



Programmazione concorrente

## Programmazione concorrente



Anno accademico 2010/11  
Sistemi Concorrenti e Distribuiti

Tullio Vardanega, [tullio.vardanega@math.unipd.it](mailto:tullio.vardanega@math.unipd.it)

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 1/32



Programmazione concorrente

## Premesse – 1

- ❑ L'espressività di un linguaggio – naturale o di programmazione – ne è il potere ma anche il limite
  - Ciò che il linguaggio non prevede o non consente di esprimere non esiste
  - Questo è anche il caso della concorrenza
- ❑ Molti linguaggi "storici" sono sequenziali
  - Un unico luogo del controllo

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 2/32



Programmazione concorrente

## Premesse – 2

- ❑ La realtà è intrinsecamente concorrente quando non parallela
  - Che relazione c'è tra concorrenza e parallelismo? 
- ❑ Concorrente è anche la maggior parte dei sistemi a controllo *software*
  - Esiste una varietà di tecniche per rappresentare il parallelismo inerente di molte attività
- ❑ Come progettare un linguaggio di programmazione per sistemi concorrenti?
  - Proveremo a rispondere a questa domanda ...

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 3/32



Programmazione concorrente

## Linguaggi concorrenti – 1

- ❑ Un linguaggio sequenziale può esprimere concorrenza tramite l'uso di librerie di sistema
  - Sia entro un singolo programma che tra programmi distinti
    - Per esempio, in ambiente Unix, usando `fork()/exec()`
  - L'espressione e il controllo della concorrenza sono in questo caso posti al di fuori del linguaggio
    - Con ciò causando problemi semantici e di portabilità
- ❑ Un linguaggio concorrente può esprimere la compresenza di più luoghi del controllo
  - Il compilatore crea un ambiente d'esecuzione capace di creare e gestire entità e azioni concorrenti
    - *Run-time environment* come macchina virtuale

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 4/32



Programmazione concorrente

## Linguaggi concorrenti – 2

- ❑ Il progetto di un linguaggio concorrente si deve ispirare a un modello di concorrenza di riferimento coerente e consistente
  - Molte scelte possibili per livello di astrazione e potere espressivo
  - La programmazione concorrente agevola la rappresentazione dell'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
    - Espressivo ma anche verificabile in modo economico

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 5/32



Programmazione concorrente

## Forme di concorrenza – 1

- ❑ Chiameremo processo il singolo flusso di controllo all'interno di un programma
  - Cosa definisce lo "stato" di un processo?
  - Perché ci importa saperlo definire?
- ❑ Concettualmente la modalità di esecuzione di un processo può essere tale che
  - a) Tutti i processi condividano lo stesso elaboratore
  - b) Ciascun processo possieda un elaboratore proprio e tutti gli elaboratori condividano memoria
  - c) Ciascun processo possa avere un elaboratore proprio e gli elaboratori, pur interconnessi, non condividano memoria

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 6/32

 Programmazione concorrente

## Forme di concorrenza – 2

- ❑ **Ciascuna delle forme a) – c) e i loro ibridi comportano tecniche realizzative diverse**
  - Definiamo paralleli quei processi che, a un dato istante, sono simultaneamente in esecuzione
    - I casi b) e c), particolarmente nel caso dei nuovi processori *multicore*
  - Definiamo concorrenti quei processi che sono capaci di esecuzione parallela
- ❑ **Parallelismo → concorrenza realizzata**
- ❑ **Concorrenza → parallelismo potenziale**

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 7/32

 Programmazione concorrente

## Forme di concorrenza – 3

- ❑ **La concorrenza è più generale del parallelismo**
  - Quindi 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 realizzazione.

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

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 8/32

 Programmazione concorrente

## Forme di concorrenza – 4

- ❑ **La programmazione concorrente non è l'unico modo di sfruttare HW parallelo**
  - Da parallelismo a grana grossa a parallelismo a grana fine
- ❑ **Vi sono modelli di elaborazione più adatti ad ambiti di calcolo parallelo**
  - Processori vettoriali
    - Modello di esecuzione SIMD (*single instruction multiple data*)
  - Architetture *data-flow*
    - Non von Neumann (concettualmente senza *program counter*)

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 9/32

 Programmazione concorrente

## Forme di concorrenza – 5

- ❑ **Criterio: applicazione di un principio base di ingegneria del software**
  - Selezione e uso di strumenti e metodi di sviluppo adatti alle caratteristiche del dominio applicativo
- ❑ **Ambito: applicazioni inerentemente concorrenti**
  - Tutte quelle il cui SW specializzato interagisce direttamente con componenti HW interne ed esterne
  - Sistemi *embedded*

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 10/32

 Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 1

- ❑ **Entità attive**
  - Capaci di intraprendere azioni di propria iniziativa se forniti delle necessarie risorse di elaborazione
- ❑ **Entità reattive**
  - Eseguono azioni solo in risposta a richieste esplicite
  - Risorse → hanno stato interno e impongono pre- e post-condizioni di accesso
    - P.es. mutua esclusione
  - Entità passive → non impongono condizioni di accesso
    - P.es. senza stato interno

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 11/32

 Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 2

- ❑ **La realizzazione di entità risorse richiede capacità di controllo sulle 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 Magistrale in Informatica, Università di Padova 12/32

Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 3

Tipo Entità		Realizzabile da
Attiva		Processo
Reattiva	Risorsa protetta	Modulo con agente di controllo (attivo o passivo)
	Server	Processo
	Passiva	Modulo senza agente di controllo

Il progetto di un programma concorrente che usi questo modello di concorrenza richiede il riconoscimento di queste entità nel problema

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 13/32

Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 4

□ La realizzazione di questo modello richiede fino a 3 categorie di primitive

- Processo (entità attiva)
  - Basso livello d'astrazione
  - Efficienza d'esecuzione
  - Inflessibilità
- Agente di controllo passivo per risorse protette
  - Basso livello d'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 Magistrale in Informatica, Università di Padova 14/32

Programmazione concorrente

## Espressione di concorrenza – 1

□ **Coroutine – 1 : la storia**

- Una delle prime e più rudimentali modalità espressive di concorrenza espressa a programma
  - Melvin E. Conway, *Design of a separable transition-diagram compiler*, Communications of the ACM, 6(7), July 1963
- Esplicita alternanza d'esecuzione tra strutture concorrenti
  - Tramite comando `resume` oppure `yield-to`
- Modella una tecnica di rappresentazione della simulazione discreta → SIMULA 67
- Presente in Modula-2, linguaggio concorrente "storico"
  - Ma inadeguata alla programmazione concorrente
- Ma anche in Ruby v1.9.0 (<http://www.ruby-lang.org/>) e altri

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 15/32

Programmazione concorrente

## Espressione di concorrenza – 2

```

var q := new queue

coroutine produce
loop
while (q not full)
<create item>
<add item to q>
yield to consume
<point of resumption>

coroutine consume
loop
while (q not empty)
<remove item from q>
<use item>
yield to produce
<point of resumption>
    
```

□ Le coroutine che ritornano conservano il loro *record* di attivazione

- I sottoprogrammi lo perdono
- Le coroutine sono *continuations*

□ Di conseguenza

- Le coroutine hanno più punti di attivazione
  - 1 sottoprogrammi solo uno
- Da una stessa coroutine si può ritornare più volte
  - Mentre da un sottoprogramma una sola

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 16/32

Programmazione concorrente

## Espressione di concorrenza – 3

□ Dichiarazione e attivazione di processo

Algol68, CSP, Occam

```

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

Attivazione esplicita  
Distinta dalla dichiarazione

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

Ada

```

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

Dichiarazione

Realizzazione

Attivazione implicita

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 17/32

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 rilevati

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 18/32

 Programmazione concorrente

## Un esempio – 2

- T e P sono entità attive
- S è una entità passiva
  - Server o risorsa protetta
- Almeno 3 possibili realizzazioni
  - Completamente sequenziale
    - Ignorando il parallelismo potenziale di T, P, S
  - T, P, S scritti in linguaggio sequenziale ma trattati come processi distinti
    - Tramite chiamate al sistema operativo
  - Usando un linguaggio concorrente

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 19/32

 Programmazione concorrente

## Un esempio – 3

- Studiamo le 3 possibili realizzazioni ...
  - Soluzione sequenziale
  - Soluzione con primitive di sistema operativo
  - Soluzione in linguaggio concorrente

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 20/32

 Programmazione concorrente

## Un esempio – 4

- Soluzione completamente sequenziale
  - Forza un ordinamento artificioso tra moduli indipendenti
    - P.es.: prima controllo temperatura, poi controllo pressione
  - 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
      - Frequenze non armoniche sono un gran problema
    - Tenerne conto a programma comporterebbe pesanti oneri di attesa attiva (*busy wait*)

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 21/32

 Programmazione concorrente

## Un esempio – 5

- Soluzione con primitive di sistema operativo
  - Migliore rispetto alla soluzione sequenziale
    - Non comporta attese attive
    - Attua un minimo di 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 del programma dipende dalle scelte del SO sottostante
      - Portabilità?
      - Verifica?

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 22/32

 Programmazione concorrente

## Un esempio – 6

- Soluzione in linguaggio concorrente
  - La logica dell'applicazione è fissata completamente nel e dal programma
    - Interpretazione garantita dal linguaggio di programmazione
  - Operazioni di lettura valori dai dispositivi (1, 2) di tipo non bloccante permettono a ciascun processo di operare a frequenza autonoma
  - Ma nell'esempio abbiamo fatto ipotesi semplicistiche sulla risorsa S
    - Attualmente modellata come entità passiva
    - Non è sufficientemente generale

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 23/32

 Programmazione concorrente

## Un primo raffronto

- Fattori a favore della concorrenza espressa a linguaggio
  - Programmi più leggibili → maggiore manutenibilità
  - Indipendenza dal sistema operativo → maggiore portabilità e 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 confliggere con il sistema operativo sottostante → grande sforzo e rischi di distorsione semantica

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 24/32


Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 1

In molti sistemi l'esecuzione deve relazionarsi con il tempo di sistema

- Un orologio fisico approssima il trascorrere del "tempo"
- L'orologio diventa la sorgente del valore "tempo"
- Varie scelte per rappresentare questo "tempo"
  - Ora del giorno espressa in secondi e frazioni nell'arco di 24 ore
    - Oppure: maggiore granularità (e quindi maggiore accuratezza)
  - Tempo monotono crescente
    - Relazionato o meno con il valore "umano"
  - Misurazione di intervalli

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
25/32


Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 2

Alcune classi di sistemi richiedono controllo su e garanzie che certe uscite vengano sempre prodotte quando atteso

- Questo requisito collide con il desiderio di massimizzare l'uso delle risorse di calcolo
- Il sistema va dimensionato per soddisfare i requisiti anche nel caso peggiore

Questi sistemi devono poter

- Specificare quando certe azioni devono essere iniziate
- Specificare quando certe azioni devono essere completate
- Rispondere a situazioni in cui i requisiti temporali non possono essere soddisfatti
- Rispondere a situazione in cui i requisiti temporali cambiano dinamicamente

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
26/32


Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 3

```

declare
  Start, Finish : Ada.Calendar.Time;
  Interval : Ada.Calendar.Duration := 2.5;
begin
  Start := Ada.Calendar.Clock;
  -- actual work
  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 Magistrale in Informatica, Università di Padova
27/32


Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 4

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
  - La durata della sospensione non è inferiore alla richiesta
    - Nessun limite superiore garantito
    - Il tempo esatto di sospensione è ignoto
- Sospensione assoluta
 

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

  - Riferisce un valore temporale indipendente dal tempo di esecuzione della richiesta
    - Il tempo di risveglio richiesto è garantito entro una latenza data

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
28/32


Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 5

```

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, e azione interrompibile il valore assunto da Clock quando valutato non è noto a priori

L'effetto del prerilascio nel calcolo di (start + 10.0) non ne influenza il valore assoluto e dunque non perturba l'effetto di sospensione assoluta

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
29/32


Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 6

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

```

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

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
30/32

Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 7

□ La regolarità temporale delle attività periodiche è esposta a 2 fattori di rischio

- Deviazione locale (*local drift*)  
La vera distanza temporale che separa due successive invocazioni della stessa attività periodica
  - Inevitabile, può essere migliorata solo mediante migliore realizzazione del linguaggio (granularità di accesso all'orologio)
- Deviazione cumulativa (*cumulative drift*)  
L'effetto a catena causato dalla possibile varianza nel completamento delle attività precedenti
  - Evitabile tramite l'uso di sospensioni assolute

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 31/32

Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 8

Corso di Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 32/32