Il Livello Microarchitettura (iv)

A cura di:
Luca Breveglieri Giuseppe Pozzi

DEI, PoliMI, Milano

luca.breveglieri,giuseppe.pozzi@polimi.it

- versione dell'11 aprile 2003 -

L'insieme delle istruzioni del processore IJVM

Generalità sul linguaggio IJVM

- Il linguaggio macchina IJVM (Integer JVM) è un sottoinsieme del linguaggio JVM (Java Virtual Machine) completo
- IJVM contiene le istruzioni macchina di JVM specializzate per l'elaborazione dei numeri interi (naturali e relativi)
- IJVM (come anche JVM) ha un modello di esecuzione basato sul processore JVM (realizzato tramite l'architettura Mic-1) e sulla pila di memoria

Classi di istruzioni IJVM

- Aritmetico-logica: eseguono le principali operazioni aritmetiche e logiche bit-per-bit (bitwise) su numeri interi
- Caricamento-memorizzazione: servono per leggere e scrivere in memoria
- Salto (condizionato e non): servono per controllare il flusso di esecuzione
- Manipolazione della pila: servono per scrivere e leggere in pila di memoria
- Controllo: gestione del processore

Numeri esadecimali (hex)

- La rappresentazione esadecimale (hex) è di tipo posizionale, in base 16

Tipo	Cifre elementari															
hex	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
dec	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

- $C4 = 12 \times 16 + 4 = 196$
- $1A7E = 1 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 7 \times 16 + 14 = 6782$
- In Java i numeri esadecimali si scrivono con il prefisso 0x; p. es. 0xC4, 0x1A7E

Conversione binario-esadecimale

- esadecimale⇒binario: espandere ogni cifra hex in un gruppo di 4 bit
  - 1A7E hex = 1 / A / 7 / E = 0001 / 1010 / 0111 / 1110 = 0001101001111110 bin
- binario ⇒ esadecimale: compattare gruppi di 4 bit in una sola cifra hex
  - 11000011101010 bin = 11 / 0000 / 1110 / 1010 = 3 / 0 / E / A = 30EA hex
- Importante: un byte = 2 cifre hex, una parola da 32 bit = 8 cifre hex

Istruzioni aritmetico-logiche

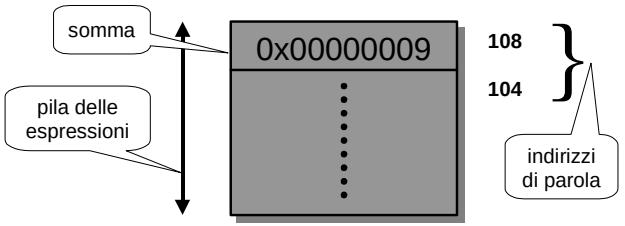
Hex	Mnemonico	Funzionamento: operazione e risultato
0x60	IADD	Addiziona i 2 elementi in cima alla pila
0x64	ISUB	Sottrae i 2 elementi in cima alla pila
0x7E	IAND	AND bit-per-bit dei 2 elementi in cima alla pila
0x80	IOR	OR bit-per-bit dei 2 elementi in cima alla pila
0x84	IINC numvar valore	Addiziona "valore" alla variabile locale "numvar"

- Le istruzioni IADD, ISUB, IAND e IOR operano sulla pila per il calcolo delle espressioni, con parole da 32 bit
- L'istruzione IINC opera sulle variabili locali (32 bit), ma con "valore" da un byte (8 bit)

Simulazione di IADD

Animazione

Fine



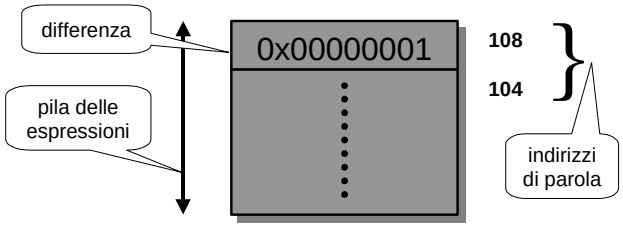
Istruzione IADD eseguita

Si addizionano due parole (32 bit); gli addendi vengono tolti dalla pila

Simulazione di ISUB

Animazione

Fine



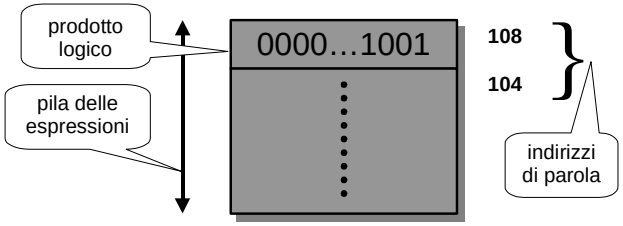
Istruzione ISUB eseguita

Si sottraggono due parole (32 bit); minuendo e sottraendo vengono tolti dalla pila

Simulazione di IAND

Animazione

Fine



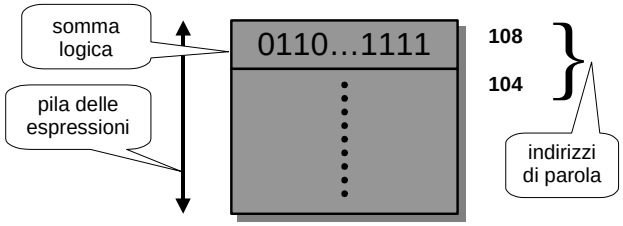
Istruzione IIAND eseguita

Si calcola il prodotto logico bit-per-bit di due parole (32 bit); i fattori vengono tolti dalla pila

Simulazione di IOR

Animazione

Fine



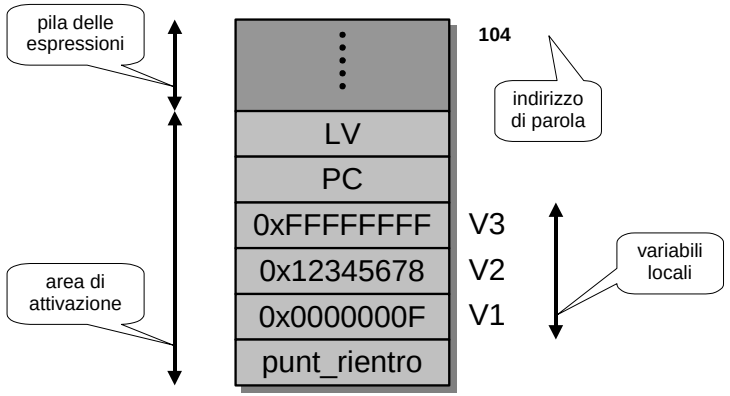
Istruzione IIOR eseguita

Si calcola la somma logica bit-per-bit di due parole (32 bit); i termini vengono tolti dalla pila

Simulazione di IINC

Animazione

Fine



Istruzione IINC 1 15 eseguita

Costante (8 bit) sommata a una var. loc. (32 bit)

Istruzioni di caricamento-memorizzazione

Hex	Mnemonico	Funzionamento: operazione e risultato
0x15	ILOAD numvar	Push della variabile locale "numvar" sulla pila
0x36	ISTORE numvar	Pop dell'elemento sulla pila nella var. loc. "numvar"
0x1A	ILOAD_0	Push della variabile locale numero 0 sulla pila*
0x1B	ILOAD_1	Push della veriabile locale numero 1 sulla pila*
0x1C	ILOAD_2	Push delle variabile locale numero 2 sulla pila*

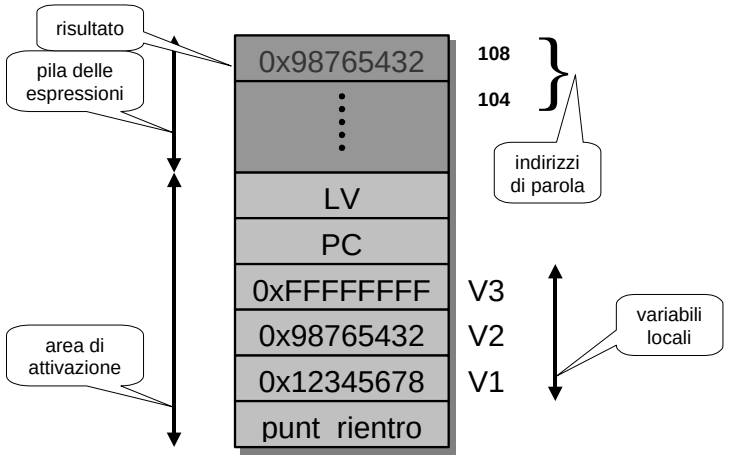
- Le istruzioni operano su variabili locali e pila per il calcolo delle espressioni
- Le istruzioni operano su parole da 32 bit

*Sono forme abbreviate dell'istruzione ILOAD

Simulazione di ILOAD

Animazione

Fine

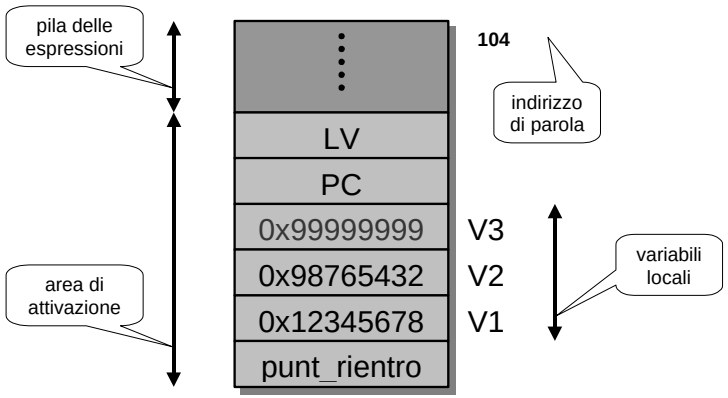


Istruzione ILOAD 2 eseguita

Simulazione di ISTORE

Animazione

Fine



Istruzione ISTORE 3 eseguita

Istruzioni di salto

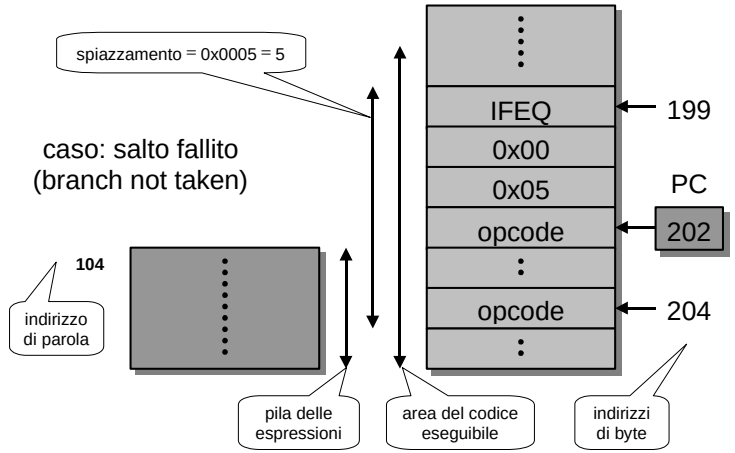
Hex	Mnemonico	Funzionamento: operazione e risultato
0x99	IFEQ spiazzamento	Salta se l'elemento in cima alla pila è = 0
0x9B	IFLT spiazzamento	Salta se l'elemento in cima alla pila è < 0
0x9F	IF_ICMPEQ spiazzamento	Salta se i 2 elementi in cima alla pila sono =
0xA7	GOTO spiazzamento	Salta in modo incondizionato
0xAC	IRETURN	Rientra da sottoprogramma
0xB6	INVOKEVIRTUAL spiazzamento	Salta a sottoprogramma

- Le istruzioni IF∗ e GOTO operano sulla pila delle espressioni, con parole da 32 bit, e sul contatore di programma PC
- Per i sottoprogrammi trattazione a parte

Simulazione di IFEQ

Animazione

Fine

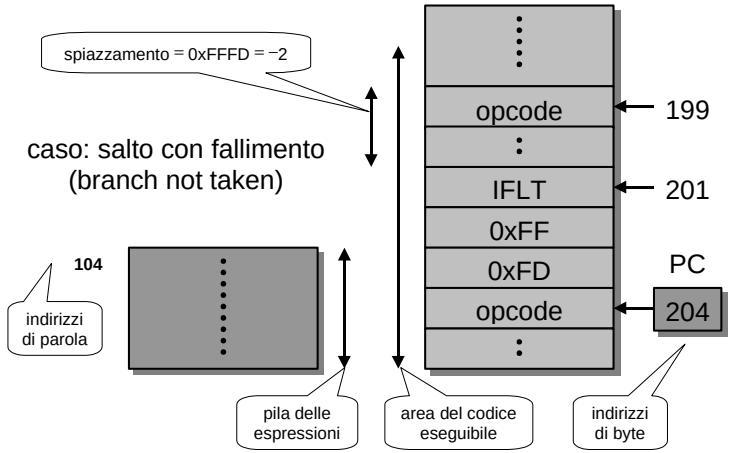


Istruzione IFEQ 5 eseguita (con fallimento)

Simulazione di IFLT

Animazione

Fine

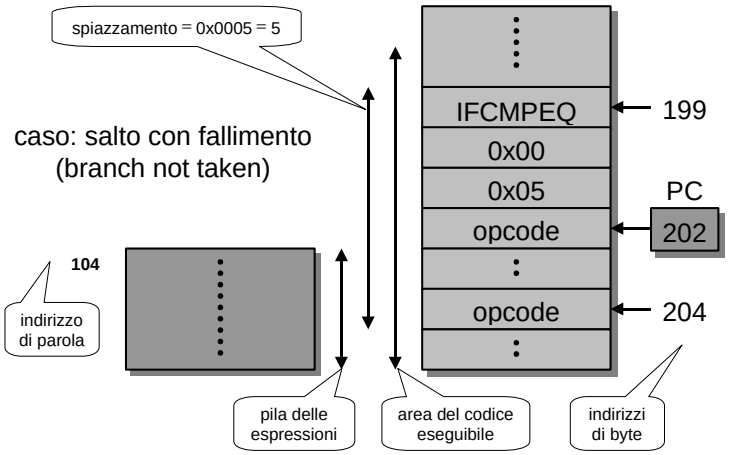


Istruzione IFLT −2 eseguita (con fallimento)

Simulazione di IF_ICMPEQ

Animazione

Fine

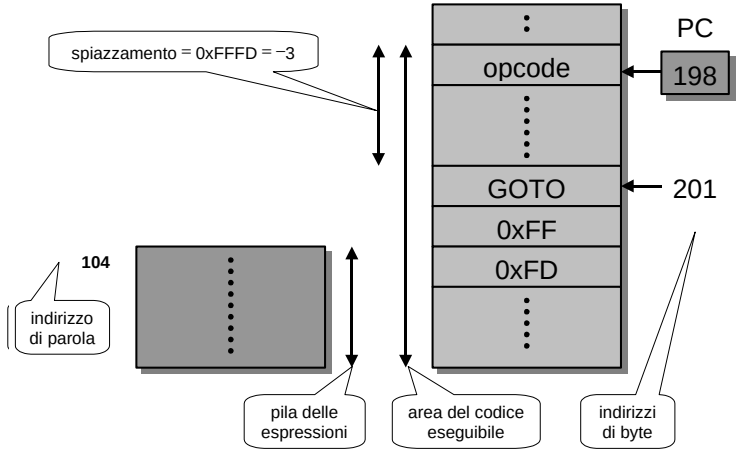


Istruzione IFCMPEQ 5 eseguita (con fallimento)

Simulazione di GOTO

Animazione

Fine



Istruzione GOTO −3 eseguita

Istruzioni di manipolazione della pila

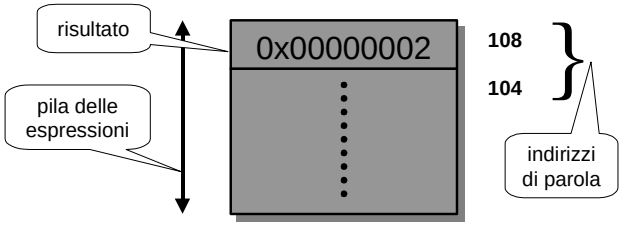
Hex	Mnemonico	Funzionamento: operazione e risultato
0x10	BIPUSH byte	Push del valore "byte" (8 bit) sulla cima della pila
0x13	LDCW numcost	Push della costante "numcost" sulla pila
0x57	POP	Elimina la parola (32 bit) in cima alla pila
0x59	DUP	Duplica la parola (32 bit) in cima alla pila
0x5F	SWAP	Scambia le 2 parole (32 bit) in cima alla pila

- Questo gruppo di istruzioni è misto, ma per la maggior parte contiene istruzioni che operano sulla pila e sull'area delle costanti, con parole da 32 bit

Simulazione di BIPUSH

Animazione

Fine



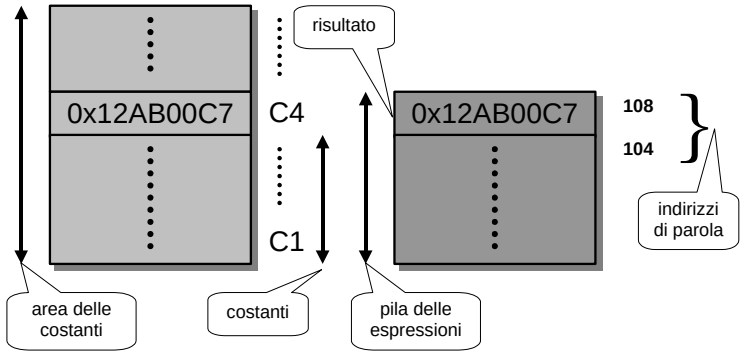
Istruzione BIPUSH 0x02 eseguita

Il byte da scrivere viene esteso (in segno) a formare una parola da 32 bit (vedere l'estensione di segno in complemento a 2)

Simulazione di LDCW

Animazione

Fine

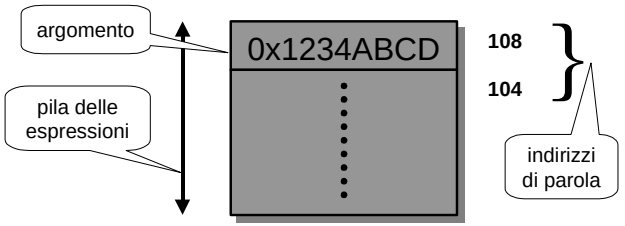


Istruzione LDCW 4 eseguita

Simulazione di POP

Animazione

Fine



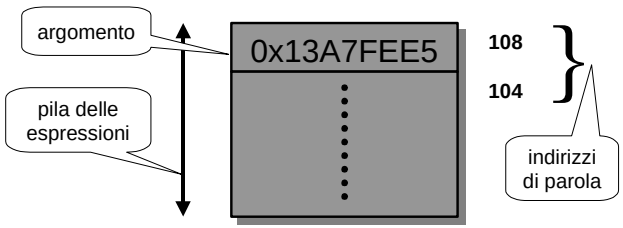
Eseguire l'istruzione POP

Si cancella una parola (32 bit)

Simulazione di DUP

Animazione

Fine



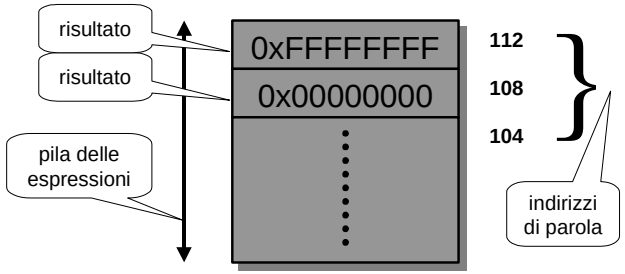
Eseguire l'istruzione DUP

Si duplica una parola (32 bit)

Simulazione di SWAP

Animazione

Fine



Istruzione SWAP eseguita

Si scambiano due parole (32 bit)

Istruzioni di controllo

Hex	Mnemonico	Funzionamento: operazione e risultato
0x00	NOP	Nessuna operazione
0xC4	WIDE	L'istruzione seguente ha un argomento di 16 bit

- Altre possibili istruzioni di controllo:
  - HALT: arresto processore
  - Controllo delle interruzioni
  - …
- Sono comunque tutte istruzioni molto dipendenti dalla struttura del processore

Istruzioni di I/O

- Il processore IJVM non dispone di istruzioni macchina di ingresso/uscita
- Per comunicare con le unità funzionali di I/O (periferiche), il processore IJVM si serve di una libreria di funzioni Java predefinite, che si usano come dei normali sottoprogrammi
- Altri tipi di processore, comunque, dispongono di istruzioni di I/O, facenti parte del linguaggio macchina

Esempio di programma IJVM

- Si considera un semplice programma Java (ma valido anche in C), che esegue alcuni assegnamenti e un'istruzione condizionale "if-then-else"
- Di questo programma verranno illustrati:
  - il codice sorgente Java
  - la traduzione in linguaggio macchina IJVM
  - la simulazione dell'esecuzione
  - e la codifica del programma in binario

Il programma sorgente Java (o C)

```
I = J + K;      /* assegnamento*/
if (I == 3) {   /* condizione  */
  K = 0;        /* ramo THEN   */
} else {
  J = J – 1;    /* ramo ELSE   */
}               /* fine        */
```

espressione

espressione

espressione

- Si può immaginare questo segmento di programma come corpo di una funzione

Il programma tradotto in IJVM

# Riga	Etichetta	Opcode	Argomenti	Commento
1		ILOAD	J	I = J + K
2		ILOAD	K	
3		IADD		
4		ISTORE	I	
5		ILOAD	I	if (I == 3)
6		BIPUSH	3	
7		IF_ICMPEQ	RAMO_THEN	
8	RAMO_ELSE:	ILOAD	J	J = J – 1
9		BIPUSH	1	
10		ISUB		
11		ISTORE	J	
12		GOTO	FINE	
13	RAMO_THEN:	BIPUSH	0	K = 0
14		ISTORE	K	
15	FINE:	…	…	

Assegna-mento

Valutazione Condizione

Ramo ELSE

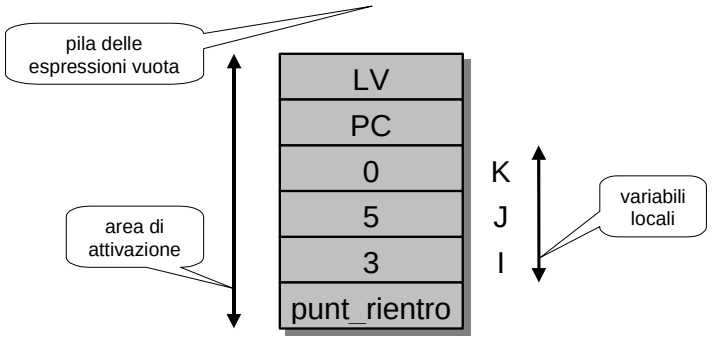
Ramo THEN

Simulazione dell'esecuzione (I)

Animazione

Fine

caso: J = 5, K = – 2, pertanto I = J + K = 5 – 2 = 3

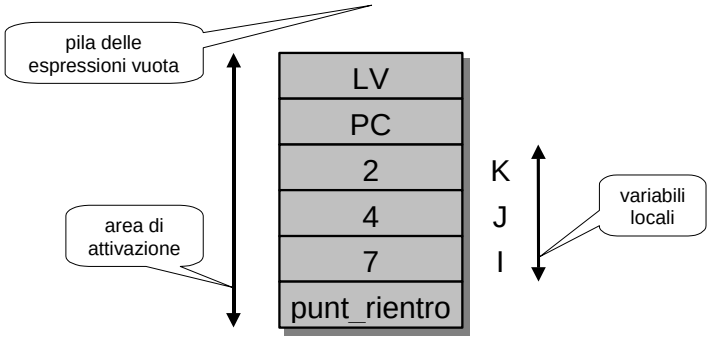


FINE: stato terminale dell'area di attivazione

Simulazione dell'esecuzione (II)

Animazione Fine

caso: J = 5, K = 2, pertanto I = J + K = 5 + 2 = 7

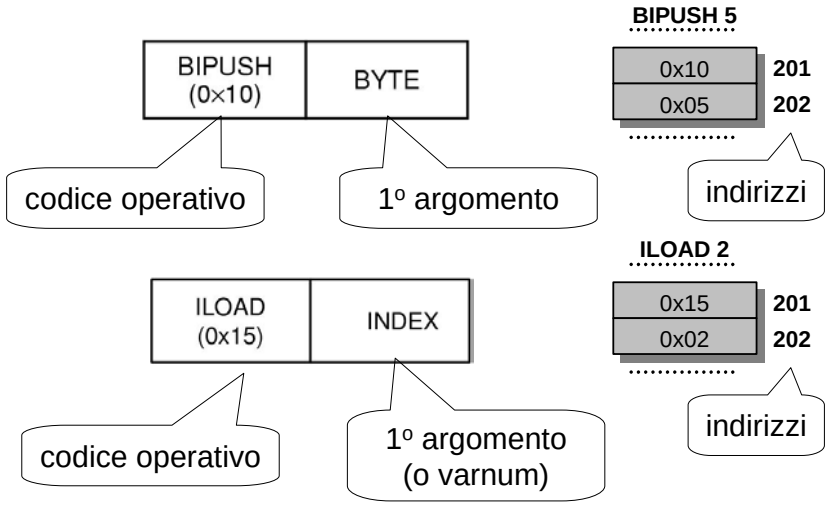


FINE: stato terminale dell'area di attivazione

Codifica delle istruzioni IJVM

- Un'istruzione macchina è formata da:
  - codice operativo (mnemonico, obbligatorio)
  - nessuno, 1, 2 o anche più argomenti
- L'area del codice eseguibile è una successione di byte (8 bit)
- Pertanto, le istruzioni macchina IJVM si codificano in byte: 1, 2, 3 o anche più byte, a seconda dell'istruzione
- Il primo byte è sempre quello che codifica il codice operativo

Esempi di codifica di istruzioni



Codifica del programma IJVM

# Riga	Etichetta	Opcode	Argomenti	Codifica (hex)	Codifica (bin)
				1° b 2° b 3° b	1° byte 2° byte 3° byte
1		ILOAD	J	0x15 0x02	00010101 00000010
2		ILOAD	K	0x15 0x03	00010101 00000011
3		IADD		0x60	01100000
4		ISTORE	I	0x36 0x01	00110110 00000001
5		ILOAD	I	0x15 0x01	00010101 00000001
6		BIPUSH	3	0x10 0x03	00010000 00000011
7		IF_ICMPEQ	RAMO_THEN	0x9F 0x00 0x0D	10011111 00000000 00001101
8	RAMO_ELSE:	ILOAD	J	0x15 0x02	00010101 00000010
9		BIPUSH	1	0x10 0x01	00010000 00000001
10		ISUB		0x64	01100100
11		ISTORE	J	0x36 0x02	00110110 00000010
12		GOTO	FINE	0xA7 0x00 0x07	10100111 00000000 00000111
13	RAMO_THEN:	BIPUSH	0	0x10 0x00	00010000 00000000
14		ISTORE	K	0x36 0x03	00110110 00000011
15	FINE:	…	…		

Codifica delle istruzioni macchina IJVM del programma; vi sono istruzioni da 1, 2 e 3 byte

Estensione: l'istruzione WIDE

- Con un solo byte di indice (varnum), nelle istruzioni ILOAD e ISTORE si indicano solo fino a 256 variabili locali
- Anteponendo loro l'istruzione speciale WIDE, l'indice viene esteso a 16 bit