POLITECNICO DI MILANO

Introduzione al linguaggio macchina

Fondamenti di Informatica

Daniele Loiacono

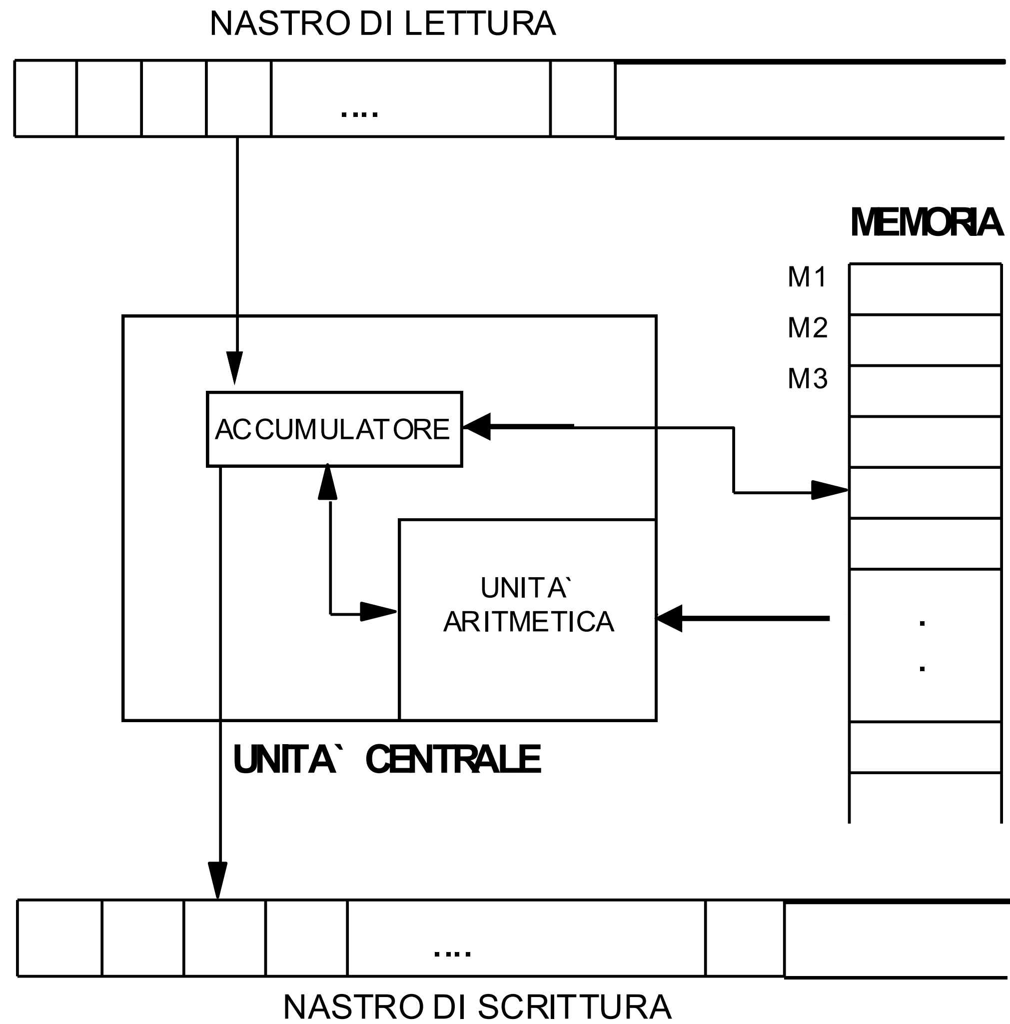
Come è fatto il linguaggio macchina?

Progettare il linguaggio macchina

- Il linguaggio macchina è un linguaggio di basso livello che viene progettato *attorno* al calcolatore:
  - richiede quindi di conoscere esattamente la struttura del calcolatore (la sua architettura);
  - è specifico per ogni calcolatore (in genere per ogni famiglia di calcolatori);
  - permette di sfruttare al meglio le risorse fisiche della macchina.

- Non studieremo l'architettura e il linguaggio macchina di un reale calcolatore, ma ci *limiteremo* ad un modello astratto di calcolatore (seppur funzionante) e a progettare un linguaggio macchina *essenziale* per questo modello.

Un modello semplificato di calcolatore



Quale istruzioni ci servono?

Istruzioni I/O

`READ`

- legge un dato dal nastro di input e lo memorizza nell'accumulatore

`WRITE`

- scrive il contenuto dell'accumulatore sul nastro di uscita

Gestione della memoria

`LOAD x`

- carica il dato nella cella di memoria all'indirizzo x nell'accumulatore

`STORE x`

- scrive l'informazione presente nell'accumulatore nella cella di memoria all'indirizzo x

Operazioni aritmetiche

`ADD x`

- somma il contenuto della cella di memoria all'indirizzo x all'accumulatore

`SUB x`

- sottrae il contenuto della cella di memoria all'indirizzo x all'accumulatore

`MULT x`

- moltiplica il contenuto della cella di memoria all'indirizzo x all'accumulatore

`DIV x`

- divide il contenuto della cella di memoria all'indirizzo x all'accumulatore

Controllo di flusso

`BR x`

- salta direttamente all’istruzione x

`BEQ x / BNE x`

- salta all’istruzione x se il valore dell’accumulatore è uguale/diverso da 0

`BL x / BLE x / BG x / BGE x`

- salta all’istruzione x se il valore dell’accumulatore è minore/minore o uguale/maggiore/maggiore o uguale a 0

`END`

- termina il programma

Come traduciamo un semplice programma?

Esempio

```
scanf(“%d”,&x);
scanf(“%d”,&y);
printf(“%d”,x+y);
```

- Come lo traduciamo in linguaggio macchina (ipotizzando che scanf e printf *lavorino* con i nastri di lettura e scrittura) ?

Esempio

```
scanf("%d",&x);
scanf("%d",&y);
printf("%d",x+y);
```

- Come lo traduciamo in linguaggio macchina (ipotizzando che scanf e printf *lavorino* con i nastri di lettura e scrittura) ?

```
1. READ           [Primo numero nell'accumulatore]
2. STORE 101      [Primo numero nella cella 101]
3. READ           [Secondo numero nell'accumulatore]
4. ADD 101        [Somma l'accumulatore alla cella 101]
5. WRITE          [Scrive il contenuto dell'accumulatore]
6. END
```

Ci servono altre istruzioni?

Indirizzamento

- Tutte le istruzioni che interagiscono con la memoria possono sfruttare differenti approcci per accedere allo spazio di memorizzazione.
- Si definiscono tali approcci come :
  - Indirizzamento DIRETTO
  - Indirizzamento INDIRETTO
  - Indirizzamento ESPLICITO
- Se assumiamo l'istruzione generica ISTR otteniamo :
  - Indirizzamento DIRETTO `ISTR 13` (`LOAD 13`)
    «carico direttamente la cella di memoria numero13»
  - Indirizzamento INDIRETTO `ISTR@ 11` (`LOAD@ 11`)
    «carico il valore della cella all'indirizzo memorizzato nella cella di memoria numero11»
  - Indirizzamento ESPLICITO `ISTR=14` (`LOAD= 14`)
    «carico direttamente il valore 14»

Esempio: sommatoria N numeri

```
scanf("%d",&n);
s=0;
for (i=0; i<n; i++)
{
    scanf("%d",&x);
    s = s + x;
}
printf("%d",s);
```

Esempio: sommatoria N numeri (traduz)

```
1.   READ
2.   STORE 101
3.   LOAD= 0
4.   STORE 102
5.   LOAD 101
6.   BEQ 13
7.   SUB= 1
8.   STORE 101
9.   READ
10.  ADD 102
11.  STORE 102
12.  BR 5
13.  LOAD 102
14.  WRITE
15.  END
```

Esempio: sommatoria N numeri (traduz)

```
1.  READ
2.  STORE 101          [1,2 → scanf("%d",&n)]
3.  LOAD= 0
4.  STORE 102          [3,4 → s=0]
5.  LOAD 101
6.  BEQ 13             [Salta se n=0]
7.  SUB= 1
8.  STORE 101          [7,8 → n = n-1]
9.  READ               [scanf("%d",&x)]
10. ADD 102
11. STORE 102          [10,11 → s = s+x]
12. BR 5
13. LOAD 102
14. WRITE              [printf("%d",s)]
15. END
```

Esempio: invertire una sequenza

```
n = 0;
do
{
  scanf("%d",&x[n]);
  n++;
} while (x[n-1]!=0);

for (i=n-2; i>=0; i--)
      printf("%d",x[i]);
```

Esempio: invertire una sequenza (traduz)

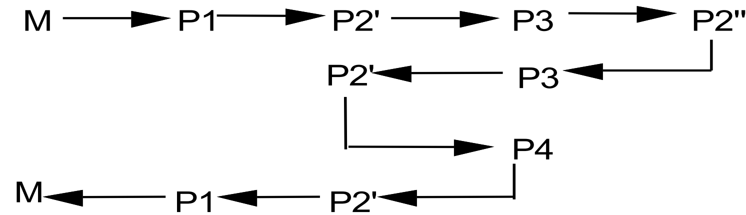
- Come organizzare la memoria?
  - Mi serve una cella per memorizzare il contatore degli elementi letti
  - Ciascun elemento verrà memorizzato all'indirizzo successivo a quello usato per il numero precedente
- Come posso memorizzare gli elementi della sequenza in un indirizzo sempre diverso?
  - Uso l'indirizzamento **indiretto**
  - Avrò bisogno di una cella di memoria che contenga l'indirizzo da utilizzare per l'elemento *corrente*
- Una possibile soluzione
  - Indirizzo contatore elementi: 101
  - Indirizzo elemento corrente: 102
  - Indirizzi elementi: 103, 104, 105, …

Esempio: invertire una sequenza (traduz)

```
1.  LOAD= 0
2.  STORE 101
3.  LOAD= 103
4.  STORE 102
5.  READ
6.  BEQ 15
7.  STORE@ 102
8.  LOAD 102
9.  ADD= 1
10. STORE 102
11. LOAD 101
12. ADD= 1
13. STORE 101
14. BR 5
15. LOAD 101
16. BEQ 25
17. SUB= 1
18. STORE 101
19. LOAD 102
20. SUB= 1
21. STORE 102
22. LOAD@ 102
23. WRITE
24. BR 15
25. END
```

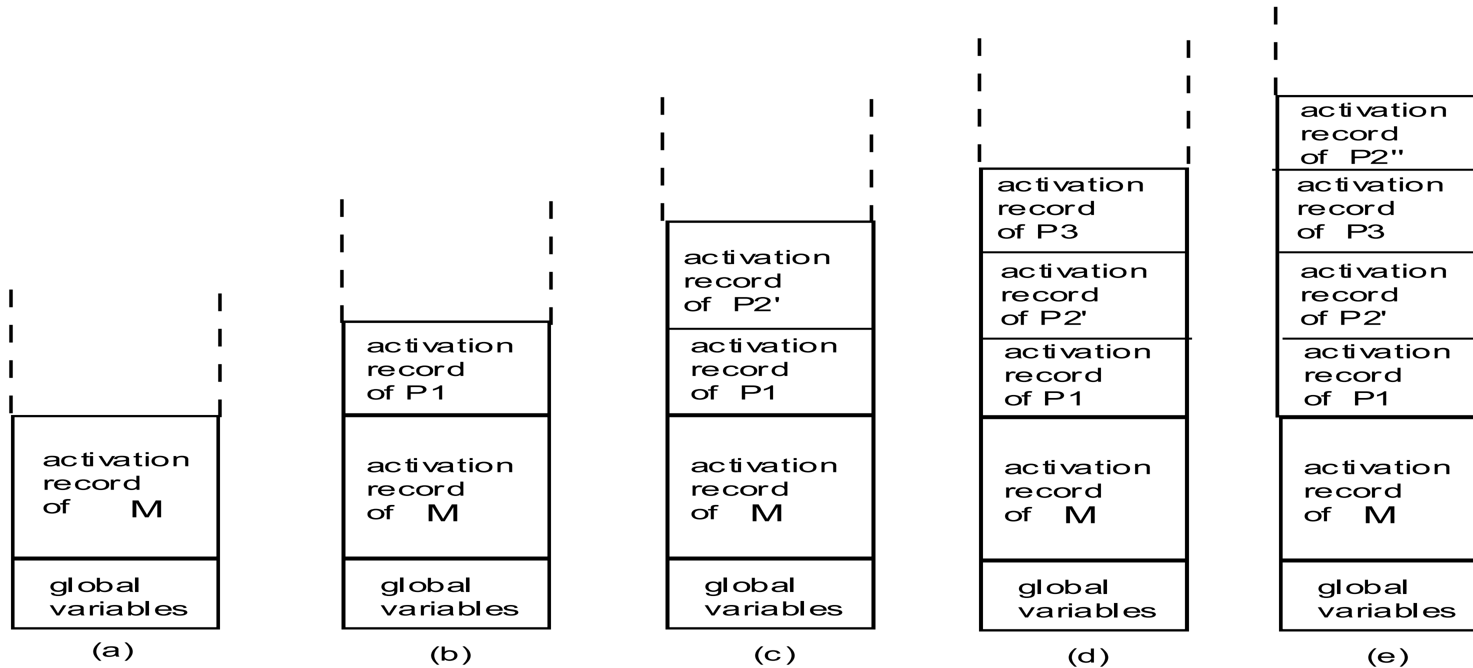
Gestione della memoria con sottoprogrammi

La gestione a pila o stack



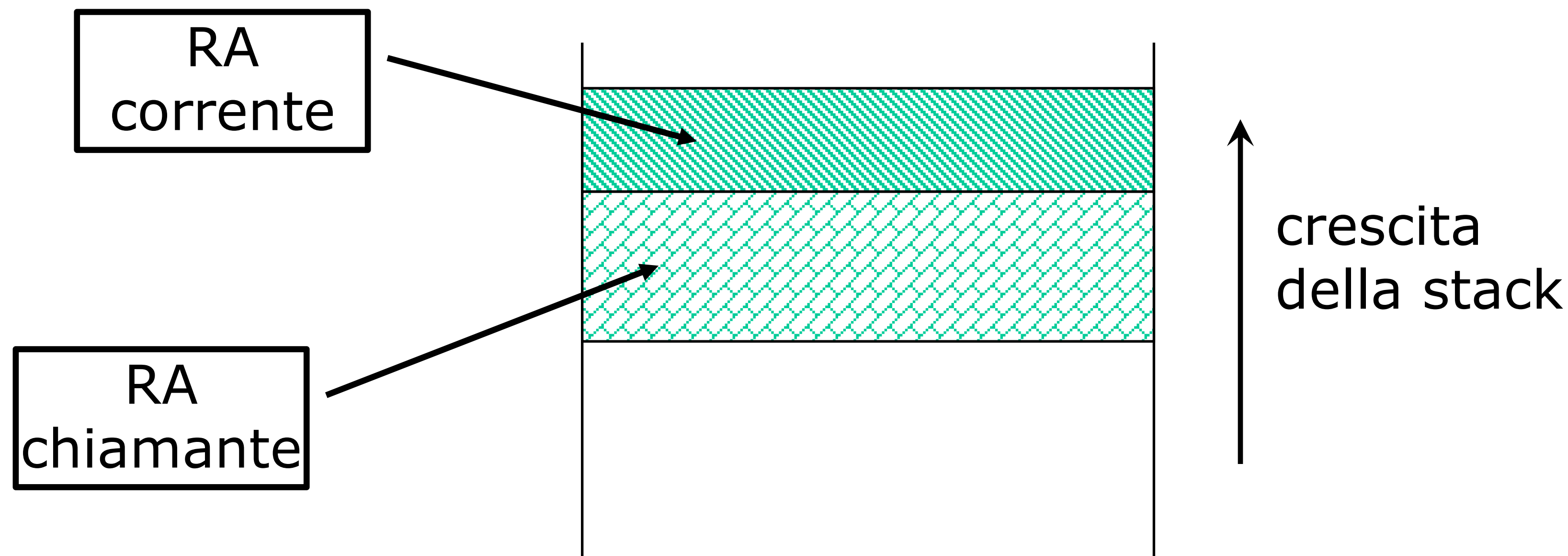
Legend A rightwards arrow denotes a call
A leftwards arrow denotes the return to the calling subprogram

The different activations of P2 are marked by apexes

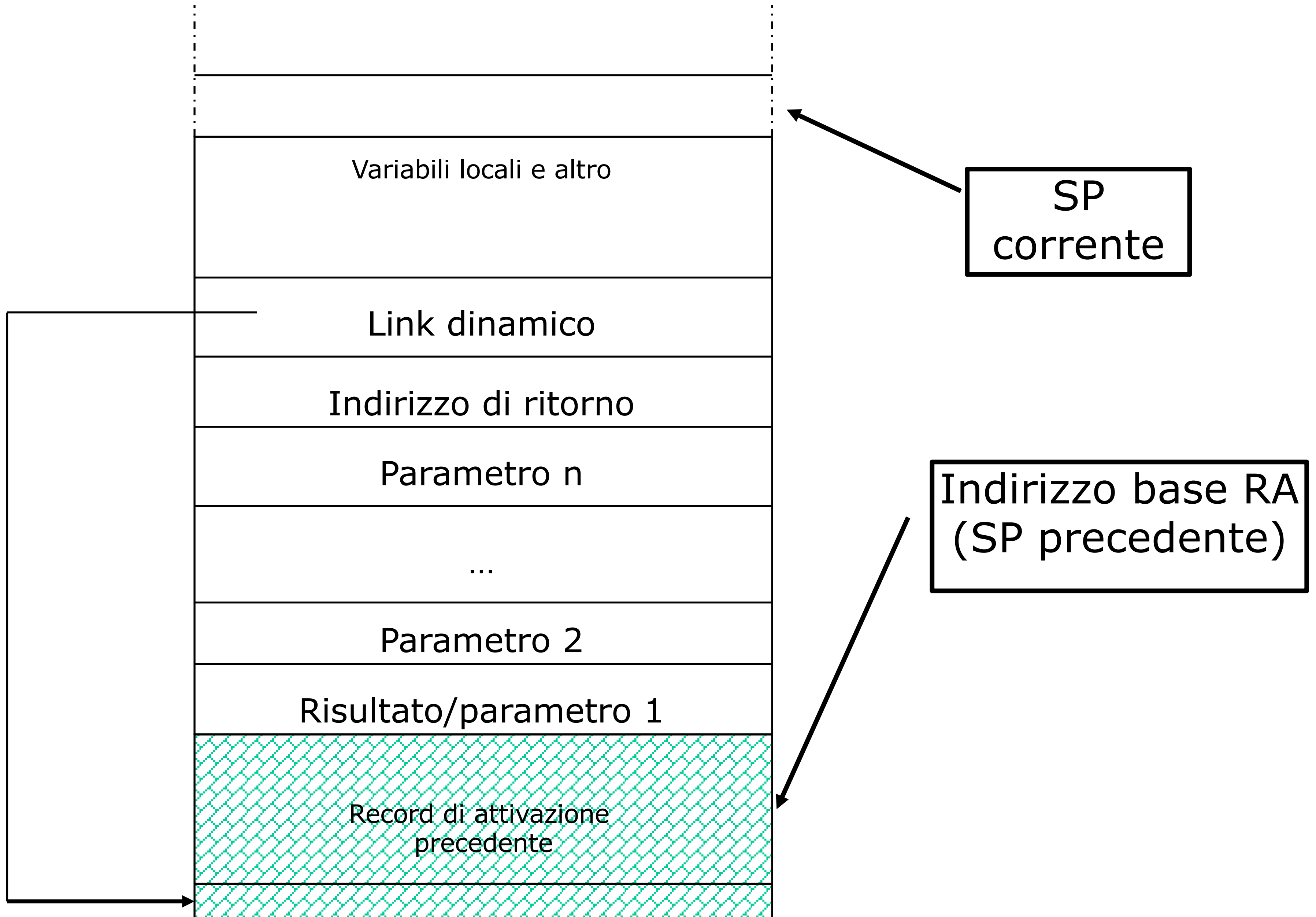


Dettagli su gestione stack

- Il record di attivazione (RA):
  - **Parametri attuali**
  - **Variabili locali**
  - **Indirizzo di ritorno** (RetAdd)
  - (Valore precedente dello) **stack pointer** (SP)



Il record di attivazione



La chiamata

Codice del chiamante

- Riserva memoria per il risultato (se previsto)
- Assegna valore ai parametri attuali
- Assegna l’indirizzo di ritorno
- Assegna il link dinamico
- Aggiorna l’indirizzo di base del nuovo record di attivazione
- Assegna il nuovo valore allo SP
- Salta alla prima istruzione del chiamato

Codice del chiamato

Il ritorno

Codice del chiamato

- Riporta il valore di SP al valore precedente
- Riporta il valore dell'indirizzo di base al valore precedente
- Salta all'indirizzo di ritorno

Codice del chiamante

- Codice della chiamata
- [Indirizzo di ritorno]
- Recupera eventuale risultato

Ma il linguaggio macchina non dovrebbe essere binario?

Linguaggio assemblativo e linguaggio macchina

- Quello visto finora è un linguaggio assemblativo (*assembly*), che è un linguaggio macchina *simbolico* per facilitare la lettura e scrittura dei programmi.
- La sua traduzione in linguaggio macchina (operata da un programma chiamato *assembler*) è molto semplice.
- Le regole di traduzione richiedono tuttavia diverse scelte progettuali:
  - ad ogni tipo di istruzione viene associato un codice operativo binario ;
  - viene definita la dimensione massima degli operandi (che dipende, tra le altre cose, dalla dimensione massima della memoria indirizzabile);
  - viene quindi definita la dimensione finale che occuperà la traduzione di ogni possibile istruzione.

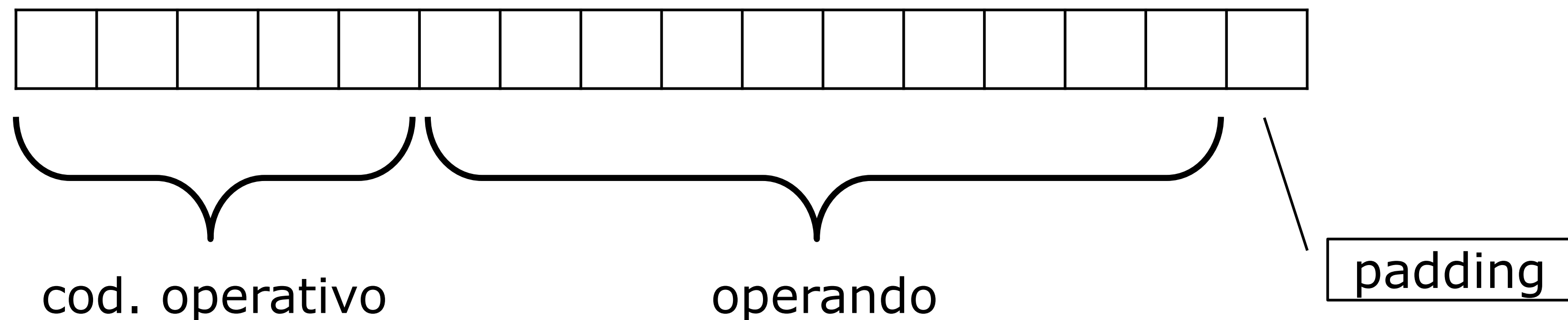
Progettiamo il *nostro* linguaggio macchina

Codice operativo istruzioni

ISTR	Codice Op	ISTR	Codice Op
READ	00000	DIV	01110
WRITE	00001	LOAD=	01111
BR	00010	STORE=	10000
BEQ	00011	ADD=	10001
BNE	00100	SUB=	10010
BL	00101	MULT=	10011
BLE	00110	DIV=	10100
BG	00111	LOAD@	10101
BGE	01000	STORE@	10110
LOAD	01001	ADD@	10111
STORE	01010	SUB@	11000
ADD	01011	MULT@	11001
SUB	01100	DIV@	11010
MULT	01101	END	11111

Dimensioni operandi e istruzioni

- Per semplicità, ipotizziamo che la memoria indirizzabile nel nostro sistema sia 2^{10} celle (o parole).
- Sempre per semplicità ipotizziamo che anche le costanti numeriche nei programmi siano comprese tra 0 e 1023
- Tutti gli operandi sono quindi rappresentabili con 10 bit
- Il codice operativo richiede 5 bit
- Le istruzioni richiedono 15 bit, ma noi useremo 16 bit



Esempio

```
1.  0000000000000000    READ
2.  0101000110010100    STORE 101
3.  0111100000000000    LOAD= 0
4.  0101000110011000    STORE 102
5.  0100100110010100    LOAD 101
6.  0001100000110100    BEQ 13
7.  1001000000000010    SUB= 1
8.  0101000110010100    STORE 101
9.  0000000000000000    READ
10. 0101100110011000    ADD 102
11. 0101000110011000    STORE 102
12. 0001000000001010    BR 5
13. 0100100110011000    LOAD 102
14. 0000100000000000    WRITE
15. 1111100000000000    END
```