Corso di Architettura degli Elaboratori e Laboratorio (M-Z)

Insieme di istruzioni macchina

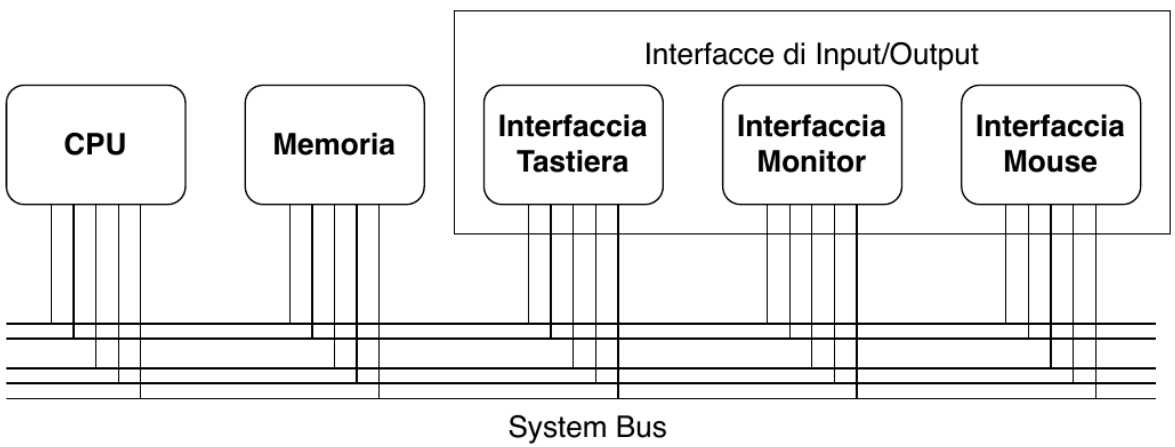
Nino Cauli

UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

Dipartimento di Matematica e Informatica

Architettura base di un calcolatore elettronico

- **CPU**: esegue istruzioni elementari
- **MEMORIA**: contiene il programma (sequenza di istruzioni elementari) che la CPU deve eseguire e i dati necessari
- **INTERFACCE DI INPUT/OUTPUT**: circuiti elettronici che permettono di connettere la CPU al mondo esterno
- **BUS DI SISTEMA**: insieme di collegamenti elettrici che interconnettono I vari componenti di un calcolatore

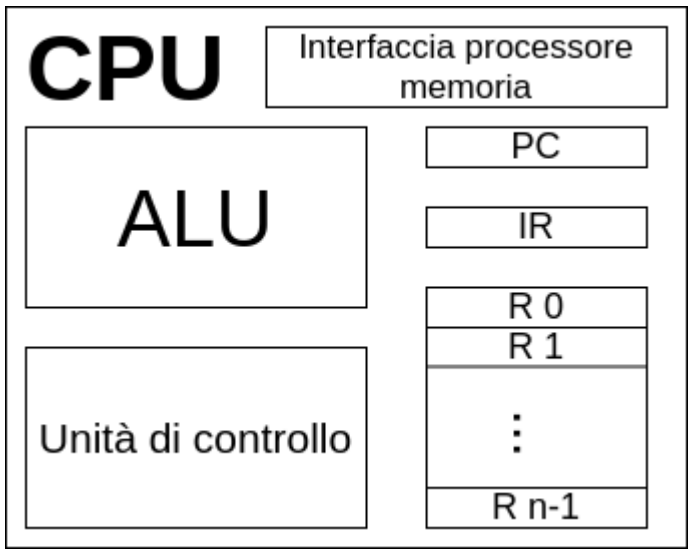


Come funziona?

- Il calcolatore elettronico esegue **SEQUENZIALMENTE** una serie di **ISTRUZIONI**
- Le istruzioni definiscono delle operazioni da eseguire e sono raggruppate in **PROGRAMMI**
- Spesso le operazioni devono essere eseguite su dei **DATI**
- L'utente può interagire con il calcolatore tramite le **INTERFACCE DI I/O** (**PERIFERICHE**)

Processore (CPU)

- È un **CIRCUITO ELETTRONICO INTEGRATO** (chip) con il ruolo di **CERVELLO** del calcolatore
- Capace di caricare ed eseguire le **ISTRUZIONI ELEMENTARI** necessarie per eseguire i **PROGRAMMI**
- Esempi di istruzioni elementari: operazioni aritmetiche, operazioni logiche, confronti, salti incondizionati e condizionati.



Esecuzione di un’istruzione

Passi operativi elementari per ciascuna istruzione:

- **PRELIEVO**: prelievo della prossima istruzione dalla memoria (scrivere la prossima istruzione nel registro di istruzione IR)
- **DECODIFICA**: decodifica dell’istruzione (quale operazione bisogna eseguire? Dove si trovano i dati da usare?)
- **ESECUZIONE**: esecuzione dell’istruzione (leggere o scrivere un dato in memoria, eseguire operazioni matematiche e logiche sui registri)

Memoria

- Le unità memoria sono usate per immagazzinare informazione necessaria per eseguire i programmi

- Sono circuiti elettronici in grado di preservare l'informazione che può essere costituita da:
  - **ISTRUZIONI**, eseguite dalla CPU
  - **DATI**, utilizzati dalle istruzioni eseguite

- La memoria si può dividere in **MEMORIA CENTRALE** e **MEMORIA DI MASSA**

Rappresentazione di istruzioni e dati

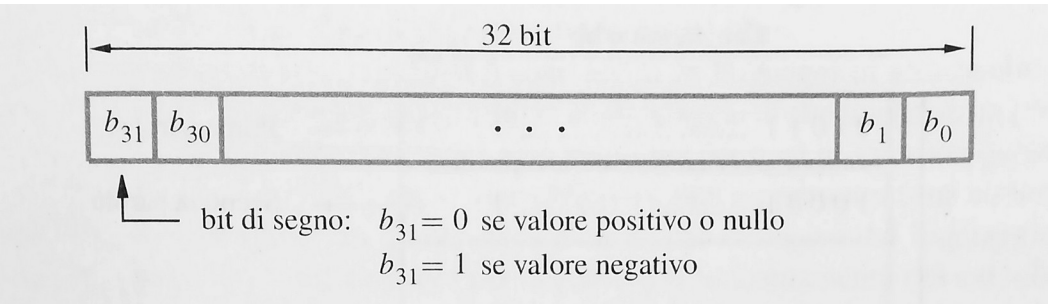
- Le istruzioni e i dati sono rappresentati da **SEQUENZE** di **CIFRE BINARIE** (**bit**)

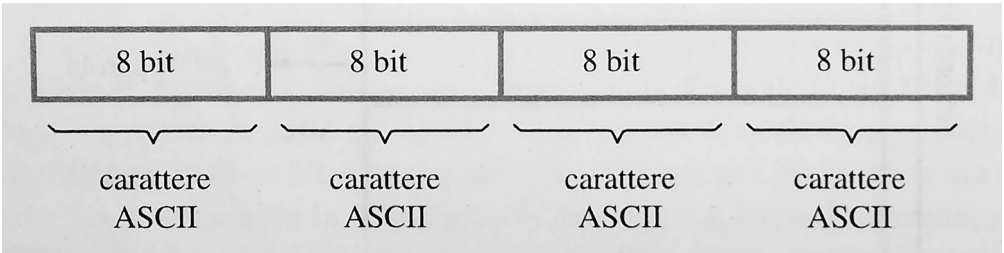
- Per convenzione una sequenza di 8 bit è detta **Byte**

- I byte vengono raggruppati in blocchi con un numero di elementi espresso con potenze di 2:
  - Kilobyte = KB = 2^{10} = 1024 ≈ 10^3
  - Megabyte = MB = 2^{20} = 1024 * 1024 ≈ 10^6
  - Gigabyte= GB = 2^{30} = 1024 * 1024 * 1024 ≈ 10^9
  - Terabyte = TB = 2^{40} = 1024 * 1024 * 1024 * 1024 ≈ 10^{12}

Parola di memoria (memory word)

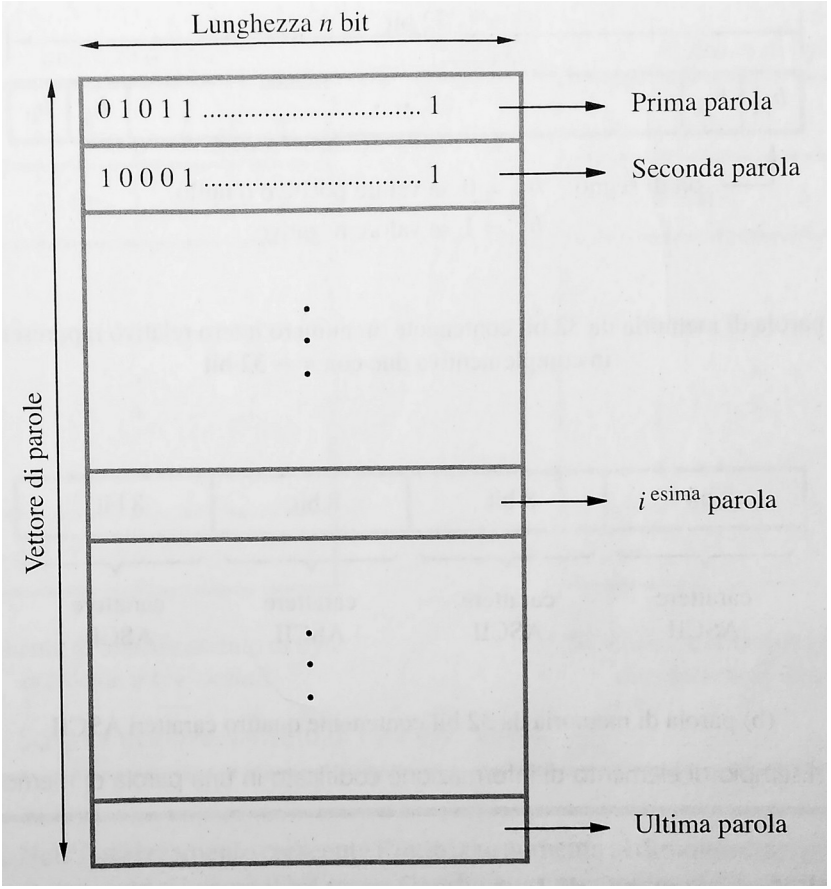
- Il calcolatore non lavora su singoli bit ma su gruppi di bit detti **PAROLE** di lunghezza da 8 a 64 bit (sempre potenze di 2)
- La dimensione delle parole dipende dall'architettura del calcolatore
- I dati posso occupare da un singolo byte a diverse parole
- Le istruzioni possono occupare una o più parole





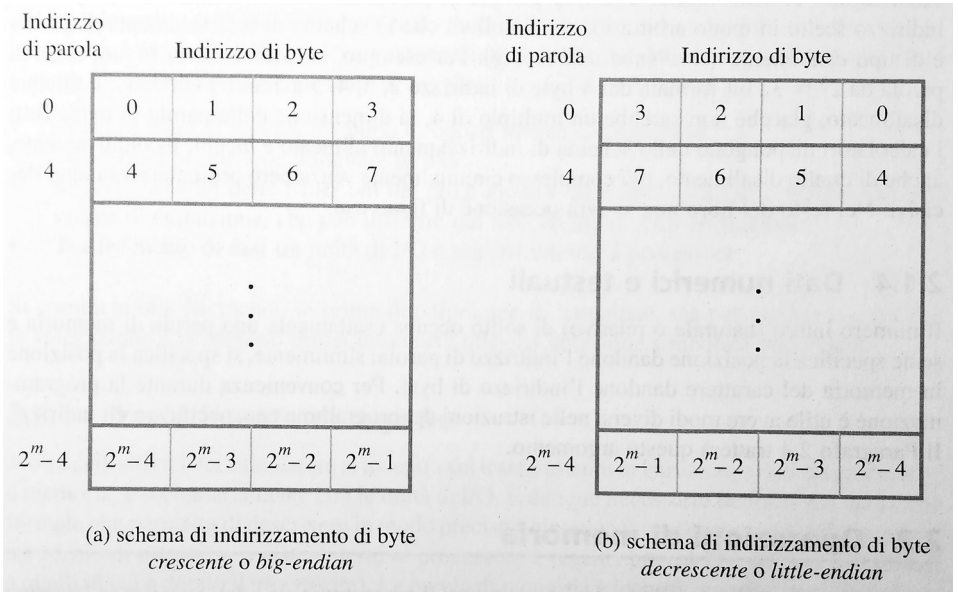
Organizzazione della memoria

- L’informazione è immagazzinata in memoria sotto forma di un vettore di parole (parole in successione)
- Ad ogni parola nel vettore è associato un indirizzo binario univoco
- Un numero binario di m bit può rappresentare 2^m indirizzi
- Parole consecutive sono associate ad indirizzi consecutivi
- L’insieme degli indirizzi associati a ciascuna parola di memoria è chiamato spazio di indirizzamento



Indirizzamento e ordinamento di byte

- Di norma l'unità minima di informazione indirizzabile in memoria è il byte
- Si assegnano indirizzi consecutivi ai byte contenuti in ciascuna parola
- Gli indirizzi delle parole saranno quindi multipli della loro lunghezza in byte
- Vi sono 2 schemi di indirizzamento di byte:
  - **Crescente (big-endian)**: indirizzo aumenta al diminuire del peso aritmetico del byte
  - **Decrescente (little-endian)**: indirizzo aumenta all'aumentare del peso aritmetico del byte



(a) schema di indirizzamento di byte *crescente* o *big-endian*

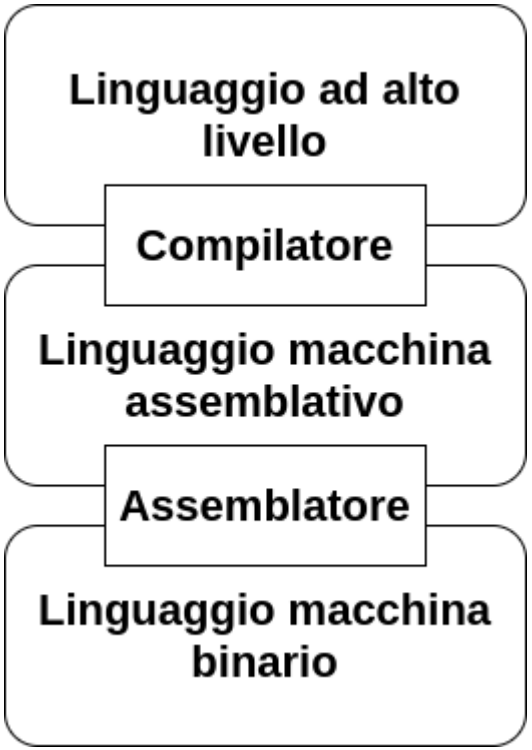
(b) schema di indirizzamento di byte *decrescente* o *little-endian*

Instruction set architecture ISA

- Il processore è in grado di eseguire un insieme di operazioni base chiamate istruzioni macchina
- L'insieme delle istruzioni eseguibili da un processore e le loro modalità d'uso è chiamato ISA (Instruction Set Architecture)
- Ogni processore commerciale ha il suo specifico ISA
- Il linguaggio macchina permette di definire le istruzioni attraverso un alfabeto binario {0, 1}
- Il linguaggio assemblativo è una rappresentazione simbolica leggibile del linguaggio macchina

Come si programma?

- Il programmatore scrive i programmi in **LINGUAGGIO ASSEMBLATIVO** (**ASSEMBLY**)
- Il programma assemblativo viene tradotto in sequenze binarie dall'**ASSEMBLATORE**
- Linguaggi ad alto livello (C, C++, etc.) ancora più espressivi
- Il **COMPILATORE** traduce il codice ad alto livello in codice assemblativo



Insiemi di istruzioni RISC e CISC

Esistono due approcci nella progettazione dell'insieme di istruzioni dei calcolatori:

Reduced Instruction Set Computer (RISC):

- Insieme di istruzioni base ridotto
- Ogni istruzione occupa una sola parola di memoria
- Gli operandi delle istruzioni aritmetiche e logiche devono trovarsi nei registri del processore
- Prestazioni elevate grazie ad un'elaborazione a stadi (pipeline)

Complex Instruction Set Computer (CISC):

- Insieme di istruzioni base complesse
- Ogni istruzione può occupare più di una parola di memoria
- Gli operandi delle istruzioni aritmetiche e logiche possono trovarsi in memoria

Istruzioni macchina di base

- I programmi eseguiti da un calcolatore sono composti da una sequenza di istruzioni base (addizione, confronto, caricamento di dati, ecc.)

- L'insieme di istruzioni riconosciute deve comprendere almeno queste quattro tipologie:
  - Trasferimento dati tra memoria e registri del processore
  - Operazioni aritmetiche e logiche sui dati
  - Operazioni di controllo dell'ordine di esecuzione delle istruzioni
  - Trasferimento dati tra unità di I/O e registri del processore

Linguaggio assemblativo RISC generico

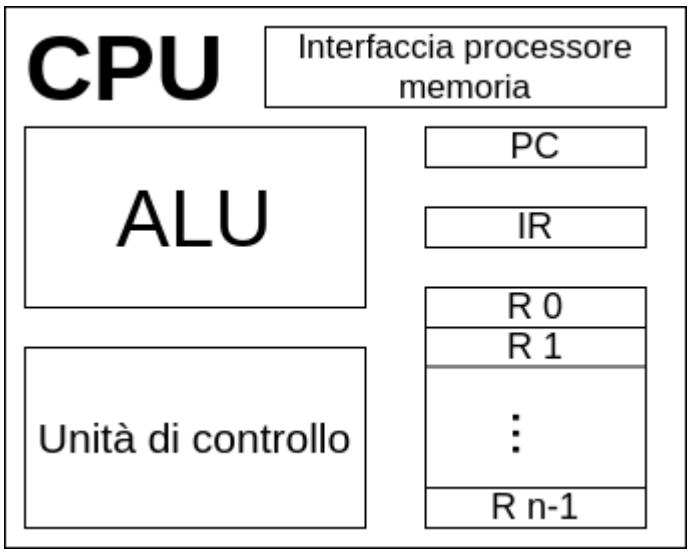
- Le diverse ISA dei processori commerciali posseggono linguaggi assemblativi con formalismi differenti (sebbene simili)
- Nella teoria di questo corso useremo un linguaggio assemblativo generico non appartenente a nessun processore commerciale
- Utile per capire i concetti base che possono essere applicati a qualsiasi architettura
- Verrà presentato un set di istruzioni base per programmare un processore nella pratica (non il set di istruzioni completo)

Registri e locazioni di memoria

- È necessario definire una notazione formale per riferirsi ai registri e alle locazioni di memoria nel linguaggio assemblativo generico

- I registri sono identificati attraverso il loro nome:
  - Registri generici del processore: R0, R1, …, Rn
  - Registri speciali del processore: PC, IR, ecc.
  - Registri di I/O: INGRESSO_DATO, USCITA_DATO, ecc.

- Le locazioni di memoria sono identificate attraverso il loro indirizzo in forma:
  - Di costante numerica
  - Di costante simbolica dichiarata in precedenza: VAR1, IND, CICLO, ecc.



Istruzioni base per accesso alla memoria

Load *destinazione sorgente*

- Istruzione usata per caricare un dato dalla memoria ad un registro del processore
- Il campo destinazione è il nome di un registro del processore
- Il campo sorgente è una locazione di memoria
- La locazione di memoria può essere indicata in vari modi a seconda del modi di indirizzamento usato

Store *sorgente destinazione*

- Istruzione usata per salvare in memoria un dato presente in un registro del processore
- Il campo sorgente è il nome di un registro del processore
- Il campo destinazione è una locazione di memoria
- La locazione di memoria può essere indicata in vari modi a seconda del modi di indirizzamento usato

Istruzioni base per somma e sottrazione

Add *destinazione sorgente1 sorgente2*

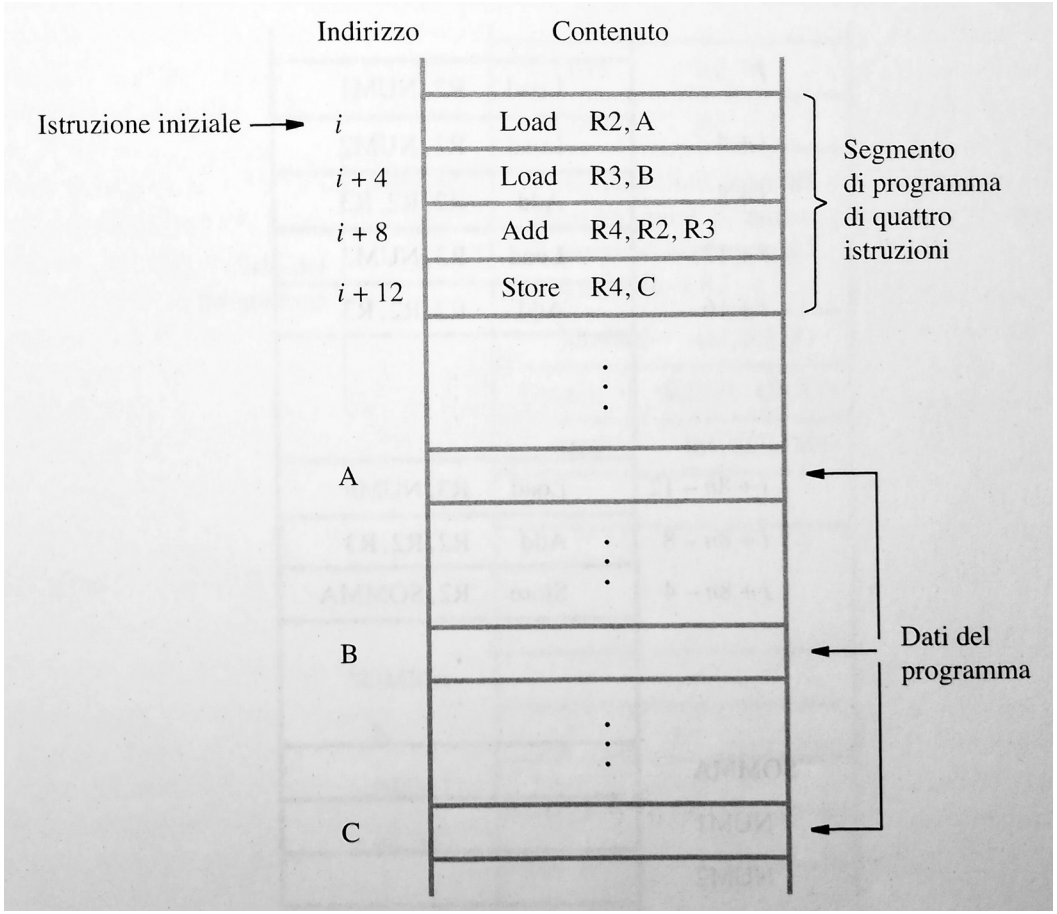
- Istruzione usata per sommare il contenuto di due registri
- Il campo destinazione è il nome di un registro del processore su cui scrivere la somma
- I campi sorgente1 e sorgente2 rappresentano i numeri da sommare
- Gli addendi possono essere espressi come nomi di registri o direttamente come valore

Subtract *destinazione sorgente1 sorgente2*

- Istruzione usata per sottrarre il contenuto di due registri
- Il campo destinazione è il nome di un registro del processore su cui scrivere la differenza
- I campi sorgente1 e sorgente2 rappresentano i numeri da sotrarre
- Gli operandi possono essere espressi come nomi di registri o direttamente come valore

Esempio di programma di somma

- Esempio di programma che somma due valori presenti in memoria e ne salva il risultato
- Programma composto da 4 istruzioni (2 Load, 1 Add e 1 Store)
- Le quattro istruzioni sono memorizzate in parole di memoria consecutive
- Istruzioni lette sequenzialmente
- PC contiene l'indirizzo della prossima istruzione da eseguire e IR contine l'istruzione in esecuzione



Modi di indirizzamento

- Nel linguaggio assemblativo, gli operandi e il risultato delle istruzioni possono essere espressi in modi diversi
- I metodi con cui specificare operandi e risultato vengono chiamati modi di indirizzamento
- I modi di indirizzamento base di un'architettura RISC sono:
  - **Modo immediato**
  - **Modo di registro**
  - **Modo assoluto (diretto)**
  - **Indiretto da registro**
  - **Con indice e spiazzamento**
  - **Con base e indice**

Modi di registro e assoluto

- I modi di indirizzamento visti fino ad ora sono:
  - **Modo di registro:** Il nome (= indirizzo) di un registro di processore contenente l'operando o il risultato è dato nell'istruzione
  - **Modo assoluto (diretto):** L'indirizzo di una parola di memoria contenente l'operando o il risultato è dato nell'istruzione

- Nei processori RISC c'è un limite al numero di bit per un indirizzo assoluto (un'istruzione = una parola)

- Per processori a 32 bit = indirizzo assoluto 16 bit

Load R2, NUM1

Modo immediato

- Per usare una costante numerica come operando si ricorre al modo di indirizzamento immediato
- **Modo immediato:** L'operando è dato esplicitamente nell'istruzione
- Si precede la costante dal simbolo cancelletto: **#valore**
- Esempio in cui si aggiunge il valore 200 al contenuto di R6 e si pone il risultato in R4:

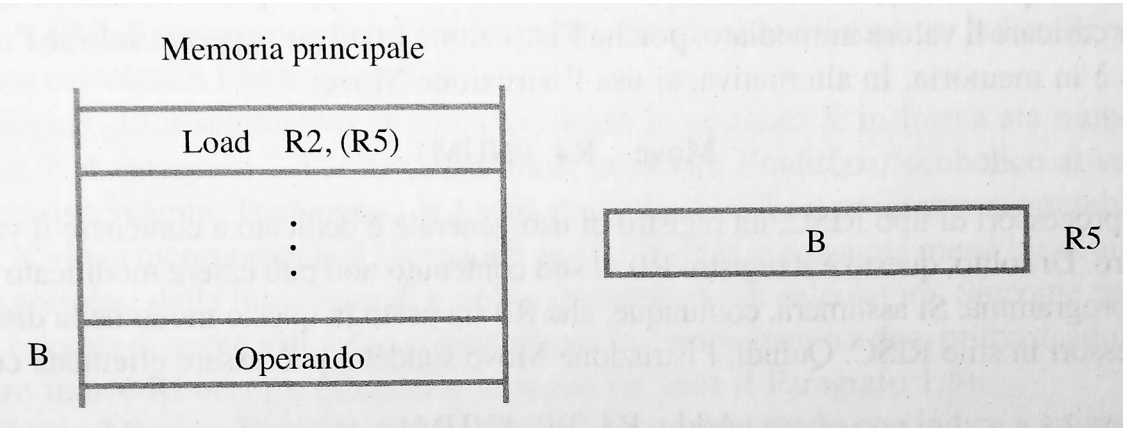
Add R4, R6, #200

Modo indiretto da registro

- **Modo indiretto:** Il nome di un registro di processore contenente l'INDIRIZZO di memoria dell'operando o del risultato è dato nell'istruzione

- Viene rappresentato con il nome del registro tra parentesi tonde **(·)**

- Usato in casi in cui si voglia riutilizzare una stessa istruzione in memoria più volte cambiando gli operandi



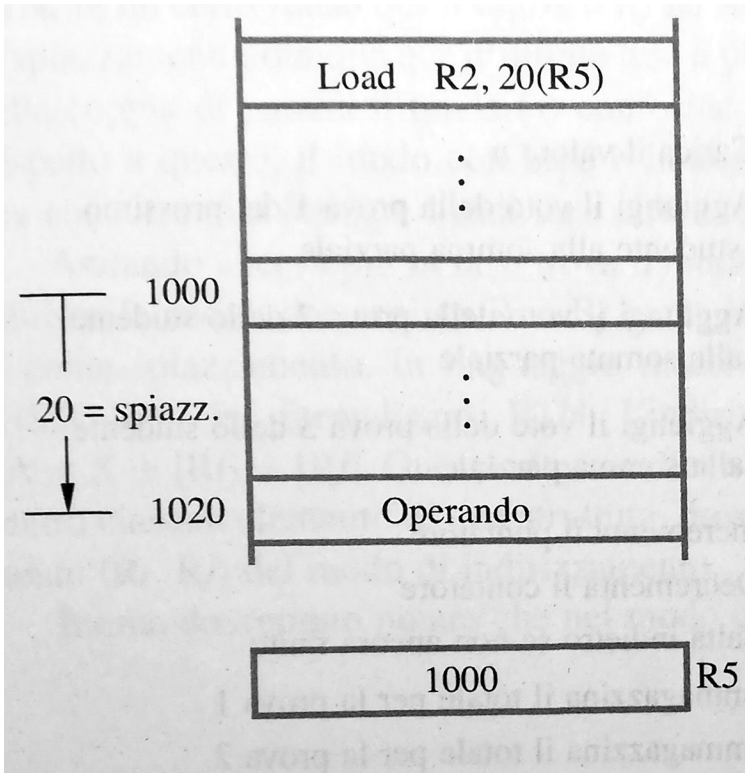
Modo con indice e spiazzamento

- **Modo con indice e spiazzamento:** L'indirizzo effettivo di operando o risultato è ottenuto addizionando un valore costante (spiazzamento) al contenuto di un registro (indirizzo)

- Per indicare indice e spiazzamento si usa la scrittura X(Ri), dove X è lo spiazzamento e Ri è il nome del registro contenente l'indirizzo

- Utile nel gestire vettori o liste

- Esistono versioni più complesse come il **modo con base e indice** dove l'indirizzo effettivo è ottenuto sommando il contenuto di due registri, denotato così: (Ri, Rj)



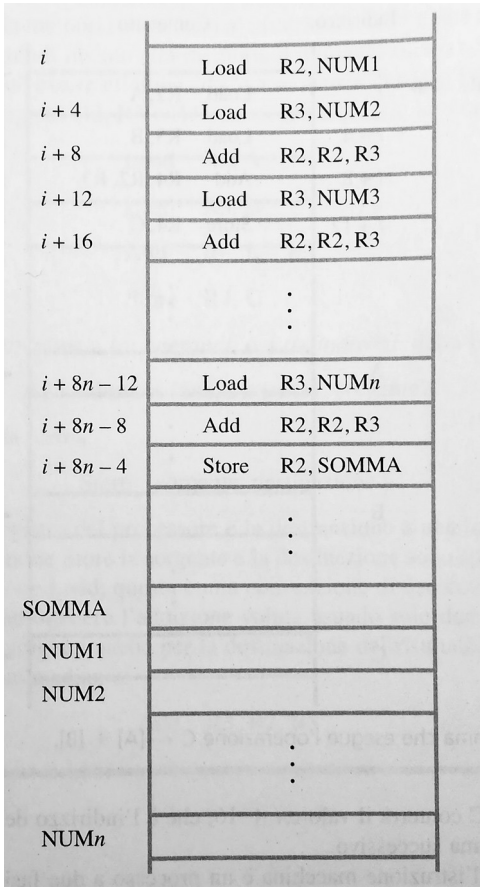
Istruzione di salto condizionato (Branch_if)

Branch_if_condizione *destinazione_salto*

- Istruzione usata per saltare all'esecuzione di un'istruzione specifica nel caso la condizione di salto sia vera
- La condizione di salto può essere tra valori contenuti nei registri (espressi tra quadre: [Ri]) o valori espressi esplicitamente
- La destinazione del salto è espressa come locazione di memoria contenente l'istruzione da eseguire nel caso la condizione sia vera
- Esempio di salto all'istruzione CICLO nel caso il contenuto di R2 sia maggiore di 0:

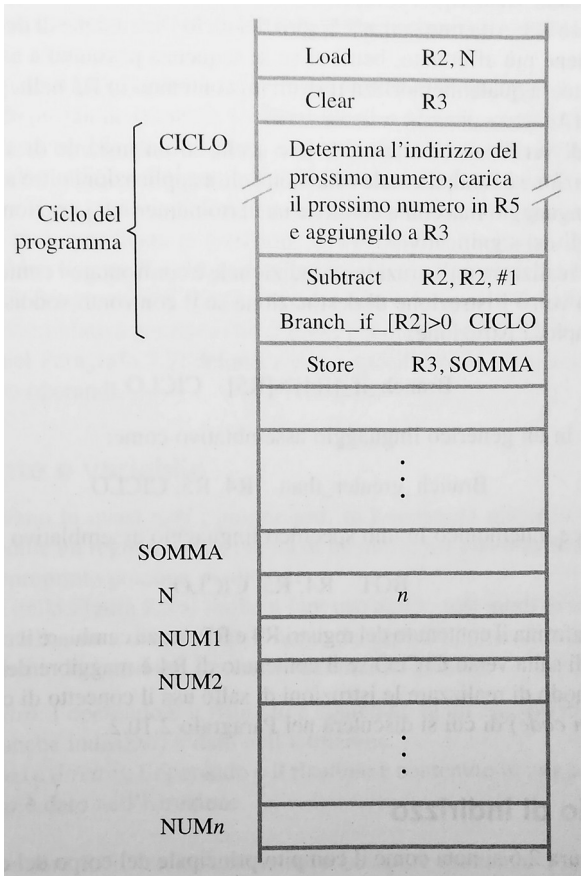
Branch_if_[R2]>0 CICLO

Esempio somma di n numeri



Esempio sequenziale (poco efficiente)

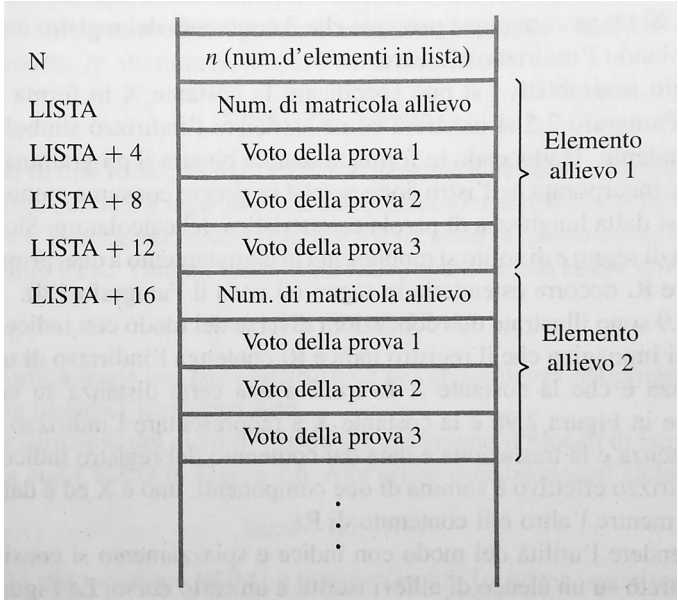
Esempio con salto (più efficiente)



Esempio somma di n numeri con salto

	Load	R2,N	Carica la dimensione della lista
	Clear	R3	Inizializza la somma a 0
	Move	R4,#NUM1	Carica l'indirizzo del primo numero
CICLO:	Load	R5, (R4)	Preleva il prossimo numero
	Add	R3, R3, R5	Aggiungi questo numero alla somma
	Add	R4, R4, #4	Incrementa il puntatore alla lista
	Subtract	R2, R2, #1	Decrementa il contatore
	Branch_if_[R2]>0	CICLO	Salta indietro se non ancora finito
	Store	R3, SOMMA	Immagazzina la somma finale

Esempio voti studenti




```
        Move            R2, #LISTA      Carica l'indirizzo LISTA
        Clear           R3
        Clear           R4
        Clear           R5
        Load            R6, N           Carica il valore n
CICLO:  Load            R7, 4(R2)       Aggiungi il voto della prova 1 del prossimo
        Add             R3, R3, R7        studente alla somma parziale
        Load            R7, 8(R2)       Aggiungi il voto della prova 2 dello studente
        Add             R4, R4, R7        alla somma parziale
        Load            R7, 12(R2)      Aggiungi il voto della prova 3 dello studente
        Add             R5, R5, R7        alla somma parziale
        Add             R2, R2, #16     Incrementa il puntatore
        Subtract        R6, R6, #1      Decrementa il contatore
        Branch_if_[R6]>0 CICLO          Salta indietro se non ancora finito
        Store           R3, SOMMA1      Immagazzina il totale per la prova 1
        Store           R4, SOMMA2      Immagazzina il totale per la prova 2
        Store           R5, SOMMA3      Immagazzina il totale per la prova 3
```

Direttive di assemblatore

- L’assemblatore è in grado di produrre il codice macchina binario (programma oggetto) di un programma scritto in codice assemblativo (programma sorgente)
- Per produrre il programma oggetto l’assemblatore deve risolvere inoltre i seguenti problemi:
  - Assegnare valori numerici a nomi e simboli
  - Dove collocare in memoria le istruzioni macchina
  - Dove collocare in memoria gli operandi e i risultati del programma
- Per questo il linguaggio assemblativo non contiene solo le istruzioni del programma, ma anche comandi specifici per l’assemblatore (direttive di assemblatore)
- Le direttive di assemblatore non vengono tradotte nel programma oggetto, ma servono per dare informazioni utili all’assemblatore

Dichiarazione di eguaglianza

- Serve per associare un valore numerico ad un nome usato nel programma sorgente
- La sua sintassi nel nostro linguaggio generico è la seguente:

NOME **EQU** *Valore_numerico*

- Per produrre il programma oggetto, l'assemblatore sostituirà ogni occorrenza della stringa *NOME* nel programma sorgente con il valore *Valore_numerico*

Direttiva ORIGIN

- Indica all'assemblatore l'indirizzo di partenza dove inserire le istruzioni e i dati definiti nelle righe seguenti
- La sua sintassi nel nostro linguaggio generico è la seguente:

ORIGIN *Indirizzo_di_memoria*

- Alle istruzioni e ai dati seguenti la direttiva ORIGIN verranno assengati gli indirizzi a partire dall'indirizzo *Indirizzo_di_memoria*

Direttiva RESERVE

- Indica all'assemblatore di riservare uno spazio di memoria espresso in byte
- La sua sintassi nel nostro linguaggio generico è la seguente:

RESERVE *Spazio_in_byte*

- La locazione di memoria riservata non viene inizializzata

Direttiva DATAWORD

- Indica all'assemblatore di riservare una parola di memoria e le assegna un contenuto
- La sua sintassi nel nostro linguaggio generico è la seguente:

DATAWORD *Contenuto_da_assegnare*

- La parola di memoria viene inizializzata con il valore *Contenuto_da_assegnare*

Linea di codice assemblativo

- Nel maggiore dei casi, una linea di codice assemblativo presenta i seguenti campi:

Etichetta ***Operazione*** ***Operandi*** ***Commento***

- **Etichetta:** Nome che viene associato all'indirizzo della parola di memoria assegnata all'istruzione o all'indirizzo del blocco di memoria riservato. È facoltativa

- **Operazione:** Il nome (codice operativo) dell'istruzione oppure una direttiva di assemblatore.

- **Operandi:** Informazione di indirizzamento per accedere agli operandi

- **Commento:** Testo di commento, ignorato dall'assemblatore

Esempio

Memoria

	100	Load	R2, N
	104	Clear	R3
	108	Move	R4, #NUM1
CICLO	112	Load	R5, (R4)
	116	Add	R3, R3, R5
	120	Add	R4, R4, #4
	124	Subtract	R2, R2, #1
	128	Branch_if_[R2]>0	CICLO
	132	Store	R3, SOMMA
		...	...
SOMMA	200		
N	204	150	
NUM1	208		
NUM2	212		
		...	
NUMn	804		

Etichetta	Operazione	Operandi
	ORIGIN	100
	Load	R2, N
	Clear	R3
	Move	R4, #NUM1
CICLO:	Load	R5, (R4)
	Add	R3, R3, R5
	Add	R4, R4, #4
	Subtract	R2, R2, #1
	Branch_if_[R2]>0	CICLO
	Store	R3, SOMMA
	...	...
	ORIGIN	200
SOMMA:	RESERVE	4
N:	DATAWORD	150
NUM1:	RESERVE	600
	END	

Notazione numeri

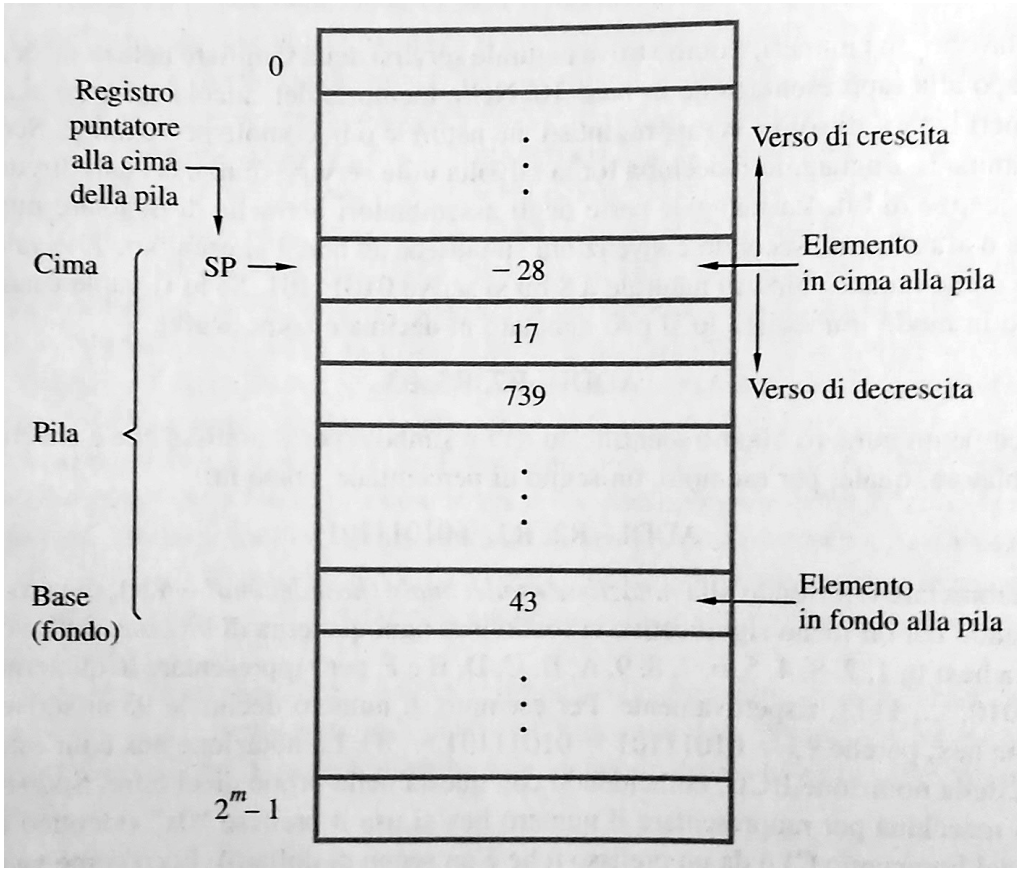
- L’assemblatore ci permette di denotare i numeri in diversi formati: binario, decimale, esadecimale

- Per indicare quale rappresentazione si vuole usare si usano dei prefissi:
  - Binaria: %
  - Decimale: nessun prefisso
  - Esadecimale: 0x

- Esempio su come usare un operando della somma in modo immediato:
  - Binario: Add R2, R3, #**%**01011101
  - Decimale: Add R2, R3, #93
  - Esadecimale: Add R2, R3, #**0x**5D

Pila (Stack)

- Lista di elementi (parole) dove si immaginano i dati posizionati uno sull'altro
- Gli elementi possono essere solo aggiunti e prelevati dalla cima della pila: l'ultimo elemento inserito è il primo ad essere prelevato (Last In First Out – LIFO)
- **Stack Pointer – SP:** registro che punta alla cima della pila
- Gli elementi della pila hanno indirizzi in ordine **decrescente** dalla base alla cima



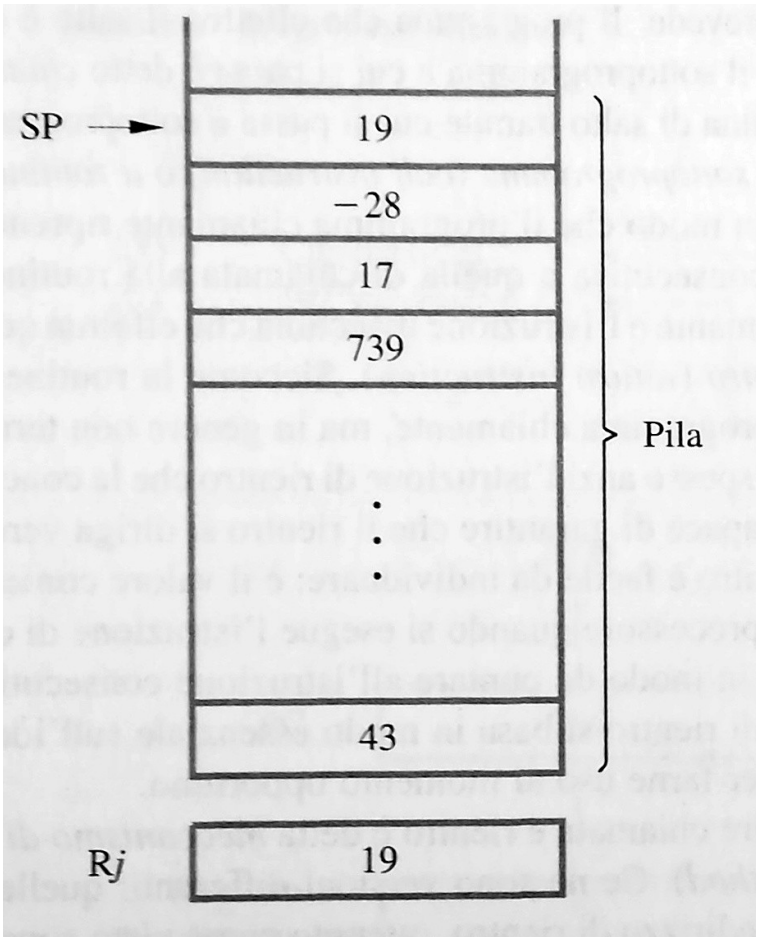
Push (Impila)

- L'operazione di **Push** aggiunge un elemento in cima alla pila

- In un architettura RISC si realizza con due istruzioni:
  - Diminuire l'indirizzo contenuto in SP di una parola per puntare alla nuova cima
  - Scrivere il valore richiesto nella parola puntata da SP

Subtract SP, SP, #4

Store Rj, (SP)



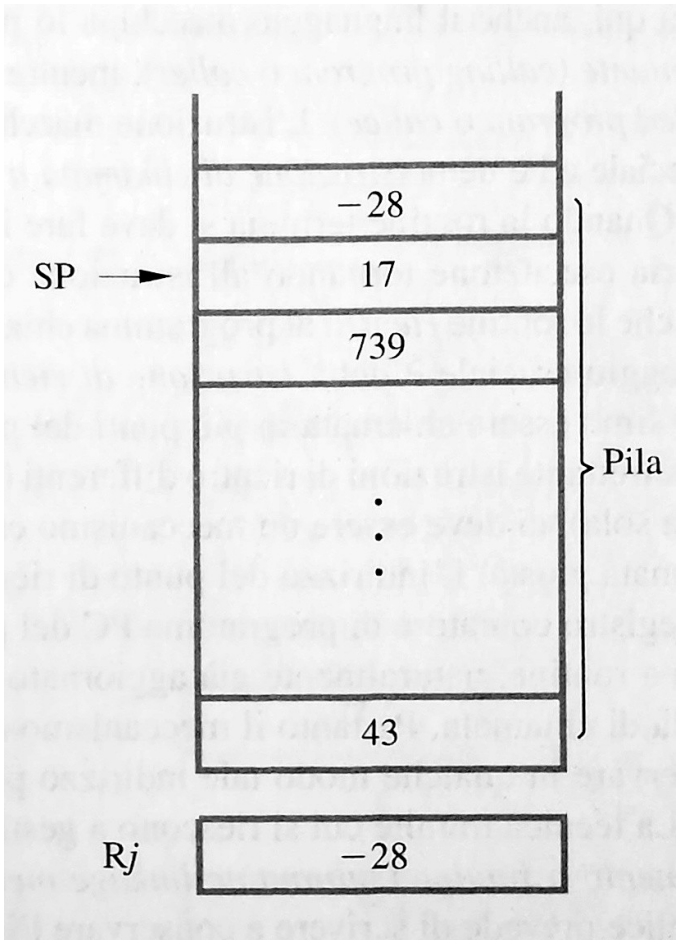
Pop (Spila)

- L'operazione di **Pop** preleva un elemento dalla cima della pila

- In un architettura RISC si realizza con due istruzioni:
  - Copiare il valore contenuto nella locazione di memoria puntata da SP in un registro del processore
  - Aumentare l'indirizzo contenuto in SP di una parola per puntare alla nuova cima

Load Rj, (SP)

Add SP, SP, #4



Sottoprogramma

- Un **sottoprogramma o routine** è una lista di istruzioni che eseguono un compito specifico e che possono essere richiamate in un qualsiasi momento durante l'esecuzione di un programma

- Per richiamare una routine, un programma usa una funzione di salto particolare detta **Call instruction**

- Per ritornare dalla routine all'istruzione successiva alla Call nel programma principale si usa una funzione di salto particolare detta **Return instruction**

- Il **Link Register** è un registro speciale in cui si memorizza l'indirizzo dell'istruzione di rientro durante l'esecuzione di un sottoprogramma

Chiamata a sottoprogramma

- L’operazione di chiamata a sottoprogramma presenta questa sintassi:

Call INDIRIZZO

- L’operazione di chiamata esegue due passi:

1) Salva il contenuto del registro **PC** nel **Link Register**
2) Salta all’indirizzo di destinazione indicato nell’istruzione di chiamata

Istruzione di rientro

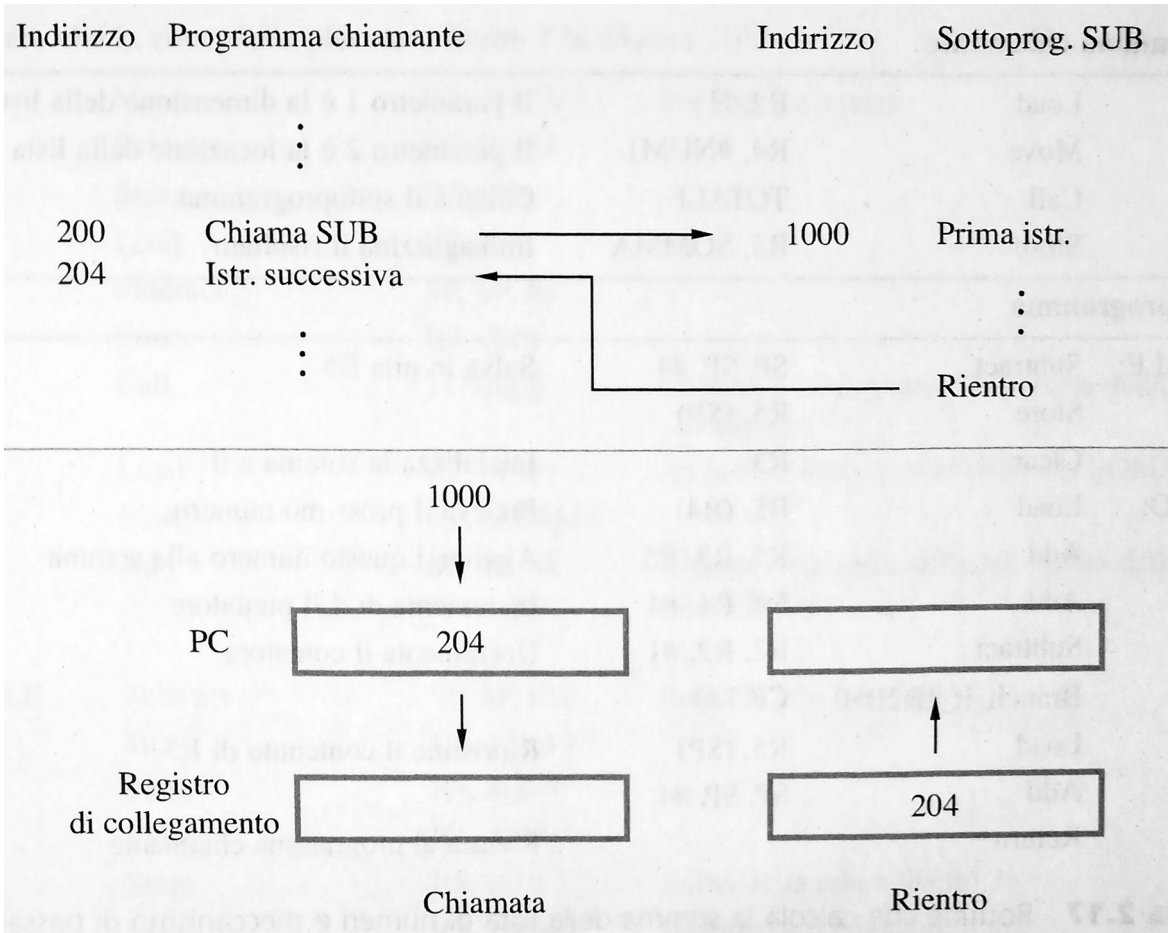
- L’istruzione di rientro da sottoprogramma presenta questa sintassi:

Return

- L’istruzione di rientro salta all’indirizzo di rientro contenuto nel Link Register nel seguente modo:

  1) Salva il contenuto del **Link Register** nel registro **PC**

Meccanismo di collegamento a routine



Passaggio di parametri

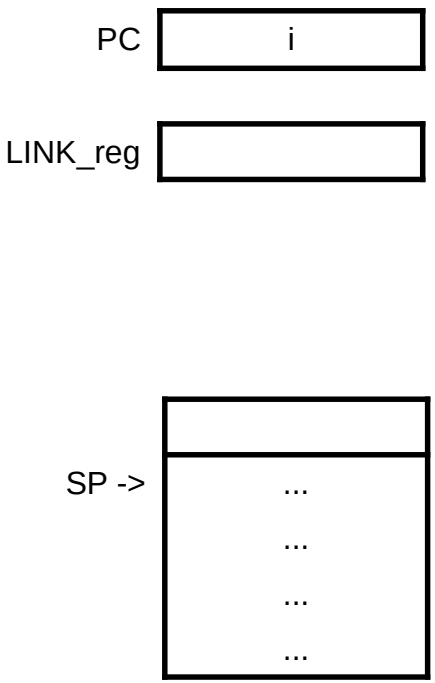
- Una routine ha spesso bisogno di:
  - Parametri di ingresso su cui operare
  - Restituire un risultato al programma chiamante

- Esistono 2 tecniche di **passaggio di parametri**:

  1) Passaggio tramite registri del processore (si usano alcuni registri generici per salvare i parametri). Numero di parametri limitato dal numero di registri

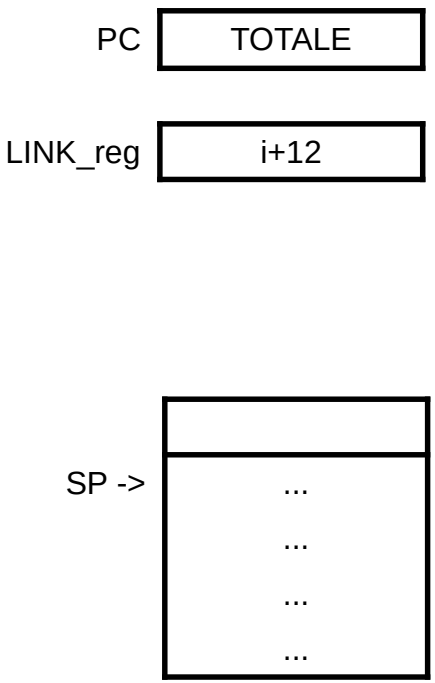
  2) Passaggio attraverso la pila (si impilano i parametri nella pila). Numero di parametri virtualmente illimitato

Esempio passaggio tramite registri



Programma chiamante			
	Load	R2, N	Il parametro 1 è la dimensione della lista
	Move	R4, #NUM1	Il parametro 2 è la locazione della lista
	Call	TOTALE	Chiama il sottoprogramma
	Store	R3, SOMMA	Immagazzina il risultato
Sottoprogramma			
TOTALE:	Subtract	SP, SP, #4	Salva in pila R5
	Store	R5, (SP)	
	Clear	R3	Inizializza la somma a 0
CICLO:	Load	R5, (R4)	Preleva il prossimo numero
	Add	R3, R3, R5	Aggiungi questo numero alla somma
	Add	R4, R4, #4	Incrementa di 4 il puntatore
	Subtract	R2, R2, #1	Decrementa il contatore
	Branch_if_[R2]>0	CICLO	
	Load	R5, (SP)	Ripristina il contenuto di R5
	Add	SP, SP, #4	
	Return		Rientra al programma chiamante

Esempio passaggio tramite registri



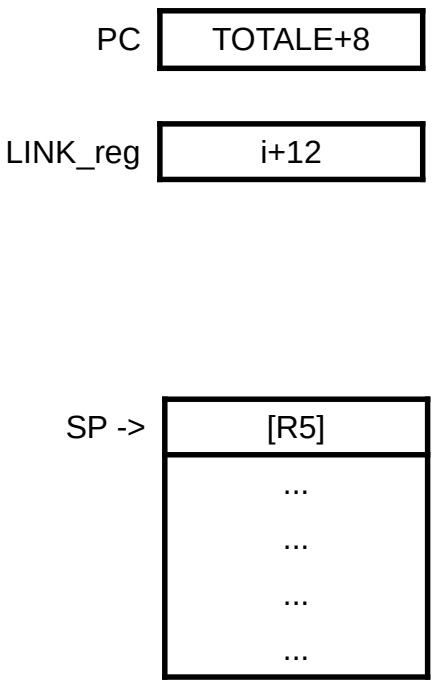
Programma chiamante

	Load	R2, N	Il parametro 1 è la dimensione della lista
	Move	R4, #NUM1	Il parametro 2 è la locazione della lista
	Call	TOTALE	Chiama il sottoprogramma
	Store	R3, SOMMA	Immagazzina il risultato

Sottoprogramma

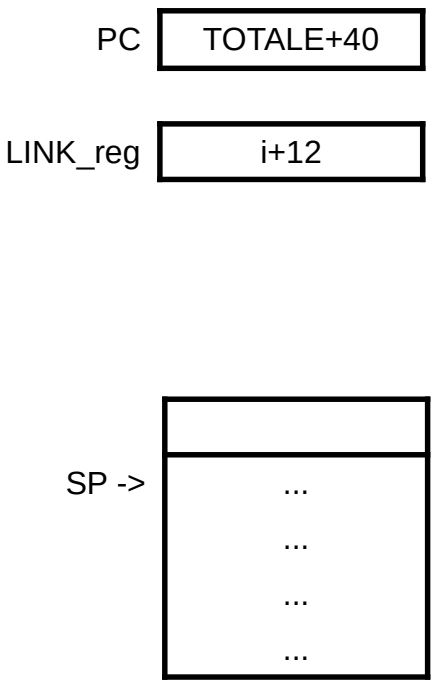
TOTALE:	Subtract	SP, SP, #4	Salva in pila R5
	Store	R5, (SP)	
	Clear	R3	Inizializza la somma a 0
CICLO:	Load	R5, (R4)	Preleva il prossimo numero
	Add	R3, R3, R5	Aggiungi questo numero alla somma
	Add	R4, R4, #4	Incrementa di 4 il puntatore
	Subtract	R2, R2, #1	Decrementa il contatore
	Branch_if_[R2]>0	CICLO	
	Load	R5, (SP)	Ripristina il contenuto di R5
	Add	SP, SP, #4	
	Return		Rientra al programma chiamante

Esempio passaggio tramite registri



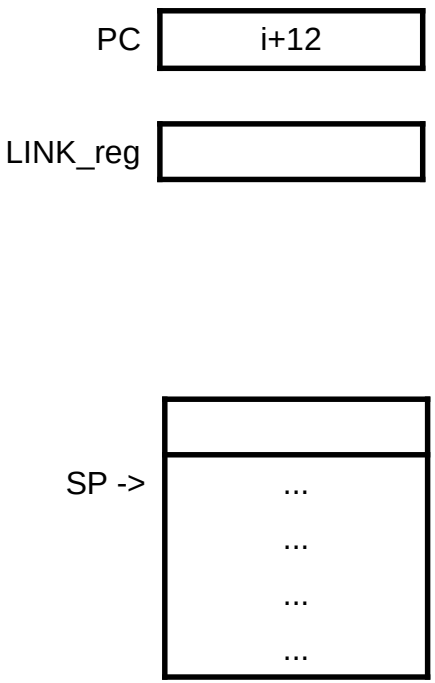
Programma chiamante			
	Load	R2, N	Il parametro 1 è la dimensione della lista
	Move	R4, #NUM1	Il parametro 2 è la locazione della lista
	Call	TOTALE	Chiama il sottoprogramma
	Store	R3, SOMMA	Immagazzina il risultato
Sottoprogramma			
TOTALE:	Subtract	SP, SP, #4	Salva in pila R5
	Store	R5, (SP)	
	Clear	R3	Inizializza la somma a 0
CICLO:	Load	R5, (R4)	Preleva il prossimo numero
	Add	R3, R3, R5	Aggiungi questo numero alla somma
	Add	R4, R4, #4	Incrementa di 4 il puntatore
	Subtract	R2, R2, #1	Decrementa il contatore
	Branch_if_[R2]>0	CICLO	
	Load	R5, (SP)	Ripristina il contenuto di R5
	Add	SP, SP, #4	
	Return		Rientra al programma chiamante

Esempio passaggio tramite registri



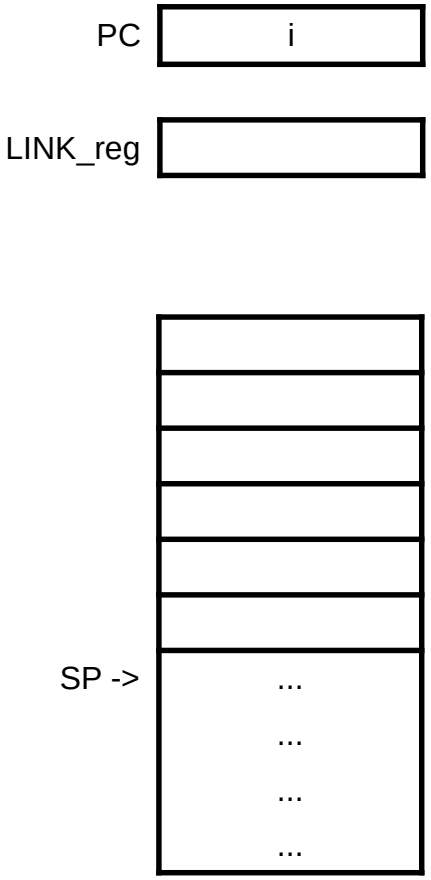
Programma chiamante			
	Load	R2, N	Il parametro 1 è la dimensione della lista
	Move	R4, #NUM1	Il parametro 2 è la locazione della lista
	Call	TOTALE	Chiama il sottoprogramma
	Store	R3, SOMMA	Immagazzina il risultato
Sottoprogramma			
TOTALE:	Subtract	SP, SP, #4	Salva in pila R5
	Store	R5, (SP)	
	Clear	R3	Inizializza la somma a 0
CICLO:	Load	R5, (R4)	Preleva il prossimo numero
	Add	R3, R3, R5	Aggiungi questo numero alla somma
	Add	R4, R4, #4	Incrementa di 4 il puntatore
	Subtract	R2, R2, #1	Decrementa il contatore
	Branch_if_[R2]>0	CICLO	
	Load	R5, (SP)	Ripristina il contenuto di R5
	Add	SP, SP, #4	
	Return		Rientra al programma chiamante

Esempio passaggio tramite registri



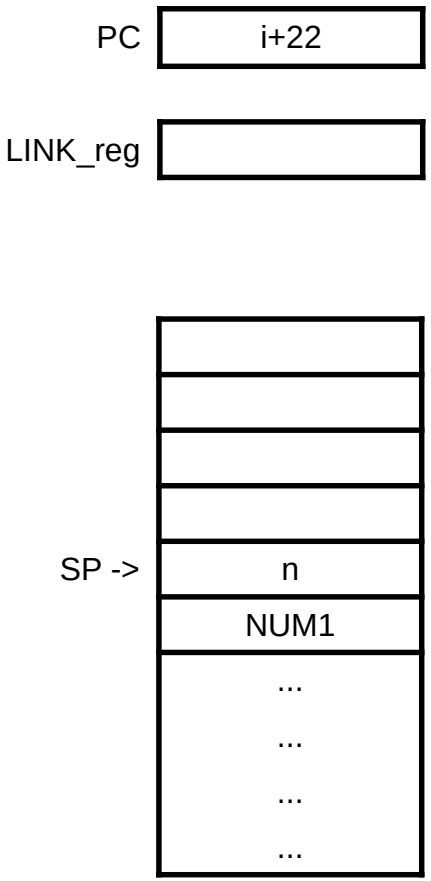
Programma chiamante			
	Load	R2, N	Il parametro 1 è la dimensione della lista
	Move	R4, #NUM1	Il parametro 2 è la locazione della lista
	Call	TOTALE	Chiama il sottoprogramma
	Store	R3, SOMMA	Immagazzina il risultato
Sottoprogramma			
TOTALE:	Subtract	SP, SP, #4	Salva in pila R5
	Store	R5, (SP)	
	Clear	R3	Inizializza la somma a 0
CICLO:	Load	R5, (R4)	Preleva il prossimo numero
	Add	R3, R3, R5	Aggiungi questo numero alla somma
	Add	R4, R4, #4	Incrementa di 4 il puntatore
	Subtract	R2, R2, #1	Decrementa il contatore
	Branch_if_[R2]>0	CICLO	
	Load	R5, (SP)	Ripristina il contenuto di R5
	Add	SP, SP, #4	
	Return		Rientra al programma chiamante

Esempio passaggio tramite pila



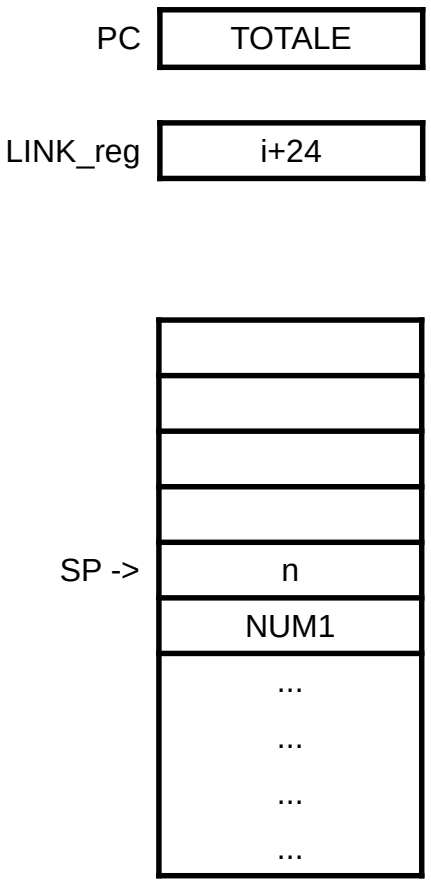

```
                Move        R2, #NUM1       Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE          Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                             livello 2)
                Load        R2, 4(SP)       Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8      Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                             a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16     Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)        (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)      Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)      Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3              Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)        Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5      Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4      Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1      Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)      Impila il risultato
                Load        R5, (SP)        Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16     (cima della pila a livello 2)
                Return                      Rientra al programma chiamante
```

Esempio passaggio tramite pila



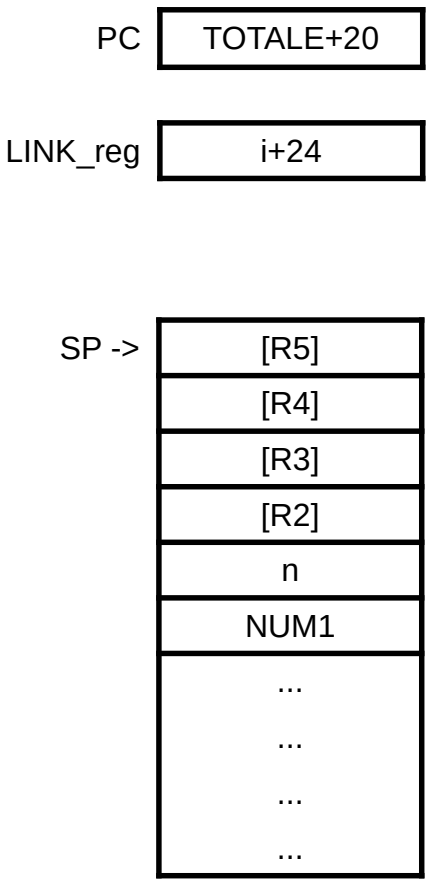

```
                Move        R2, #NUM1     Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE        Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                           livello 2)
                Load        R2, 4(SP)     Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8    Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                           a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16   Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)      (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)    Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)    Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3            Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)      Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5    Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4    Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1    Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)    Impila il risultato
                Load        R5, (SP)      Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16   (cima della pila a livello 2)
                Return                    Rientra al programma chiamante
```

Esempio passaggio tramite pila



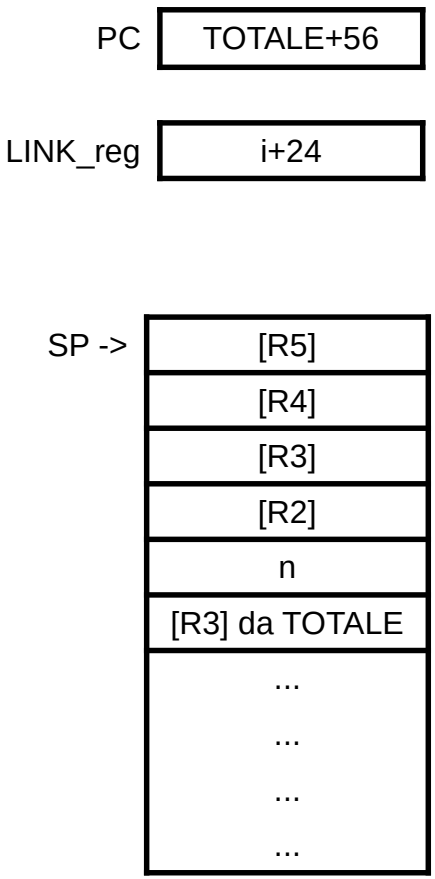

```
                Move        R2, #NUM1       Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE          Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                             livello 2)
                Load        R2, 4(SP)       Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8      Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                             a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16     Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)        (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)      Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)      Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3              Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)        Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5      Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4      Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1      Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)      Impila il risultato
                Load        R5, (SP)        Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16     (cima della pila a livello 2)
                Return                      Rientra al programma chiamante
```

Esempio passaggio tramite pila



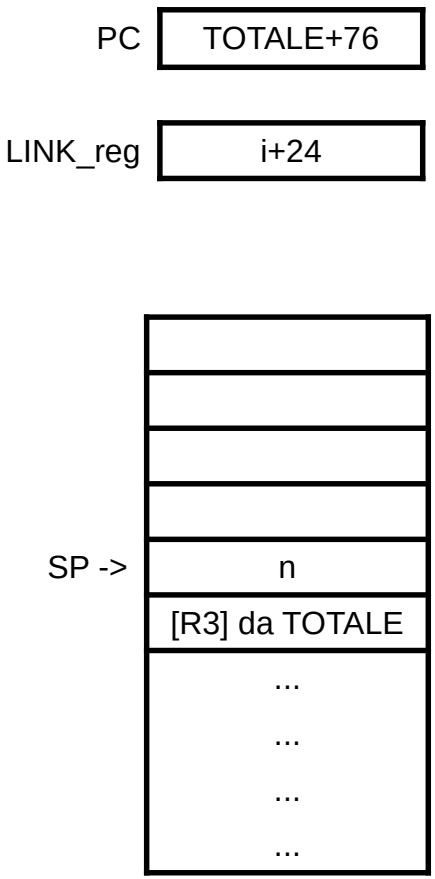

```
                Move        R2, #NUM1       Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE          Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                             livello 2)
                Load        R2, 4(SP)       Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8      Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                             a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16     Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)        (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)      Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)      Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3              Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)        Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5      Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4      Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1      Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)      Impila il risultato
                Load        R5, (SP)        Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16     (cima della pila a livello 2)
                Return                      Rientra al programma chiamante
```

Esempio passaggio tramite pila



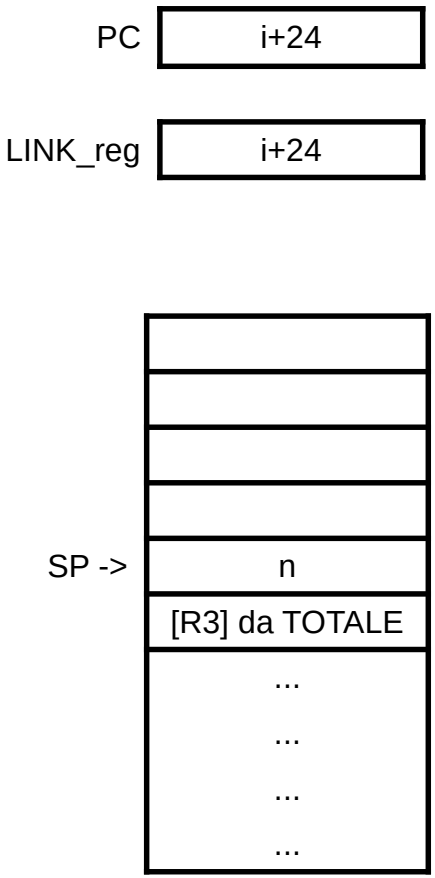

```
                Move        R2, #NUM1     Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE        Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                           livello 2)
                Load        R2, 4(SP)     Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8    Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                           a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16   Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)      (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)    Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)    Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3            Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)      Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5    Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4    Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1    Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)    Impila il risultato
                Load        R5, (SP)      Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16   (cima della pila a livello 2)
                Return                    Rientra al programma chiamante
```

Esempio passaggio tramite pila



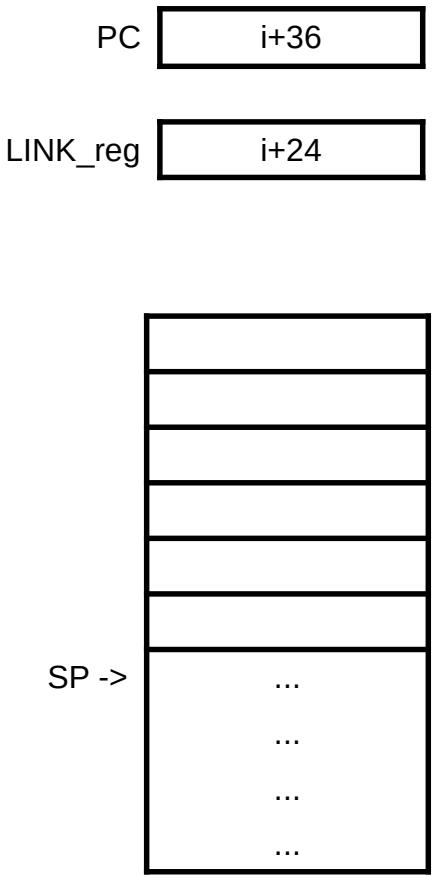

```
                Move        R2, #NUM1       Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE          Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                             livello 2)
                Load        R2, 4(SP)       Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8      Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                             a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16     Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)        (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)      Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)      Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3              Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)        Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5      Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4      Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1      Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)      Impila il risultato
                Load        R5, (SP)        Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16     (cima della pila a livello 2)
                Return                      Rientra al programma chiamante
```

Esempio passaggio tramite pila




```
                Move        R2, #NUM1       Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE          Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                             livello 2)
                Load        R2, 4(SP)       Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8      Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                             a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16     Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)        (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)      Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)      Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3              Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)        Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5      Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4      Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1      Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)      Impila il risultato
                Load        R5, (SP)        Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16     (cima della pila a livello 2)
                Return                      Rientra al programma chiamante
```

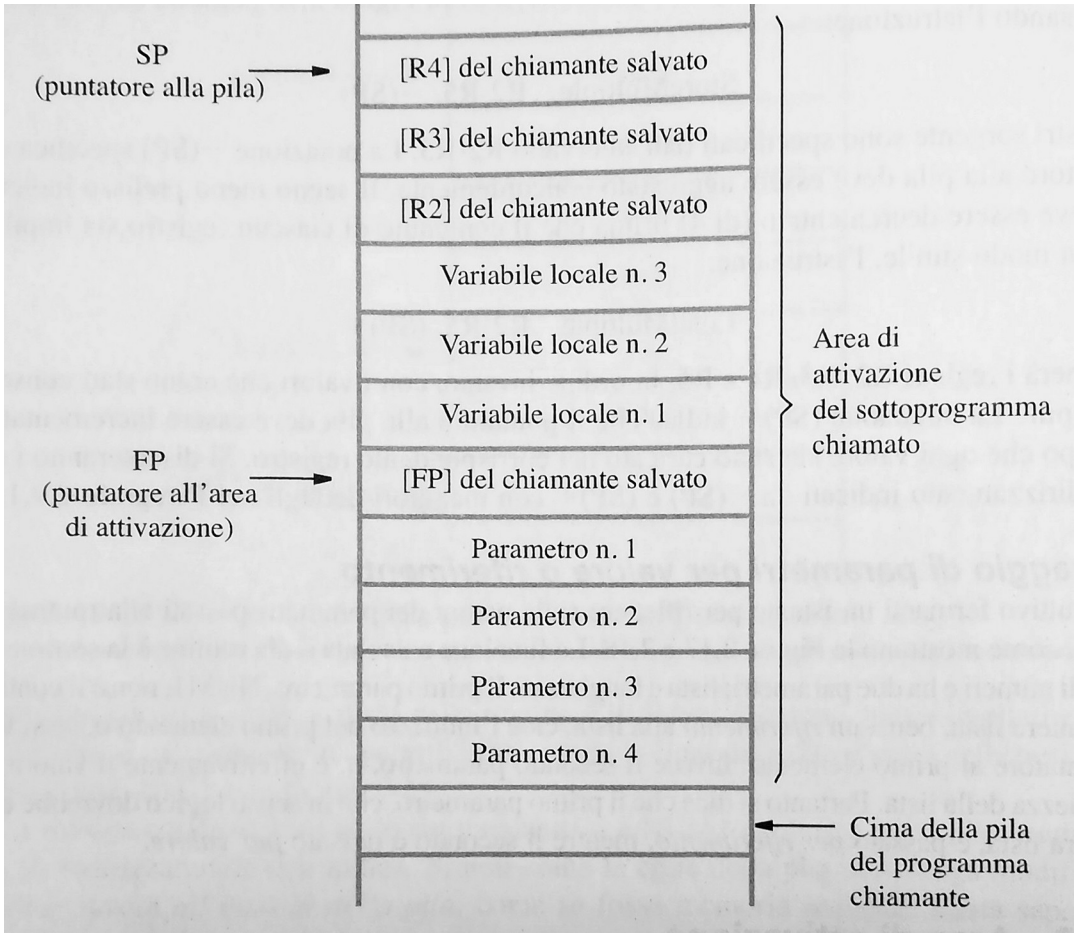
Esempio passaggio tramite pila




```
                Move        R2, #NUM1       Impila i parametri
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Load        R2, N
                Subtract    SP, SP, #4
                Store       R2, (SP)
                Call        TOTALE          Chiama il sottoprogramma (cima della pila a
                                             livello 2)
                Load        R2, 4(SP)       Spila il risultato e conservalo in SOMMA
                Store       R2, SOMMA
                Add         SP, SP, #8      Ripristina la cima della pila (cima della pila
                                             a livello 1)
                :
TOTALE :        Subtract    SP, SP, #16     Salva in pila i registri
                Store       R2, 12(SP)
                Store       R3, 8(SP)
                Store       R4, 4(SP)
                Store       R5, (SP)        (cima della pila a livello 3)
                Load        R2, 16(SP)      Inizializza il contatore a n
                Load        R4, 20(SP)      Inizializza il puntatore alla lista
                Clear       R3              Inizializza la somma a 0
CICLO:          Load        R5, (R4)        Preleva il prossimo numero
                Add         R3, R3, R5      Aggiungi questo numero alla somma
                Add         R4, R4, #4      Incrementa di 4 il puntatore
                Subtract    R2, R2, #1      Decrementa il contatore
                Branch_if_[R2]>0  CICLO
                Store       R3, 20(SP)      Impila il risultato
                Load        R5, (SP)        Ripristina i registri
                Load        R4, 4(SP)
                Load        R3, 8(SP)
                Load        R2, 12(SP)
                Add         SP, SP, #16     (cima della pila a livello 2)
                Return                      Rientra al programma chiamante
```

Area di attivazione in pila (stack frame)

- Il blocco di memoria nella pila riservato al sottoprogramma è chiamato **Area di attivazione (Stack Frame)**
- Il **Frame Pointer FP** è un registro che punta allo Stack Frame del sottoprogramma in esecuzione
- Lo Stack Frame contiene i parametri, il FP del programma chiamante, le variabili locali e valori di registri salvati
- Il FP punta alla parola dove è memorizzato il FP del programma chiamante



Annidamento di sottoprogramma

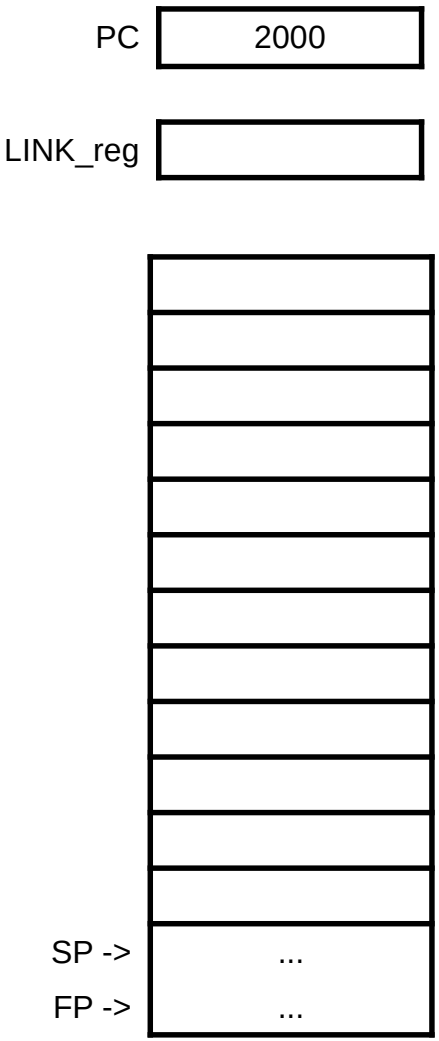
- Nel caso si abbiano diversi sottoprogrammi annidati, prima di chiamare una seconda routine è necessario salvare il contenuto del registro LINK_reg per recuperarlo in seguito

- Si può usare la pila per salvare gli indirizzi di rientro delle chiamate annidate all'interno dell'area di attivazione dei programmi chiamanti

- Il LINK_reg è comunque sempre usato dalle funzioni di Call e Return

- Alcune architetture non usano il LINK_reg, ma salvano l'indirizzo di rientro solo nella pila. Questa strategia è chiamata **pila a modo implicito**

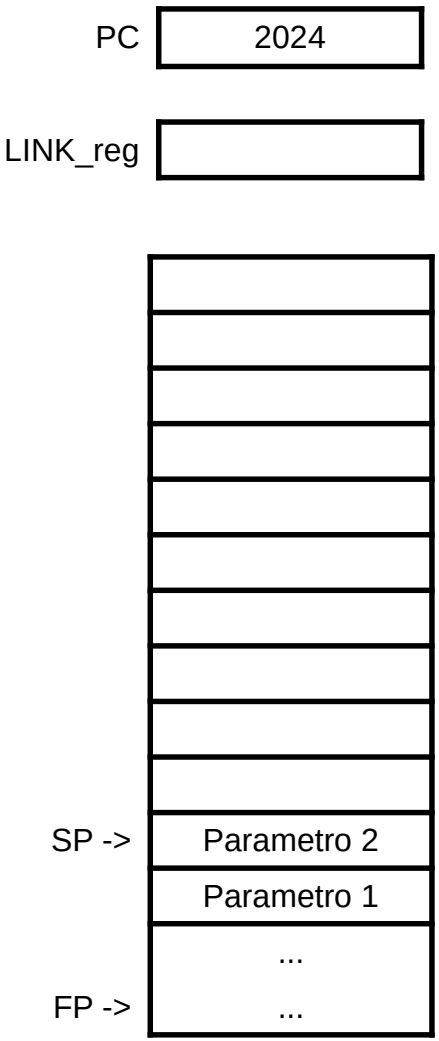
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

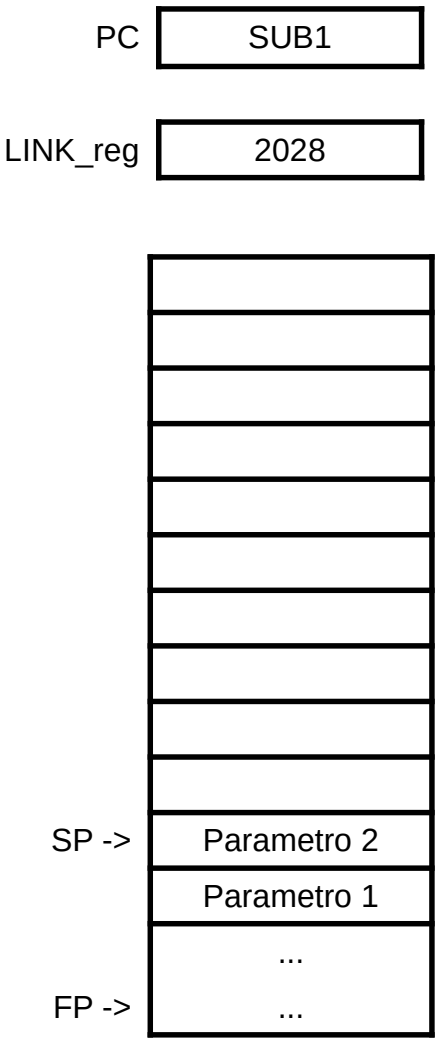
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

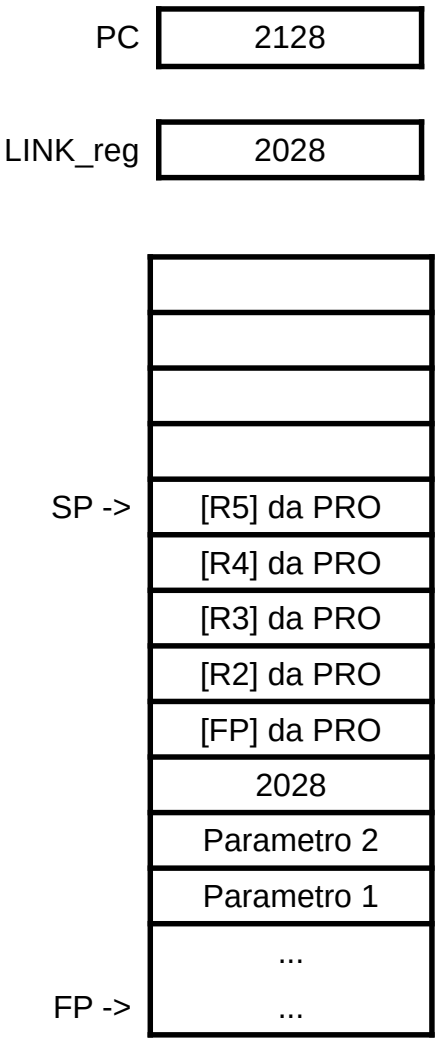
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

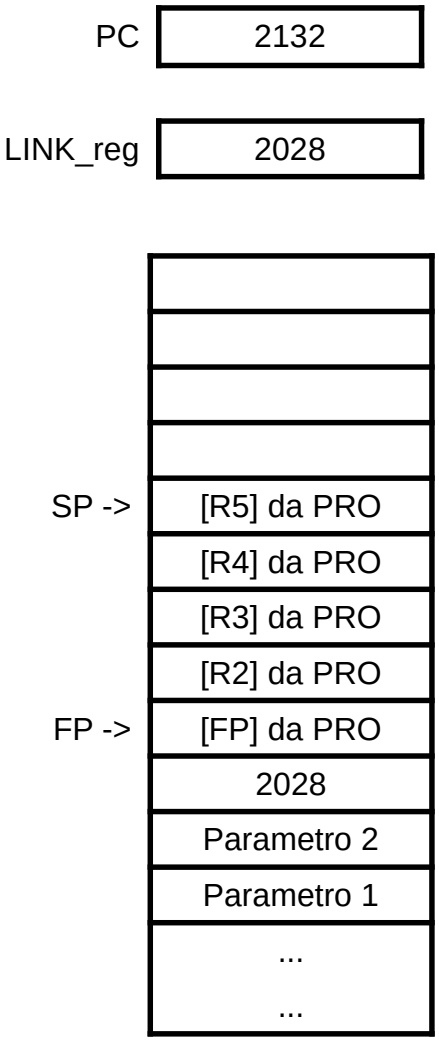
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

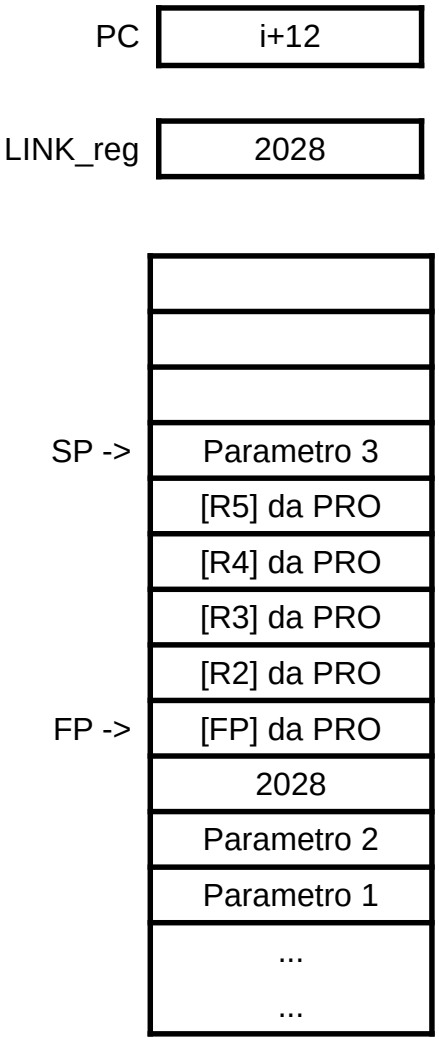
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

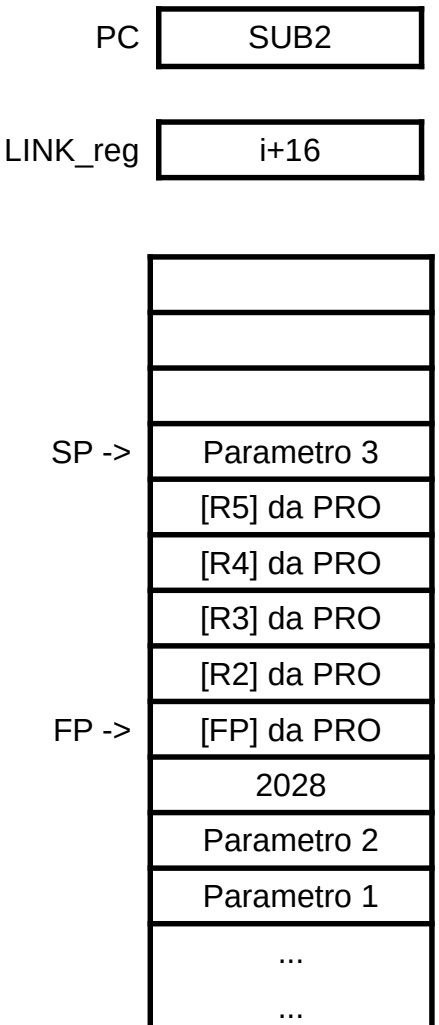
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

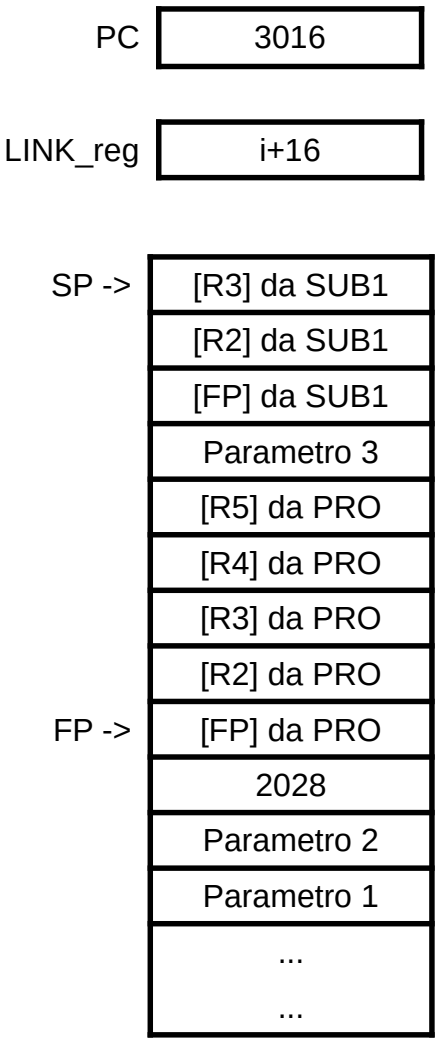
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

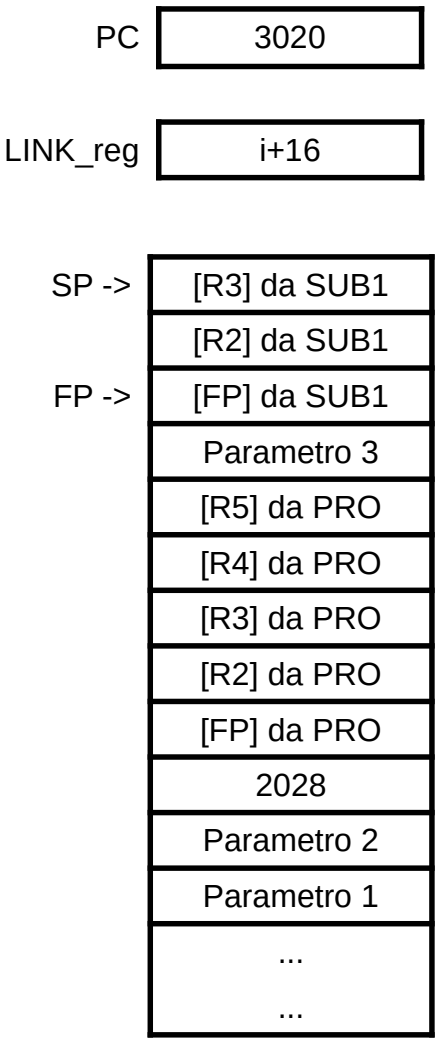
Continua nella parte b

Esempio sottoprogrammi annidati



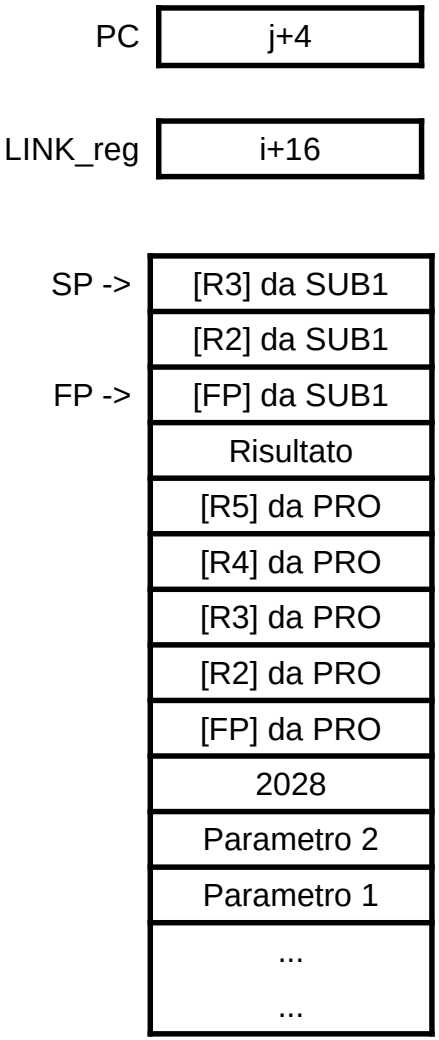
Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Secondo sottoprogramma				
3000	SUB2:	Subtract	SP, SP, #12	Salva in pila i registri
3004		Store	FP, 8(SP)	
		Store	R2, 4(SP)	
		Store	R3, (SP)	
		Add	FP, SP, #8	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
		Load	R2, 4(FP)	Preleva il parametro
		⋮		
		Store	R3, 4(FP)	Impila il risultato di SUB2
		Load	R3, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R2, 4(SP)	
		Load	FP, 8(SP)	
		Add	SP, SP, #12	
		Return		Rientro al sottoprogramma 1

Esempio sottoprogrammi annidati



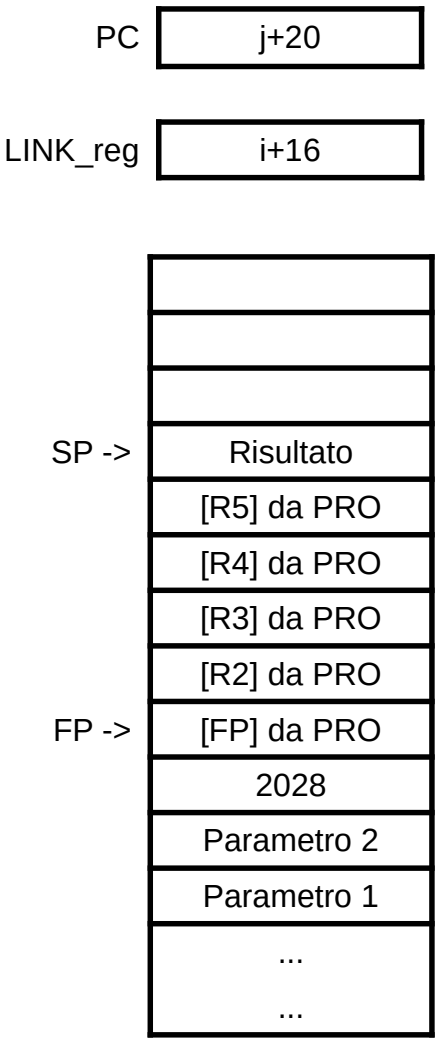
Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Secondo sottoprogramma				
3000	SUB2:	Subtract	SP, SP, #12	Salva in pila i registri
3004		Store	FP, 8(SP)	
		Store	R2, 4(SP)	
		Store	R3, (SP)	
		Add	FP, SP, #8	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
		Load	R2, 4(FP)	Preleva il parametro
		⋮		
		Store	R3, 4(FP)	Impila il risultato di SUB2
		Load	R3, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R2, 4(SP)	
		Load	FP, 8(SP)	
		Add	SP, SP, #12	
		Return		Rientro al sottoprogramma 1

Esempio sottoprogrammi annidati



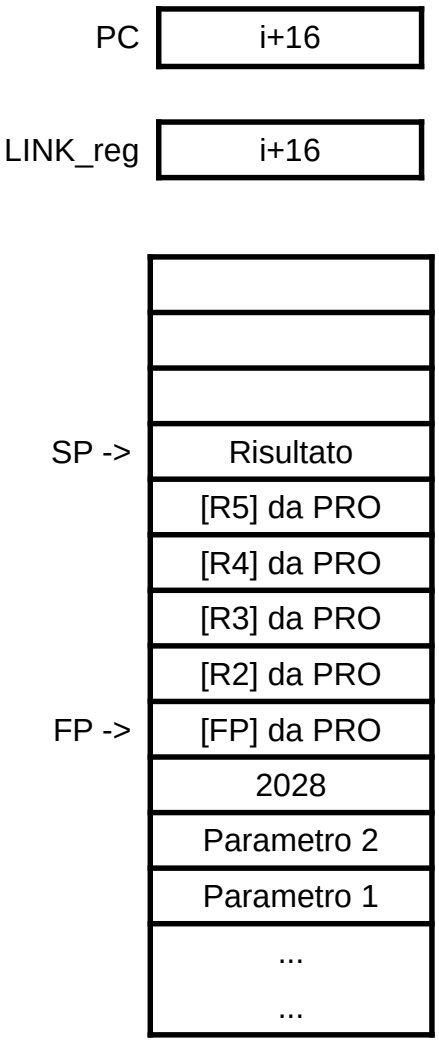
Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Secondo sottoprogramma				
3000	SUB2:	Subtract	SP, SP, #12	Salva in pila i registri
3004		Store	FP, 8(SP)	
		Store	R2, 4(SP)	
		Store	R3, (SP)	
		Add	FP, SP, #8	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
		Load	R2, 4(FP)	Preleva il parametro
		⋮		
		Store	R3, 4(FP)	Impila il risultato di SUB2
		Load	R3, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R2, 4(SP)	
		Load	FP, 8(SP)	
		Add	SP, SP, #12	
		Return		Rientro al sottoprogramma 1

Esempio sottoprogrammi annidati



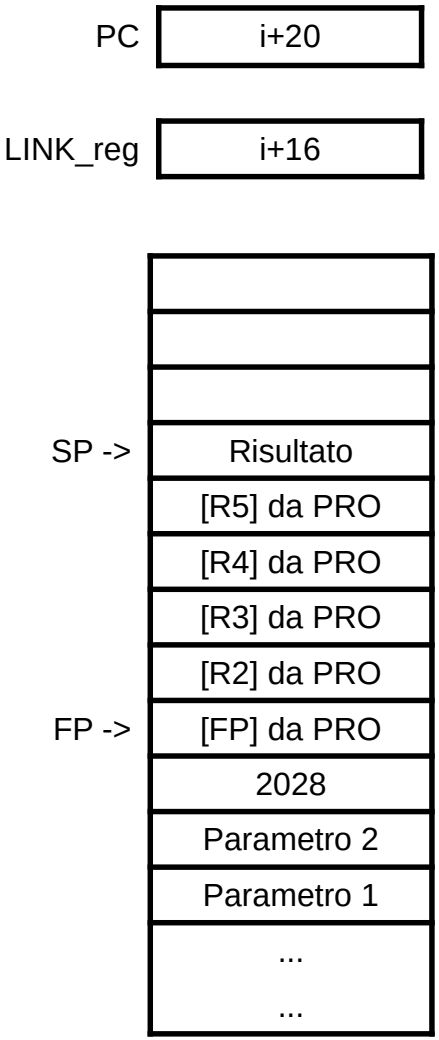
Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Secondo sottoprogramma				
3000	SUB2:	Subtract	SP, SP, #12	Salva in pila i registri
3004		Store	FP, 8(SP)	
		Store	R2, 4(SP)	
		Store	R3, (SP)	
		Add	FP, SP, #8	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
		Load	R2, 4(FP)	Preleva il parametro
		⋮		
		Store	R3, 4(FP)	Impila il risultato di SUB2
		Load	R3, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R2, 4(SP)	
		Load	FP, 8(SP)	
		Add	SP, SP, #12	
		Return		Rientro al sottoprogramma 1

Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Secondo sottoprogramma				
3000	SUB2:	Subtract	SP, SP, #12	Salva in pila i registri
3004		Store	FP, 8(SP)	
		Store	R2, 4(SP)	
		Store	R3, (SP)	
		Add	FP, SP, #8	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
		Load	R2, 4(FP)	Preleva il parametro
		⋮		
		Store	R3, 4(FP)	Impila il risultato di SUB2
		Load	R3, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R2, 4(SP)	
		Load	FP, 8(SP)	
		Add	SP, SP, #12	
		Return		Rientro al sottoprogramma 1

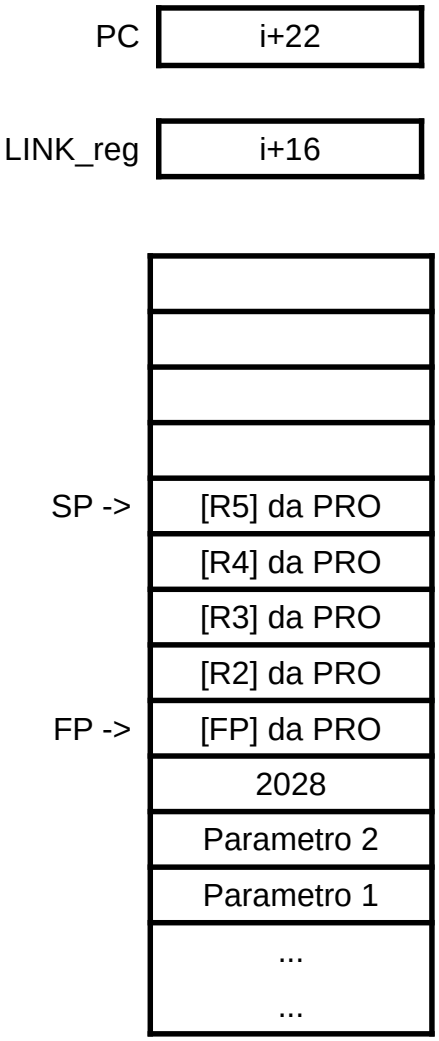
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

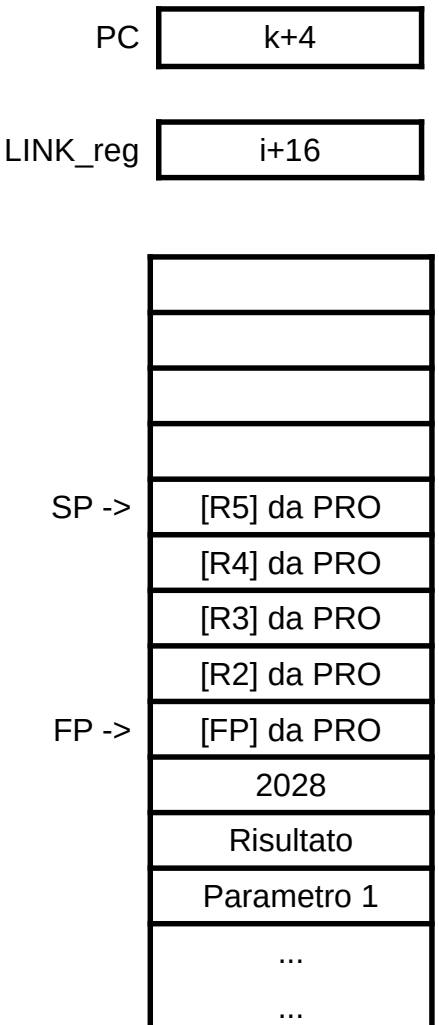
Continua nella parte b

Esempio sottoprogrammi annidati



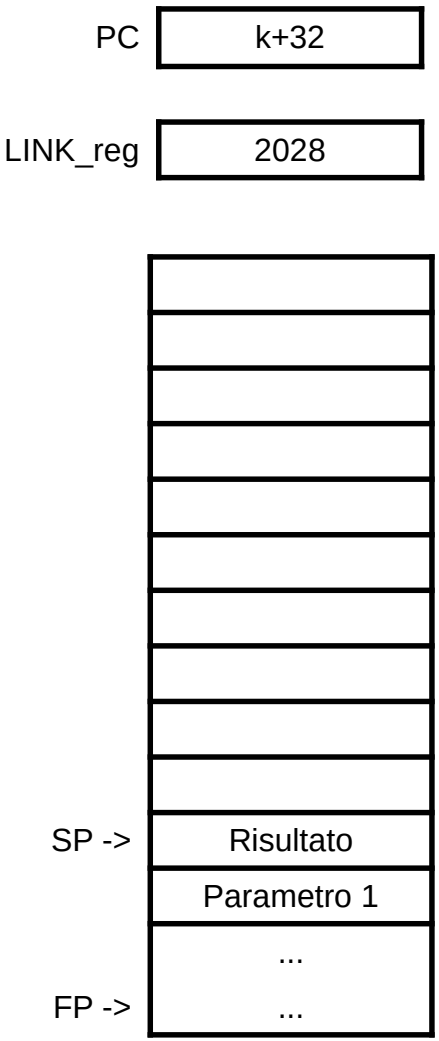
Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale
Continua nella parte b				

Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale
Continua nella parte b				

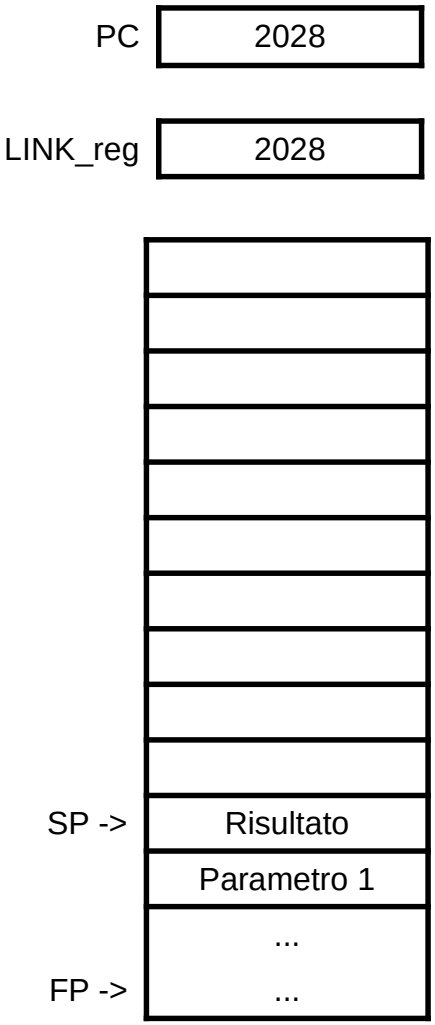
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

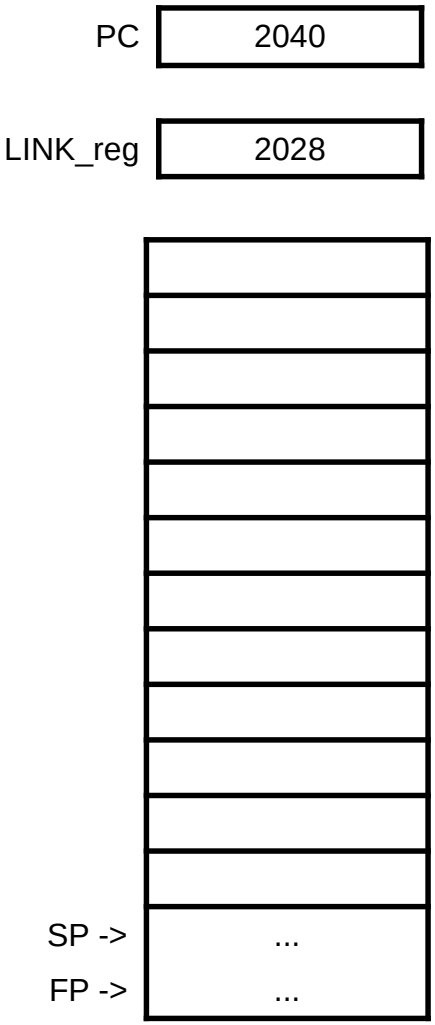
Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

Esempio sottoprogrammi annidati



Locazione di memoria		Istruzioni		Commenti
Programma principale				
		⋮		
2000	PRO:	Load	R2, PARAM2	Impila i parametri
2004		Subtract	SP, SP, #4	
2008		Store	R2, (SP)	
2012		Load	R2, PARAM1	
2016		Subtract	SP, SP, #4	
2020		Store	R2, (SP)	
2024		Call	SUB1	Chiama il sottoprogramma
2028		Load	R2, (SP)	Immagazzina il risultato
2032		Store	R2, RIS	
2036		Add	SP, SP, #8	Ripristina il livello della pila
2040		prossima istruzione		
		⋮		
Primo sottoprogramma				
2100	SUB1:	Subtract	SP, SP, #24	Salva in pila i registri
2104		Store	LINK_reg,20(SP)	
2108		Store	FP, 16(SP)	
2112		Store	R2, 12(SP)	
2116		Store	R3, 8(SP)	
2120		Store	R4, 4(SP)	
2124		Store	R5, (SP)	
2128		Add	FP, SP, #16	Inizializza il puntatore all'area di attivazione
2132		Load	R2, 8(FP)	Preleva il primo parametro
2136		Load	R3, 12(FP)	Preleva il secondo parametro
		⋮		
		Load	R4, PARAM3	Impila un parametro da passare a SUB2
		Subtract	SP, SP, #4	
		Store	R4, (SP)	
		Call	SUB2	
		Load	R4, (SP)	Spila il risultato ottenuto da SUB2
		Add	SP, SP, #4	
		⋮		
		Store	R5, 8(FP)	Impila la risposta
		Load	R5, (SP)	Ripristina i registri
		Load	R4, 4(SP)	
		Load	R3, 8(SP)	
		Load	R2, 12(SP)	
		Load	FP, 16(SP)	
		Load	LINK_reg,20(SP)	
		Add	SP, SP, #24	
		Return		Rientro al programma principale

Continua nella parte b

Codifica numerica di istruzione

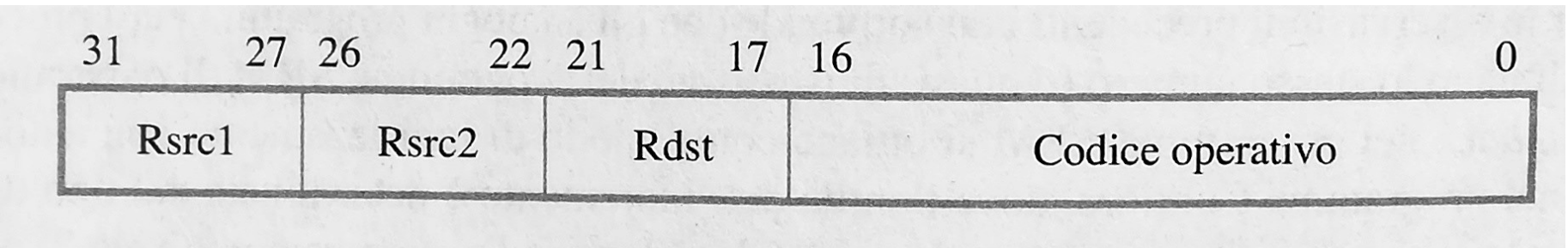
- Nello stile RISC le istruzioni macchina devono essere codificate in una parola di n bit

- A seconda delle istruzioni e del tipo di operandi usati esistono codifiche differenti

- Nel caso di CPU a 32 bit possono essere usate le seguenti codifiche:
  - Formato con operandi in registri
  - Formato con operando immediato
  - Formato per chiamata

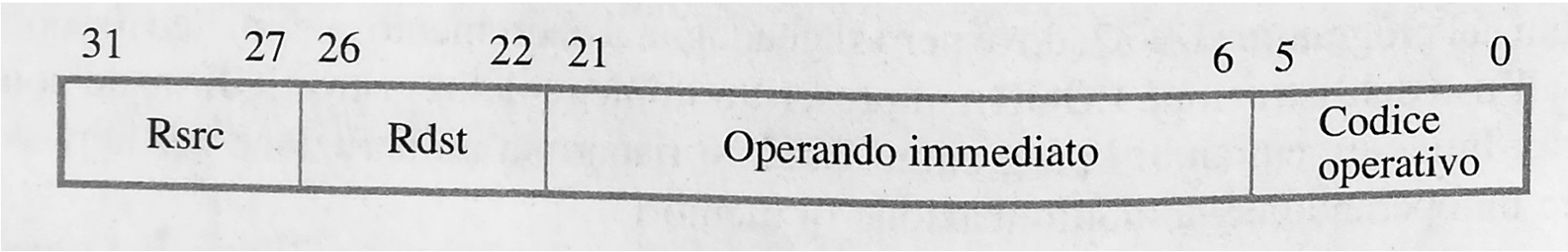
Istruzioni con operandi in registri

- Nel caso si abbiano istruzioni a tre indirizzi di registro si assegnano 5 bit per ogni operando
- Esempio tipico sono le istruzioni aritmetiche e logiche
- I 17 bit meno significativi rappresentano il codice operativo dell'istruzione
- I 15 bit più significativi rappresentano gli indirizzi dei registri dei 3 operandi (5 bit per operando)



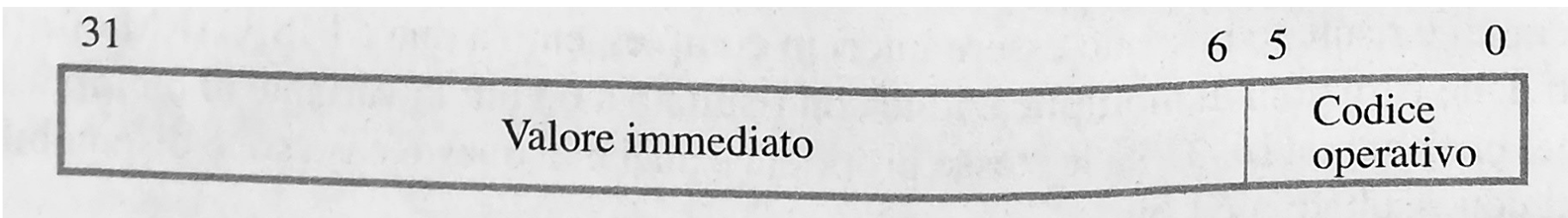
Istruzioni con operando immediato

- Caso in cui si hanno istruzioni a tre indirizzi in cui un operando è fornito tramite modo immediato oppure rappresenta un indirizzo di memoria
- Esempio tipico sono le istruzioni aritmetiche e logiche con operando immediato, load e store o funzioni di salto
- I 6 bit meno significativi rappresentano il codice operativo dell'istruzione
- I 16 seguenti rappresentano il valore immediato, l'indirizzo di memoria o lo spiazzamento
- I 10 bit più significativi rappresentano gli indirizzi dei registri



Istruzione di chiamata

- Per le istruzioni di chiamata si può usare la seguente codifica:
  - 26 bit per rappresentare l'indirizzo della prima istruzione del sottoprogramma
  - 6 bit per il codice operativo dell'istruzione



Notazione di trasferimento di registro (RTN)

- La notazione a trasferimento di registro (RTN) serve a descrivere formalmente il trasferimento di informazione tra parole di memoria e registri (processore e I/O).
- Il simbolo ← indica il trasferimento di valore
- Alla sinistra di ← si trova un indirizzo di memoria (simbolico o numerico) o il nome di un registro
- Alla destra di di ← si trovano un valore semplice o un'espressione
- Per indicare il valore contenuto da un registro o da una parola di memoria si mette il nome o l'indirizzo tra parentesi quadre [.]
- Esempio somma del contenuto di due registri (A e B). Nel registro C viene memorizzata la somma:

$$C \leftarrow [A] + [B]$$

Istruzioni logiche

- Le istruzioni logiche in linguaggio macchina agiscono in modo bit a bit (bitwise)
- AND e OR hanno lo stesso formato delle operazioni aritmetiche viste finora:

AND Rdst, Rsrc1, Rsrc2

OR Rdst, Rsrc1, Rsrc2

- Possono essere usate in forma diretta:

AND Rdst, Rsrc1, #Valore

Dove #Valore è un valore logico a 16 bit esteso a 32 bit aggiungendo 16 zeri nelle posizioni più significative

Istruzioni logiche esempio

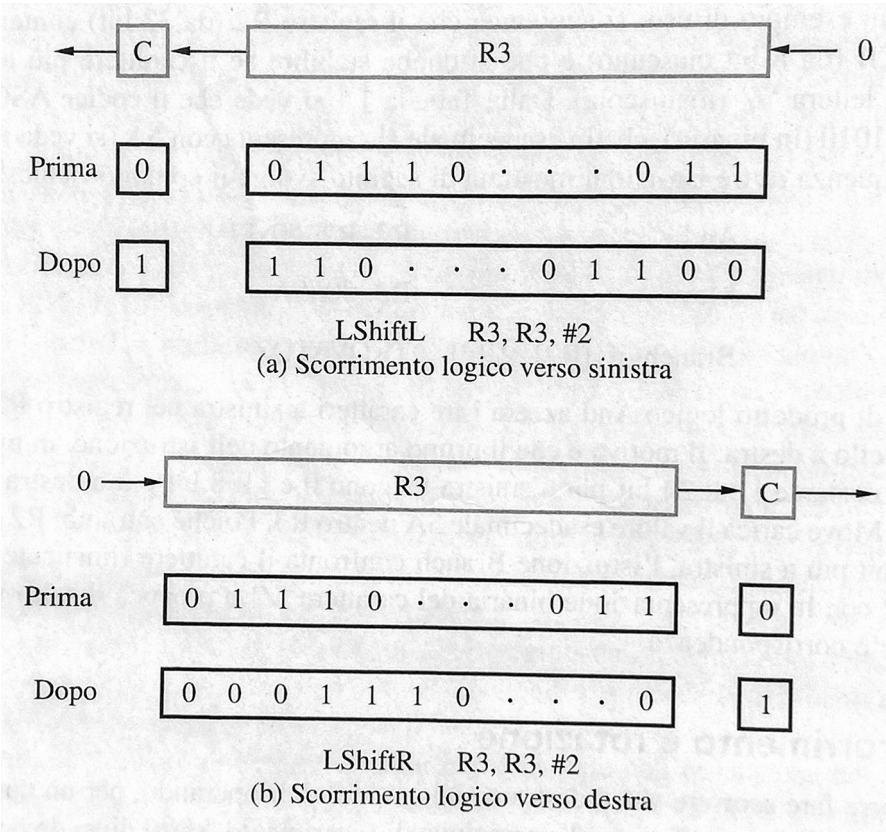
- Il registro R2 contiene 4 caratteri ASCII da 8 bit. Stabilire se il carattere più a destra contiene la lettera Z (0x5A in esadecimale)
- Usare **And** per selezionare solo una parte del contenuto del registro
- Soluzione:

```
And                  R2, R2, #0xFF
Move                 R3, #0x5A
Branch_if_[R2]=[R3]  TROVATOZ
```

Scorrimento logico

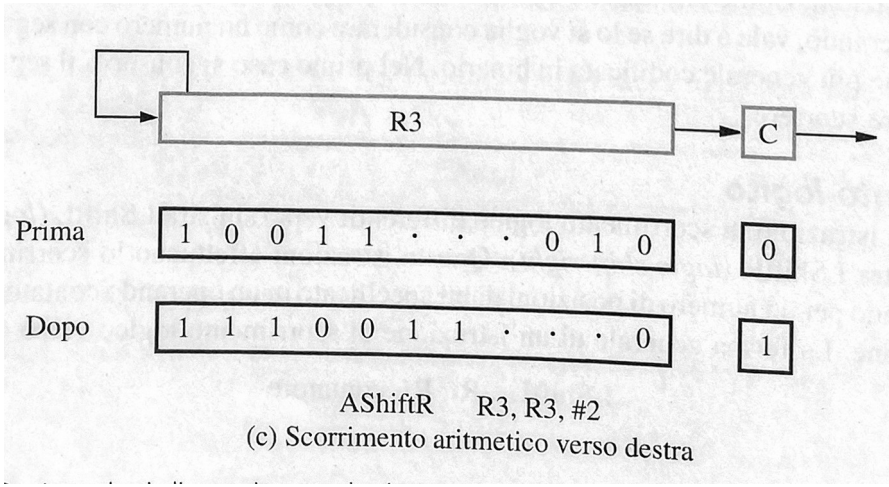
- Le operazioni di scorrimento logico fanno scorrere i bit di un registro a destra o a sinistra di n posizioni
- I bit in uscita vengono persi, ad eccezione dell'ultimo bit che viene memorizzato nel bit di riporto c
- Le posizioni lasciate libere vengono riempite con 0

1) Primo operatore = registro destinazione
2) Secondo operatore = registro sorgente
3) Terzo operatore = numero di bit da far scorrere



Scorrimento Aritmetico

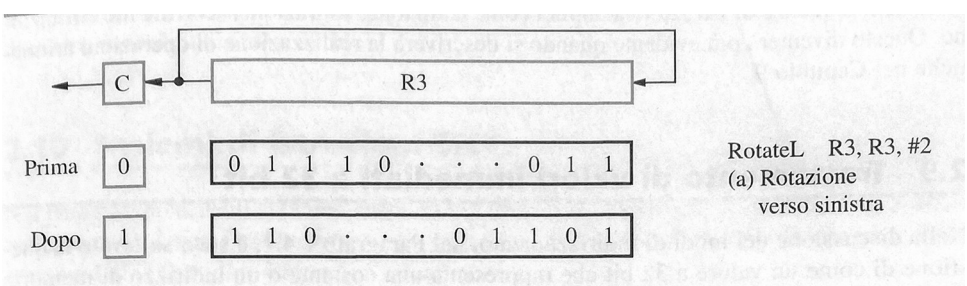
- Se il registro da scorrere contiene un numero in complemento a 2 bisogna preservare il bit di segno
- Lo scorrimento aritmetico verso destra funziona come quello logico, ma riempie le posizioni lasciate libere con il valore del bit più significativo
- Scorrimento logico e aritmetico verso sinistra sono uguali



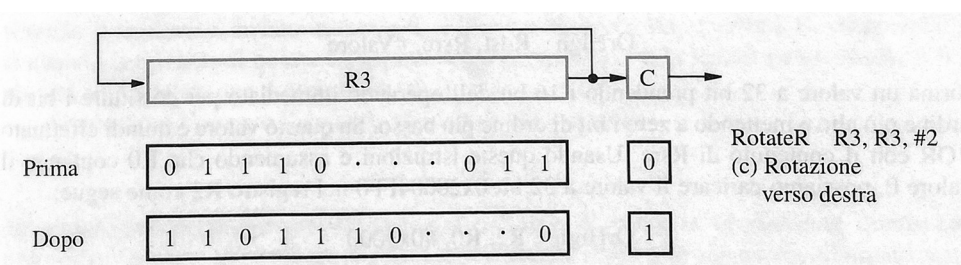
(c) Scorrimento aritmetico verso destra

Rotazione

- La rotazione è un'operazione di scorrimento dove i bit in uscita da un lato vengono fatti rientrare dall'altro
- L'ultimo bit in uscita viene scritto nel bit di riporto c



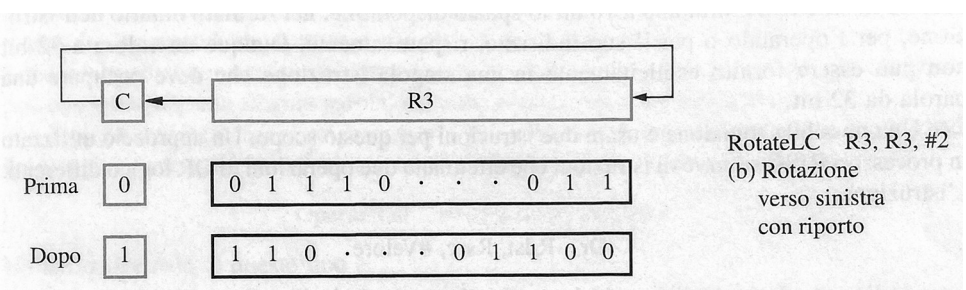
RotateL R3, R3, #2
(a) Rotazione verso sinistra



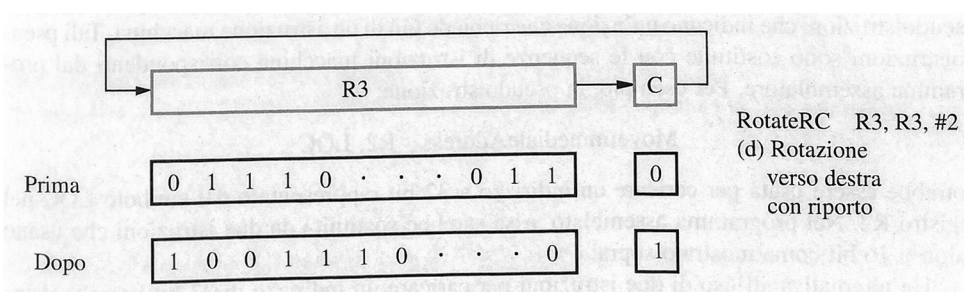
RotateR R3, R3, #2
(c) Rotazione verso destra

Rotazione con riporto

- Nella rotazione con riporto il bit di riporto viene incluso nella sequenza di bit da ruotare
- Nel caso di rotazione a sinistra il bit di riporto viene aggiunto alla sinistra dei bit del registro da ruotare
- Nel caso di rotazione a destra il bit di riporto viene aggiunto alla destra dei bit del registro da ruotare



RotateLC R3, R3, #2
(b) Rotazione verso sinistra con riporto



RotateRC R3, R3, #2
(d) Rotazione verso destra con riporto

LoadByte e StoreByte

- Spesso è necessario leggere/scrivere singoli byte dalla/nella memoria
- LoadByte legge un singolo byte dalla memoria e lo registra negli 8 bit meno significativi del registro destinazione mettendo a 0 gli altri bit

LoadByte Rdst, LOCBYTE

- StoreByte salva gli 8 bit meno significativi del registro sorgente nella locazione di memoria specificata

StoreByte Rsrc, LOCBYTE

Moltiplicazione

- L’istruzione Multiply effettua la moltiplicazione tra due numeri in complemento a due contenuti in due registri.

Multiply Rk, Ri, Rj

- Occorrono 2n bit per rappresentare il prodotto
- Vengono salvati in Rk i bit meno significativi del prodotto e i più significativi non vengono calcolati
- In alcune architetture vengono registrati i bit più significativi in Rk+1

Divisione

- L’istruzione Divide effettua la divisione intera tra due numeri in complemento a due contenuti in due registri.

Divide Rk, Ri, Rj

- Il quoziente di [Rj]/[Ri] viene salvato in Rk e il resto non viene calcolato
- In alcune architetture il resto viene salvato nel registro Rk+1
- Non tutte le architetture posseggono le istruzioni di moltiplicazione e divisione

Differenze tra stili RISC e CISC

RISC:

- Modi di indirizzamento semplici
- Meno istruzioni, tutte occupanti una singola parola
- Operazioni aritmetiche e logiche solo su registri
- Non sono possibili trasferimenti diretti tra due locazioni di memoria
- Possibile l’elaborazione a stadi
- Programmi di dimensioni maggiori

CISC:

- Modi di indirizzamento complessi
- Tante istruzioni complesse, occupanti più parole di memoria
- Operazioni aritmetiche e logiche con operandi sia su registri che locazioni di memoria
- Trasferimenti diretti tra due locazioni di memoria tramite istruzione Move
- Programmi di dimensioni ridotte

Istruzione Move CISC

- L’istruzione Move permette il trasferimento di dati tra registri ed indirizzi di memoria

Move destinazione, sorgente

- L’operando destinazione può essere il nome di un registro o un indirizzo di memoria
- L’operando sorgente può essere il nome di un registro, un indirizzo di memoria o un valore immediato
- Nel caso che il sorgente sia un registro o un indirizzo di memoria l’istruzione esegue la seguente funzione espressa in RTN: **destinazione ← [sorgente]**
- Nel caso che il sorgente sia un valore immediato l’istruzione esegue la seguente funzione espressa in RTN: **destinazione ← sorgente**

Istruzioni aritmetiche CISC

- Tipicamente le istruzioni aritmetiche e logiche CISC usano un formato a 2 indirizzi, dove gli operandi possono essere sia registri che locazioni di memoria

Operazione destinazione, sorgente

- Nel caso di operazioni a due ingressi e un risultato, l'operando destinazione servirà sia da ingresso che da risultato

- Per esempio, l'operazione:

Add B, A

- Effettua l'operazione RTN: **B ← [A] + [B]**

Indirizzamento CISC: autoincremento

- Nell'indirizzamento per autoincremento, l'indirizzo dell'operando è contenuto in un registro il cui nome viene specificato nell'istruzione. Alla fine dell'istruzione il contenuto del registro viene incrementato di un'unità
- L'unità di incremento solitamente è specificata nel nome dell'istruzione
- Sintassi simile al modo indiretto, nome del registro tra parentesi tonde, ma con l'aggiunta di un + alla fine: **(.)+**
- Può essere usata per eseguire l'operazione di Pop:

Move ELEMENTO, (SP)+

Indirizzamento CISC: autodecremento

- Nell'indirizzamento per autoincremento, l'indirizzo dell'operando è contenuto in un registro il cui nome viene specificato nell'istruzione. Prima di eseguire l'istruzione, il contenuto del registro viene decrementato di un'unità
- L'unità di decremento solitamente è specificata nel nome dell'istruzione
- Sintassi simile al modo indiretto, nome del registro tra parentesi tonde, ma con l'aggiunta di un - all'inizio: **-(.)**
- Può essere usata per eseguire l'operazione di Push:

Move -(SP), NUOVOELEMENTO

Indirizzamento CISC: Modo relativo (a PC)

- Modo di indirizzamento simile al modo per indice e spiazzamento, ma applicato registro PC (program counter)
- Sintassi identica a quella di indice e spiazzamento **X(PC)**, dove X è il valore di spiazzamento
- Utile per rappresentare indirizzi in dimensione ridotta (sempre relativi allo spiazzamento da PC)

Bit di esito o condizione

- **I bit di esito o condizione** sono bit speciali immagazzinati in un registro interno al processore chiamato **registro di stato**.

- I bit di esito tengono traccia dell'esito di svariate operazioni, utili per valutare le condizioni di salto. Vengono aggiornati quando avviene un operazione aritmetica e logica o trasferimento di dato.

- I bit di esito più comuni sono:

Bit di esito	Significato
N (negativo)	1 se risultato negativo, 0 se positivo o nullo
Z (zero)	1 se risultato nullo, 0 altrimenti
V (trabocco)	1 se trabocco in comp. a due, 0 altrimenti (oVerflow)
C (riporto)	1 se trabocco in binario naturale, 0 altrimenti (Carry)

Bit di esito o condizione - esempio

- Nel caso si voglia valutare la condizione “greater than 0” sul risultato di un operazione aritmetica precedente un salto basterà controllare che i bit N e Z siano entrambi a 0

- Quindi un programma per la somma di n numeri in stile CISC può essere il seguente:

```
        Move      R2, N        Carica la dimensione della lista
        Clear     R3           Inizializza la somma a 0
        Move      R4, #NUM1    Carica l'indirizzo del primo numero
CICLO:  Add       R3, (R4)+    Aggiungi il prossimo numero alla somma
        Subtract  R2, #1       Decrementa il contatore
        Branch>0  CICLO        Salta indietro se non ancora finito
```

Esempi RISC/CISC (formato BCD impaccato)

- Formato BCD (Binary Coded Decimal): rappresentare le cifre decimali {0,1,...,9} attraveso 4 bit binari {0000, 0001,…,1001}
- In formato ASCII le cifre decimali sono rappresentate da un byte con i quattro bit meno significativi in formato BCD e i 4 più significativi con il valore 0011 = 0x3.
- In questo esempio vogliamo concatenare in un unico byte con indirizzo COPPIA, due cifre decimali in formato BCD. Le due cifre sono memorizzate nelle locazioni LOC e LOC + 1 rappresentate in formato ASCII da 8 bit.
- Tale formato è chiamato formato BCD impaccato.

Esempio BCD impaccato (RISC)

Carica la prima cifra ASCII nel registro R3	Move	R2, #LOC
	LoadByte	R3, (R2)
Scorri il registro R3 di 4 bit a sinistra per lasciare i 4 bit meno significativi a 0	LShiftL	R3, R3, #4
Carica la seconda cifra ASCII nel registro R4	Add	R2, R2, #1
	LoadByte	R4, (R2)
Azzera tutti i bit di R4 ad eccezione dei 4 bit meno significativi	And	R4, R4, #0xF
Concatena la prima cifra con la seconda e registra il risultato in COPPIA	Or	R3, R3, R4
	StoreByte	R3, COPPIA

Esempio BCD impaccato (CISC)

- Abbiamo rimosso un istruzione grazie al modo di indirizzamento tramite autoincremento
- Non si usano più Load e Store, ma solo Move
- Le istruzioni aritmetiche e logiche hanno solo 2 operandi

```
Move        R2, #LOC
MoveByte    R3, (R2)+
LShiftL     R3, #4
MoveByte    R4, (R2)
And         R4, #0xF
Or          R3, R4
MoveByte    COPPIA, R3
```

Esempi RISC/CISC (Prodotto scalare)

- Il prodotto scalare tra due vettori di numeri interi A e B di uguale lunghezza n, si ottiene attraverso la formula seguente:

$$A \times B = A_0 \times B_0 + A_1 \times B_1 + \ldots + A_{n-1} \times B_{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} A_i \times B_i$$

- Per calcolare il prodotto scalare in assembly si può usare un ciclo che iteri i singoli elementi dei due vettori

- Assumiamo che i due vettori si trovino nelle locazioni di memoria contigue puntate dagli indirizzi AVETT e BVETT

- Ad ogni iterazione, gli elementi correnti dei due vettori vengono moltiplicati ed il risultato viene sommato al valore corrente del prodotto scalare (azzerato prima del ciclo)

Esempio Prodotto Scalare (RISC)

	Move	R2, #AVETT	R2 punta al vettore A
	Move	R3, #BVETT	R3 punta al vettore B
	Load	R4, N	R4 è usato come contatore
	Clear	R5	In R5 si accumula il prodotto scalare
CICLO:	Load	R6, (R2)	Preleva il prossimo elemento del vettore A
	Load	R7, (R3)	Preleva il prossimo elemento del vettore B
	Multiply	R8, R6, R7	Calcola il prodotto della coppia successiva
	Add	R5, R5, R8	Aggiungilo alla somma precedente
	Add	R2, R2, #4	Incrementa il puntatore al vettore A
	Add	R3, R3, #4	Incrementa il puntatore al vettore B
	Subtract	R4, R4, #1	Decrementa il contatore
	Branch_if_[R4]>0	CICLO	Reitera se non ancora finito
	Store	R5, PROD	Immagazzina il prodotto scalare in memoria

Esempio Prodotto Scalare (CISC)

	Move	R2, #AVETT	R2 punta al vettore A
	Move	R3, #BVETT	R3 punta al vettore B
	Move	R4, N	R4 è usato come contatore.
	Clear	R5	In R5 si accumula il prodotto scalare
CICLO:	Move	R6, (R2)+	Calcola il prodotto dei componenti successivi
	Multiply	R6, (R3)+	
	Add	R5, R6	Aggiungilo alla somma precedente
	Subtract	R4, #1	Decrementa il contatore
	Branch>0	CICLO	Reitera se non ancora finito
	Move	PROD, R5	Immagazzina il prodotto scalare in memoria

Esempi RISC/CISC (Ricerca di una stringa)

- Si prendano due stringhe ASCII:
  1) Stringa T lunga n
  2) Stringa P lunga m (con m<n)

- Scrivere un programma assembly che determini se P è contenuta in T e trovi l'indice della prima occorrenza.

- Un programma in pseudocodice che risolve il problema in maniera brute-force può essere il seguente:

```
for   i ← 0 to n − m do
      j ← 0
      while j < m and P[j] = T[i + j] do
         j ← j + 1
      if j = m return i
return −1
```

Esempio Ricerca di una stringa (RISC)

	Move	R2, #T	R2 punta alla stringa T
	Move	R3, #P	R3 punta alla stringa P
	Load	R4, N	Preleva il valore n
	Load	R5, M	Preleva il valore m
	Subtract	R4, R4, R5	Calcola $n - m$
	Add	R4, R2, R4	Indirizzo di T $(n - m)$
	Add	R5, R3, R5	Indirizzo di P (m)
CICLO1:	Move	R6, R2	Usa R6 per scandire la stringa T
	Move	R7, R3	Usa R7 per scandire la stringa P
CICLO2:	LoadByte	R8, (R6)	Confronta una coppia di caratteri delle stringhe T e P
	LoadByte	R9, (R7)	
	Branch_if_[R8]≠[R9]	NONUGUALI	
	Add	R6, R6, #1	Punta al successivo carattere di T
	Add	R7, R7, #1	Punta al successivo carattere di P
	Branch_if_[R5]>[R7]	CICLO2	Reitera se non ancora finito
	Store	R2, RISULTATO	Immagazzina l'indirizzo di T (i)
	Branch	FATTO	
NONUGUALI:	Add	R2, R2, #1	Punta al successivo carattere di T
	Branch_if_[R4]≥[R2]	CICLO1	Reitera se non ancora finito
	Move	R8, # −1	Scrivi –1 per indicare che non è stata trovata alcuna corrispondenza
	Store	R8, RISULTATO	
FATTO:	prossima istruzione		

Esempio Ricerca di una stringa (CISC)

	Move	R2, #T	R2 punta alla stringa T
	Move	R3, #P	R3 punta alla stringa P
	Move	R4, N	Preleva il valore n
	Move	R5, M	Preleva il valore m
	Subtract	R4, R5	Calcola $n - m$
	Add	R4, R2	Indirizzo di T $(n - m)$
	Add	R5, R3	Indirizzo di P (m)
CICLO1:	Move	R6, R2	Usa R6 per scandire la stringa T
	Move	R7, R3	Usa R7 per scandire la stringa P
CICLO2:	MoveByte	R8, (R6)+	Confronta una coppia di caratteri delle stringhe T e P
	CompareByte	R8, (R7)+	
	Branch≠0	NONUGUALI	
	Compare	R5, R7	Confronta con l'indirizzo di P (m)
	Branch>0	CICLO2	Reitera se non ancora finito
	Move	RISULTATO, R2	Immagazzina l'indirizzo di T (i)
	Branch	FATTO	
NONUGUALI:	Add	R2, #1	Punta al successivo carattere di T
	Compare	R4, R2	Confronta con l'indirizzo di T $(n - m)$
	Branch≥0	CICLO1	Reitera se non ancora finito
	Move	RISULTATO, # −1	Non è stata trovata alcuna corrispondenza
FATTO:	prossima istruzione		