

Corso di Calcolatori Elettronici I

Modi di indirizzamento

ing. Alessandro Cilardo

Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

Modi di indirizzamento

- Indicano come la CPU accede agli operandi usati dalle proprie istruzioni
- La loro funzione è quella di fornire un indirizzo effettivo (*Effective Address*, EA) per l'operando di un'istruzione
 - Es: In un'istruzione per la manipolazione di un dato, l'indirizzo effettivo è l'indirizzo del dato da manipolare
 - Es: In un'istruzione di salto, l'indirizzo effettivo è l'indirizzo dell'istruzione a cui saltare
- Sono possibili moltissimi modi di indirizzamento. Nessun processore li supporta tutti.
 - il 68000 ne supporta una buona parte

Modi di Indirizzamento del 68K

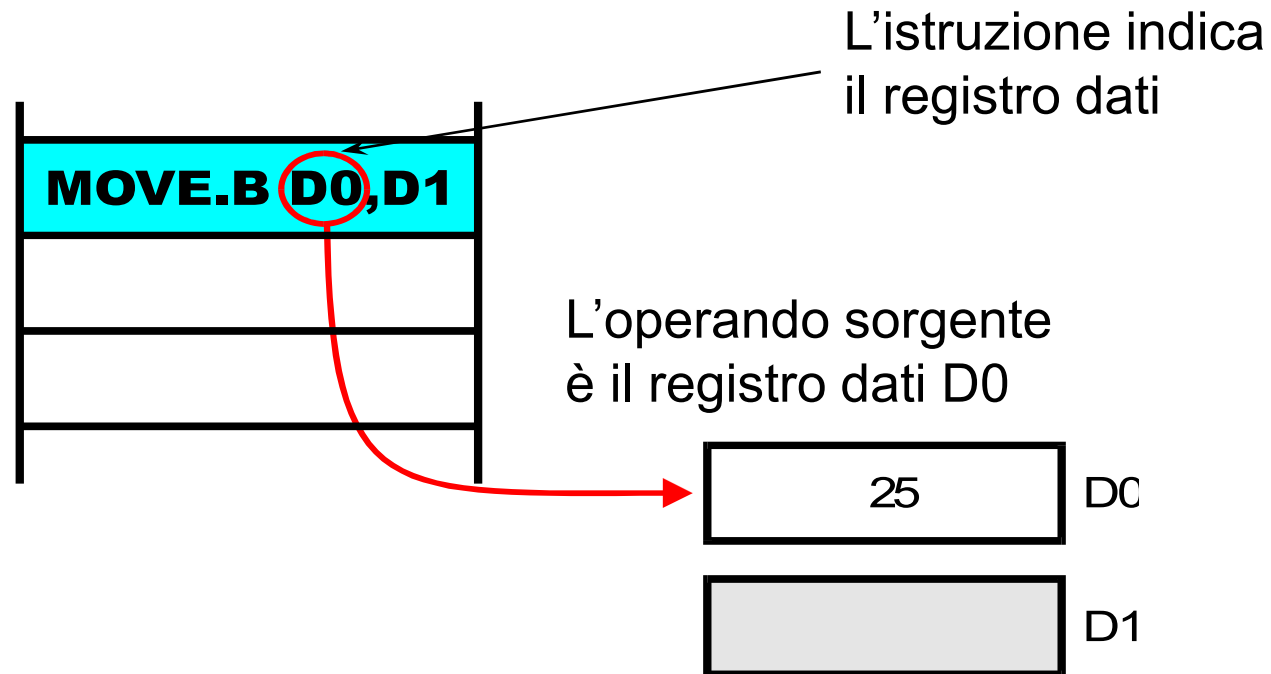
- Register Direct
 - Data-register Direct
 - Address-register Direct
- Immediate (or Literal)
- Absolute
 - short
 - long
- Address-register Indirect
- Auto-Increment
- Auto-Decrement
- Indexed short
- Based
- Based Indexed
 - short
 - long
- Relative
- Relative Indexed
 - short
 - long

Register Direct Addressing

- È il modo di indirizzamento più semplice
- La sorgente o la destinazione di un operando è un **registro dati** o un **registro indirizzi**
- Se il registro è un operando sorgente, il contenuto del registro specificato fornisce l'operando sorgente
- Se il registro è un operando destinazione, esso viene caricato con il valore specificato dall'istruzione, sovrascrivendo il contenuto precedente

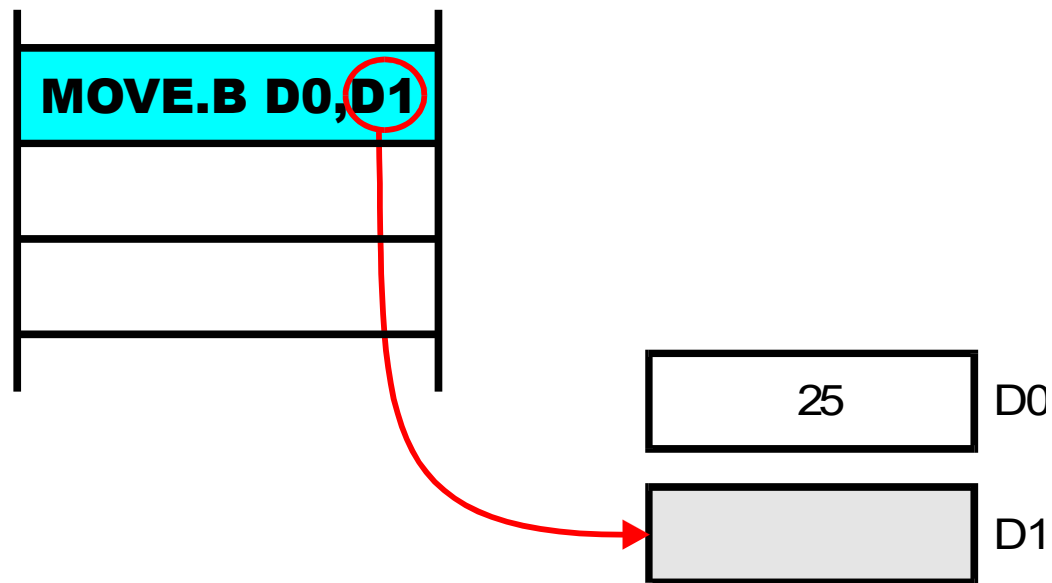
<code>MOVE.B D0,D3</code>	<code>Copia l'operando sorgente in D0 nel registro D3</code>
<code>SUB.L A0,D3</code>	<code>Sottrae l'operando sorgente nel registro A0 dal registro D3</code>
<code>CMP.W D2,D0</code>	<code>Confronta l'op. sorgente nel registro D2 con il registro D0</code>
<code>ADD D3,D4</code>	<code>Somma l'operando sorgente nel registro D3 al registro D4</code>

Register Direct Addressing: Funzionamento



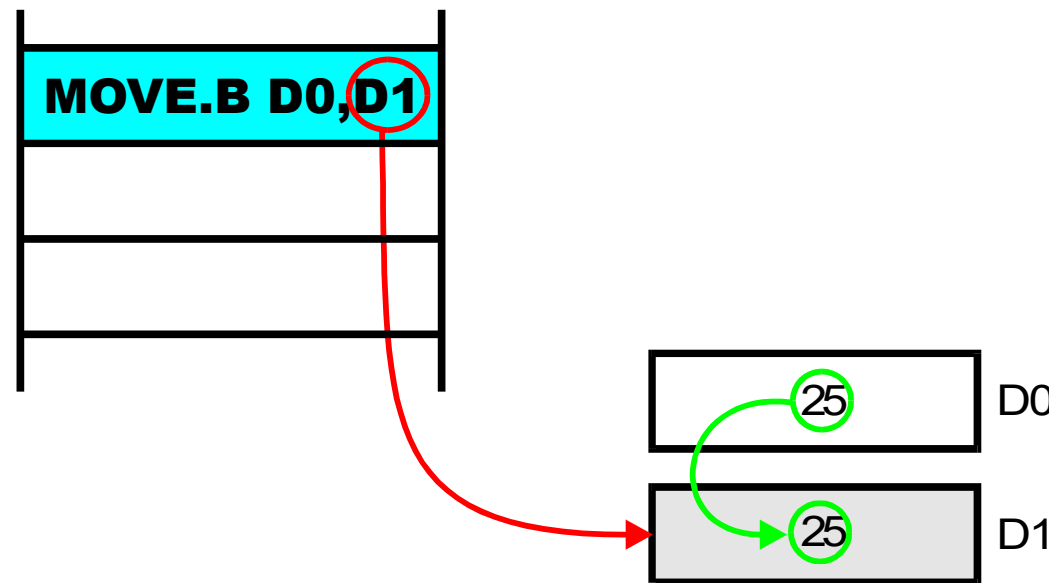
L'istruzione `MOVE.B D0, D1` usa registri dati sia per l'operando sorgente che per quello destinazione

Register Direct Addressing: Funzionamento



L'operando destinazione
è il registro dati D1

Register Direct Addressing: Funzionamento



L'effetto di questa istruzione è quello di copiare il contenuto del registro dati D0 nel registro dati D1

Register Direct Addressing: caratteristiche

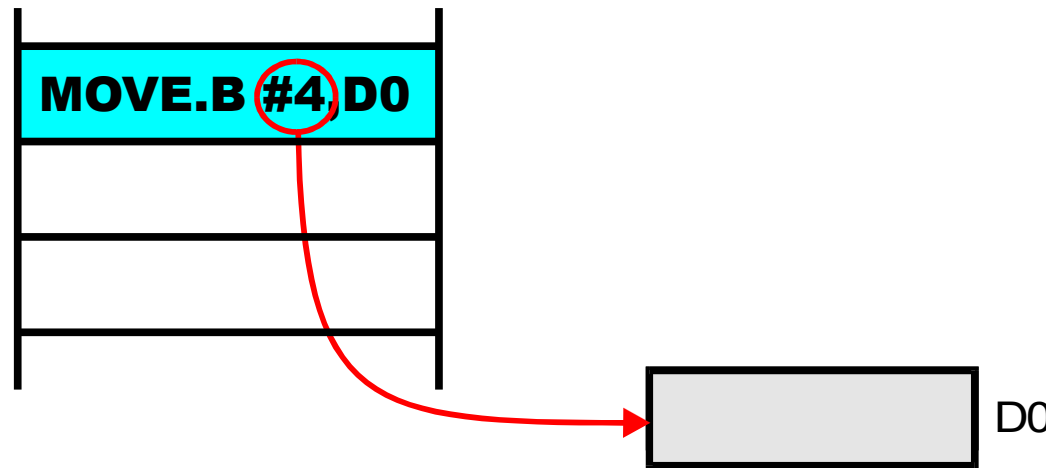
- È **veloce**, perché non c'è bisogno di accedere alla memoria esterna
- Fa uso di istruzioni **corte**, perché usa soltanto tre bit per specificare uno degli otto registri (*reg*), più un bit per indicare quale gruppo di registri usare (*mode*)
 - *mode* = 0, *reg* = 0-7 per Dn
 - *mode* = 1, *reg* = 0-7 per An
 - Ad esempio, per codificare la MOVE D0,D1 bastano 16 bit di parola codice (non sono necessarie parole aggiuntive)
- I programmatori lo usano per memorizzare variabili che sono usate di frequente (*scratchpad storage*)

Immediate Addressing

- Il valore stesso dell'operando effettivo costituisce **parte dell'istruzione**
- Può essere usato unicamente per specificare un operando sorgente
(non si può scrivere su una costante!)
- È indicato da un simbolo **#** davanti all'operando sorgente
- Un operando immediato è anche chiamato *literal*

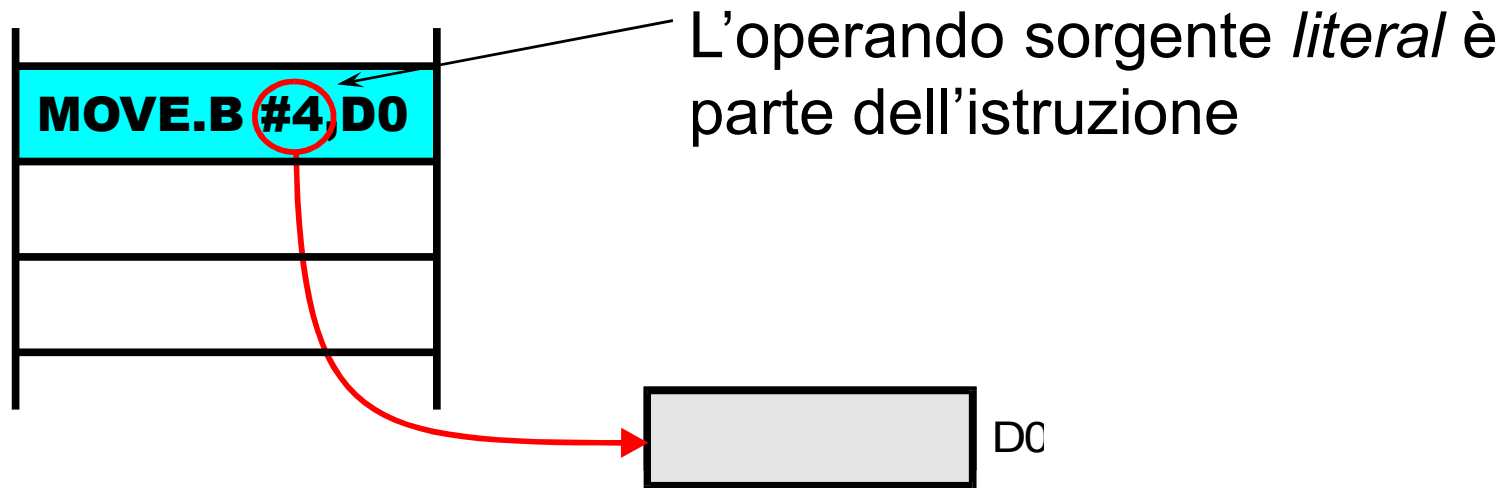
`MOVE.B #4,D0` Usa l'operando sorgente immediato 4

Immediate Addressing: Funzionamento

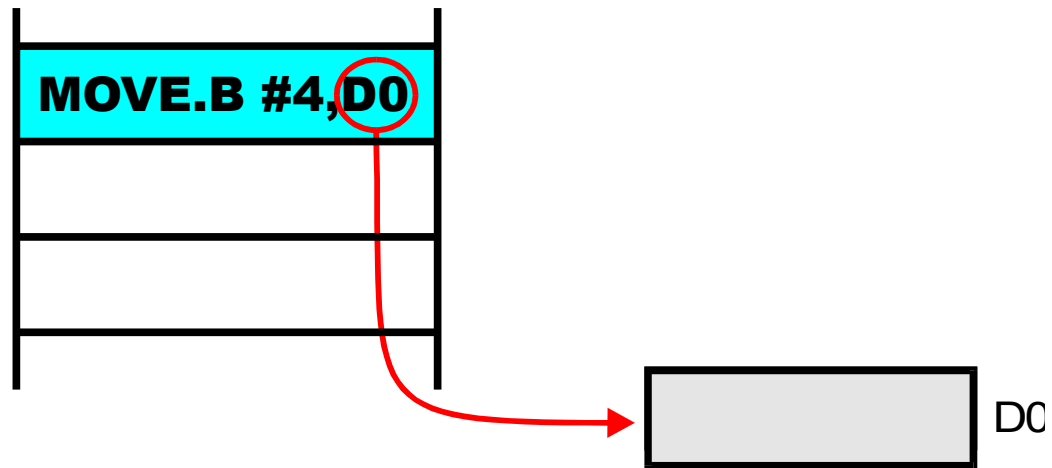


L'istruzione `MOVE.B #4, D0` usa un operando sorgente *literal* ed un operando destinazione *register direct*

Immediate Addressing: Funzionamento

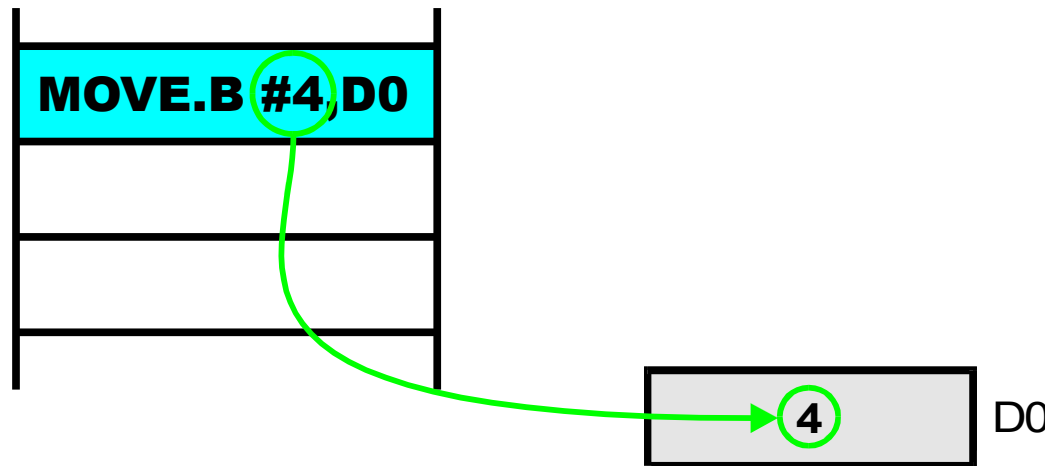


Immediate Addressing: Funzionamento



L'operando destinazione è un registro dati

Immediate Addressing: Funzionamento



L'effetto di questa istruzione è quello di copiare il valore 4 nel registro dati D0

Immediate Addressing: Caratteristiche

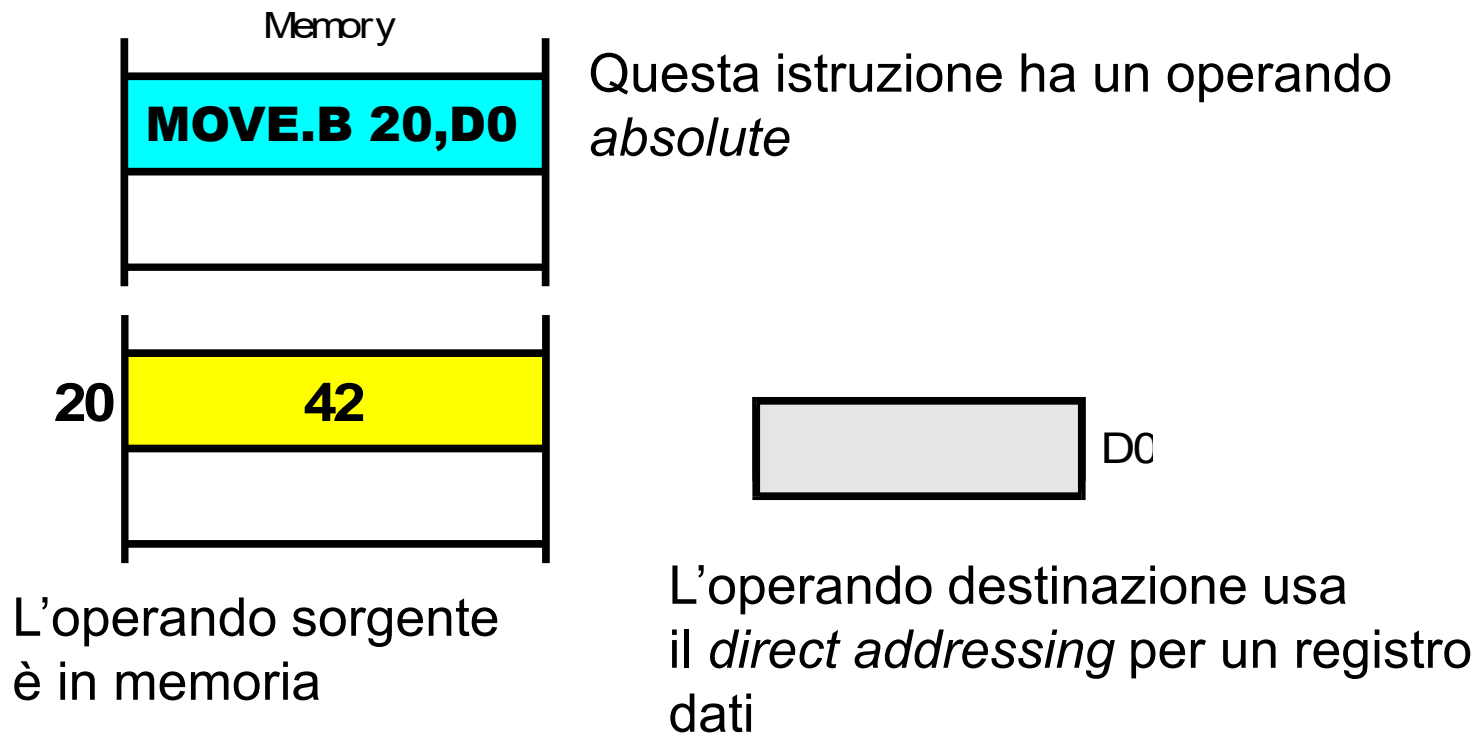
- Se la costante da manipolare ha dimensioni ridotte (pochi bit) è possibile codificarla direttamente nei 16 bit dell'istruzione
 - non sono necessarie parole aggiuntive per codificare il *literal* oltre alla parola codice di 16 bit
 - se l'operando destinazione è un registro (*register direct addressing*), l'intera istruzione viene codificata su 16 bit
 - non sono necessarie ulteriori (lenti) accessi in memoria
- Se la costante è “lunga”, è necessario usare una o più parole aggiuntive che seguono la parola codice

Absolute Addressing (o Direct Addressing)

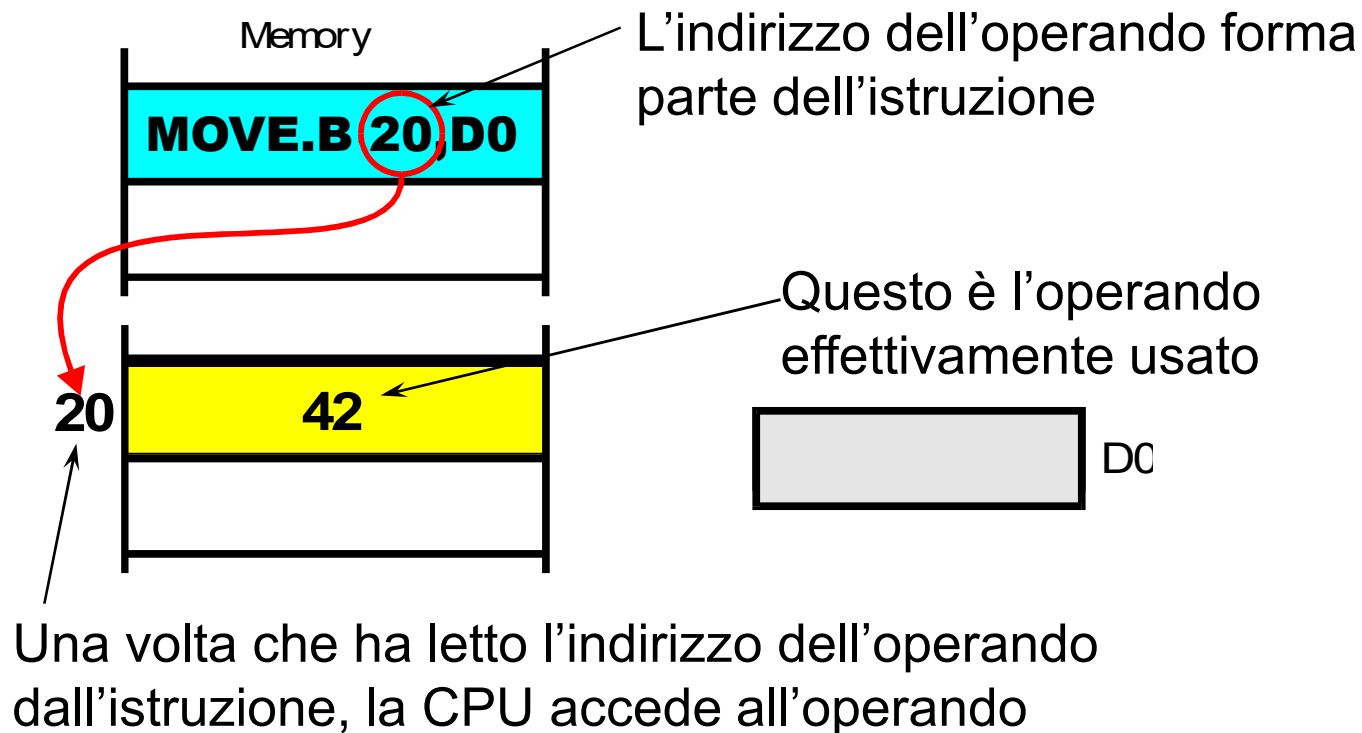
- È il modo più semplice per specificare un indirizzo di memoria completo
- L'istruzione **fornisce direttamente il valore dell'indirizzo** dell'operando in memoria
- Richiede due accessi in memoria:
 - Il primo è per prelevare l'istruzione e l'indirizzo assoluto che essa fornisce
 - Il secondo è per accedere all'operando effettivo

`CLR.B $1A3B` azzerà il contenuto della locazione di memoria 1A3B

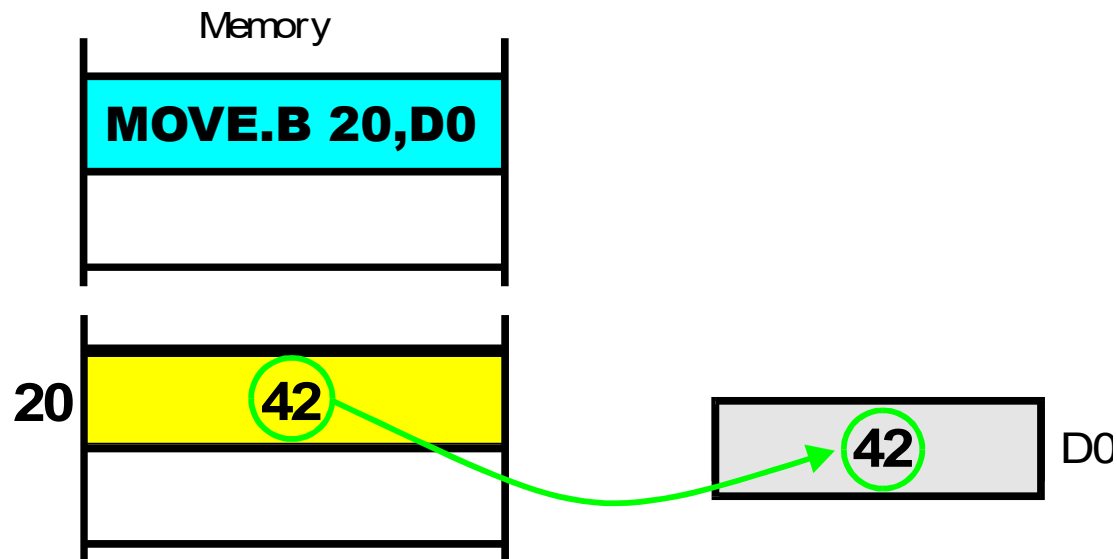
Absolute Addressing: Funzionamento



Absolute Addressing: Funzionamento



Absolute Addressing: Funzionamento



L'effetto di `MOVE.B 20,D0`
è quello di leggere il contenuto della locazione
di memoria 20 e copiarlo nel registro D0

Esempio modi fondamentali

- Consideriamo questo frammento di programma in linguaggio di alto livello (ad esempio C/C++):

```
char z, y = 27;
```

```
z = y + 24;
```

Il seguente frammento di codice lo implementa in assembler:

```
ORG      $400      Inizio del codice
MOVE.B   Y,D0
ADD      #24,D0
MOVE.B   D0,Z

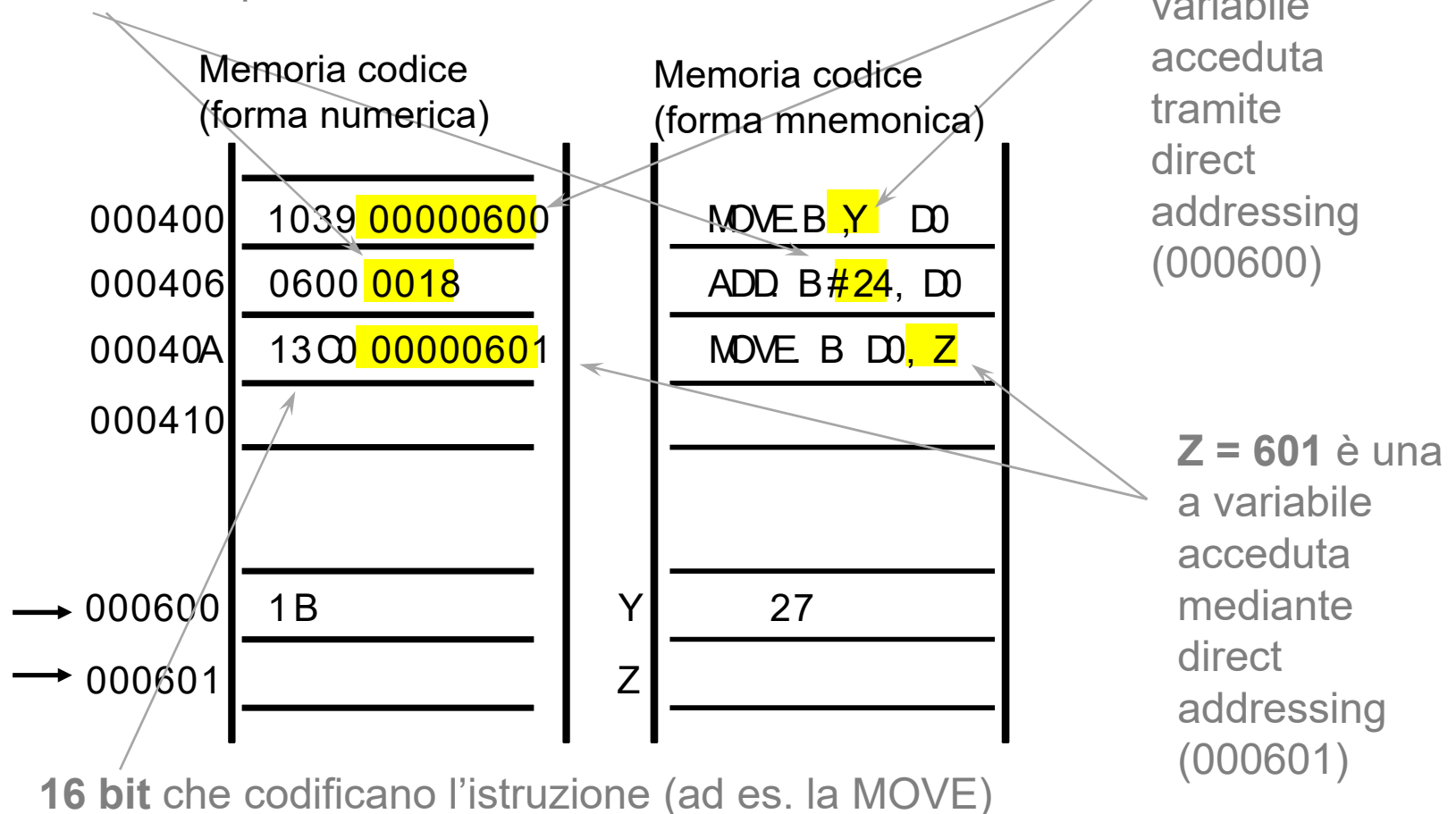
ORG      $600      Inizio dell'area dati
Y        DC.B      27      Memorizza la costante 27 in memoria
Z        DS.B      1      Riserva un byte per Z
```

Esempio: il Programma Assemblato

```
1  00000400                ORG      $400
2  00000400 103900000600    MOVE.B  Y,D0
3  00000406 06000018       ADD.B   #24,D0
4  0000040A 13C000000601    MOVE.B  D0,Z
5  00000600                ORG      $600
6  00000600 1B              Y        DC.B   27
7  00000601 00000001       Z        DS.B   1
```

Esempio: Mappa della Memoria

#24 è un operando di tipo literal, memorizzato come parte dell'istruzione



Riepilogo modi fondamentali

- **Register direct addressing** - È usato per variabili che possono essere mantenute in registri di memoria
- **Literal (immediate) addressing** - È usato per costanti che non cambiano
- **Direct (absolute) addressing** - È usato per variabili che risiedono in memoria

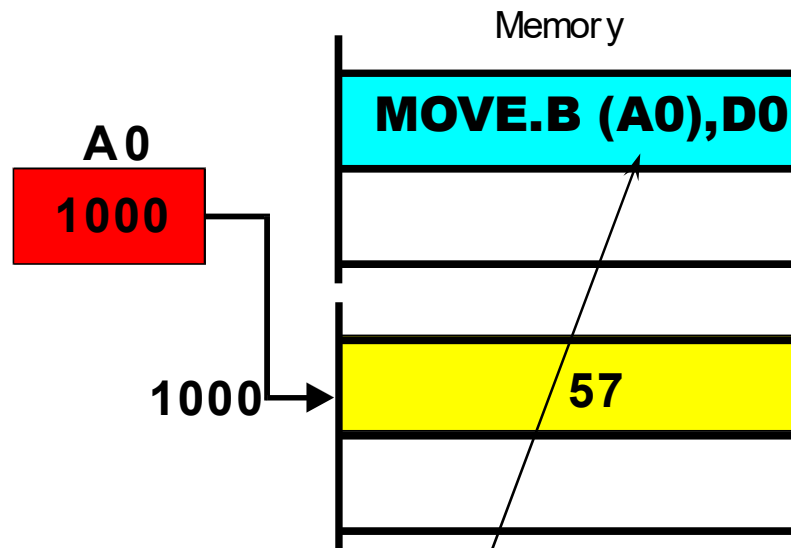
Address Register Indirect Addressing

- L'istruzione specifica uno dei registri indirizzo
- Il **registro indirizzo contiene l'indirizzo** effettivo dell'operando
- Il processore accede all'operando puntato dal registro indirizzo

`MOVE.B (A0),D0`

Vai in memoria ad una posizione il cui indirizzo è contenuto nel registro A0, preleva un byte e copialo nel registro D0

Address Register Indirect: Funzionamento

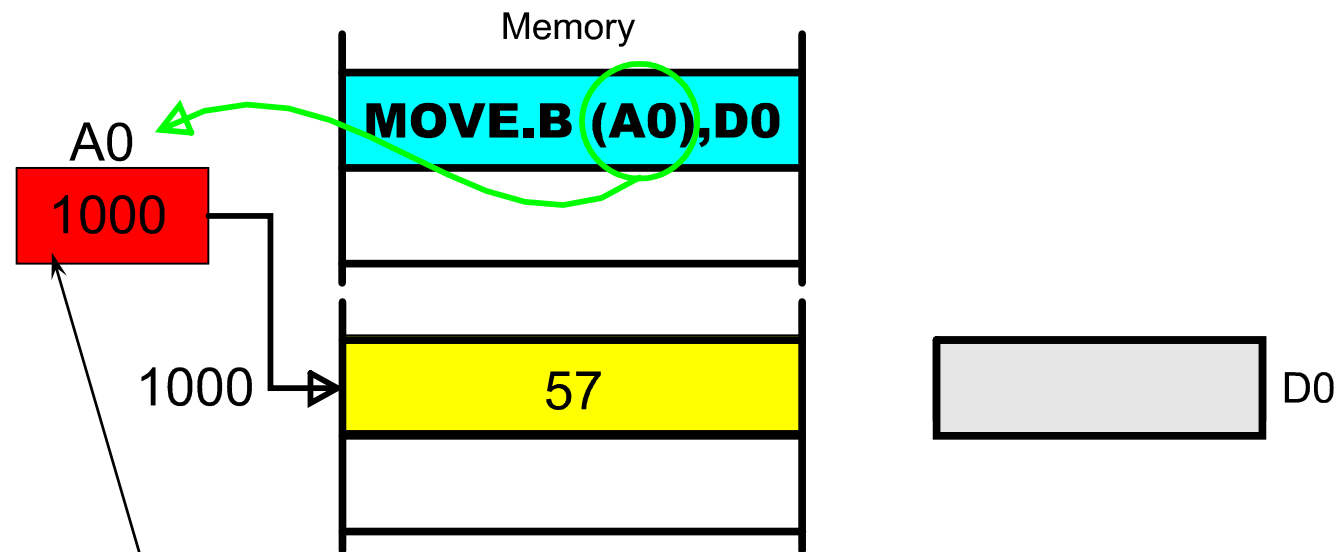


Questa istruzione significa: carica D0 con il contenuto della locazione puntata dal registro indirizzo A0



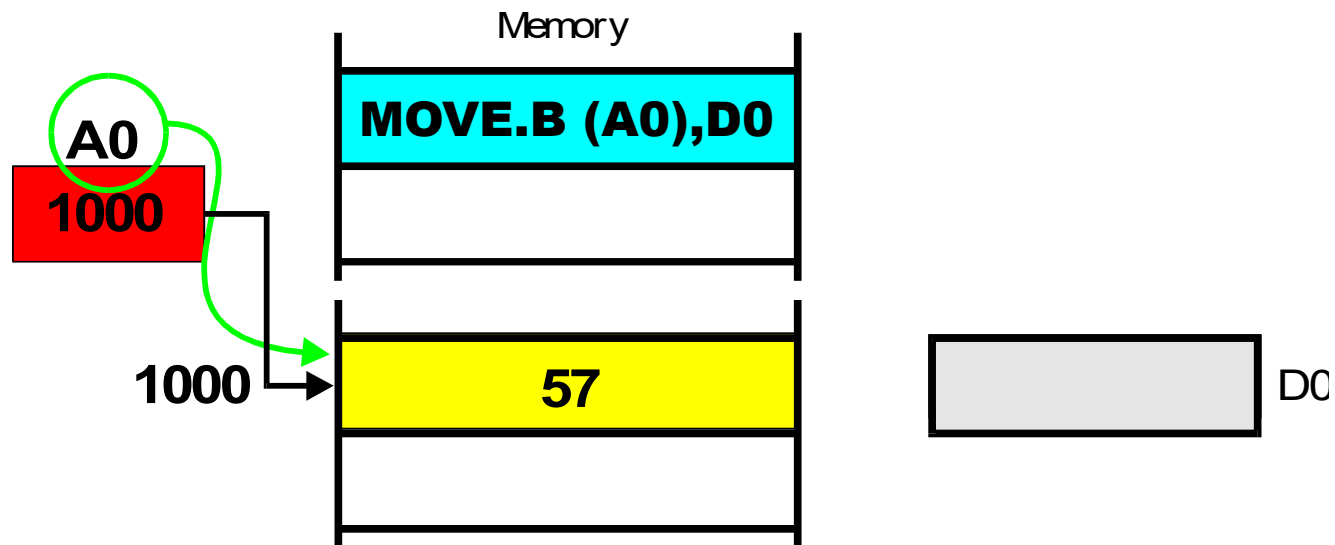
L'istruzione specifica l'operando sorgente come (A0)

Address Register Indirect: Funzionamento



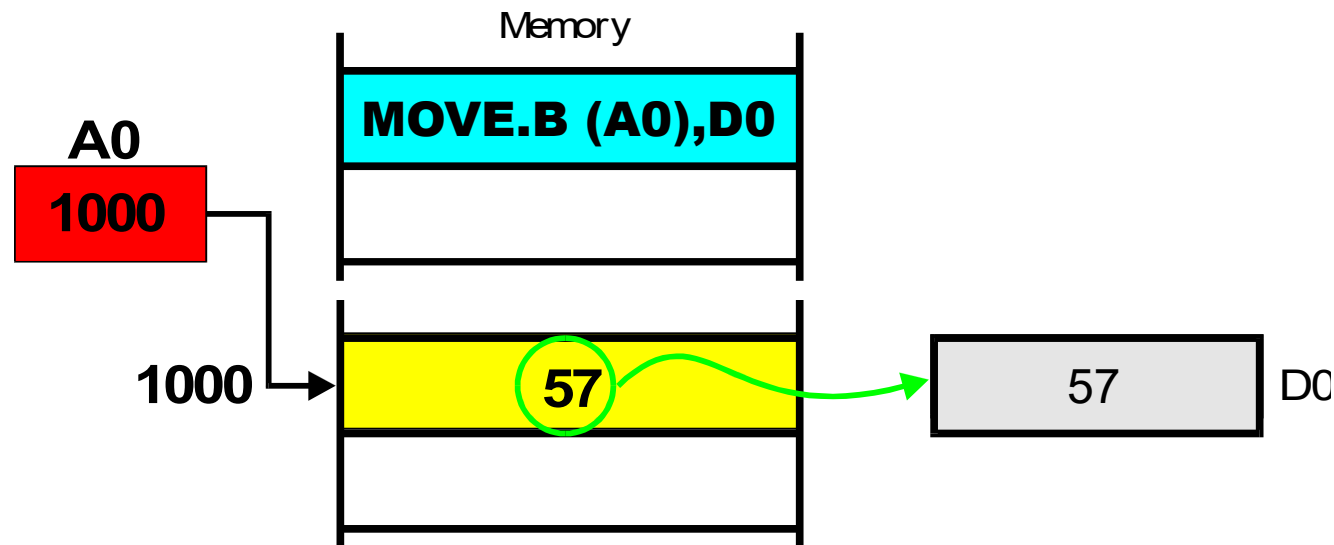
Il registro indirizzo nell'istruzione specifica un registro indirizzo che contiene l'indirizzo dell'operando

Address Register Indirect: Funzionamento



Il registro indirizzo è usato per accedere all'operando in memoria

Address Register Indirect: Funzionamento



Alla fine, il contenuto della locazione puntata da **A0** viene copiato nel registro dati

Auto-increment

- L'istruzione specifica uno dei registri indirizzo, usando la modalità *Address Register Indirect*.
- Se il modo di indirizzamento è specificato come **(An)+**, il contenuto del registro indirizzo è **incrementato automaticamente** di una quantità pari alla dimensione dell'operando dopo l'uso ("post-incremento")

MOVE.W (A0)+, D0

Usa A0 per la MOVE e poi gli aggiunge 2 (2 poiché l'accesso è di tipo .W = 2 byte). Di fatto, l'istruzione esegue un *pop* in D0 dallo *stack* puntato da A0

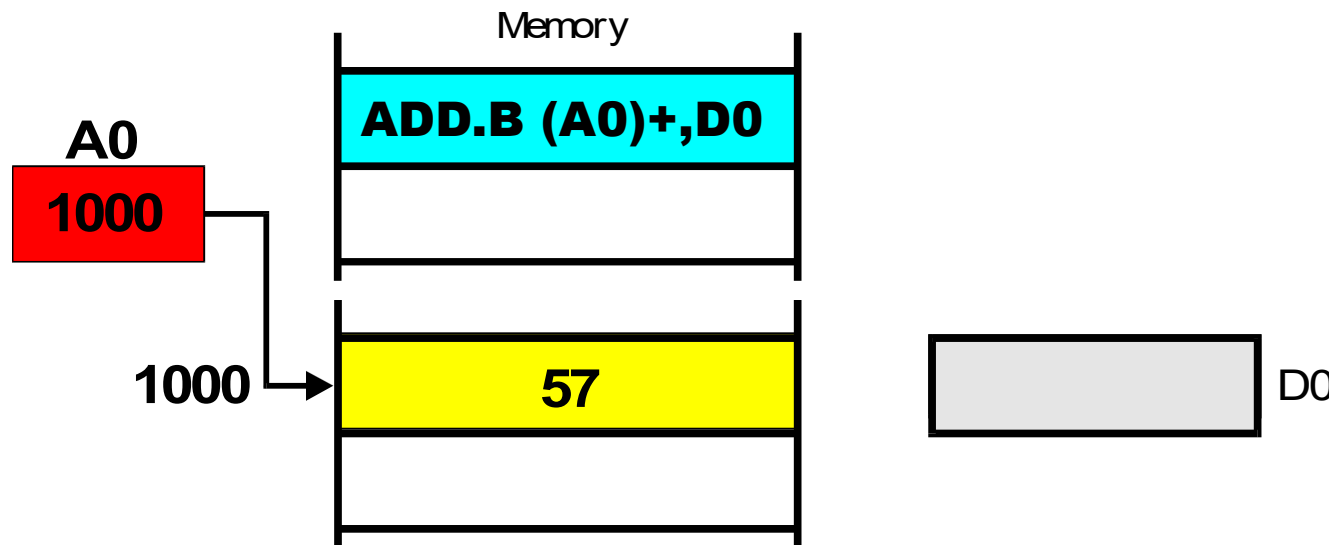
Auto-decrement

- L'istruzione specifica uno dei registri indirizzo, usando la modalità *Address Register Indirect*.
- Se il modo di indirizzamento è specificato come **-(An)**, il contenuto del registro indirizzo è **decrementato automaticamente** di una quantità pari alla dimensione dell'operando *prima dell'uso* ("pre-decremento")

`MOVE.W D0, -(A0)`

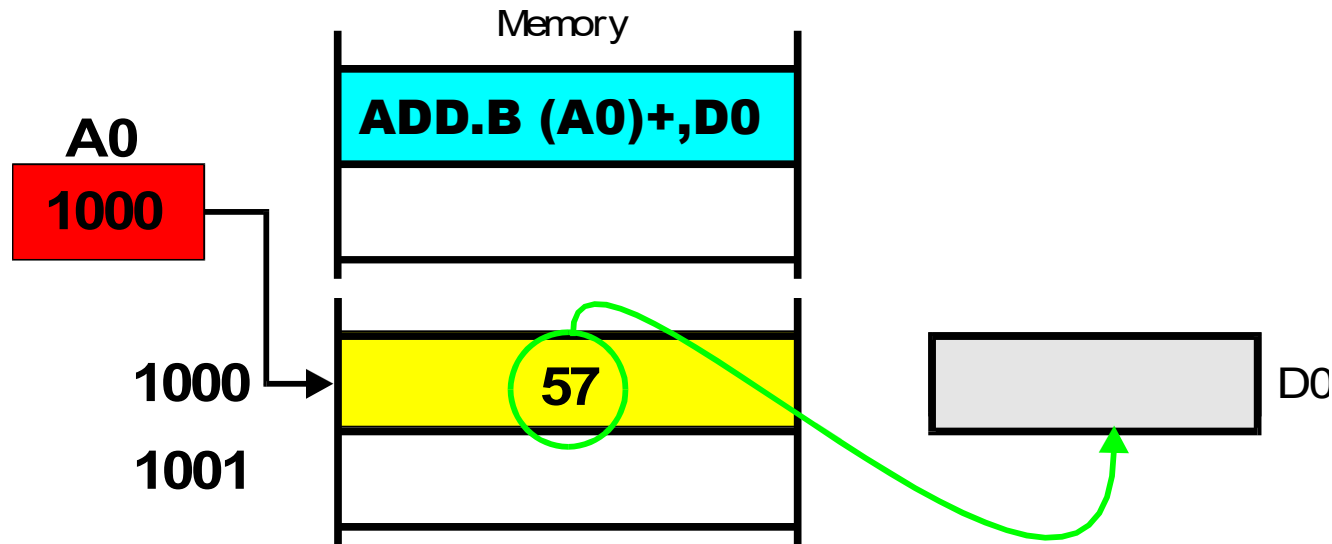
Sottrae 2 ad A0 e poi lo usa per la MOVE (2 poiché l'accesso è di tipo .W = 2 byte). Di fatto, l'istruzione esegue un *push* di D0 sullo *stack* puntato da A0.

Auto-increment: Funzionamento



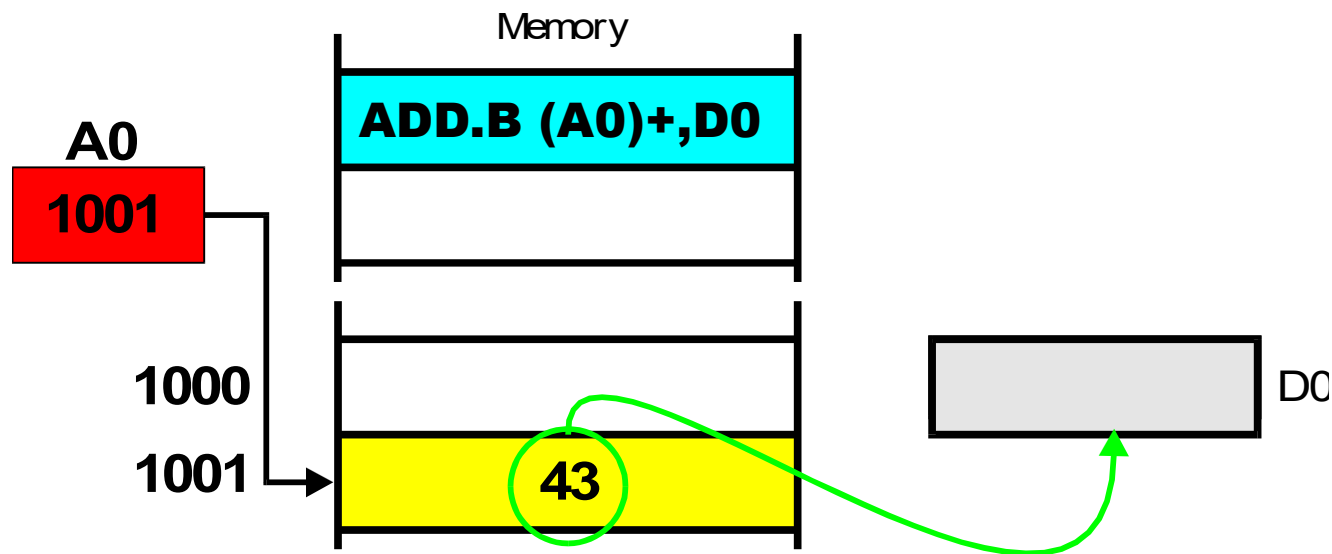
Il registro indirizzo contiene 1000
ovvero “punta” alla locazione 1000

Auto-increment: Funzionamento



Il registro **A0** viene usato per accedere alla locazione di memoria 1000 e il contenuto di questa locazione (57) viene sommato a **D0**

Auto-increment: Funzionamento



Dopo che l'istruzione è stata eseguita, il contenuto di **A0** viene incrementato, per puntare alla locazione successiva

Istruzione LEA

- Serve a calcolare e caricare in un registro **Ax** l'*Effective Address* (EA) così come verrebbe calcolato da un'istruzione che abbia indirizzi di memoria come operandi
- E' utile per evitare di far calcolare direttamente all'istruzione l'EA, generandolo prima ed eventualmente salvandolo in un registro **Ax**
- Nel caso di indirizzi costanti (che non vanno quindi calcolati) non è particolarmente utile ed è sostituibile con un trasferimento dell'indirizzo (costante) nel registro destinazione **Ax**
 - (vedi esempio sotto)

LEA \$0010FFFF, A5



è equivalente a

MOVE #\$0010FFFF, A5

Sposta la costante esadecimale 0010FFFF nel registro A5. NOTA: se avessimo usato una MOVE in luogo della LEA (senza il #), avremmo copiato il contenuto della locazione di indirizzo 0010FFF nel registro A5

Esempio

- Scrivere un programma assembly che sommi cinque numeri memorizzati in locazioni di memoria consecutive
- Assemblare ed eseguire sul simulatore
- Sperimentare:
 - l'effetto dell'istruzione LEA
 - l'effetto dell'autoincremento

Esempio: Codice

- Il seguente frammento di codice usa l'*address register indirect addressing* con *post-increment* per sommare cinque numeri memorizzati in **locazioni di memoria consecutive**.

	MOVE.B	#5,D0	Cinque numeri da sommare
	LEA	Table,A0	A0 punta alla tabella dei numeri
	CLR.B	D1	Inizializza la somma
Loop	ADD.B	(A0)+,D1	Somma il numero al totale
	SUB.B	#1,D0	Decrementa D0 per gestire il conteggio
	BNE	Loop	Itera fino a 5
Table	DC.B	1,4,2,6,5	Dati d'esempio

Esempio: tracce del programma

Traccia: 1/3

```
PC=000400 SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000000 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000000 D1=00000000 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->MOVE.B #$05,D0
```

```
PC=000404 SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000000 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000005 D1=00000000 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->LEA.L $0416,A0
```

D0 è stato
caricato
con **5**

```
PC=00040A SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000416 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000005 D1=00000000 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->CLR.B D1
```

Questa istruzione
carica **A0** con il valore
\$0416

A0 ora contiene **\$0416**

Esempio: tracce del programma

Traccia: 2/3

```
PC=00040C SR=2004 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000416 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=1
D0=00000005 D1=00000000 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->ADD.B (A0)+,D1
```

Questa istruzione carica il contenuto della locazione puntata da **A0** in **D1**

```
PC=00040E SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000417 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000005 D1=00000001 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->SUBQ.B #$01,D0
```

Siccome l'operando era **(A0)+**, il contenuto di **A0** viene incrementato

```
PC=000410 SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000417 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000004 D1=00000001 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->BNE.S $040C
```

ADD.B (A0)+,D1
somma l'operando sorgente a **D1**

Esempio: tracce del programma

Traccia: 3/3

PC=00040C SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000417 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000004 D1=00000001 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->ADD.B (A0)+,D1

PC=00040E SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000418 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000004 D1=00000005 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->SUBQ.B #\$01,D0

PC=000410 SR=2000 SS=00A00000 US=00000000 X=0
A0=00000418 A1=00000000 A2=00000000 A3=00000000 N=0
A4=00000000 A5=00000000 A6=00000000 A7=00A00000 Z=0
D0=00000003 D1=00000005 D2=00000000 D3=00000000 V=0
D4=00000000 D5=00000000 D6=00000000 D7=00000000 C=0
----->BNE.S \$040C

Al ciclo successivo
l'istruzione
ADD.B (A0)+,D1
usa **A0** come
operando sorgente e
poi incrementa il
contenuto di **A0**

Esempio: Esecuzione

The screenshot displays the ASIM simulator interface. The main window shows the assembly code for a program that sums five numbers. The code is as follows:

```
* File: autoinc.a68 - Somma numeri
* Usa address register indirect addressing con post-increment
*
                ORG      $8000
                MOVE.B  #5,D0      Cinque numeri da sommare
                LEA    Table,A0    A0 punta ai numeri
                CLR.B  D1          Inizializza la somma
Loop            ADD.B  (A0)+,D1    Somma il numero al totale
                SUB.B  #1,D0
                BNE   Loop        Fino a sommare tutti i numeri
                STOP   #$$2700
```

Below the code, the register values are displayed:

D0:00000005	D4:00000000	A0:00008016	A4:00000000
D1:00000000	D5:00000000	A1:00000000	A5:00000000
D2:00000000	D6:00000000	A2:00000000	A6:00000000
D3:00000000	D7:00000000	A3:00000000	A7:00009000

At the bottom, the execution statistics are shown:

Cycles	IT	S	INT	XNZVCI	A7'	00009200
00000014	ISR:00100111	00000000	1	PC:0000800A		

Problema

- Identificare l'addressing mode usato per l'operando sorgente in ciascuna delle seguenti istruzioni

`ADD . B (A5) , (A4)`

`MOVE . B #12 , D2`

`ADD . W TIME , D4`

`MOVE . B D6 , D4`

`MOVE . B (A6) + , TEST`

Problema: soluzione

- Identificare l'addressing mode usato per l'operando sorgente in ciascuna delle seguenti istruzioni

ADD . B (A5) , (A4)	←	Address register indirect addressing. L'indirizzo dell'operando sorgente è in A5
MOVE . B #12 , D2	←	Literal addressing. L'operando sorgente è il valore del letterale 12
ADD . W TIME , D4	←	Memory direct addressing. L'operando sorgente è il contenuto della locazione di memoria il cui nome è TIME
MOVE . B D6 , D4	←	Data register direct. L'operando sorgente è il contenuto di D6
MOVE . B (A6) + , TEST	←	Address register indirect with <i>post-incrementing</i> . L'indirizzo dell'operando sorgente è in A6 . Il contenuto di A6 viene incrementato dopo l'istruzione

Problema

- Se doveste tradurre in linguaggio assembly il seguente frammento di pseudo-codice, quali modi di indirizzamento utilizzereste?

SUM = 0

FOR J = 5 TO 19

SUM = SUM + X(J)*Y(J)

END FOR

Problema

- Se doveste tradurre in linguaggio assembly il seguente frammento di pseudo-codice, quali modi di indirizzamento utilizzereste?

SUM = 0

SUM è una variabile temporanea. La si può mettere in un registro ed usare il *register direct addressing*

FOR J = 5 TO 19

J è una variabile temporanea, che tipicamente viene messa in un registro e viene inizializzata al valore del *literal 5*

SUM = SUM + X(J)*Y(J)

X(J) è un elemento di un array, a cui tipicamente si accede mediante *address register indirect addressing*, eventualmente con *auto-incremento*

END FOR

Indexed Addressing

- In generale, l'*Indexed Addressing* combina due componenti mediante somma, per formare l'Effective Address (EA)
 - Il primo componente è detto **base address** ed è specificato come parte dell'istruzione (come nell'absolute addressing)
 - Il secondo componente è detto **index register** e contiene il valore da sommare al base address per ottenere l'EA
- È adatto per accedere ai valori di array e di tabelle
- Il processore MC68000 non supporta esplicitamente l'*Indexed Addressing*. Tuttavia, è possibile usare l'*Indexed Short Addressing* nei (32+32)Kbyte agli estremi dei 4GB dello spazio di memoria

`MOVE.B VET(A0),D1`

VET è una costante definita nel programma assembly. La MOVE accede all'indirizzo VET sommato al contenuto del registro A0. Incrementando A0 si può accedere a locazioni successive in memoria

Based Addressing

- *Based Addressing* è esattamente l'inverso dell'*Indexed Addressing*, in quanto combina due componenti mediante somma, per formare l'EA, ma:
 - Il primo componente è detto **displacement** ed è specificato come parte dell'istruzione (come nell'absolute addressing)
 - Il secondo componente è detto **base address** ed è contenuto in un registro
- È adatto per accedere ai valori di array e di tabelle di cui si conosca la posizione relativa ad assembly time, ma non quella iniziale
- Il processore MC68000 supporta il *Based Addressing* come *l'Indexed*

Based Indexed

- *Based Indexed Addressing* combina due componenti mediante somma, per formare l'EA, ma:
 - Il primo componente è detto registro base e contiene il **base address**
 - Il secondo componente è detto registro indice e contiene il **displacement**
- Consente di calcolare a run time sia la posizione iniziale che quella relativa di tabelle ed array
- Il processore MC68000 supporta lo *Short Based Indexed* ed il *Long Based Indexed*

`ADD.W $1C(A3,D2),D0` Accede alla memoria all'indirizzo calcolato come somma del contenuto del registro A3, del contenuto del registro D2 e della costante esadecimale 1C. Somma il dato letto dalle memoria e scrive il risultato in D0.

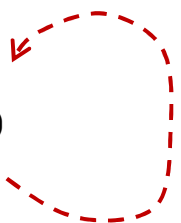
Esempio di uso della LEA

- Osservazione: Se l'istruzione **ADD** dell'esempio precedente dovesse essere ripetuta molte volte, sarebbe inefficiente ripetere ogni volta durante l'esecuzione il calcolo dell'Effective Address
- Conviene usare l'istruzione **LEA** per calcolare una sola volta l'Effective address e salvarlo in un registro **Ax**, che può poi essere utilizzato continuamente senza ripere il calcolo

```
LEA $1C(A3,D2),A5
```

```
.  
. .  
. .
```

```
ADD.W (A5),D0
```



Calcola la somma del contenuto del registro A3, del contenuto del registro D2 e della costante esadecimale 1C. Scrive il risultato nel registro indirizzo A5.

Usa (eventualmente in maniera ripetuta, l'indirizzo in A5 senza ricalcolarlo)

Relative Addressing

- “*Relative*” indica che il calcolo dell’indirizzo è relativo al Program Counter (PC)
 - ovvero, calcolato per **differenza rispetto all’indirizzo dell’istruzione attualmente eseguita**
- Questi modi di indirizzamento calcolano l’indirizzo effettivo come somma di un *displacement* fisso specificato nell’istruzione e del valore corrente del PC
- Fanno spesso uso di displacement piccoli, di 8 o 16 bit, per specificare indirizzi “vicini” all’istruzione corrente, anziché ricorrere a indirizzi assoluti di 32 bit
- Il 68000 non consente di utilizzare questi modi di indirizzamento per specificare operandi che potrebbero essere modificati

Relative Indexed Addressing

- Variante del *Relative*
- Funziona come il *Based Indexed*, ma il *base register* è sostituito dal PC
- Può essere usato per saltare ad aree di memoria *read-only*
 - può essere usato anche per i dati ma è più frequente trovarlo usato per le istruzioni