

Università degli Studi di Padova

Programmazione concorrente

SCD

Anno accademico 2003/4
Corso di Sistemi Concorrenti e Distribuiti

Tullio Vardanega, tullio.vardanega@math.unipd.it

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 1

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Premesse - 1

- ❑ **L'espressività di un linguaggio (sia naturale che di programmazione) ne è anche il limite**
 - Ciò che il linguaggio non prevede o non consente, di fatto non esiste
 - Questo è anche il caso della concorrenza
- ❑ **Molti linguaggi "storici" sono sequenziali**
 - Il flusso di programma è unico per ogni esecuzione, anche se dati variabili ne possono modificare il cammino

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 2

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Premesse - 2

- ❑ **La realtà, invece, è intrinsecamente concorrente, così come lo sono i moderni elaboratori con i loro dispositivi ed i sistemi operativi**
 - Vi è una varietà di tecniche per rendere effettivo il parallelismo inerente di molte attività
- ❑ **Quale scelta per il progetto di un linguaggio di programmazione inteso per sistemi dotati di concorrenza interna?**

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 3

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Linguaggi concorrenti - 1

- ❑ **Un linguaggio sequenziale può esprimere concorrenza tramite l'uso di librerie di sistema, sia entro un programma che tra programmi distinti**
 - L'espressione ed il controllo della concorrenza si pone in questo modo al di fuori del linguaggio
 - Problemi semantici e di portabilità
- ❑ **Un linguaggio concorrente è invece capace di esprimere direttamente la presenza di più flussi di controllo coesistenti all'interno di uno stesso programma**

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 4

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Linguaggi concorrenti - 2

- ❑ **Il progetto di un linguaggio concorrente necessita di un modello di concorrenza di riferimento**
 - Molte scelte e forme sono possibili
 - La programmazione concorrente è di grande aiuto per rappresentare adeguatamente l'attività di sistemi complessi, ma è anche difficile ed esposta al rischio di importanti errori concettuali
 - Per questo occorre che il modello di riferimento sia valido

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 5

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Forme di concorrenza - 1

- ❑ **Chiameremo processo il singolo flusso di controllo all'interno di un programma**
- ❑ **Concettualmente, l'esecuzione di un processo può prevedere che:**
 - Tutti i processi condividano uno stesso elaboratore
 - Ciascun processo possieda un elaboratore proprio e tutti gli elaboratori condividano un banco di memoria comune
 - Ciascun processo possa avere un elaboratore proprio e gli elaboratori, pur connessi, non condividano memoria

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 6

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Forme di concorrenza - 2

- ❑ **Ciascuna di queste 3 forme (ed i loro ibridi) richiedono metodi di implementazione diversi**
 - Definiamo paralleli quei processi che, ad ogni istante, sono simultaneamente in esecuzione → i casi b) e c)
 - Definiamo concorrenti quei processi che sono capaci di esecuzione parallela
- ❑ **Parallelismo → concorrenza realizzata**
Concorrenza → parallelismo potenziale

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 7

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Forme di concorrenza - 3

- ❑ **La concorrenza è dunque più generale del parallelismo, pertanto concettualmente più importante**

Programmazione concorrente è il nome dato a notazioni e tecniche usate per esprimere parallelismo potenziale e per risolvere i problemi di sincronizzazione e comunicazione correlati con tale espressione.

Il vantaggio della programmazione concorrente è di consentire lo studio del parallelismo senza doversi confrontare con le relative problematiche di implementazione.

Ben-Ari, *Principles of Concurrent Programming*, 1982

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 8

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Forme di concorrenza - 4

- ❑ **La programmazione concorrente non è il solo modo di sfruttare hardware parallelo**
- ❑ **Svariati altri modelli di elaborazione (*computational models*) si prestano particolarmente ad ambienti di calcolo parallelo**
 - Processori vettoriali (*vector processors*)
 - Architetture *data-flow*

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 9

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Forme di concorrenza - 5

- ❑ **Principi di base di ingegneria del software richiedono l'uso di strumenti e metodi di sviluppo adatti alle caratteristiche del dominio applicativo**
- ❑ **Applicazioni inerentemente concorrenti sono quelle il cui software interagisce direttamente con componenti hardware interne ed esterne → sistemi *embedded***

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 10

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Un modello di concorrenza - 1

- ❑ **Entità attive**
 - Sono capaci di intraprendere azioni di propria iniziativa (se forniti delle necessarie risorse di elaborazione)
- ❑ **Entità reattive**
 - Eseguono azioni solo in risposta ad esplicite richieste
 - Risorse → hanno stato interno ed impongono condizioni di accesso (p.es. mutua esclusione)
 - Entità passive → non impongono condizioni di accesso

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 11

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Un modello di concorrenza - 2

- ❑ **L'implementazione di entità risorse richiede capacità di controllo delle condizioni di accesso**
 - Agente di controllo
- ❑ **Agente di controllo come entità passiva**
 - Risorsa protetta (p.es. un semaforo)
- ❑ **Agente di controllo come entità attiva**
 - *Server* (uno speciale processo)

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 12

Programmazione concorrente

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Un modello di concorrenza - 3

Tipo Entità		Implementazione
Attiva		Processo
Reattiva	Risorsa protetta	Modulo con agente di controllo passivo
	Server	Processo
	Passiva	Modulo senza agente di controllo

Il progetto di un programma concorrente che usi questo modello comporta l'immediato riconoscimento di queste entità nel problema

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 13

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Un modello di concorrenza - 4

□ L'implementazione di questo modello richiede 3 categorie di primitive

- Processo (entità attiva)
- Agente di controllo passivo per risorse protette
 - Basso livello di astrazione
 - Efficienza d'esecuzione
 - Inflessibilità
- Agente di controllo attivo
 - Alto livello d'astrazione
 - Proliferazione di processi, con elevati costi di gestione e d'esecuzione
 - Flessibilità

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 14

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Espressione di concorrenza - 1

□ **Coroutine**

- Una delle prime (e più rudimentali) modalità espressive di concorrenza a programma
- L'alternanza d'esecuzione tra strutture concorrenti doveva essere esplicita tramite comando `resume`
- Modella una tecnica di rappresentazione della simulazione discreta → SIMULA
- Presente in un linguaggio concorrente "storico" Modula-2, ma inadeguata alla programmazione concorrente

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 15

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Espressione di concorrenza - 2

□ Dichiarazione ed attivazione di processo

Algol68, CSP, Occam

```
cobegin
  P1; P2; P3;
coend;
```

Ada

```
procedure Main is
  task A;
  task B;
  ...
  task A is ...;
  task B is ...;
begin
  ...
end Main;
```

Attivazione esplicita
Distinta dalla dichiarazione

A questo punto Main, A e B sono 3 processi concorrenti

Dichiarazione
Implementazione
Attivazione implicita

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 16

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Un esempio - 1

T e P devono mantenere temperatura e pressione del sistema entro limiti di sicurezza e stampare a video i valori correnti

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 17

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

Un esempio - 2

- T e P sono entità attive
- S è una entità passiva (server o risorsa protetta)
- Vi sono almeno 3 possibili implementazioni
 - Completamente sequenziale → ignorando il parallelismo potenziale di T, P ed S
 - T, P ed S scritti in linguaggio sequenziale, ma trattati come processi distinti tramite chiamate al sistema operativo
 - L'intero sistema descritto in linguaggio concorrente

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 18

Università degli Studi di Padova

Programmazione concorrente

Un esempio - 3

• Vediamo le 3 possibili implementazioni ...

- Sequential Controller
- OS Controller
- Concurrent Controller

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova

19

Università degli Studi di Padova

Programmazione concorrente

Un esempio - 4

□ **Soluzione completamente sequenziale**

- Forza un ordinamento artificioso (p.es. prima controllo temperatura, poi controllo pressione) tra moduli indipendenti
- Può ritardare o impedire del tutto l'esecuzione di azioni indipendenti ma programmate come successive
- Non tiene conto di possibili differenze nel ciclo operativo di produzione dei dati (p.es. controllo temperatura 2 secondi, controllo pressione ogni 5 secondi)
- Tenerne conto a programma comporterebbe gravi oneri di attesa attiva (*busy wait*)

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova

20

Università degli Studi di Padova

Programmazione concorrente

Un esempio - 5

□ **Soluzione con primitive di sistema operativo**

- Assai migliore rispetto alla soluzione sequenziale
 - Non comporta attese attive
 - Preserva la separazione logica tra moduli tra loro indipendenti
- Il controllo dell'esecuzione concorrente è demandato al sistema operativo
 - Leggere il programma non ci aiuta a capirne il funzionamento: l'invocazione di servizi di sistema operativo ne ostacola la comprensione
 - Il comportamento effettivo del programma a tempo di esecuzione dipende dall'implementazione del modulo OS

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova

21

Università degli Studi di Padova

Programmazione concorrente

Un esempio - 6

□ **Soluzione in linguaggio concorrente**

- L'intera logica dell'applicazione è iscritta nel programma
 - Secondo le regole del linguaggio di programmazione
- Se le operazioni di lettura di valori da dispositivi esterni (1 e 2) sono non bloccanti allora il codice di ciascun processo (*task*) di controllo può riflettere indipendentemente la proprio frequenza di operazione
- La soluzione però non è ancora soddisfacente perché fa ipotesi troppo semplicistiche sulla risorsa S
 - Attualmente modellata come entità passiva, il che non è realistico

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova

22

Università degli Studi di Padova

Programmazione concorrente

Un primo raffronto

□ **Fattori a favore della concorrenza espressa a linguaggio**

- Programmi più leggibili → maggiore manutenibilità
- Indipendenza dal sistema operativo → maggiore portabilità ed idoneità all'uso in ambienti a risorse ristrette

□ **Fattori contrari all'espressione di concorrenza a linguaggio**

- Il linguaggio deve assumere uno specifico modello di concorrenza → perdita di generalità
- La realizzazione del modello può configgere con il supporto offerto dal sistema operativo sottostante → difficile implementazione

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova

23

Università degli Studi di Padova

Programmazione concorrente

La dimensione temporale - 1

□ **Molti sistemi devono coordinare la propria esecuzione con la nozione del tempo insita nell'ambiente di esecuzione**

- Tipicamente concretizzata da (almeno) un orologio che approssima il trascorrere del "tempo"
- Questo orologio diventa per il programma la sorgente del valore "tempo"
- Varie scelte possono essere fatte dal linguaggio per rappresentare questo "tempo"
 - Per esempio: ora del giorno espressa in secondi e frazioni nell'arco di 24 ore
 - Oppure: maggiore granularità (accuratezza), tempo monotono crescente

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova

24

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

La dimensione temporale - 2

```

declare
  Start, Finish : Ada.Calendar.Time;
  Interval : Ada.Calendar.Duration := 2.5;
begin
  Start := Ada.Calendar.Clock;
  -- actual activity
  Finish := Ada.Calendar.Clock;
  if Finish - Start > Interval then
    raise Overrun_Error;
  end if;
end;

```

Questa tecnica assume implicitamente un solo flusso di controllo!

```

Ada.Real_Time.Time;
Ada.Real_Time.Time_Span := Ada.Real_Time.To_Time_Span(2.5);
Ada.Real_Time.Time_Span := Ada.Real_Time.Milliseconds(2500);

```

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 25

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

La dimensione temporale - 3

□ L'orologio può anche essere usato a fini di sincronizzazione temporale

- **Sospensione relativa**

```
delay 10.0; -- valore di tipo Ada.Calendar.Duration
```

 - Dal tempo in cui viene presa in considerazione
 - Il linguaggio garantisce una durata della sospensione non inferiore alla richiesta
- **Sospensione assoluta**

```
delay until A_Time; -- valore di tipo Ada.Real_Time.Time
```

 - Riferisce un valore dato tempo indipendente dall'esecuzione della richiesta
 - Il linguaggio garantisce un tempo di risveglio non precedente alla richiesta

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 26

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

La dimensione temporale - 4

```

Start : Clock;
First_Action;
delay until (Start + 10.0);
Second_Action;

```

A

```

Start : Clock;
First_Action;
delay (Start + 10.0 - Clock);
Second_Action;

```

B

A e B non hanno lo stesso effetto perché ●, in presenza di prerilascio, è una azione interrompibile ed il valore che assumerà clock quando verrà valutato non è prevedibile a priori

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 27

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

La dimensione temporale - 5

Avendo accesso all'orologio ed usando sospensioni assolute possiamo facilmente programmare attività periodiche

```

with Ada.Real_Time; use Ada.Real_Time;
...
task body Periodic_Task is
  Suspension_Period : constant Time_Span := Millisecond(10_000);
  Next_Time : Time;
begin
  Next_Time := Clock + Suspension_Period;
  loop
    Periodic_Action;
    delay until Next_Time;
    Next_Time := Next_Time + Interval;
  end loop;
end Periodic_Task;

```

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 28

Università degli Studi di Padova Programmazione concorrente

La dimensione temporale - 6

□ La regolarità temporale delle attività periodiche è inficiata da 2 fattori di rischio

- **Deviazione locale (local drift)**
La distanza effettiva che separa due successive invocazioni dell'attività
 - Inevitabile, può essere migliorata solo mediante migliore implementazione del linguaggio
- **Deviazione cumulativa (cumulative drift)**
L'effetto a catena causato dall'eventuale ritardo nel completamento delle attività precedenti
 - Evitabile tramite l'uso di sospensioni assolute come nel riquadro precedente

Corso di Laurea Specialistica in Informatica, Università di Padova 29