Strutture di controllo

Espressioni, assegnazione, costrutti per il controllo di flusso, ricorsione

Strutturare il controllo

- Codice macchina: sequenza di istruzioni elementari, istruzioni di salto
- Linguaggi di programmazione: si vuole astrarre sul controllo
- definizioni più:
  - strutturate
  - compatte
  - leggibili

Strutture per il controllo del flusso

- Espressioni
  - Notazioni
  - Meccanismi di valutazione
- Comandi
  - Assegnamento
- Sequenzializzazione di comandi
- Test, condizionali
- Comandi iterativi
- Ricorsione

che presenteremo ora

Altri meccanismi di controllo

- Chiamate di funzioni
- Gestione delle eccezioni
- Esecuzione concorrente
- Scelta non deterministica - probabilistica

presi in considerazione nel resto del corso

I paradigmi di programmazione (imperativo, dichiarativo) differiscono principalmente nei meccanismi di controllo adottati

- imperativo: assegnazione, sequenzializzazione, iterazione
- dichiarativo: valutazione di espressioni, ricorsione

Espressioni

Espressioni contenenti: identificatori, letterali, operatori (+, - . . .), funzioni
valutate dalla macchina producono:

- un valore
- un possibile effetto collaterale
- possono divergere, generare errori

Notazione

Principali differenze:

- Posizione dell'operatore: infissa, prefissa, postfissa
- Uso delle parentesi

Diverse notazioni possibili	Esempi
infissa	`a + b * c`
funzione matematica	`add(a, mult(b, c))`
linguaggi funzionali (Cambridge polish)	`(+ a (* b c))`
omissione di alcune parentesi ML, Haskell	`+ a (* b c)`

Notazione

Parentesi:

- Scheme, Lisp: (Cambridge polish)
  parentesi necessarie per forzare la valutazione
  non possono essere aggiunte arbitrariamente
- ML, Haskell, C,
  parentesi usate per definire un ordine di valutazione
  possono essere aggiunte arbitrariamente

Zucchero sintattico:

scritture alternative di un'espressione (comando) per migliorare la leggibilità

- Haskell, Ada: si può usare notazione infissa in funzioni definite dal programmatore `a +- b` al posto di `'+-' a b` `'+-' (a, b)`
- Ruby, C++: `a + b` al posto di `a.+ b` `a.operator+ (b)`

Notazione polacca

Esistono notazioni che non necessitano parentesi:

- prefissa (polacca diretta) + a * b c
- postfissa (polacca inversa) a b c * +

Ottenute tramite una visita anticipata, o differita, dell'albero sintattico

Le parentesi possono essere omesse solo se l'arità delle funzioni è fissa e nota a priori

Esempi di arità variabile:

- Scheme: `(+ 1 2 3)`
- Erlang: funzioni diverse, con stesso nome, distinte per l'arità

Funzioni di arità arbitraria, parentesi indispensabili.

Notazione polacca

Poco leggibili e poco usate nei linguaggi di programmazione: Forth, calcolatrici tascabili

- polacca diretta, giustificazione: nella notazione a funzione argomenti `f(x, y)` possiamo omettere `( , )` se conosciamo l'arità di ogni funzione
- polacca inversa: descrive la valutazione di un'espressione con lo stack degli operandi
  processori basati su registri o basati su stack operandi__
  processori virtuali di java bytecode, e in altri linguaggi intermedi: CLI
  `2 + 3 * 5` diventa:

```
2 3 5 * +
```

```
push 2;
push 3;
push 5;
```

Sintassi delle espressioni: notazione infissa

I linguaggi di programmazione tendono a usare le notazioni della scrittura matematica:

- notazione infissa
- regole di precedenza tra gli operatori per risparmiare parentesi ma non sempre ovvio il risultato della valutazione:
  - `a + b * c ** d ** e / f` ??
  - `A < B and C < D` ??
    in Pascal Errore (se A,B,C,D non sono tutti booleani)

Regole di precedenza

Ogni linguaggio di programmazione fissa le sue regole di precedenze tra operatori

- di solito operatori aritmetici hanno precedenza su quelli di confronto che hanno precedenza su quelli logici (non in Pascal)
- Numerose regole e 15 livelli di precedenze in C e suoi derivati (C++, Java, C#)
- 3 livelli di precedenza in Pascal
- APL, Smalltalk: tutti gli operatori hanno eguale precedenza: si devono usare le parentesi
- Haskell (Swift) permette di definire nuove funzioni con notazione infissa, e specificarne precedenza e associatività `infixr 8 ^`

Tabella delle precedenze

Fortran	Pascal	C	Ada
		`++`, `--` (post-inc., dec.)	
`**`	`not`	`++`, `--` (pre-inc., dec.), `+`, `-` (unary), `&`, `*` (address, contents of), `!`, `~` (logical, bit-wise not)	`abs` (absolute value), `not`, `**`
`*`, `/`	`*`, `/`, `div`, `mod`, `and`	`*` (binary), `/`, `%` (modulo division)	`*`, `/`, `mod`, `rem`
`+`, `-` (unary and binary)	`+`, `-` (unary and binary), `or`	`+`, `-` (binary)	`+`, `-` (unary)
		`<<`, `>>` (left and right bit shift)	`+`, `-` (binary), `&` (concatenation)
`.eq.`, `.ne.`, `.lt.`, `.le.`, `.gt.`, `.ge.` (comparisons)	`<`, `<=`, `>`, `>=`, `=`, `<>`, `IN`	`<`, `<=`, `>`, `>=` (inequality tests)	`=`, `/=`, `<`, `<=`, `>`, `>=`
`.not.`		`==`, `!=` (equality tests)	
		`&` (bit-wise and)	
		`^` (bit-wise exclusive or)	
		`|` (bit-wise inclusive or)	
`.and.`		`&&` (logical and)	`and`, `or`, `xor` (logical operators)
`.or.`		`||` (logical or)	
`.eqv.`, `.neqv.` (logical comparisons)		`?:` (if...then...else)	
		`=`, `+=`, `-=`, `*=`, `/=`, `%=`, `>>=`, `<<=`, `&=`, `^=`, `|=` (assignment)	
		`,` (sequencing)	

Regole di associatività

Oltre al livello di precedenze, bisogna specificare in che ordine eseguire le operazioni di uno stesso livello

- Normalmente a sinistra `15 + 4 - 3` `(15 + 4) - 3`
- In alcuni casi a destra: `5 ** 2 ** 3` `5 ** (2 ** 3)`

Non sempre ovvie: in APL, tutto associa a destra, ad esempio,

```
15 + 4 - 3
```

è interpretato come

```
15 + (4 - 3)
```

Ricapitolando

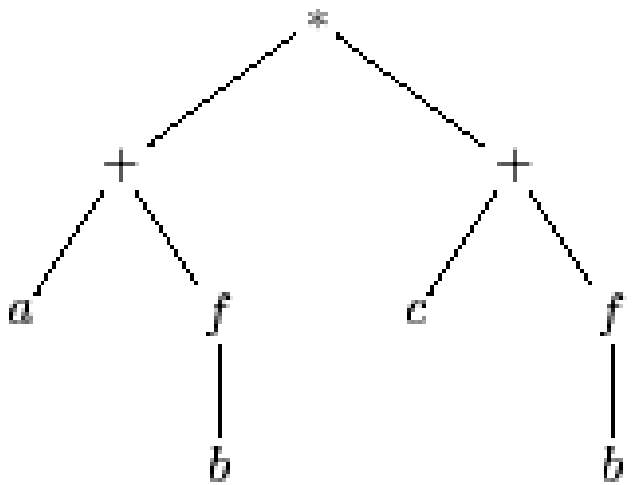
- regole di precedenza e associatività
- poco uniformi tra i vari linguaggi
- in alcuni casi piuttosto complesse

Nella pratica: se non si conoscono bene le regole, si è insicuri, si vuole esplicitare l'ordine, meglio inserire parentesi.

Rappresentazione ad albero

- La rappresentazione naturale di un'espressione è il suo albero sintattico
  nell'albero sintattico l'ordine è evidente
- Le espressioni vengono linearizzate per necessità di scrittura
  nell'espressione lineare bisogna definire le precedenze

```
(a + f(b)) * (c + f(b))
```



- la rappresentazione ad albero generata dall'analizzatore sintattico, per poter poi lavorare sull'espressione

L'ordine di valutazione delle sottoespressioni

Le regole di precedenza, parentesi, o rappresentazione ad albero:

- definiscono precedenza e associatività,
- non definiscono un ordine temporale di valutazione delle sottoespressioni

```
(a+f(b)) * (c+f(d))
```

Ordine importante per:

- effetti collaterali
- ottimizzazione

Effetti collaterali

La valutazione di un'espressione restituisce un valore ma modifica lo stato del programma

Esempio tipico: la valutazione di un'espressione

- porta a chiamate di funzioni
- le funzioni modificano la memoria

Nell'esempio:

```
(a+f(b)) * (c+f(d))
```

il risultato della valutazione da sinistra a destra può essere diverso da quello da destra a sinistra

Ordine di valutazione

- In Java è specificato chiaramente l'ordine (da sinistra a destra)
- C non specifica l'ordine di valutazione, compilatori diversi si comportano in modo diverso.

```
int x=1;
printf("%d \n", (x++) + (++x));
x=1;
printf("%d \n", (++x) + (x++));
```

- L'ordine di valutazione ha influenza sul tempo di esecuzione, specie nei processori attuali (computazione parallela, accesso lento alla memoria)
  - C preferisce l'efficienza alla chiarezza, affidabilità
  - Java il contrario.

Ottimizzazione e ordine di valutazione.

I compilatori possono modificare l'ordine di valutazione per ragioni di efficienza

```
a = b + c
d = c + e + b
```

può essere riarrangiato in

```
a = b + c
d = b + c + e
```

ed eseguito come

```
a = b + c
d = a + e
```

in alcuni casi, queste modifiche portano a modifiche nel risultato finale.

Evitare le ambiguità dovute all'ordine di valutazione

- In alcuni linguaggi non sono ammesse funzioni con effetti collaterali nelle espressioni (Haskell)
- altri linguaggi specificano l'ordine di valutazione (Java)
- in altri linguaggi, per evitare che il risultato dipenda da scelte del compilatore, forzando un ordine di valutazione,
  posso spezzare l'espressione

```
y = (a+f(b)) * (c+f(d))
```

riscritta come

```
x = a+f(b);
y = x * (c+f(d))
```

Effetti collaterali

Svantaggi: senza effetti collaterali la valutazione delle espressioni diventa:

- indipendente dall'ordine di valutazione
- più vicina all'intuizione matematica
- più chiara, facile da capire
- più facile verificare, provare, correttezza
- più facile da ottimizzare per il compilatore (preservando il significato originale)

Stato (memoria) (effetti collaterali) utili per:

- gestire strutture dati di grandi dimensioni,
  funzioni che operano su matrici, modificandole in parte
- definire funzione che generano numeri casuali `rand()`

Linguaggi funzionali puri

In linguaggi funzionali puri, la computazione si riduce a:

- la sola valutazione di espressioni
- senza quasi effetti collaterali

Aritmetica finita

- Numeri interi: limitati (aritmetica modulo $2^{32}, 2^{64}$)
- Numeri floating point: valori limitati e precisione finita

Conseguenze: errori di overflow, errori di arrotondamento ma anche

le usuali identità matematiche non sempre valgono

```
a + (b + c) != (a + b) + c
```

- interi: la prima espressione genera errore di overflow la seconda no con

  ```
  a = -2; b = maxint; c = 2;
  ```

- floating point: l'errore nelle due valutazioni è differente con

  ```
  a = 10**15; b = -10**15; c = 10**(-15);
  ```

Valutazione eager - lazy. Operandi non definiti

Non sempre tutte le sottoespressioni sono valutate

esempio tipico, espressioni `if then else`

C, Java	`a == 0 ? b : b/a`
Scheme	`(if (= a 0) b (/ b a))`
Python	`b if a == 0 else b/a`

si implementa una valutazione lazy: si valutano solo gli operandi strettamente necessari.

Valutazione corto circuito

Alcuni operatori booleani (and, or) usano una la valutazione lazy

- detta corto-circuito:
- se la valutazione del primo argomento è sufficiente a determinare il risultato, non valuto il secondo
- ordine di valutazione fondamentale per determinare il risultato, di solito da sinistra a destra

Esempio: con `a` uguale a `0`:

```
a == 0 || b/a > 2
```

- con valutazione corto circuito restituisce `true`
- valutazione eager genera errore
- anche la valutazione corto circuito da destra a sinistra genera errore

Valutazione corto-circuito

Restituisce immediatamente il risultato

- se il primo argomento di un or (`||`) è `true` restituisce `true`
- se il primo argomento di un and (`&&`) è `false` restituisce `false`

Alcuni linguaggi, Ada, hanno due versioni degli operatori booleani

- short circuit: `and then` `or else`
- eager: `and` `or`
  utili se la valutazione delle espressioni ha un effetto collaterale necessario alla computazione.

Valutazione corto-circuito

Stesso codice (ricerca valore 3 in una lista)

si comporta in maniera diversa a seconda del linguaggio

- C, valutazione corto circuito: corretto

```
p = lista
while (p && p -> valore != 3)
    p = p -> next
```

- Pascal, valutazione eager: genera errore

```
p := lista;
while (p <> nil ) and (p^.valore <> 3) do
    p := p^.prossimo;
```

`p -> next` abbreviazione per `*p.next`

Comandi

Parti del codice la cui esecuzione tipicamente:

- non restituisce un valore
- ha un effetto collaterale (modifica dello stato)

I comandi

- sono tipici del paradigma imperativo
- non sono presenti (o quasi mai usati) nei linguaggi funzionali e logici
- in alcuni casi restituiscono un valore (es. = in C)

Assegnamento: l-value, r-value

Comando base dei linguaggi imperativi

Inserisce in una locazione, cella, un valore ottenuto valutando un'espressione.

```
x = 2
y = x + 1
```

Notare il diverso ruolo svolto da `x` nei due assegnamenti:

- nel primo, `x` denota una locazione, è un l-value
- nel secondo, `x` denota il contenuto della locazione precedente, è un r-value

Assegnamento

In generale

`exp1 = exp2`

- valuto `exp1` per ottenere un l-value (locazione)
- valuto `exp2` per ottenere un r-value, valore memorizzabile
- inserisco il valore nella locazione

l-value può essere definito da un'espressione complessa

- esempio (in C)
  `(f(a)+3)->b[c] = 2`
  - f(a) puntatore ad un elemento in un array di puntatori a strutture `A`
  - la struttura `A` ha un campo `b` che è un array
  - inserisco 2 nel campo c-esimo dell'array

Diversi significati del termine variabile

La parte sinistra di un assegnazione è tipicamente una variabile.

In contesti diversi il termine “variabile” ha significati differenti:

- linguaggi imperativi: identificatore a cui è associata una locazione, dove troviamo il valore modificabile.
- linguaggi funzionali (Lisp, ML, Haskell, Smalltalk): un identificatore a cui è associato un valore, non modificabile

  coincidente con la nozione di costante per linguaggi imperativi
- Linguaggi logici: una variabile rappresenta un valore indefinito, la computazione cerca le istanziazioni delle variabili, che rendano vero un certo predicato

Modello a valore o a riferimento

Due diversi modi per:

- implementare le variabili
- implementare l'assegnamento
- definire cosa denotano le variabili

Modello a valore

Tipicamente è quello discusso sinora, modello a valore

- alle variabili l'ambiente (il compilatore) associa una locazione di memoria
  - il valore contenuto nella locazione è il valore associato alla variabile

L'assegnazione modifica il valore associato, dopo

```
y = z
```

`y` e `z` denotano due copie distinte dello stesso valore

Modello a riferimento:

- l'ambiente associa ad una variabile una locazione di memoria
- nella locazione troviamo un riferimento (una seconda locazione)
- contenente il valore

Per accedere al valore:

- devo dereferenziare la variabile
- dereferenziazione implicita

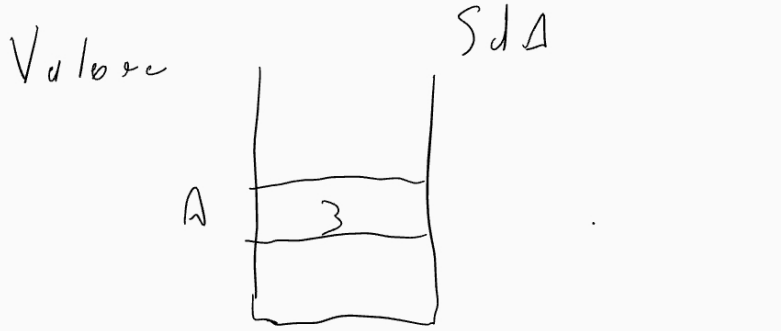
L'assegnazione modifica:

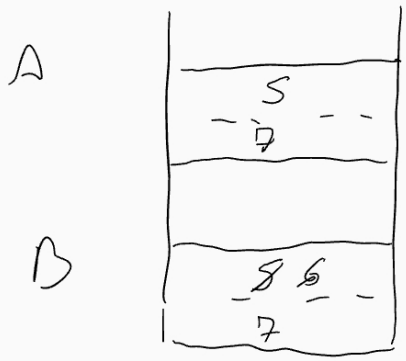
- il riferimento
- non il contenuto dello store

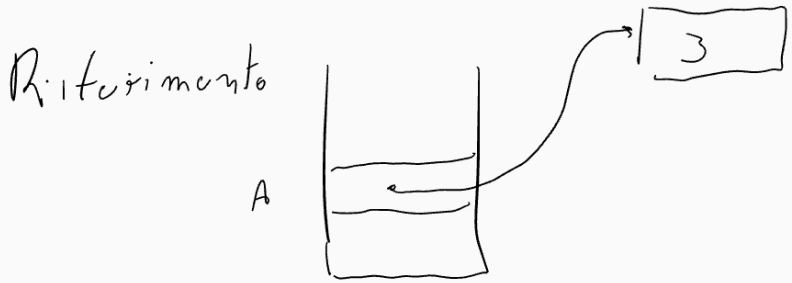
Dopo l'assegnamento `y = z`, `y` e `z` fanno riferimento alla stessa locazione di memoria, contenente un valore condiviso

- ogni variabile è, in certo senso, un puntatore
- usata con una sintassi diversa dai puntatori

Differenze dal punto di vista implementativo





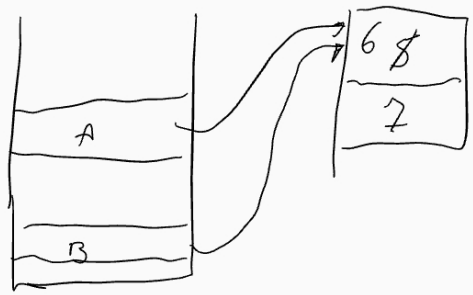


A = 3

A = (5, 7)

B = A

B[0] = 6



In alcuni linguaggi i due modelli si miscolano

A seconda del tipo della variabile

Java:

- tipi primitivi (interi, booleani ecc.) :
  - modello a valore,
  - assegnamento copia un valore nella memoria
- tipi riferimento (tipi classe, array):
  - modello a riferimento
  - assegnamento crea una condivisione dell'oggetto.

Python:

Due categorie di tipi:

immutabili tipi semplici: interi, booleani, enuple
mutabili tipi complessi: vettori, liste, insiemi

Assegnamento:

- immutabili: viene creata una nuova istanza dell'oggetto, non si modifica la memoria, ma analogo effetto.
- mutabili: viene condivisa, eventualmente modificata, l'istanza esistente

Esempio in Python

```
tuple1 = (1,2,3) # tuples are immutable
list1 = [1,2,3] # lists are mutable

tuple2 = tuple1
list2 = list1

tuple2 += (9,9,9)
list2 += [9,9,9]

print 'tuple1 = ', tuple1 # outputs (1, 2, 3)
print 'tuple2 = ', tuple2 # outputs (1, 2, 3, 9, 9, 9)
print 'list1 = ', list1 # outputs [1, 2, 3, 9, 9, 9]
print 'list2 = ', list2 # outputs [1, 2, 3, 9, 9, 9]
```

Vantaggi - svantaggi modello a riferimento

Vantaggi:

- non duplico strutture dati complesse
- tutte le variabili sono puntatori
  - utile nelle funzioni polimorfe
    stessa funzione agisce su una varietà di tipi di dato
    esempio: funzione che ordina un vettore

Svantaggi:

- si creano aliasing che oscurano il comportamento del programma
- accesso ai dati indiretto

Assegnamento in linguaggi funzionali non puri (ML)

- posso dichiarare una variabile come locazione di memoria
- accedo al contenuto esplicitamente
- distinguo chiaramente locazione e contenuto
- l'assegnamento visto come una funzione con effetto collaterale

```
val x = ref 2      (* x denota una locazione contenente 2*)
val x2 = x         (* x e x2 denotano la stessa locazione  *)
val x3 = !x                (* x3 denota 2 *)
val _ = x := (!x) + 7      (* il contenuto di x, x2 è ora 9, *)
                           (* x3 denota sempre 2 *)
```

Ambiente e memoria

Nei linguaggi imperativi distinguiamo tra:

- Ambiente: Nomi –> Valori Denotabili
  - definito, modificato dalle dichiarazioni
- Memoria: Locazioni –> Valori Memorizzabili
  - modificato dalle istruzioni di assegnamento

Distinguiamo tra tre classi di valori:

- Valori Denotabili (quelli a cui si può associare un nome)
- Valori Memorizzabili (si possono inserire nello store esplicitamente con assegnamento)
- Valori Esprimibili (risultato della valutazione di una espressione)

Valori denotabili, memorizzabili, esprimibili

Le tre classi si sovrappongono ma non coincidono

- procedure: denotabili, a volte esprimibili, quasi mai memorizzabili,
- locazioni: denotabili,
  esprimibili, memorizzabili con l'uso esplicito dei puntatori

Linguaggi imperativi, i valori denotabili includono le locazioni:

- variabili nomi che denotano locazioni.

Linguaggi funzionali puri:

- non esistono valori memorizzabili
- le locazioni non sono denotabili o esprimibili

Linguaggi funzionali:

- le funzioni sono valori esprimibili
- Java, C#, Python, Ruby permettono la programmazione funzionale

Operazioni di assegnamento

```
A[index(i)] := A[index(i)] + 1
```

Realizzate in maniera standard pongono i seguenti problemi:

- scarsa leggibilità
- efficienza: doppia computazione dell'indice `index(i)`, doppio accesso alla locazione
- side-effect: se `index(i)` causa un effetto collaterale, questo viene ripetuto

Si definiscono degli operatori di assegnamento, più sintetici

```
X = X + 1    diventa    X  += 1    (C, Java, ...)
X := X + 1   diventa    X  +:= 1   (Algol, Pascal ...)
```

Operazioni di assegnamento

In C, Java . . . una pletora di operatori di assegnamento, incremento/decremento

```
+=    -=    *=    /=    %=    &=    |=
```

- somma, sottrazione, moltiplicazione, divisione, resto, bit-wise and, bit-wise or

Incremento, decremento di una unità

```
x++   x--
```

nel caso la variabile incrementata sia un puntatore o un array C l'incremento viene moltiplicato per la dimensione degli oggetti puntati

- `int *a`
- `a++` incrementa il valore `a` di 4 (la dimensione di un int)

Espressioni e comandi

Sintatticamente si distingue tra comandi e espressioni

- Comandi: è importante l'effetto collaterale
- Espressioni: è importante il valore restituito.

In alcuni linguaggi la distinzione tra comando ed espressione risulta sfumata:

- i due aspetti, effetto collaterale e risultato coesistono,
- dove è previsto un comando posso inserire un'espressione e viceversa.

C, Java, C#:

Comandi separati da espressioni:

```
if (a==b) {x=1} else {x=0};
x = (a==b) ? 1 : 0 ;
```

ma

- espressioni possono comparire dove ci si aspetta un comando
- assegnamento (=) permesso nelle espressioni
  - l'assegnamento restituisce il valore assegnato, posso scrivere:
    - `a = b = 5` interpretato come `a = (b = 5)`
    - `if (a == b) { ... }` naturalmente, ma anche
    - `if (a = b) { ... }` che può generare errore di tipo

```
(a==b) ? x=1 else x=0;        \\ lecito
(a==b) ? {x=1} else {x=0};    \\ genera errore
```

un singolo comando può essere visto come un espressione, un blocco no

pre e post incremento

Il comando di incremento, ++, può essere visto come un'espressione, con effetti collaterali,

- distinguo tra due versioni dell'espressione di incremento, pre e post incremento
  - `++x`: pre-incremento, esegue `x = x+1` restituisce il valore incrementato
  - `x++`: post-incremento, esegue `x = x+1` restituisce il valore originario

  eseguono la stessa assegnazione ma restituiscono un diverso valore
  - uguali come comandi
  - diversi come espressioni
- similmente esistono
  - `(x--)` `(--x)`

Algol68: expression oriented

- in Algol68 tutto è un'espressione:
  - non c'è nozione separata di comando
  - ogni procedura restituisce un valore

```
begin
    a := begin f(b); g(c) end;
    g(d);
    2 + 3
end
```

Scelta opposta - Pascal:

- comandi separati da espressioni
- un comando non può comparire dove è richiesta un'espressione e viceversa

Esercizi

Mostrare l'evoluzione dello store nei seguenti comandi:

- valutazione delle espressioni da sinistra a destra
- nell'assegnazione, si valuta prima r-value, poi l-value
- indice base del vettore: 0

```
int V[5] = { 1, 2, 3, 4, 5};
int i = 3;
V[--i] += i;
V[i--] = i + i++;
(V[i++])++;
```

```
i = 0;
i = V[i++]  = V[i++]  = (V[i++])++;
```

Comandi per il controllo sequenza

Comandi per il controllo sequenza esplicito

- ;
- blocchi
- goto

Comandi condizionali

- if
- case

Comandi iterativi

- iterazione indeterminata (while)
- iterazione determinata (for, foreach)

Comando sequenziale

Composizione sequenziale

```
C1 ; C2 ;
```

- è il costrutto di base dei linguaggi imperativi
- sintassi due possibili scelte:
  - ; separatore di comandi, non serve inserirlo nell'ultimo comando
  - ; terminatore di comandi, devo inserirlo anche nell'ultimo comando
    C e derivati usano questa sintassi

Algol 68, C: quando un comando composto è visto come espressione il valore è quello dell'ultimo comando

Blocco

Sintassi

```
{                   begin
...                 ...
}                   end
```

Trasformo una sequenza di comandi in un singolo comando, raggruppo una sequenza di comandi

Posso usarlo per introdurre variabili locali

GOTO - istruzioni di salto

```
if a < b  goto 10
...
10: ...
```

- costrutto base in assembly
- permette una notevole flessibilità
- ma rende programmi poco leggibili, e nasconde gli errori
- interazione complessa con chiamate di funzioni e stack di attivazione

Accesso dibattito negli anni 60/70 sulla utilità del goto

Alla fine considerato dannoso, contrario ai principi della programmazione strutturata

E. Dijkstra. Go To statements considered Harmful. Communications of the ACM, 11(3):147-148. 1968.

sostituibilità del GOTO

Teoria

- teorema di Boehm-Jacopini
  - GOTO sostituibile da costrutti cicli while - test,

Pratica:

- la rimozione del GOTO non porta a una grossa perdita di flessibilità - espressività
- istruzioni di salto giustificabili e utili solo in particolari contesti, con costrutti appositi:
  - uscita alternativa da un loop: `break`
  - ritorno da sottoprogramma: `return`
  - gestione eccezioni: `raise exception`

Nei linguaggi che prediligono la sicurezza, chiarezza (Java) il Goto non è presente

Programmazione strutturata

Metodologia introdotta negli anni 70, per gestire la complessità del software

- Progettazione gerarchica, top-down
- Modularizzare il codice
- Uso di nomi significativi
- Uso estensivo dei commenti
- Tipi di dati strutturati
- Uso dei costrutti strutturati per il controllo
  - ogni costrutto, pezzo di codice, un unico punto di ingresso e di uscita
  - le singole parti della procedura modularizzate
  - diagrammi di flusso non necessari

Comando condizionale

```
if (B) {C_1} ;
if (B) {C_1} else {C_2} ;
```

- Introdotto in Algol 60
- possibili ambiguità in presenza di if annidati:

```
if b1 then if b2 then c1 else c2
```

```
if (i == 2) if (i == 1) printf("%d \n", i); else printf("%d
```

- varie opzioni per risolvere l'ambiguità
  - Pascal, C: else associa con il then non chiuso più vicino
  - Algol 68, Fortran 77: parole chiave `endif` o `fi` marcano la fine del comando

Scelte multiple

Rami multipli espliciti con comando `else if`

```
if (Bexp1) {C1}
    else if (Bexp2)  {C2}
    ...
    else if (Bexpn)  {Cn}
    else {Cn+1}
```

Espressione condizionale in Scheme.

```
(if test-expr then-expr else-expr)
```

- Valuta test-expr.
- Se il risultato un valore diverso da #f,
  - allora viene valutata `then-expr`
  - altrimenti si valuta `else-expr`

Esempi:

```
> (if (positive? -5) (error "doesn't get here") 2)
2
> (if (positive? 5) 1 (error "doesn't get here"))
1
> (if 'we-have-no-bananas "yes" "no")
"yes"
```

Comando condizionale in Scheme.

In alternativa:

```
(cond
   [(positive? -5) (error "doesn't get here")]
   [(zero? -5) (error "doesn't get here, either")]
   [(positive? 5) 'here])
```

Argomenti (in numero arbitrario

- coppie `[ guardia_booleana  valore_restituito ]`

Case

Estensione del `if then else` a tipi non booleani

```
case exp of                    {* exp: espressione a valori discret
|   const_1 : C_1
|   const_2 : C_2
...                            {*  const valori costanti, disgiunti
|   const_n : C_n              {*  di tipo compatibile con exp *}
else    C_n+1
```

- Molte versioni nei vari linguaggi
- Possibilità di definire range `case 0 ... 9: C2`
  - non presente in: Pascal, C (vecchie versioni)
  - presente C, Visual Basic ammettono range:
- ramo di default : C, Modula, Ada, Fortran,
  - senza default, e con nessuna opzione valida: non si esegue nulla.

Sintassi di C, C++ e Java

```
int i  ...
switch (i)
{
      case 3:
         printf("Case3 ");
         break;
      case 5:
         printf("Case5 ");
         break;
      default:
         printf("Default ");
}
```

Ogni sotto-comando termina `break`,

- devo uscire esplicitamente dal caso con `break`
- altrimenti si continua col comando successivo,
  posso evitare di scrivere un comando due volte
- facile causa di errori
  in C# devo esplicitare l'azione finale: `break, continue`

```
switch (i)
{      case 1:
          printf("Case1 ");
          break;
       case 2:
       case 3:
          printf("Case2 or Case 3");
          break;
       default:
          printf("Default ");
}
```

Estensioni con range

```
switch (arr[i])
  {
  case 1 ... 6:
      printf("%d in range 1 to 6\n", arr[i]);
      break;
  case 19 ... 20:
      printf("%d in range 19 to 20\n", arr[i]);
      break;
  default:
      printf("%d not in range\n", arr[i]);
      break;
```

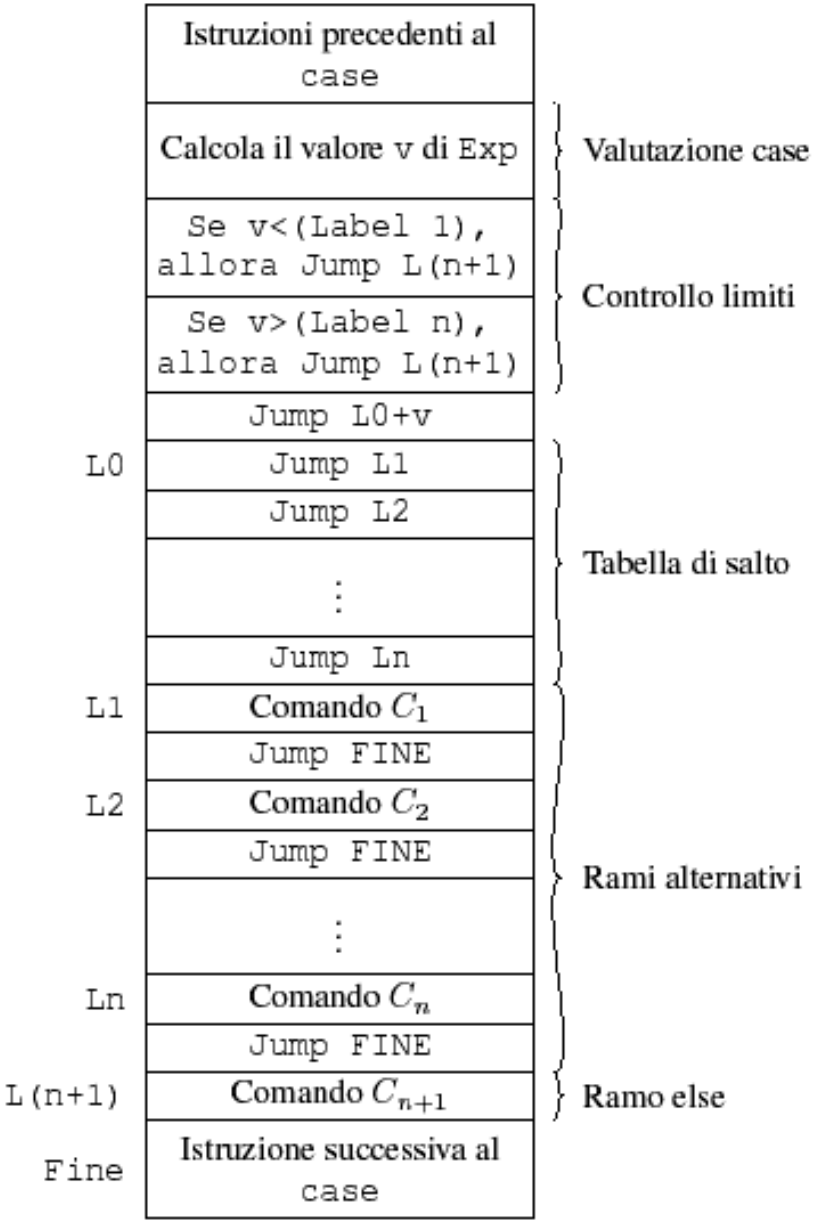
Compilazione del case

Più efficiente di if multiplo se compilato in modo astuto . . .

```
case  exp of
    |    label_1 : C_1
    |    label_2 : C_2
    ...
    |    label_n : C_n
    else C_n+1
```

- con il valore di `exp` accedo a
- una tabella di istruzioni di salto
- che porta al codice macchina del ramo corrispondente al valore

struttura del codice generato:



Versione per range ampi

- Lo schema precedente funziona bene,
  - tempo di esecuzione costante e non lineare sul numero di possibilità
  - occupazione di memoria limitata
    se i range di valori sono limitati
- Con range ampi, troppa occupazione di memoria
  devo ripetere la stessa istruzione di salto per ogni valore nel range
- È possibile ridurre l'occupazione di memoria con
  - ricerca binaria
  - tabella hash
- codice assembly più complesso, tempo di esecuzione: logaritmico o costante

Pattern matching

- ML, Haskell, Rust: possibilità di usare pattern complessi all'interno di case

```
case (m, xs) of
    (0,  _) => []
  | (_, []) =>  []
  | (n, (y:ys)) =>  y : take (n-1) ys
```

- `case` su più espressioni
- istanziazione di variabili, meccanismo piuttosto sofisticato
  - casi non mutuamente esclusivi, si sceglie il primo,
  - casi non esaustivi, si genera errore

Pattern matching - Rust

```rust
enum Message {
    Quit,
    Move { x: i32, y: i32 },
    Write(String),
}

fn process_message(message: Message) {
    match message {
        Message::Quit => {
            println!("Quit variant");
        }
        Message::Move { x, y } => {
            println!("Move to x: {}, y: {}", x, y);
        }
        Message::Write(text) => {
            println!("Text message: {}", text);
        }
```

Iterazione

- Iterazione e ricorsione sono i due meccanismi che permettono di ottenere tutte le funzioni computabili
  - formalismi di calcolo Turing completi

  Senza iterazione: nessuna istruzione ripetuta, tutto termina in un numero limitato di passi
- Iterazione
  - indeterminata: cicli controllati da un'espressione booleana

    `while, repeat, ...`
  - determinata: cicli su un range di valori

    `do, for, foreach...` con numero di ripetizioni del ciclo determinate al momento dell'inizio del ciclo

Iterazione indeterminata

```
while condizione do  comando
```

Sintassi più usata Java, ...

```
while (counter > 1)
{ factorial *= counter--;
};
```

in altri linguaggi: Pascal,

```
while Counter > 0 do
begin
  Factorial := Factorial * Counter;
  Counter := Counter - 1
end
```

- Introdotta in Algol-W,

Versione post-test, ripetuto almeno una volta

- tipicamente C, C++, Java;

```
do {
     factorial *= counter--; // Multiply, then decrement.
   } while (counter > 0);
```

- Ruby

```
begin
    factorial *= counter
    counter -= 1
end while counter > 1
```

- Pascal

```
repeat
    Factorial := Factorial * Counter;
    Counter -:=  1
until Counter = 0
```

Equivalenza tra i due tipi di ciclo

Facile sostituire un tipo di ciclo con l'altro

```
do {
    do_work();
} while (condition);
```

equivalente a:

```
do_work();
while (condition) {
    do_work();
}
```

A seconda dei casi, una versione risulta più sintetica dell'altra

Iterazione indeterminata

- Indeterminata perché il numero di iterazioni non è noto a priori
- l'iterazione indeterminata permette di ottenere tutte le funzioni calcolabili,
- facile da tradurre in codice assembly

Iterazione determinata

```
FOR indice := inizio TO fine STEP passo DO
        ....
END
```

- al momento dell'inizio dell'esecuzione del ciclo, è determinato il numero di ripetizioni del ciclo
  - all'interno del loop, non si possono modificare: `indice`,
  - `fine, passo` valutati e salvati a inizio esecuzione
- il potere espressivo è minore rispetto all'iterazione indeterminata: non si possono esprimere computazioni che non terminano
- da preferire perché:
  - garantisce la terminazione,
  - ha una scrittura più leggibile e compatta
- in C, e suoi derivati, il for non è un costrutto di iterazione determinata, posso modificare l'indice

Semantica del For

```
FOR indice := inizio TO fine BY passo DO
        ....
END
```

nell'ipotesi di passo positivo:

1. valuta le espressioni inizio e fine e salva i valori ottenuti
2. inizializza `indice` con il valore di `inizio`;
3. se `indice > fine` termina l'esecuzione del for
   altrimenti:
   - si esegue corpo
   - si incrementa `indice` del valore di `passo`;
   - si torna a (3).

Diverse realizzazioni

```
FOR indice := inizio TO fine BY passo DO
        ....
END
```

I vari linguaggi differiscono nei seguenti aspetti:

- possibilità di modificare indice, valore finale, passo nel loop (se si, non si tratta di vera iterazione determinata)
- possibilità incremento negativo
- valore `indice` al termine del ciclo: indeterminato, `fine`, `fine` + 1.

Iterazione determinata in C, C++, Java

```
for (initialization; condition; increment/decrement)
    statement
```

Dove `statement` è spesso un blocco

```
int sum = 0;
for (int i = 1; i < 6; ++i) {
    sum += i;
}
```

Altri linguaggi

Python:

```
for counter in range(1, 6):   # range(1, 6) gives values from 1
  # statements
```

Ruby:

```
for counter in 1..5
  # statements
end
```

Foreach

Ripeto il ciclo su tutti gli elementi di un oggetto enumerabile: array, lista

- Presente in vari linguaggi sotto diverse forme
- Limitato potere espressivo, ma utile per
  - chiarezza
  - compattezza
  - prevedibilità

Java dalla versione 5

```
int [] numbers = {10, 20, 30, 40, 50};

for(int x : numbers ) {
   System.out.print( x + "," );
}
```

Foreach

Vengono separati,

- algoritmo di scansione della struttura:
  - implicito nel `foreach`,
  - generato automaticamente nel compilatore
- operazioni da svolgere sul singolo elemento
  - definito esplicitamente nel codice

Può essere svolto su un tipo di dato strutturato che metta a disposizione funzioni implicite per determinare

- primo elemento
- passo ad elemento successivo
- test di terminazioni

Esempi

- liste, array, insiemi
- alberi

Foreach altri esempi

Python:

```
pets = ['cat', 'dog', 'fish']
for f in pets:
    print f
```

- Ciclo for per Python: un caso particolare di questo meccanismo.

Ruby

```
pets = ['cat', 'dog', 'fish']
pets.each do |f|
  f.print
end

for f in pets
    f.print
end
```

Foreach altri esempi

JavaScript

```
var numbers = [4, 9, 16, 25];
function myFunction(item, index) {
....; }
numbers.forEach(myFunction)
```

Ricorsione

- Modo alternativo all'iterazione per ottenere la Turing completezza
- scelta obbligata nei linguaggi puramente funzionali
- Intuizione: una funzione (procedura) è ricorsiva se definita in termini si se stessa.
- Riflette la natura induttiva di alcune funzioni.

```
fattoriale (0) = 1.
fattoriale (n) = n*fattoriale(n-1)
```

diventa

```
int fatt (int n){
  if (n <= 1)
     return 1;
  else
     return n * fatt ( n-1 );
}
```

Ricorsione e induzione, considerazioni generali

Numeri naturali 0, 1, 2, 3, . . . Minimo insieme X che soddisfa i due assiomi seguenti (Peano):

- `0` è in X;
- Se `n` è in X allora `n+1` è X;

_Principio di induzione. Una proprietà P(n) è vera su tutti i numeri naturali se

- P(0) è vera;
- Per ogni n, se P(n) è vera allora è vera anche P(n + 1).

Definizioni induttive (primitive ricorsive). Se g: (Nat x A) -> A totale allora esiste una unica funzione totale f : Nat -> A tale che

- f(0) = a;
- f(n + 1) = g(n, f(n)).

Fattoriale segue lo schema di sopra.

Definizioni primitive ricorsive

- Garanzia di buona definizione (definisco univocamente una funzione totale)
- Schema piuttosto rigido:
  - la definizione primitiva ricorsiva della divisione `div(n, m)` è non ovvia
  - si può generalizzare: well founded induction, per avere
    - schema più flessibile
    - garanzia di buona definizione

Ricorsione e definizioni induttive

- Funzione ricorsiva F analoga alla definizione induttiva di F:

  il valore di F su n è definito in termini dei valori di F su m<n
- Tuttavia nei programmi sono possibili definizioni non “corrette’ ’:
- la seguente scrittura non definisce alcuna funzione

```
foo(0) = 1
foo(n) = foo(n+1) - 1
```

- invece i seguenti programmi sono possibili

```
int foo (int n){
   if (n == 0)
       return 1;
   else
       return foo(n+1) - 1;
}
```

Ricorsione e iterazione

La ricorsione è possibile in ogni linguaggio che permetta

- funzioni (o procedure) che possono chiamare se stesse
- gestione dinamica della memoria (pila)

Ogni programma ricorsivo può essere tradotto in uno equivalente iterativo

- e viceversa,

Ricorsione e iterazione

Confronto:

- ricorsione più naturale su strutture dati ricorsive (alberi), quando la natura del problema è ricorsiva
  iterazione più efficiente su matrici e vettori.
- ricorsione scelta obbligata nei linguaggi funzionali
  iterazione scelta preferita nei linguaggi imperativi

In caso di implementazioni naif ricorsione molto meno efficiente di iterazione tuttavia

- un compilatore ottimizzato può produrre codice efficiente
- tail-recursion

Ricorsione in coda (tail recursion)

Una chiamata di `g` in `f` di si dice "in coda" (o tail call) se `f` restituisce il valore restituito da `g` senza nessuna ulteriore computazione

f è tail recursive se contiene solo chiamate in coda a se stessa

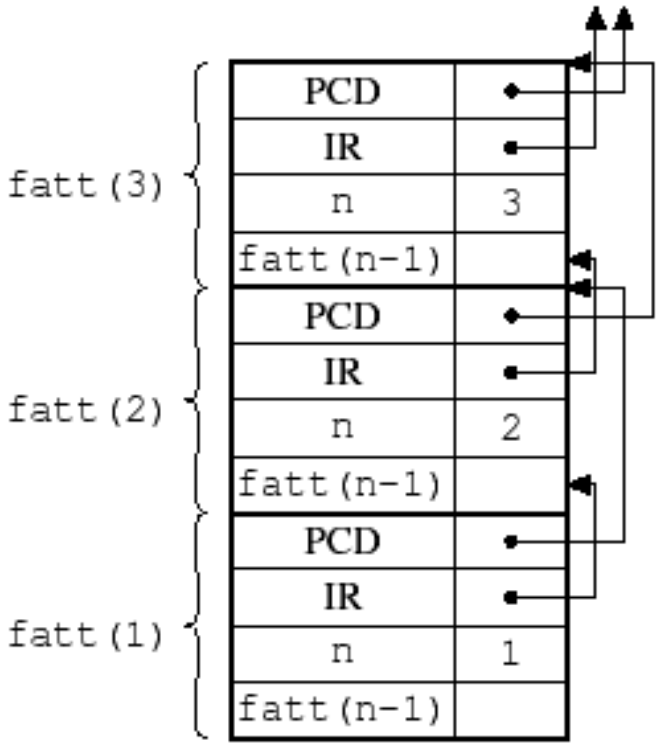
```
function tail_rec (n: integer, m): integer {
   ... ; return tail_rec(n-1, m1)}

function non_tail rec (n: integer): integer {
   ... ; x:= non_tail_rec(n-1); return (x+1)}
```

- Non serve allocazione dinamica della memoria con pila: basta un unico RdA,
  - dopo la chiamata ricorsiva, il chiamante non deve fare nulla, attende il risultato, e lo passa al suo rispettivo chiamante
  - record di attivazione del chiamante inutile, spazio riutilizzato dal chiamato

Più efficiente, esempio: il caso del fattoriale

```
int fatt (int n){
  if (n <= 1)
     return 1;
  else
     return n * fatt ( n-1 ); }
```



Versione tail-recursive di fattoriale

```
int fattTR (int n, int res){
  if (n <= 1)
     return res;
  else
     return fattTR ( n - 1, n * res); }

int fatt (int n){
  fattTR (n, i);}
```

- viene aggiunto un parametro `res` che rappresenta il valore da passare al resto della computazione
- `fattTC (n, res)` valuta `res * n!` uguale a `(res * n) * (n-1)!`

Basta un unico RdA

- dopo ogni chiamata il RdA della funzione chiamante può essere riutilizzato
- come RdA della funzione chiamata

Altro esempio: numeri di Fibonacci

Definizione:

```
Fib(0) = 0;
Fib(1) = 1;
Fib(n) = Fib(n-1)+Fib(n-2)
```

in Scheme diventa

```
(define (fib n)
  (if (< n 2)
      n
      (+ (fib (- n 1)) (fib (- n 2)))))
```

Complessità in tempo e spazio esponenziale in n

- ad ogni chiamata due nuove chiamate
- più precisamente il numero della chiamate ha una crescita `alla` Fibonacci.

Una versione efficiente per Fibonacci

`fibHelper(n, a, b)` una funzione che nell'ipotesi:

- a = Fib(i)
- b = Fib(i+1)

```
fibHelper(n, a, b)  =  Fib(n + i)
```

in Scheme:

```
(define (fibHelper n a b)
  (if (= n 0)
      a
      (fibHelper (- n 1) b (+ a b)))
(define (fib n)
      (fibHelper n 0 1))
```

Analisi

Invariante:

- se `a` e `b` sono l'(m-1)-esimo e l'm-esimo elementi nella serie di Fibonacci,
- allora `(fibHelper n a b)` è (m+n)-esimo elemento nella serie

Complessità:

- in tempo, lineare in `n`
- in spazio, costante (un solo RdA)

Schema per la ricorsione di coda

- simulo l'esecuzione di un ciclo (`while`) dentro un linguaggio funzionale:
  - per ogni funzione `f` che in un linguaggio imperativo avrei implementato tramite un ciclo
  - definisco una funzione `f-helper` avente parametri extra
  - questi parametri extra svolgono il ruolo delle variabili modificabili nel ciclo
  - `f-helper` chiama se stessa aggiornando i parametri extra, come avviene in un ciclo
  - `f` chiama `f-helper` inizializzando i parametri extra (come la funzione imperativa)
- Simulo uno `stato` in maniera locale e controllata, senza introdurre uno stato globale

Esempio: esponenziale (efficiente) su interi

```
exp(int a, n)
  if (n = 0) {return 1;}
  if (n % 2) {return (exp(a*a, n/2));}
  else       {return (exp(a*a, n/2) * a);}
```

Esempio: esponenziale (efficiente) su interi

```
exp(int a, n)
  if (n = 0) {return 1;}
  if (n % 2) {return (exp(a*a, n/2));}
  else       {return (exp(a*a, n/2) * a);}

exp = 1;
while(0 < n){
   if (n % 2 == 1){exp = exp * a;}
   a = a * a;
   n = n/2;}
return exp;
```

Esempio: esponenziale (efficiente) su interi

```
exp(int a, n)
  if (n = 0) {return 1;}
  if (n % 2) {return (exp(a*a, n/2));}
  else       {return (exp(a*a, n/2) * a);}

exp = 1;
while(0 < n){
   if (n % 2 == 1){exp = exp * a;}
   a = a * a;
   n = n/2;}
return exp;

expHelper(int a, n, exp)
  if (n = 0) {return exp;}
  if (n % 2) {return (expHelper(a*a, n/2, exp*a));}_
  else       {return (expHelper(a*a, n/2, exp));}
expTR(int a,n) = {return (expHelper(a,n,1));}
```

Uso della ricorsione di coda

- Ottimizzazione: solo le funzioni ricorsive più critiche (per la velocità d'esecuzione globale del programma) vengono riscritte usando la ricorsione di coda