



[Schema della lezione](#)

[Sintesi](#)

[Mars Pathfinder](#)

[Tesi disponibili](#)

[Varie ed eventuali](#)



[Schema della lezione](#)

[Sintesi](#)

[Mars Pathfinder](#)

[Tesi disponibili](#)

[Varie ed eventuali](#)

# Lezione 31

## Conclusione del corso

Sistemi embedded e real-time

31 gennaio 2013

Marco Cesati

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica  
Università degli Studi di Roma Tor Vergata

### Di cosa parliamo in questa lezione?

Conclusione del corso:

- 1 Sintesi degli argomenti
- 2 Il caso Mars Pathfinder
- 3 Tesi disponibili
- 4 Varie ed eventuali

## Sintesi del corso

I due temi principali di questo corso:

- Sistemi real-time:
  - Modellare i requisiti temporali di un sistema real-time
  - Utilizzare algoritmi di schedulazione basati su parametri temporali oggettivi
  - Verificare che nel sistema real-time tutti i task completeranno sempre entro la rispettiva scadenza
- Sistemi embedded:
  - Integrare l'hardware con il software
  - Scegliere le tecnologie più adatte
  - Scrivere software che si interfaccia direttamente con l'hardware

Tutto questo è realmente utile in pratica?

Conclusione  
del corso

Marco Cesati



[Schema della lezione](#)

[Sintesi](#)

[Mars Pathfinder](#)

[Tesi disponibili](#)

[Varie ed eventuali](#)

SERT'13

31.3

## La missione Mars Pathfinder

- Preparazione della missione:
  - iniziata nel 1994
  - durata circa 3 anni
- Costo:
  - Circa 150 milioni di dollari per la sonda
  - Circa 280 milioni di dollari in totale (incluso razzo lanciatore, controllo a terra. . .)
- Tecnologie innovative utilizzate:
  - Discesa rallentata da paracadute, razzi e enormi "air-bag"
  - Veicolo semovente per analisi scientifiche (*rover*)
  - Aggiramento automatico degli ostacoli sul percorso del rover
- Razzo lanciato il 4 dicembre 1996
- Sonda atterrata il 4 luglio 1997
- Durata programmata della missione: da 7 a 30 giorni marziani

Conclusione  
del corso

Marco Cesati



[Schema della lezione](#)

[Sintesi](#)

[Mars Pathfinder](#)

[Tesi disponibili](#)

[Varie ed eventuali](#)

SERT'13

31.4

## La missione Mars Pathfinder (2)



Fonte: NASA (Public Domain)

La sonda spaziale della NASA **Mars Pathfinder** è “atterrata” su Marte il 4 luglio 1997

La missione è stata definita fin da subito un “successo”: poche ore dopo l’atterraggio è stato sbarcato il veicolo rover chiamato **Sojourner**



Fonte: NASA (Public Domain)

## Houston, we’ve had a problem...

La sonda iniziò la sua attività spedendo immagini sulla terra: tutto sembrava funzionare per il meglio

Qualche giorno dopo l’atterraggio la sonda cominciò a raccogliere e spedire dati metereologici

Contemporaneamente, i tecnici della NASA cominciarono ad accorgersi che qualcosa non andava: la stampa parlò di “**software glitches**”

In effetti la sonda periodicamente subiva un **reset** totale che rendeva impossibile la raccolta e trasmissione dei dati

Fortunatamente i tecnici riuscirono a capire l’origine del problema e a porvi rimedio modificando a distanza il codice del programma della sonda: la missione era salva!

Ma cosa avvenne realmente?

Conclusione  
del corso

Marco Cesati



Schema della lezione

Sintesi

Mars Pathfinder

Tesi disponibili

Varie ed eventuali

SERT'13

31.5

Conclusione  
del corso

Marco Cesati



Schema della lezione

Sintesi

Mars Pathfinder

Tesi disponibili

Varie ed eventuali

SERT'13

31.6

## Architettura di Mars Pathfinder

- Una singola CPU RS/6000 controllava la sonda
- La CPU era collegata con un bus VME a radio, fotocamera ed una interfaccia ad un bus 1553
- Sul bus 1553 vi erano molti dispositivi utilizzati per la astro-navigazione e per l'atterraggio, nonché uno strumento per le analisi meteorologiche (ASI/MET)
- Il sistema operativo real-time era una versione di VxWorks
- Il programma per controllare il bus 1553 ed i relativi dispositivi era implementato come due task periodici ad alta priorità, ciascuno con frequenza 8 Hz:
  - il 1° task ("bc\_sched") controllava le transazioni del bus
  - il 2° task ("bc\_dist") gestiva i risultati, ossia i dati
  - ciascuno dei due task all'attivazione controllava che il job precedente dell'altro task fosse terminato; in caso contrario, forzava un reset di sistema
- un task di bassa priorità ("asi\_met") per la raccolta dei dati meteorologici aspettava i dati dei sensori inviati da bc\_dist tramite un meccanismo IPC ("pipe")
- internamente la pipe utilizzava un mutex per la sincronizzazione

## Il problema di Mars Pathfinder e la sua soluzione

- Il task bc\_dist era bloccato sul mutex acquisito da asi\_met: **inversione di priorità!**
- Nello scenario operativo, l'insieme delle attività di raccolta dei dati attivava un gran numero di task di priorità media (intermedia tra bc\_dist e asi\_met)
- I task di priorità media rallentavano così tanto asi\_met che bc\_dist mancava la sua scadenza: **inversione di priorità non controllata!**
- I test fatti a terra non avevano consentito di scoprire il problema perché erano stati fatti con un carico di dati sul bus "nominale"
- La radice del problema: per default VxWorks non utilizzava un protocollo di **priority inheritance** sui propri mutex
- La soluzione: una variabile globale di VxWorks (non documentata!) permetteva di attivare la **priority inheritance** sui mutex
- Una patch inviata dalla Terra ha modificato la variabile e risolto il problema



## Morale e conclusione della storia

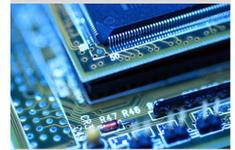
- Quando si usano prodotti non sviluppati in proprio, è necessario conoscerli a fondo
- Non è possibile fare *troppi* test! Più sono, meglio è
- Il problema è stato risolto perché sulla sonda era installato lo stesso codice utilizzato per sviluppo e debug sulla Terra (“test what you fly and fly what you test” — NASA)
- La teoria non è mai estranea alla pratica!

Come è andata a finire?

- L'ultima trasmissione della sonda avvenne il 27 settembre 1997, dopo 83 giorni marziani dall'atterraggio
- Non conosciamo le cause della perdita di comunicazioni: l'ipotesi più probabile è la rottura della batteria della sonda
- Nel frattempo la sonda aveva inviato 17 000 foto, oltre a 15 analisi di rocce e suolo e molti dati meteorologici

## Tesi disponibili

- Sviluppo, integrazione e applicazioni di RTOS per sistemi embedded
  - In collaborazione con ing. D. Carnevale / S. Galeani e aziende del settore micro-elettronica
- Ricerca sulle interfacce e le applicazioni dei chip che integrano CPU e FPGA (Xilinx Zynq)
  - In collaborazione con prof. G. Cardarilli e prof. M. Re (ing. elettronica)
- Certificazione di Linux in ambito hard real-time
  - In collaborazione con industrie del gruppo Finmeccanica
- Soluzioni hardware e software per sistemi hard real-time multi-core
  - In collabor. con univ. dell'Illinois ad Urbana-Champaign (prof. M. Caccamo, prof. L. Sha)



## Tesi disponibili (2)

- Algoritmi di schedulazione RT per multiprocessore
  - In collaborazione con ing. A. Bastoni
- Algoritmi di schedulazione per sistemi High Performance Computing
  - In collaborazione con ing. R. Gioiosa (Barcelona Supercomputing Center)
- Implementazione ed ottimizzazione di algoritmi algebrici e numerici
  - In collaborazione con ing. E. Betti
- Acceleratori per calcolo numerico-scientifico
  - Basati su FPGA, in collaborazione con ing. P. Palana
  - Basati su GPU (CUDA, OpenCL)
- ...



Conclusione  
del corso

Marco Cesati



[Schema della lezione](#)

[Sintesi](#)

[Mars Pathfinder](#)

[Tesi disponibili](#)

[Varie ed eventuali](#)

SERT'13

31.11

Conclusione  
del corso

Marco Cesati



[Schema della lezione](#)

[Sintesi](#)

[Mars Pathfinder](#)

[Tesi disponibili](#)

[Varie ed eventuali](#)

SERT'13

31.12