)

in AL,PORTA1	AL← I/O[PORTA1]
Out PORTA2, AL	I/O[PORTA2]←AL

- 2) **indirizzamento CON REGISTRO dx,**

  indirizzo è a 16 bit nel registro DX

in AL,DX	AL←I/O[DX]
Out DX, AL	I/O[DX]←AL

Confronto ISA 8086 – Pentium

ISA 8086

- Spazio di indrizzamento a 20 bit (1 MBYTE), indirizzabile in modo segmentato con registri di segmento x 16, più i vari modi di indirizzamento
- Spazio di I/O a 16 bit 64 Kbyte indirizzabile con DX
- permette il non allineamento con parole a 8 o 16 bit – ordinamento little endian
- registri non ortogonali a 8 e 16 bit permette l'indirizzamento di una memoria a stack di tipo LIFO (Last In First Out) tramite le istruzioni push e pop ed i registri (impliciti) SS:SP

ISA Pentium

- Spazio di indrizzamento a 32 bit (4 GBYTE), indirizzabile in modo segmentato con registri di segmento che sono puntatori a locazioni di memoria in cui è contenuto il vero indirizzo di segmento ed il limite del segmento stesso (se si supera il limite fissato si genera una eccezione). Spesso però si usa il modello lineare mettendo tutti i registri a 0
- Spazio di I/O a 16 bit 64 Kbyte, indirizzabile con DX
- permette il non allineamento con parole a 8 o 16 o 32 bit – ordinamento little endian
- registri non ortogonali a 8, 16 e 32 bit
- permette l'indirizzamento di una memoria a stack di tipo LIFO (Last In First Out) tramite le istruzioni push e pop ed i registri (impliciti) SS:SP
- ha registri per la gestione di SO multitask (ad es: GSR – Global Status Register)

6) Tipi e struttura degli operandi

- L'ISA definisce un certo numero di tipi di dato direttamente supportati dalle istruzioni

tipi di dati numerici:

- *unsigned integer* a 32 bit fino a 2^{32}-1
- *signed integer* a 32 bit fino a 2^{31}-1 in complemento a 2
- formato floating point a 32, 64 o 128 bit con formato (segno, esponente e mantissa). Alcune ISA seguono lo standard IEEE-754: 3 formati normalizzati (con mantissa da 1 a 2)
- *single precision* 32 bit (1 segno, 8 esponente, 23 mantissa)
  da 2^{-126} a 2^{128} (circa 10^{-38})
- *double precision* 64 bit (1 segno, 11 esponente, 52 mantissa)
  da 2^{-1022} a 2^{1024} (circa 10^{-308})
- *extended precision* 80 bit (1 segno, 15 esponente, 64 mantissa)

tipi di dati non numerici:

- *caratteri* ASCII a 8 bit e UNICODE a 16 bit
- alcune ISA hanno istruzioni speciali per le *stringhe*
- mappe *Booleane*

- dati *multimediali* a 8 bit

Tipi di dati nel Pentium Pro

byte signed integer	8 bit
word signed integer	16 bit
doubleword signed integer	32 bit
byte unsigned integer	8 bit
word unsigned integer	16 bit
doubleword unsigned integer	32 bit
bcd integer	8 bit
packed bcd integer	4 bit
near pointer	32 bit
far pointer (logical address)	48 bit (16 selettore+32 bit)
floating point	80 bit
MMX data type	64 bit

- 8 da 8 bit (pixel)
- 4 da 16 bit (audio)
- 2 interi da 32 bit o 1 da 64 bit

7) Tipi di operazioni previste

Esistono diversi tipi di istruzioni:

1) aritmetiche e logiche	add, sub,and...
2) di trasferimento dati	ld, st, mov
3) di controllo	br, jmp, call, ret
4) di sistema	chiamate del SO, mem virtuale..
5) floating point	fadd, fmul...
6) decimali	bcd add, conversioni a caratteri
7) stringhe	movs...
8) grafiche-multimediali	compress, add…

IL LINGUAGGIO ASSEMBLY 8086

Assemblatore

- Il codice macchina è una sequenza numerica che codifica le istruzioni e gli operandi. Ad esempio, il codice operativo 8A 49 E4 indica di copiare il byte contenuto all'indirizzo di memoria dato da BX+DI-28 nel registro CL.
- Non è molto comodo programmare calcolando il codice macchina, per questo motivo si utilizza un programma che traduce le istruzioni da una forma testuale più comprensibile al programmatore nel codice macchina.
- L'istruzione precedente può allora essere scritta come:

```
mov cl,[bx+di-28]
```

- Non esiste purtroppo un accordo ufficiale sulla sintassi che deve essere rispettata da un assemblatore ed esistono diverse varianti per lo stesso codice operativo.
  - Ad esempio l'istruzione precedente, con il Microsoft Macro Assembler (MASM), può essere scritta come `mov cl,[bx+di]-28` o `mov cl,[bx][di][-28]` o `mov cl,[di][-28][bx]`, ecc...

Per assembly, ad ogni istruzione corrisponde un'istruzione in codice macchina

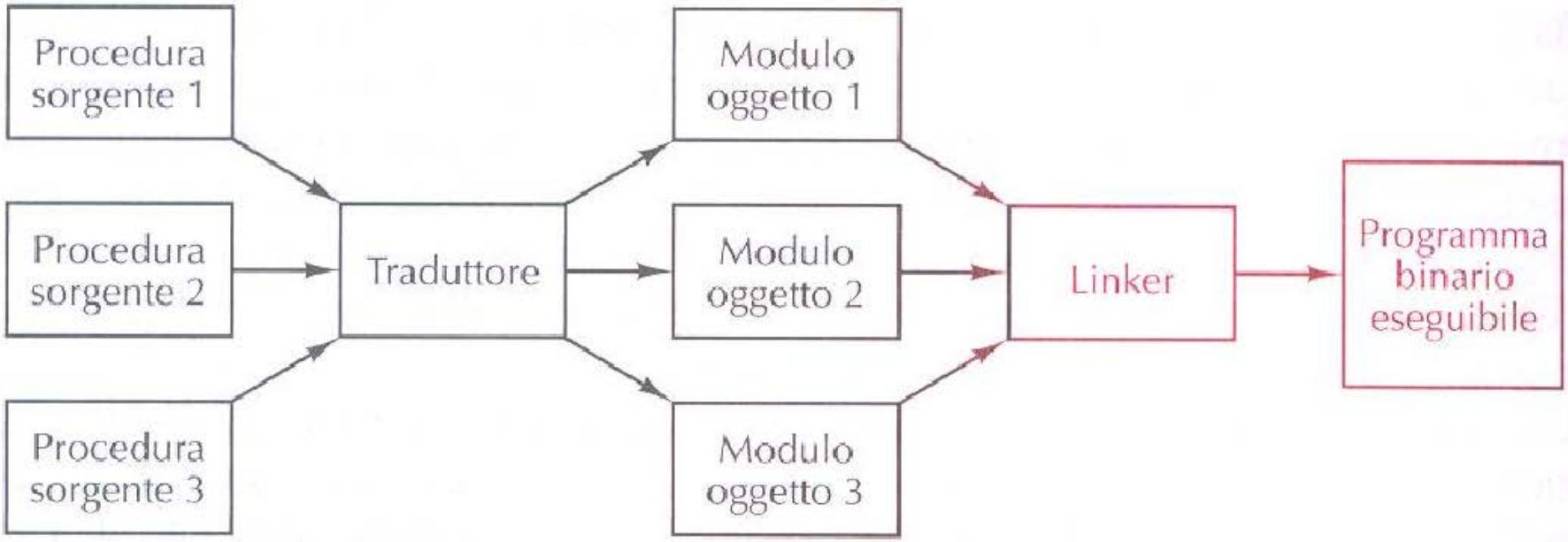
Assemblatore

- Durante questo corso utilizzeremo l'assemblatore NASM che può essere utilizzato gratuitamente e del quale sono disponibili i sorgenti in rete.
- Rispetto a prodotti commerciali quali i prodotti Microsoft e Borland/Inprise questo assemblatore richiede meno dettagli e ci consentirà di concentrarci maggiormente sulla sintassi assembly.
- Per i dettagli sulla sintassi di questo assemblatore si rimanda alla documentazione e agli esempi che vedremo durante il laboratorio.
- Per l'installazione fare riferimento alle istruzioni sul sito Elly

Processo di creazione eseguibile

Dal Tanenbaum

Abbiamo un certo numero di codici sorgente, il traduttore nasm trasforma i codici sorgenti in moduli e un linker (nel corso utilizzeremo “turbo linker”) collega i file oggetto per avere un programma binario eseguibile



Elementi di base del linguaggio

- Un programma scritto in Assembly 8086 è composto di Statements; normalmente ognuno di essi occupa una riga fino ad un < LF > o una coppia <CR >< LF >.
- Uno statement può proseguire sulla riga successiva, se questa comincia con il carattere '&'.
- L'insieme dei caratteri utilizzabili è composto da
  - caratteri alfanumerici (maiuscole, minuscole, cifre),
  - caratteri non stampabili (spazio, TAB, <CR >, < LF >),
  - caratteri speciali (+ - * / = ()[] <>;'.,_:?@$&)
- All'interno del programma possono comparire:
  - Identificatori
  - Costanti
  - Espressioni

L'assembly 8086 non è case-sensitive

Identificatori

- Sono usati come nomi assegnati ad entità definite dal programmatore (segmenti, variabili, label, etc.)
- Sono composti da lettere, numeri o uno dei tre caratteri @ ? _, ma non possono iniziare con un numero
- Hanno lunghezza massima di 31 caratteri

Costanti

- Si possono utilizzare costanti:
  - binarie: 001101B <— Verranno utilizzate spesso
  - ottali: 15O, 15Q <— Mai utilizzata dal prof, non ha molti usi (SCONSIGLIATO)
  - esadecimali: 0Dh, 0BEACh (devono iniziare con un numero) <— Molto utilizzate
  - decimali: 13, 13D <— Non è necessario aggiungere la D in quanto una costante è decimale di default
  - ASCII: 'S', 'Salve'
  - reali in base 10: 2.345678, 112E-3 <— Sconsigliata, non utilizzata quasi mai nel corso

Espressioni

- Si possono utilizzare i seguenti operatori:
  - Artimetici (+;-;*;/; MOD, SHL, SHR)
  - Logici (AND, OR, XOR, NOT)
  - Relazionali (EQ, NE, LT, GT, LE, GE)
  - che ritornano un valore ($, SEG, OFFSET, LENGTH, TYPE)
  - Attributi (PTR, DS:, ES:, SS:, CS:, HIGH, LOW)

Precedenze tra gli operatori

- Gli operatori visti possono essere elencati in ordine di priorità decrescente nel modo che segue:
  - LENGTH, SIZE, WIDTH, MASK, (), [], <>
  - PTR, OFFSET, SEG, TYPE, THIS, segment override
  - HIGH, LOW
  - + (unario), - (unario)
  - * , /, MODE, SHL, SHR
  - +, -
  - EQ, NE, LT, LE, GT, GE
  - NOT
  - AND
  - OR, XOR
  - SHORT

All'esame avremo a disposizione gli appunti.

- La priorità può essere modificata tramite l'uso delle parentesi tonde.

Insieme delle istruzioni 8086

- Possiamo suddividere le istruzioni 8086 in gruppi funzionali:
  - Trasferimento di dati
  - Aritmetica binaria
  - Trasferimento di controllo
  - Logica binaria
  - Shift e Rotate
  - Operazioni su stringhe di dati
  - Istruzioni per il controllo dei flag
  - Aritmetica decimale (Binary Coded Decimal)
  - Varie
- Di seguito esamineremo ogni gruppo di istruzioni, rimandando per i dettagli sulla sintassi alle guide elettroniche fornite sul sito.

Trasferimento di dati

- Fanno parte di questo gruppo:
  - MOV *dest,sorg* Sposta il contenuto del secondo operando nel primo
  - XCHG *dest,sorg* Scambia il contenuto dei due operandi
  - PUSH *word* Inserisce una word nello stack
  - POP *word* Estrae una word dallo stack
  - IN *accum,porta* Legge un dato dalla porta specificata
  - OUT *porta,accum* Scrive un dato sulla porta specificata
- L'istruzione MOV è certamente la più usata e semplice da comprendere. XCHG consente di scambiare due registri senza passare per una variabile temporanea.
- È importante notare che non è possibile muovere o scambiare dati tra memoria e memoria, ma solo tra memoria e registri/valori (si veda lucido successivo per maggiori dettagli)
- Le istruzioni di IN e OUT consentono di accedere ai registri delle periferiche collegate al bus di sistema.

Trasferimento di dati

- **Non sono ammessi** i seguenti trasferimenti:
  - *memoria* ← *memoria*

  Si deve passare attraverso un registro general-purpose: esempio:

```
MOV AX, SRC
MOV DEST, AX
```

  - *segment register* ← *immediato*

  Si deve passare attraverso un registro general-purpose: esempio:

```
MOV AX, DATA_SEG
MOV DS, AX
```

  - *segment register* ← *segment register*

  Si deve passare attraverso un registro general-purpose (4 cicli):

  esempio:

```
MOV AX, ES
MOV DS, AX
```

  oppure attraverso lo stack (26 cicli): esempio:

```
PUSH ES
POP DS
```

  - Qualsiasi trasferimento che utilizzi CS come destinazione

Trasferimento di dati

- Le istruzioni PUSH e POP lavorano con lo stack. Per la precisione, l'istruzione PUSH AX è equivalente a:

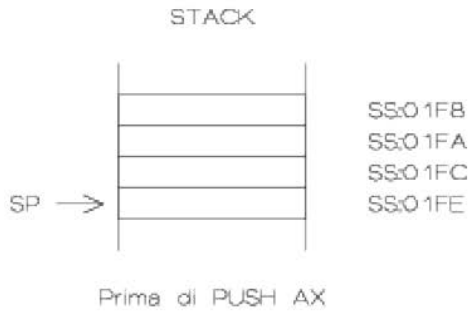
  SP = SP - 2

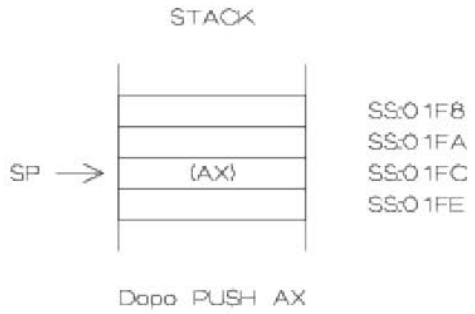
  [SS:SP] = AX

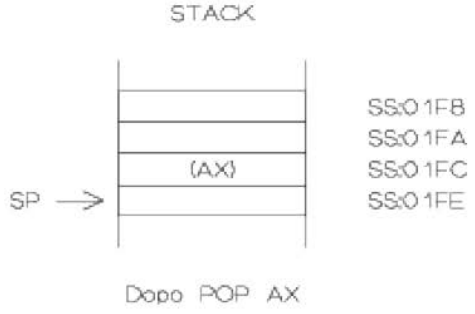
- Quello che può sembrare strano è il fatto che il puntatore allo stack venga decrementato ad ogni inserimento. In realtà questo consente una modalità di programmazione molto compatta (nota anche come Modello di memoria *Tiny*) in cui tutti i segmenti hanno lo stesso valore, i dati seguono immediatamente il codice e lo stack parte dalla fine del segmento:

- Questo modello di memoria ha un chiaro svantaggio, cioè limita il programma e tutti i suoi dati ad un massimo di 64KB, ma elimina la necessità di occuparsi della segmentazione.

Trasferimento di dati







Aritmetica binaria

- Fanno parte di questo gruppo:
  - ADC *dest,sorg* Add with Carry
  - ADD *dest,sorg* Addition
  - CMP *dest,sorg* Compare
  - DEC *dest* Decrement
  - DIV *sorg* Divide, Unsigned
  - IDIV *sorg* Integer Divide, Signed
  - IMUL *sorg* Integer Multiply, Signed
  - INC *dest* Increment
  - MUL *sorg* Multiply, Unsigned
  - NEG *dest* Negate
  - SBB *dest,sorg* Subtract with Borrow
  - SUB *dest,sorg* Subtract
- Le operazioni più chiare sono certamente INC e DEC che aumentano o diminuiscono di uno il valore di un registro o di una varibile in memoria.

Aritmetica binaria

- Esistono poi ADD e SUB che effettuano somma e sottrazione del secondo operando rispetto al primo e salvano il risultato nel primo.
- CMP è identico a SUB, però non salva il risultato, dato che serve unicamente per confrontare il contenuto di due registri e quindi effettua una differenza per impostare i flag, ma non usa il risultato per nessuno scopo.
- ADC e SBB sono le versioni di somma e sottrazione che tengono conto di riporto o prestito dell'operazione precedente, utili per effettuare elaborazioni con numeri più grandi di 16 bit.
- MUL effettua la moltiplicazione di AL o AX con il byte o word passate come parametro e mette il prodotto rispettivamente in AX o in DX:AX (cioè la parte alta in DX e la parte bassa in AX). IMUL è l'equivalente per numeri con segno.
- DIV divide AX o DX:AX per il byte o word passate come parametro e mette il quoziente e il resto in AL e AH o in AX e DX. IDIV è l'equivalente per numeri con segno.
- Nel caso che il risultato della DIV sia troppo grande per il registro destinazione o che il divisore sia 0, viene generato un INT 0h (Divisione per zero).
- La NEG produce il negato del registro passato come parametro.

Formato dei dati nelle istruzioni aritmetiche

- Il processore 8086 può eseguire operazioni aritmetiche su numeri nei seguenti formati:
  - numeri binari senza segno, su 8 o 16 bit
  - numeri binari con segno, su 8 o 16 bit
  - numeri decimali *packed*, in cui ogni byte contiene due numeri decimali codificati in BCD; la cifra più significativa è allocata nei 4 bit superiori
  - numeri decimali *unpacked*, in cui ogni byte contiene un solo numero decimale BCD nei 4 bit inferiori; i 4 bit superiori devono essere a 0 se il numero è usato in una operazione di moltiplicazione o divisione

Operazioni su 32 bit

- Le operazioni di somma e sottrazione possono essere facilmente eseguite anche su operandi di dimensioni superiori a 16 bit, usando le istruzioni
  - **ADC** (ADd with Carry)
  - **SBB** (SuBtract with Borrow)
- che eseguono rispettivamente le seguenti operazioni:
  - *destination ← destination+source+Carry*
  - *destination ← destination – source - Carry*
- Esempio 1: Per sommare i 32 bit memorizzati in BX:AX con DX:CX, lasciando il risultato in BX:AX,

```
ADD AX, CX ;Somma i 16 bit meno significativi
ADC BX, DX ;Somma i 16 bit piu` significativi
```

- Esempio 2: Per sottrarre i 32 bit memorizzati in BX:AX a DX:CX, lasciando il risultato in BX:AX,

```
SUB AX, CX ;Sottrae le word meno significative
SBB BX, DX ;Sottrae le word piu` significative
```

Moltiplicazione e Divisione

- Il processore 8086, a differenza di molti processori ad 8 bit, dispone delle istruzioni di moltiplicazione e divisione.
- Per entrambe le operazioni esistono forme distinte a seconda che gli operandi siano interi senza segno (MUL o DIV) o interi con segno (IMUL e IDIV).
- Le due operazioni hanno *un solo* operando, che deve essere un registro generale o una variabile (cioè il contenuto di una locazione di memoria).
- A seconda delle dimensioni di tale operando (byte o word), si hanno operazioni di tipo byte oppure word. **Se si vuole caricare un dato da memoria o usare un dato in memoria come operando bisogna specificarne la dimensione**. In NASM questo si fa in questo modo:

```
mov ax,0100h
mul word [0010]
```

- e stessa cosa con **byte** (8 bit) o **dword** (32 bit). Mettendo come sopra word la mul viene considerata a 16 bit quindi l'altro operando è AX, mentre se avessi messo byte considerava come altro operando AL.
- Nel caso di MOV su registro non è necessario mettere lo specificatore di dimensione perché è automaticamente quella del registro.

Moltiplicazione e Divisione

- **Moltiplicazione**
- Si distinguono i due casi:
  - operazioni di tipo byte:
    AX ← AL * source-8-bit
  - operazioni di tipo word:
    DX:AX ← AX * source-16-bit

- **Divisione**
- Si distinguono i due casi:
  - operazioni di tipo byte:
    AL ← INT(AX / source-8-bit)
    AH ← resto
  - operazioni di tipo word:
    AX ← INT(DX:AX / source-16-bit)
    DX ← resto

Operazioni su Numeri Decimali

- Il processore 8086 dispone di alcune istruzioni che permettono di eseguire le 4 operazioni fondamentali anche sui numeri decimali.
- Esse non hanno operandi, in quanto lavorano sempre sul registro AL (AX per la moltiplicazione). Nel caso della divisione l'istruzione di conversione deve essere applicata al dividendo (in AX) prima della divisione.
- Il risultato della conversione è memorizzato ancora nel registro AL (AX per la moltiplicazione e la divisione).

- Esempio di diversa rappresentazione:

binario:	0000 0000 0010 0011
decimale packed:	0011 0101
decimale unpacked:	0000 0011 0000 0101

Conversione decimale-binario

- Le Istruzioni di conversione decimale-binario sono:
  - **AAA**: converte il risultato di un'addizione in decimale unpacked
  - **AAS**: converte il risultato di una sottrazione in decimale unpacked
  - **AAM**: converte il risultato di una moltiplicazione in decimale unpacked
  - **AAD**: converte il dividendo di una divisione da decimale unpacked a binario
  - **DAA**: converte il risultato di un'addizione in decimale packed
  - **DAS**: converte il risultato di una sottrazione in decimale packed

Trasferimento di controllo

- Fanno parte di questo gruppo:
  - CALL *ind* — Esegue la procedura all'indirizzo *ind*
  - RET — Ritorna da una procedura
  - INT *num* — Esegue l'interruzione software *num*
  - IRET — Ritorna da una interruzione software
  - JMP *ind* — Salta all'indirizzo *ind*
  - Jxx *ind* — Salta all'indirizzo *ind* se è verificata la condizione xx
  - LOOP *ind* — Decrementa CX e se non è zero salta a *ind*
  - LOOPxx *ind* — Come LOOP, ma salta solo se è verificata xx
- L'istruzione più chiara è certamente JMP, che può essere considerato un sostituto per MOV IP,*ind* e che chiarisce il concetto indicando che si "salta" in un'altra zona del programma.

Trasferimento di controllo

- Le istruzioni di salto condizionato sono: JA (JNBE), JAE (JNB), JB (JNAE), JBE (JNA), JE, JG (JNLE), JGE (JNL), JL (JNGE), JLE (JNG), JNE

  A=above (superiore, senza segno), B=below (inferiore , senza segno), E=equal (uguale), G=greater (maggiore, con segno), L=less (minore , con segno), N=not
- Questi salti fanno riferimento al risultato dell'operazione aritmetica CMP (compare) che esegue una sottrazione ed aggiorna i FLAG in modo opportuno. Quindi queste interpretazioni logiche non sono altro che una combinazione dello stato dei FLAG.
- Esistono salti che fanno esplicito riferimento ai FLAG: JC, JNC, JNO, JNP (JPO), JNS, JNZ, JO, JP (JPE), JS, JZ

  C=carry (riporto), O=overflow, S=sign (segno), Z=zero, P=parity
- Esiste inoltre JCXZ che salta se CX è uguale a 0.

Trasferimento di controllo

Istruzione	Descrizione	Salta se ...
JA	Jump if Above	CF = 0 e ZF = 0
JAE	Jump if Above or Equal	CF = 0
JB	Jump if Below	CF = 1
JBE	Jump if Below or Equal	CF = 1 o ZF = 1
JC	Jump if Carry	CF = 1
JE	Jump if Equal	ZF = 1
JG	Jump if Greater	ZF = 0 e SF = OF
JGE	Jump if Greater or Equal	SF = OF
JL	Jump if Less	SF ≠ OF
JLE	Jump if Less or Equal	ZF = 1 o SF ≠ OF
JNA	Jump if Not Above	CF = 1 o ZF = 1
JNAE	Jump if Not Above nor Equal	CF = 1
JNB	Jump if Not Below	CF = 0
JNBE	Jump if Not Below nor Equal	CF = 0 e ZF = 0
JNC	Jump if No Carry	CF = 0

JNE	Jump if Not Equal	ZF = 0
JNG	Jump if Not Greater	ZF = 1 o SF ≠ OF
JNGE	Jump if Not Greater nor Equal	SF ≠ OF
JNL	Jump if Not Less	SF = OF
JNLE	Jump if Not Less nor Equal	ZF = 0 e SF = OF
JNO	Jump if No Overflow	OF= 0
JNP	Jump if No Parity (odd)	PF = 0
JNS	Jump if No Sign	SF = 0
JNZ	Jump if Not Zero	ZF = 0
JO	Jump on Overflow	OF =1
JP	Jump on Parity (even)	PF = 1
JPE	Jump if Parity Even	PF = 1
JPO	Jump if Parity Odd	PF = 0
JS	Jump on Sign	SF = 1
JZ	Jump if Zero	ZF = 1

Le istruzioni CALL e RET

- L'Assembly 8086 permette l'uso delle **Procedure**, in modo simile a quanto avviene nei linguaggi ad alto livello: l'unica differenza sta nell'impossibilità di passare dei parametri nel modo consueto.
- Mediante una Procedura è possibile scrivere una volta per tutte quelle parti di codice che vengono ripetutamente eseguite in un programma, ottenendo molti vantaggi:
  - Maggiore leggibilità del codice
  - Risparmio di tempo per il programmatore
  - Risparmio di memoria occupata dal codice
  - Possibilità di ricorsione e annidamento (limitate solo dalle dimensioni dello stack)
  - Una Procedura è diversa da una Macro!
- Le istruzioni CALL e RET permettono di effettuare una chiamata ad una procedura e di ritornare da essa.
- CALL è la versione di JMP che consente di tornare da dove si era venuti. Per fare questo prima del salto viene eseguito un PUSH IP. Se si salta in un altro segmento viene prima salvato CS, poi IP ed infine si salta. RET ritorna alla posizione precedente.

Le istruzioni CALL e RET

- Una procedura può essere:
  - **NEAR**: può essere chiamata solo dall'interno dello stesso segmento di codice cui appartiene;
  - **FAR**: può essere chiamata dall'interno di un segmento di codice qualsiasi.
- Il tipo di procedura (NEAR o FAR) deve essere dichiarato all'atto della creazione della procedura stessa.
- La **CALL** provvede a:
  - salvare il valore corrente di IP (e di CS nel caso di procedura FAR) nello stack, tramite un'operazione di PUSH;
  - caricare in IP (e in CS) il valore corrispondente all'indirizzo di partenza della procedura chiamata.
- La **RET** provvede a:
  - ripristinare tramite un'istruzione POP il valore di IP (e di CS nel caso di procedura FAR) salvato nello stack, riprendendo quindi l'esecuzione del programma a partire dell'istruzione successiva all'ultima CALL.

Istruzioni LOOP e INT

- L'istruzione LOOP consente di eseguire i tipici cicli di una programmazione strutturata. La variabile di controllo è CX e LOOP è equivalente a un decremento di CX, seguito da un salto se CX è diverso da 0.
- Esistono inoltre LOOPE (LOOPZ) e LOOPNE (LOOPNZ) che combinano il test CX diverso da 0 con il risultato di una operazione di compare precedente.
- Infine l'istruzione INT consente di invocare le interruzioni software, che per ora possiamo considerare come chiamate a funzione tramite un indice numerato. Successivamente nel corso ne capiremo il reale significato. Per ora basti sapere che INT è una CALL far (cioè inter-segmento) che salva sullo stack anche il registro FLAG.
- Per questo motivo esiste un ritorno speciale IRET che prima estrae dallo stack IP e CS e poi anche FLAG.

Interrupt software

- Come detto, gli interrupt software si invocano tramite l'istruzione INT *n*, dove *n* rappresenta l'interrupt type. Alla maggior parte degli interrupt software sono associate più funzioni, richiamabili tramite un indice contenuto, solitamente, in AH.
- Gli interrupt software nell'ISA Intel sono raggruppabili in:
  - *Interrupt BIOS*: agiscono a livello di BIOS
  - *Interrupt DOS*: agiscono a livello di sistema operativo

- Una guida completa agli interrupt software ed in generale all'Assembly 8086 è scaricabile da Internet cercando "Norton Guide"
- Per il corso ci concentreremo su 3 interrupt software:
  - INT 10h (BIOS) per l'output su video
  - INT 16h (BIOS) per l'input da tastiera
  - INT 21h (DOS) per altre versioni di I/O da tastiera e video

- Le funzioni definite a livello di BIOS sono solitamente più complesse, ma permettono anche un livello di parametrizzazione maggiore.

Interrupt software

- Le operazioni causate da una **INT** sono:
  - salvataggio nello stack del Flag Register
  - azzeramento dei flag TF (Trap Flag) e IF (Int. Enable/Disable)
  - salvataggio nello stack del registro CS
  - caricamento in CS della seconda word dell'Interrupt Vector
  - salvataggio nello stack del registro IP
  - caricamento in IP della prima word dell'Interrupt Vector

- Le operazioni causate da una **IRET** (senza operandi) sono:
  - preleva dallo stack il valore di IP;
  - preleva dallo stack il valore di CS;
  - preleva dallo stack il valore del Flag Register

Interrupt software

INT 10h – funzione 0Eh – Write Character in Teletype (TTY) Mode

- Altri parametri in input:

  AL = codice ASCII del carattere da scrivere

  BH = numero pagina (solo in modo testo)

  BL = colore di foreground (solo in modo grafico)

In modo testo il carattere viene visualizzato con colore di background e foreground preimpostati (con la funzione 09h dell'INT 10h – vedi guida).

INT 16h – funzione 00h – Keyboard Read

- Valori ritornati:

  AL = codice ASCII del carattere letto

  AH = scan code (utile differenziare tra caratteri ottenuto con tasti diversi – tipo tastierino numerico)

INT 21h – funzione 02h – Character Output

- Altri parametri in input:

  DL = codice ASCII del carattere da scrivere

Interrupt software

INT 21h – funzione 01h – Read Keyboard Character and Echo

- Valori ritornati:

  AL = codice ASCII del carattere letto

Scrive anche il carattere letto direttamente sullo standard output (echo).

INT 21h – funzione 4Ch – Terminate a Process (EXIT)

- Altri parametri di input:

  AL = codice di uscita

Esempio 1

Vediamo il primo esempio di programma assembly:

```
CPU 8086
Leggi:   mov     ah,00h          ; Questa è la funzione di lettura
         int     16h             ; di un carattere

         cmp     al,1bh          ; Il codice ASCII è 1B (ESC)?
         je      Fine            ; Se sì, vai alla fine

         mov     ah,0eh          ; Funzione di scrittura a video
         mov     bx,00h          ; Pagina 0 (BH)
         int     10h

         jmp     Leggi           ; Leggi un altro carattere

Fine:    mov     ax, 4C00h       ; servizio esci (return code=0)
         int 21h
```

La prima riga contiene una direttiva per l'assemblatore che specifica il codice è Assembly per 8086.

Esempio 1

- Nella seconda riga vediamo una delle principali caratteristiche dell'assemblatore, cioè quella di consentire la dichiarazione di *etichette* per indicare la posizione di una istruzione senza conoscere l'indirizzo.
- La sintassi del NASM prevede che ogni etichetta rappresenti un indirizzo. Quindi può essere usata come valore immediato nelle istruzioni. Nel programma assemblato le etichette verranno sostituite con il loro valore numerico.
- Che valore verrà sostituito all'etichetta *Leggi*?
- L'etichetta *Leggi* indica l'indirizzo di una MOV che azzera il registro AH. Poi viene chiamato l'INT 16h.

Esempio 1

- Il programma prosegue con una CMP, per verificare se l'utente ha premuto il carattere ESC. Come già spiegato, CMP esegue una sottrazione tra AL e 1Bh e imposta il flag zero (ZF). Possiamo allora verificare se sono uguali, con un JE. JE è infatti un sinonimo per JZ, che però mette in evidenza (solo a livello concettuale) che la differenza è stata eseguita con lo scopo di verificare una uguaglianza. Nel caso si sia premuto ESC, si salta all'etichetta *Fine*.
- Il carattere letto viene poi visualizzato tramite la funzione 0Eh dell'interrupt 10h (Video and Screen Services). Infine si salta nuovamente all'etichetta *Leggi*.
- Nel caso si arrivi a *Fine*, viene eseguita una chiamata all'INT 21h con codice 4C00h, quindi la funzione (AH=4Ch) per uscire a DOS con codice di uscita 0 (AL=00).

Definizione di dati in Assembler

- Un dato si definisce con la sintassi

  [nome:] tipo espressione [, espressione] ...

- dove:
  - **nome** - nome simbolico del dato
  - **tipo** - lunghezza del dato (se scalare) o di ogni elemento del dato (se array) - i tipi più utilizzati sono:
    - **DB** riserva uno o più byte (8 bit)
    - **DW** riserva una o più word (16 bit)
    - **DD** riserva una o più doubleword (32 bit)
  - **espressione** - **contenuto iniziale del dato**:
    - un'espressione costante
    - una stringa di caratteri (solo DB)
    - un punto di domanda (nessuna inizializzazione)
    - un'espressione che fornisce un indirizzo (solo DW e DD)
    - un'espressione duplicata
- Se si vuole creare una variabile non inizializzata si usano rispettivamente **RESB**, **RESW** e **RESD**

Esempi di definizione di dati

```
ByteVar:      DB     0            ;1 byte inizializzato a 0
ByteArray:    DB     1,2,3,4        ;  array di 4 byte
String:       DB     '8','0','8','6'  ;array di 4 caratteri
String:       DB     '8086'         ;equivale al precedente
Titolo:       DB     'Titolo',0dh,0ah ;stringa che contiene
                     ;anche una coppia di caratteri CR/LF
Zeros:        times 256 DB  0       ;array di 256 byte
                                    inizializzati a 0;
Tabella:      RESB 50             ;array di 50 byte non
                                  ;inizializzati
WordVar:      DW     100*50  ;scalare di una word
Matrix:       DW     1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0 ;array
                     di 16 word;
NearPointer:  DW     Matrix  ;contiene l'offset di Matrix
DoubleVar:    RESD   1       ;scalare di una doubleword
FarPointer:   DD     Matrix  ;contiene l'offset e
                              ;l'indirizzo del segmento di
                              ;Matrix
```

Esempio 2

```
CPU 8086
SECTION data
CaratteriEsa:     DB      '0123456789ABCDEF'
Numero:       RESB  1
SECTION text
..start:
Leggi:   mov ax, data
         mov ds, ax                ; faccio puntare DS alle variabili
         mov      ah,00h           ; Questa è la funzione di lettura
         int      16h              ; di un carattere

         cmp      al,1bh           ; Il codice ASCII è 1B (ESC)?
         je       Fine             ; Se sì, vai alla fine

         mov      [Numero],al
         call     ScriviNumero

         mov      al,' '
         mov      ah,0eh           ; Funzione di scrittura a video
         mov      bx,00h           ; Pagina 0 (BH)
         int      10h

         jmp      Leggi            ; Leggi un altro carattere
Fine:    ret
(segue)
```

Esempio 2

```
ScriviNumero:
          mov       ah,0
          mov       al,[Numero]
          mov       bl,16
          div       bl
          mov       ah,0
          mov       si,ax
          mov       al,[CaratteriEsa+si]

          mov       ah,0eh
          mov       bx,00h
          int       10h

          mov       ah,0
          mov       al,[Numero]
          mov       bl,16
          div       bl
          xchg      ah,al
          mov       ah,0
          mov       si,ax
          mov       al,[CaratteriEsa+si]
          mov       ah,0eh
          mov       bx,00h
          int       10h
          ret
```

- In questo esempio vediamo come possono essere dichiarate delle variabili in memoria (db), come può essere utilizzata la chiamata a funzione e un primo esempio di indirizzamento indiretto tramite registro indice e scostamento.
- Nonostante la sintassi rigida del NASM non lo consenta, è possibile vedere [CaratteriEsa+si] come CaratteriEsa[si], cioè sommare l'indice è equivalente a usare un indice in un vettore di byte.

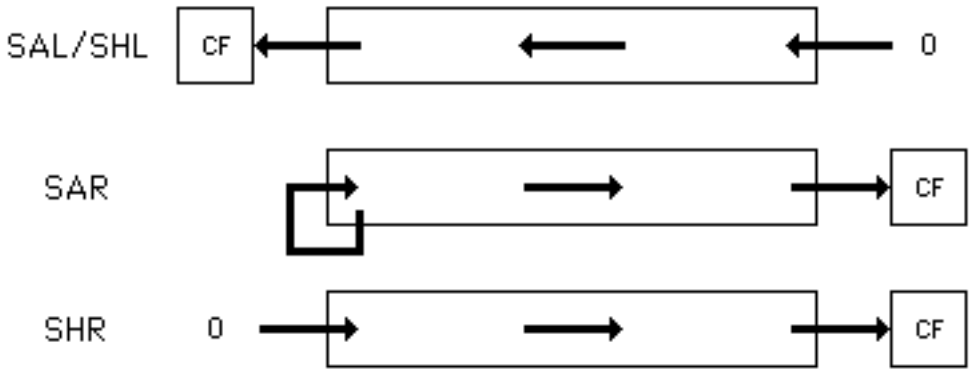
Logica binaria

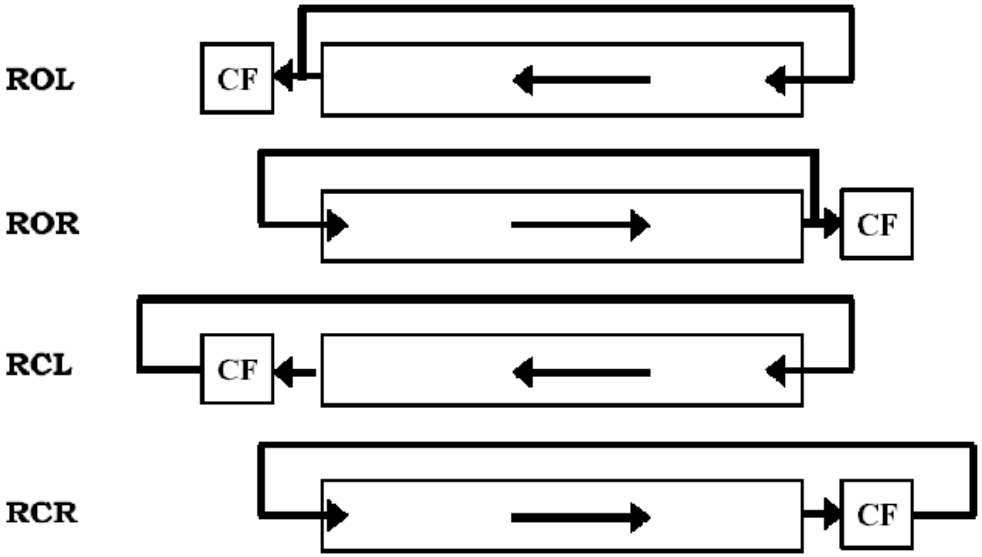
- Fanno parte di questo gruppo:
  - AND *dest,sorg* AND bit a bit
  - NOT *dest* NOT bit a bit
  - OR *dest,sorg* OR bit a bit
  - TEST *dest,sorg* Test
  - XOR *dest,sorg* OR esclusivo bit a bit
- AND, NOT, OR e XOR eseguono l'operazione logica indicata sui bit dei registri forniti come parametri. TEST è invece un AND che però non salva il risultato, un po' come CMP, ma modifica i FLAG. Questa istruzione serve per verificare se un certo bit di un byte o word è a 1.

Shift e Rotate

- Fanno parte di questo gruppo:
  - SHL *dest,count* Spostamento logico a sinistra
  - SHR *dest,count* Spostamento logico a destra
  - SAL *dest,count* Spostamento aritmetico a sinistra
  - SAR *dest,count* Spostamento aritmetico a destra
  - ROL *dest,count* Rotazione verso sinistra
  - ROR *dest,count* Rotazione verso destra
  - RCL *dest,count* Rotazione attraverso il carry verso sinistra
  - RCR *dest,count* Rotazione attraverso il carry verso destra
- Gli shift logici spostano tutti i bit in una certa direzione, espellendo gli estremi nel carry e inserendo degli zeri come nuovi bit.
- SAL è identico a SHL, mentre SAR inserisce bit uguali al bit di segno originale, preservando quindi il segno del numero.
- I rotate sono equivalenti agli shift, ma reinseriscono il bit “espulso” dalla parte opposta come nuovo bit. Le rotazioni attraverso il carry invece inseriscono il carry.

Shift e Rotate





Esempio 3

```
ScriviNumero:
        xor     bh,bh
        mov     dl,2
        mov     dh,[Numero]
Ripeti:
        mov     cl,4
        ror     dh,cl
        mov     bl,dh
        and     bl,0fh
        mov     al,[CaratteriEsa+bx]
        mov     ah,0eh
        mov     bx,00h
        int     10h
        dec     dl
        jnz     Ripeti

        ret
```

- In questo esempio è stata riscritta la procedura ScriviNumero, utilizzando anche le istruzioni logiche e la rotate.
- Nella prima riga, XOR viene utilizzato per azzerare BH.
- Il parametro *count* per gli shift e i rotate può essere soltanto 1 oppure CL. Attenzione perché FASM consente anche altri valori, ma questi funzionano soltanto dal 80386 in avanti.
- Notare anche la mancanza di una CMP prima di JNZ.

Operazioni su stringhe di dati

- Fanno parte di questo gruppo:
  - CMPS (CMPSB/CMPSW) Confronta stringhe di byte o word
  - MOVS (MOVSB/MOVSW) Copia stringhe di byte o word
  - LODS (LODSB/LODSW) Carica una stringa in AL o AX
  - STOS (STOSB/STOSW) Scrive AL o AX in una stringa
  - SCAS (SCASB/SCASW) Confronta AL o AX con una stringa
- Prefissi relativi a questo gruppo
  - REP/REPE/REPZ Ripetono l'operazione se CX≠0 e se ZF=1, poi CX=CX-1
  - REPNE/REPNZ Ripetono l'operazione se CX≠0 e se ZF=0, poi CX=CX-1
- Queste operazioni sono istruzioni complesse che consentono di lavorare con stringhe di dati in modo semplice. L'indirizzo della stringa sorgente è sempre DS:SI e quello destinazione è ES:DI.
- Ognuna di queste operazioni ha una forma con operandi a dimensione variabile e due senza operandi (B per byte e W per word), ma in realtà la prima è solo un modo per consentire più chiarezza nel codice e coincide esattamente con le altre due.

Operazioni su stringhe di dati

- Tutte le istruzioni stringa incrementano di uno in caso di byte o di due in caso di word SI e DI. Se però il DF (flag direzione) è a 1 la direzione viene invertita e quindi SI e DI vengono decrementati.
  - MOVS(B/W) copia un dato da DS:SI a ES:DI
  - LODS(B/W) carica un dato da DS:SI in AL o AX
  - STOS(B/W) scrive il dato da AL o AX a ES:DI
- Solitamente per MOVS e STOS si utilizza il prefisso REP che consente di ripetere la copia o la scrittura CX volte. LODS si può ripetere, ma è totalmente inutile, dato che AL/AX viene continuamente sovrascritto.
  - CMPS(B/W) confronta il dato in DS:SI con quello in ES:DI
  - SCAS(B/W) confronta il dato in ES:DI con AL o AX
- CMPS e SCAS vengono tipicamente ripetuti con REPE/Z o REPNE/Z a seconda che si voglia continuare fino a che il dato è uguale o diverso.

Esempio 4

```
SECTION data
        ; Dati del programma
Stringa1:       resb 255
Stringa2:db  16,'Prova di stringa'
        times 255-17 db ' '

SECTION text
..start: mov ax, data
        mov ds, ax
        mov es, ax
        ; Copio Stringa2 in
   Stringa1
        xor     ch,ch
        mov     cl,[Stringa2]
        mov     [Stringa1],cl
        mov     si,Stringa2+1
        mov     di,Stringa1+1
   rep  movsb
        ; Visualizzo Stringa1
        mov     cl,[Stringa1]
        mov     si,Stringa1+1
        mov     ah,0eh
        mov     bx,0000h
Stampa: lodsb
        int     10h
        loop    Stampa
        ; Riempio Stringa2 di '*'
        mov     al,'*'
        mov     cl,100
        mov     [Stringa2],cl
        mov     di,Stringa2+1
   rep  stosb
        ; Visualizzo Stringa2
        mov     cl,[Stringa2]
        mov     si,Stringa2+1
        mov     ah,0eh
        mov     bx,0000h
Stampa2: lodsb
        int     10h
        loop    Stampa2

Fine:   mov ax, 4c00h
        int 21h
```

Esempio 4

- In questo esempio vengono utilizzate le istruzioni per le stringhe.
- Per comodità si sono definite le stringhe al modo del PASCAL, ovvero con un byte iniziale che contiene la lunghezza della stringa e uno spazio di 255 byte.
- Quindi *Stringa1* punta ad una struttura di 256 byte, in cui il primo indica il numero di caratteri effettivamente presenti nel buffer successivo.
- *Stringa2* è analoga, ma viene inizializzata con un testo.
- Il programma copia *Stringa2* in *Stringa1*, ne visualizza il contenuto, riempie *Stringa2* di asterischi e mostra il risultato.
- Provate a modificare il programma in modo che la parte che esegue la visualizzazione sia una procedura da invocare con una CALL.

Istruzioni per il controllo dei flag

- Fanno parte di questo gruppo:
  - CLC/STC — Clear/Set Carry Flag (pone CF a zero o a uno)
  - CLD/STD — Clear/Set Direction Flag (pone DF a zero o a uno)
  - CLI/STI — Clear/Set Interrupt-Enable Flag (pone IF a zero o a uno)
  - CMC — Complement Carry Flag (inverte lo stato di CF)
  - LAHF — Copia FLAG in AH (solo SF, ZF, AF, CF e PF)
  - SAHF — Copia AH nei FLAG (solo SF, ZF, AF, CF e PF)
  - POPF — Estrae i FLAG dallo stack
  - PUSHF — Memorizza i FLAG sullo stack
- Queste istruzioni sono molto chiare e tipicamente vengono usate CLD e STD prima delle istruzioni stringa, CLC, STC e CMC prima di alcune operazioni aritmetiche su numeri grandi, CLI e STI prima e dopo l'esecuzione di sezioni che lavorano con l'hardware o con le tabelle degli interrupt.
- Le altre servono tipicamente nelle routine di risposta agli interrupt.

Esempio 4 bis

- Vediamo ora un esempio di accesso alle **stringhe zero-terminate** "alla C"

Scrivere in Assembly per Intel 80x86 un programma che riceve in ingresso una stringa zero-terminata stringa. La stringa è composta da 2 parole di lunghezza qualsiasi (anche diverse tra loro) separate da un solo spazio. Il programma deve scambiare di posto le due parole e scrivere il risultato nella stringa (zero-terminata) mirror. Ad esempio, se la stringa in ingresso vale 'Grande Pennello', la stringa risultante dal mirror deve valere 'Pennello Grande'.

Le variabili del programma sono le seguenti:

```
stringa: db 'Buona Pasqua',0
mirror: resb 100
```

Esempio 4 bis

```
CPU 8086
SECTION data
stringa: db 'Buona Pasqua',0
mirror: resb 100

SECTION text
..start:
          mov ax, data
          mov ds, ax
          mov es, ax
          mov si, stringa
          mov di, mirror
Ciclo:    lodsb               ; scorro fino a trovare lo spazio
          cmp al,' '
          je Ciclo2
          cmp al, 0
          jne Ciclo
Ciclo2:   lodsb               ; copio nella stringa destinazione
          cmp al, 0
          je ricomincia
          stosb
          jmp Ciclo2
ricomincia: mov al, ' '
          stosb               ; metto lo spazio in mirror
          mov si, stringa     ; mi riposiziono all'inizio di stringa
```

Esempio 4 bis

```
Ciclo3:   lodsb
          cmp al, ' '
          je Fine
          stosb
          jmp Ciclo3
Fine:     mov al, 0
          stosb               ; metto il terminatore in mirror
          mov si, mirror      ; mi riposiziono all'inizio di mirror per stamparla
          mov       ah,0eh
          mov       bx,0000h
Stampa:   lodsb
          cmp al, 0
          je fineStampa
          int       10h
          jmp Stampa
fineStampa:
          mov ax, 4c00h
          int 21h
```

Passaggio di parametri a funzione

- Il passaggio dei parametri alle funzioni, in Assembler, può tipicamente avvenire in 3 modalità:
  - tramite registro
  - tramite variabili in memoria
  - tramite stack
- La prima modalità ha il difetto che, essendo il set di registri limitato, non è efficiente nel caso di più parametri o di chiamata ricorsiva della funzione
- La seconda modalità non è particolarmente indicata nel caso di chiamata ricorsiva della funzione
- La modalità più usata (anche da linguaggi di alto livello come il C) è quella tramite lo stack.
- Prima di chiamare con CALL la funzione metto nello stack i vari parametri (in ordine inverso in C, diretto in Pascal) della funzione
- La funzione chiamata utilizzerà BP per accedere ai parametri (salva quindi il vecchio valore a sua volta nello stack). Per chiamate a funzioni intrasegment, quindi, il primo parametro passato dalla funzione chiamante sarà ad indirizzo SP+4 (+2 per il PUSH IP della CALL e +2 per il PUSH del vecchio valore di BP), il secondo a SP+6, ecc.

Esempio 5

```
SECTION data
; Definisco i dati globali
Stringa:        db      'Hello world, con funzione in stile C.',0dh,0ah,0
SECTION text
..start:
        mov     ax, data
        mov     ds, ax
        mov     ax,Stringa
        push    ax
        call    ScriviStringa
        add     sp,2
        ; Fine programma
        mov     ah,4ch  ; Function 4Ch (76) - Terminate a Process (EXIT)
        mov     al,0    ; Codice di ritorno
        int     21h
```

(SEGUE)

Esempio 5

```
; Scrive una stringa ASCIIZ (classica NULL terminated stile C)
; In input riceve l'indirizzo della stringa come parametro sullo stack.
ScriviStringa:
        push    bp
        mov     bp,sp
        mov     ah,02h          ; Function 02h (2) - Character Output
        mov     bx,[bp+4]       ; Leggo l'indirizzo della stringa
.AltroCarattere:
        mov     dl,[bx]
        cmp     dl,0
        je      .Fine
        int     21h
        inc     bx
        jmp     .AltroCarattere
.Fine:
        pop     bp
        ret
; ScriviStringa
```

Esempio 6

```
    mov   ax,8
    push  ax
    call  CalcolaFattoriale
    add   sp,2
    mov   ax,4c00h
    int   21h
; Funzione che calcola il fattoriale di un numero a 16 bit e
; ritorna il risultato in AX.

; int CalcolaFattoriale (int Num);
CalcolaFattoriale:
    push  bp
    mov   bp,sp
    ; Devo fare Num*CalcolaFattoriale(Num-1), quindi devo prima ottenere
    ; il risultato di CalcolaFattoriale(Num-1)
    mov   ax,1
    mov   bx,[bp+4]
    dec   bx
    ; Se mi hanno passato un 1 allora adesso ho uno zero e quindi posso
    ; ritornare 1.
    jz    Fine
    push  bx
    call  CalcolaFattoriale
    add   sp,2
    ; Il risultato è in AX, che è proprio il registro usato dalla MUL
    mul   word [bp+4]
    ; Il risultato va in DX:AX, ma ignoriamo la parte finita in DX.
Fine:
    pop   bp
    ret
; CalcolaFattoriale
```

Esempio 7

```
SECTION data
; Definisco le stringhe
Stringa1:         db "Questa è la prima stringa e",0
Stringa2:         db " deve essere concatenata a questa",0
Stringa3:         times 255 db 0
..start:
    mov ax, data
    mov ds, ax
    ; Salto all'inizio del programma
    call _main
    ; Fine programma
    mov   ax,4c00h
    int   21h
; Funzione principale
_main:
    push  bp
    mov   bp,sp
    mov   ax,Stringa2
    push  ax
    mov   ax,Stringa1
    push  ax
    mov   ax,Stringa3
    push  ax
    call  ConcatenaStringhe
    add   sp,6
    mov   ax,Stringa3
    push  ax
    call  ScriviStringa   ; da esempio 5
    add   sp,2
Fine:

    pop   bp
    ret
```

Esempio 7

```
; Concatena szSorg1 e szSorg2 e le copia in szDest.
; void ConcatenaStringhe (char *szDest, char *szSorg1, char *szSorg2);
ConcatenaStringhe:
    push bp
    mov  bp,sp
    ; Copio il contenuto di szSorg1 in szDest
    mov  di,[bp+4]        ; Leggo l'indirizzo della stringa di
    destinazione
    mov  si,[bp+6]        ; Leggo l'indirizzo della prima stringa sorgente
    mov  bx,[bp+8]        ; Leggo l'indirizzo della seconda stringa
    sorgente
.AltroCarattere:
    mov  al,[si]
    cmp  al,0
    je   .AltraStringa
    mov  [di],al
    inc  si
    inc  di
    jmp  .AltroCarattere
    ; Copio il contenuto di szSorg2 in szDest
.AltraStringa:
    mov  al,[bx]
    mov  [di],al
    inc  bx
    inc  di
    cmp  al,0
    jne  .AltraStringa
    pop  bp
    ret
; ConcatenaStringhe
```

Esempio 8

```
SECTION data
Numero DW 134
Stringa resb 6

..start:
        mov ax, data
        mov ds, ax
        mov ax, Stringa
        push ax
        mov ax, [Numero]
        push ax

        call   ConvertiDecimale
        add sp, 4
        mov ax, Stringa
        push ax
        call ScriviStringa     ; come esempi precedenti
        add sp, 2
        ; Fine programma
        mov     ax,4c00h
        int     21h
```

(CONTINUA…)

Esempio 8

```
; Converte un numero a 16 bit in decimale senza gli zeri
   iniziali.
; In input riceve un intero a 16 bit passato sullo stack
; e il puntatore alla stringa che deve ricevere il carattere.
; ConvertiDecimale (int16 iNumero, char *szStringa);
ConvertiDecimale:
   push bp
   mov  bp,sp
   ; Alloco una stringa da 5 caratteri sullo stack
   sub  sp,5

   ; Uso si come indice nella stringa.
   xor  si,si
   mov  ax,[bp+4]              ; Carico in un registro il numero
   mov  bx,10                  ; Preparo il divisore
   ; Inizio dividendo per 10 per calcolare la cifra meno
   significativa
CD_AltroNumero:
   dec  si
   xor  dx,dx
   div  bx
   add  dl,30h                 ; converto in codice ASCII
   mov  [bp+si],dl             ; salvo il carattere
   cmp  ax,0
   jne  CD_AltroNumero
```

(CONTINUA…)

Esempio 8

```
    ; Copio i caratteri nella stringa destinazione

    mov   di,[bp+6]         ; di è l'indice per la stringa destinazione
CD_AltroCarattere:
    mov   dl,[bp+si]
    mov   [di],dl
    inc   di
    inc   si
    jnz   CD_AltroCarattere

    mov   byte [di],00h          ; Terminatore per la stringa destinazione

    mov   sp,bp                     ; Libero la memoria dallo stack
    pop   bp
    ret
```