

Cosa si intende con stato

- ▶ una particolare configurazione delle informazioni di una macchina, che in qualche modo “memorizza” le condizioni in cui si trova, e che cambia nel tempo passando ad un'altra configurazione, in funzione dei segnali d'ingresso.
- ▶ Ad esempio, lo stato può rappresentare la posizione dell'ascensore ad un certo piano di un edificio. In base allo stato si determina il modo in cui l'ascensore si muove: se si intende andare al terzo piano e ci troviamo al primo piano, occorre che l'ascensore salga.

Il concetto di stato

- ▶ La specifica (astratta) di un problema consiste nella descrizione di uno **stato iniziale** (che descrive i **dati** del problema) e di uno **stato finale** (che descrive i **risultati** attesi).
- ▶ Si deve individuare una **rappresentazione** degli oggetti coinvolti (e dunque dello stato) direttamente manipolabile dall'esecutore.
- ▶ Un algoritmo è una sequenza di passi elementari che, se eseguiti, comportano ripetute **modifiche** dello stato fino al raggiungimento dello stato finale desiderato.
- ▶ Le azioni di base che l'esecutore è in grado di effettuare devono dunque prevedere, tra le altre, azioni che hanno come effetto **cambiamenti** dello stato.
- ▶ Possiamo pensare che lo stato sia il **contenuto della memoria** e che il cambiamento dello stato abbia come effetto il cambiamento di alcune posizioni della memoria.

Un'astrazione dello stato

Dato che il calcolo procede attraverso l'elaborazione dello stato, si devono poter esprimere valori dipendenti dallo stato.

Astrazione del concetto di Stato

Uno **stato** è un insieme di associazioni tra nomi simbolici e valori.
In uno stato, ad ogni nome simbolico è associato al più un valore.

Rappresentiamo una associazione tra il nome simbolico x ed il valore val con la notazione

$$x \rightsquigarrow val$$

Il valore di x dipende dallo stato corrente, che gli associa un particolare valore val .

Lo stato: esempi

Stati corretti

- ▶ {nome \rightsquigarrow Antonio, cognome \rightsquigarrow Rossi, età \rightsquigarrow 25}
- ▶ {importo \rightsquigarrow \$1650, tasso \rightsquigarrow 10%, interesse \rightsquigarrow \$165 }
- ▶ {a \rightsquigarrow 25, b \rightsquigarrow 3, c \rightsquigarrow 50}

Stati non corretti

- ▶ {nome \rightsquigarrow Antonio, nome \rightsquigarrow Paolo, et'a \rightsquigarrow 25}
- ▶ {b \rightsquigarrow 45, a \rightsquigarrow 150, b \rightsquigarrow 10}

Pseudo-linguaggio

- ▶ Utilizziamo inizialmente uno pseudo-linguaggio con un insieme di costrutti linguistici che costituiscono il nucleo di un qualunque linguaggio di programmazione reale.
- ▶ Senza entrare in eccessivi dettagli formali, nel presentare le notazioni utilizzate (**sintassi**) diamo anche una descrizione informale (**semantica**) di ciò che accade al momento dell'esecuzione in corrispondenza dei vari costrutti.

Il linguaggio contiene costrutti per:

- ▶ rappresentare semplici calcoli attraverso le comuni operazioni logico/aritmetiche (**espressioni**)
- ▶ modificare le associazioni nello stato (**assegnamento** e **ingresso**)
- ▶ controllare l'ordine di esecuzione delle azioni (**controllo**)
- ▶ fornire i risultati (produzione in **uscita** dello stato finale)

Espressioni

Il ruolo delle espressioni è quello di denotare valori (dip. dallo stato).

Espressioni Numeriche

Il linguaggio consente di rappresentare semplici calcoli algebrici, attraverso le usuali espressioni costruite a partire dai valori numerici e dalle operazioni di

somma +
sottrazione -
prodotto *
divisione intera /
resto della divisione intera %.

Il significato di un'espressione è il suo **valore** ottenuto secondo le usuali regole di calcolo.

Esempio:

il valore di $3 * 5 + 6$ è **21**
il valore di $3 * (5 + 6)$ è **33**

Espressioni (cont.)

Oltre ai valori numerici, le espressioni possono contenere nomi **simbolici**: il calcolo di un'espressione che contiene un nome simbolico x dipende dallo stato, e precisamente dal valore associato al nome x nello stato.

Esempio:

il valore di $3 * (5 + x)$ è

- ▶ **33** in uno stato che contiene l'associazione $x \rightsquigarrow 6$
- ▶ **18** in uno stato che contiene l'associazione $x \rightsquigarrow 1$

Espressioni (cont.)

Espressioni Booleane

Il linguaggio consente poi di rappresentare condizioni ovvero espressioni il cui valore è un **valore di verità** (**true** o **false**).

Le condizioni sono costruite attraverso le usuali operazioni di confronto ($==$, $!=$, $<$, $>$, $<=$, $>=$) e, come nel caso delle espressioni aritmetiche, il loro valore può dipendere dallo stato.

Esempio: il valore di $y==x+1$ è

- ▶ **true** in uno stato che contiene le associazioni $x \rightsquigarrow 5$ e $y \rightsquigarrow 6$
- ▶ **false** in uno stato che contiene le associazioni $x \rightsquigarrow 5$ e $y \rightsquigarrow 9$

Condizioni più complesse possono essere costruite attraverso operatori logici quali **negazione** (simbolo **!**), **congiunzione** (simbolo **&&**) e **disgiunzione** (simbolo **||**).

Espressioni (cont.)

- ▶ Significato di **!** - il valore di verità di **! P** è
 - ▶ **true** se il valore di verità di **P** è **false**
 - ▶ **false** se il valore di verità di **P** è **true**
- ▶ Significato di **&&** - il valore di verità di **P && Q** è
 - ▶ **true** se i valori di verità di **P** e **Q** sono entrambi **true**
 - ▶ **false** altrimenti
- ▶ Significato di **||** - il valore di verità di **P || Q** è
 - ▶ **false** se i valori di verità di **P** e **Q** sono entrambi **false**
 - ▶ **true** altrimenti

Esempio:

- ▶ Il valore di $(y \geq x) \ \&\& \ (x > 5)$ è
 - **true** in uno stato che contiene le associazioni $x \rightsquigarrow 15$ e $y \rightsquigarrow 30$
 - **false** in uno stato che contiene le associazioni $x \rightsquigarrow 3$ e $y \rightsquigarrow 30$
- ▶ Il valore di $(y \geq x) \ || \ (x > 5)$ è
 - **true** in uno stato che contiene le associazioni $x \rightsquigarrow 2$ e $y \rightsquigarrow 30$
 - **false** in uno stato che contiene le associazioni $x \rightsquigarrow 3$ e $y \rightsquigarrow 1$

Modifica dello stato: ASSEGNAMENTO

Nella programmazione **imperativa**, la computazione viene descritta in termini di stato di programma. Il ruolo delle istruzioni è quello di **modificare**, con la loro esecuzione, lo stato.

- ▶ Una delle istruzioni che consentono di rappresentare modifiche di stato è l'**assegnamento**.
- ▶ L'assegnamento consente di cambiare un'associazione nello stato, ovvero il valore associato nello stato ad un nome simbolico.
- ▶ Useremo per l'assegnamento la seguente notazione

$$x = \text{exp};$$

dove x è un nome simbolico e exp una espressione.

- ▶ L'esecuzione dell'assegnamento $x = \text{exp};$ consiste nel
 - (i) calcolare il valore, sia esso **val**, dell'espressione exp
 - (ii) introdurre nello stato l'associazione $x \rightsquigarrow \text{val}$
- ▶ Si noti che (ii) comporta la rimozione dallo stato della eventuale associazione già presente per il nome simbolico x (si parla a questo proposito di assegnamento **distruttivo**).

ASSEGNAMENTO: esempi

Vediamo alcuni esempi, indicando lo stato prima e dopo l'esecuzione degli assegnamenti proposti. Le associazioni modificate nello stato finale sono evidenziate in **verde**.

Stato iniziale	Assegnamento	Stato Finale
$\{ x \rightsquigarrow 10, y \rightsquigarrow 20 \}$	$x = 5;$	$\{ x \rightsquigarrow 5, y \rightsquigarrow 20 \}$
$\{ x \rightsquigarrow 10, y \rightsquigarrow 20 \}$	$x = y*2;$	$\{ x \rightsquigarrow 40, y \rightsquigarrow 20 \}$
$\{ x \rightsquigarrow 10, y \rightsquigarrow 20 \}$	$x = x+1;$	$\{ x \rightsquigarrow 11, y \rightsquigarrow 20 \}$

Si noti come, nel terzo esempio, lo stesso nome simbolico x giochi un duplice ruolo:

- a destra del simbolo $=$ indica un **valore** (il valore associato ad x nello stato iniziale)
- a sinistra del simbolo $=$ indica l'**associazione** da modificare nello stato a seguito dell'assegnamento.

Modifica dello stato: INPUT

- ▶ La seconda istruzione di modifica dello stato consente di acquisire valori dal mondo esterno al momento dell'esecuzione. La notazione utilizzata è

Input(x);

dove x indica un nome simbolico.

- ▶ L'esecuzione consiste nel:
 - (i) Acquisire un nuovo valore, sia esso **val**
 - (ii) Introdurre nello stato l'associazione $x \rightsquigarrow \text{val}$
- ▶ Come nel caso dell'assegnamento, il punto (ii) comporta la rimozione dallo stato dell'eventuale associazione già presente per il nome simbolico x
- ▶ La presenza di tale istruzione permette di descrivere algoritmi generali in cui non tutti i dati sono noti a priori, ma lo saranno solo al momento dell'esecuzione.

Istruzioni di controllo: SEQUENZA

- ▶ Negli esempi visti in precedenza gli algoritmi sono stati descritti come sequenze di passi elementari del tipo
 - Passo 1. azione 1
 - Passo 2. azione 2
 - ...
- ▶ Abbiamo utilizzato una sorta di numerazione per indicare l'ordine di esecuzione delle varie azioni: **prima** azione 1 **poi** azione 2 **poi**
- ▶ Nel linguaggio che stiamo introducendo, e in C, una sequenza di azioni viene rappresentata mediante un **blocco**

```

{
  istruzione 1
  istruzione 2
  ...
  istruzione n
}
```

SEQUENZA (cont.)

- ▶ Scriveremo dunque

```
{
  istruzione 1
  istruzione 2
  ...
}
```

ad indicare che l'ordine di esecuzione dei singoli passi è quello testuale del programma.

- ▶ Si noti che ogni istruzione viene eseguita a partire dallo stato risultante dall'esecuzione dell'istruzione che la precede nella sequenza.
- ▶ Assegnamento e ingresso sono istruzioni **semplici** il blocco è un'istruzione **composta**.

SEQUENZA: esempi

Stato iniziale	Sequenza	Stato Finale
{ x ~ 10, y ~ 20 }	{ x = 5; x = x+y; }	{ x ~ 25, y ~ 20 }
{ x ~ 10, y ~ 20 }	{ x = x+1; y = x+1; }	{ x ~ 11, y ~ 12 }
{ x ~ 10, y ~ 20 }	{ x = x+y; y = x+y; }	{ x ~ 30, y ~ 50 }

- ▶ In tutti gli esempi, lo stato finale si ottiene dall'esecuzione del secondo assegnamento nello stato intermedio risultante dall'esecuzione del primo assegnamento.

- ▶ Ad esempio, nel terzo caso:

Stato iniziale	Prima istruzione	Stato Intermedio
{ x ~ 10, y ~ 20 }	x = x+y;	{ x ~ 30, y ~ 20 }
Stato intermedio	Seconda istruzione	Stato Finale
{ x ~ 30, y ~ 20 }	y = x+y;	{ x ~ 30, y ~ 50 }

Istruzioni di controllo: CONDIZIONALE

- ▶ Permette di determinare l'azione da intraprendere a seconda del verificarsi o meno di una **condizione**. La notazione utilizzata è la seguente

```
if (condizione) istruzione1 else istruzione2
```

dove **condizione** indica una espressione booleana, e **istruzione1** **istruzione2** sono istruzioni (semplici o composte).

- ▶ L'esecuzione del condizionale **if (C) S1 else S2** consiste nel
 - Calcolare il valore, sia esso **val**, dell'espressione booleana **C**
 - Eeguire **S1** se **val** è **true**, eseguire **S2** se **val** è **false**.
- ▶ Si noti che la presenza dell'istruzione condizionale non è in conflitto con il requisito di non ambiguità degli algoritmi: l'azione da intraprendere è univocamente determinata dal valore di verità della condizione e dunque non vi è facoltà di scelta da parte dell'esecutore.

Possiamo anche avere il solo **if (condizione) istruzione1**

CONDIZIONALE: esempi

Stato iniziale

Condizionale

Stato Finale

```
if (x > y)
    z = x ;
else z = y ;
```

{ x \rightsquigarrow 10, y \rightsquigarrow 20 }

{ x \rightsquigarrow 10, y \rightsquigarrow 20, z \rightsquigarrow 20 }

{ x \rightsquigarrow 10, y \rightsquigarrow 5 }

{ x \rightsquigarrow 10, y \rightsquigarrow 5, z \rightsquigarrow 10 }

Istruzioni di controllo: RIPETIZIONE

- ▶ Consente di ripetere l'esecuzione di una istruzione (o sequenza di istruzioni) fino al verificarsi di una certa condizione (cfr. esempio del calcolo del prodotto tra due numeri).

while (condizione) Istruzione

dove **condizione** indica una espressione booleana.

- ▶ Terminologia: in **while** (C) S , la condizione C è detta **guardia** e l'istruzione S è detta **corpo** (del ciclo).
- ▶ L'esecuzione di **while** (C) S consiste nel
 - (i) Calcolare il valore, sia esso **val**, dell'espressione booleana C
 - (ii) Se **val** è **false**, terminare l'esecuzione.
 - (iii) Se **val** è **true**, eseguire S e ripetere dal punto (i).

RIPETIZIONE

Esempio: Riformulazione del passo 4 dell'algoritmo per il prodotto (versione 2):

```
while (b>0)
{
  c = c+a;
  b = b-1;
}
```

- ▶ Intuitivamente, l'esecuzione di

while (guardia) corpo

corrisponde all'esecuzione di una sequenza del tipo

{ **corpo** **corpo** **corpo** ... **corpo** ... }

- ▶ In tale sequenza, ogni ripetizione dell'istruzione **corpo** viene detta **iterazione** del ciclo.

In generale, non è possibile determinare a priori il numero di iterazioni (che può anche essere 0 nel caso in cui la guardia sia falsa nello stato iniziale).

RIPETIZIONE

- ▶ L'aspetto più critico è il fatto che l'esecuzione di un ciclo può essere fonte di **non terminazione** dell'esecuzione dell'intero algoritmo.

while (3>0) x = 0;

- ▶ Un ciclo siffatto provoca la non terminazione dell'esecuzione, dal momento che il valore di verità della guardia è sempre **true** e dunque l'esecuzione corrisponde ad una sequenza **infinita**

x = 0; x = 0;; x = 0;

- ▶ È compito di chi definisce l'algoritmo assicurare che i cicli presenti non diano luogo a non terminazione.
- ▶ La pratica programmatica, ed il buon senso, suggeriscono ad esempio di utilizzare cicli in cui:
 - il valore di verità della guardia dipende dallo stato;
 - l'esecuzione del corpo comporta modifiche di associazioni nello stato dalle quali dipende il valore di verità della guardia.

RIPETIZIONE

- ▶ Le indicazioni appena viste non sono tuttavia sufficienti a garantire la terminazione dell'esecuzione. Si consideri ad esempio il ciclo:

while (x>0) x = x+1;

che soddisfa entrambi i requisiti richiesti, ma che può non terminare nel caso in cui venga eseguito a partire da uno stato dove il valore associato al nome **x** è un valore positivo.

- ▶ A partire dagli anni '70 sono stati sviluppati dei **metodi formali** per la verifica di correttezza di programmi, che comprendono tecniche per la dimostrazione formale di proprietà di terminazione dei cicli.

Istruzioni di controllo: OUTPUT

- ▶ Permette di rendere visibile all'esterno la parte desiderata dello stato. La notazione utilizzata è

`Output(x);`

dove x indica un nome simbolico.

- ▶ L'esecuzione di questa istruzione consiste nel:
 - (i) Recuperare il valore, sia esso `val`, associato nello stato al nome simbolico x .
 - (ii) Produrre in uscita tale valore.
- ▶ Questa operazione non comporta la modifica dello stato. Nei linguaggi di programmazione reali, l'esecuzione delle operazioni di uscita produce di solito la visualizzazione di valori su supporti fisici quali video, stampanti etc.