

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

# **SYLLABUS DEL CORSO**

# Sistemi Embedded

2526-3-E3101Q124

#### Obiettivi

Comprensione dei principali aspetti dei sistemi embedded in tempo reale. Capacità di progettare semplici applicazioni embedded in tempo reale su micro-controllori e SBC (Single Board Computer) in linguaggi vicini all'hardware, ad esempio C, con e senza OS.

# Contenuti sintetici

Sistemi embedded: caratteristiche e requisiti. La struttura dei sistemi embedded: micro-controllori, DSP, FPGA, memorie e loro organizzazione, sistemi di comunicazione. Periferiche, sensori ed attuatori. Teoria dello scheduling real-time. Architetture software e librerie per la programmazione real-time, fail-safe e safety-critical. Sistemi operativi real-time. Attività di laboratorio sulla programmazione di micro-controllori in C. Attività di laboratorio su macchine PC-like in C in Linux con classi di scheduling RT and deadline.

# Programma esteso

- 1. Sistemi embedded: caratteristiche e requisiti
  - 1. Caratteristiche generali e domini applicativi; valore del mercato e diffusione.
  - 2. Requisiti temporali, di affidabilità, di efficienza.
  - 3. Dimensioni progettuali.
- 2. La struttura dei sistemi embedded

- 1. Cenni di elettronica digitale e analogica.
- 2. Livelli di scala: IC. PCB. network.
- 3. Unità di elaborazione: CPU, micro-controllori, DSP, GPU, ASIC. Logiche programmabili: FPGA.
- 4. Memorie: SRAM e DRAM, memorie non volatili; interazioni tra processore e memoria: architetture di Von Neumann e Harvard, gerarchie di memoria.
- 5. Sistemi di comunicazione: GPIO, Pulse Width Modulation, RS-232, USB, I2C, SPI, CAN bus, JTAG.
- 6. Sistemi ad elevata integrazione: SoC e NoC.
- 7. Esempi di micro-controllori.

#### 3. Periferiche, sensori e attuatori

- 1. Timer.
- 2. DMA.
- 3. Cenni di teoria del campionamento: Teorema di Nyquist, aliasing, rumore di quantizzazione; Comparatori e convertitori A/D e D/A.
- 4. Modelli di sensori e attuatori: modelli affini, saturazione, distorsione armonica, range dinamico.
- 5. Sensori: Accelerometri e giroscopi.
- 6. Attuatori: Solenoidi lineari e motori DC.

#### 4. Teoria dello scheduling real-time

- 1. Definizioni di base: task periodici, aperiodici e sporadici, utilizzazione, schedule validi e feasible, ottimalità.
- 2. Schedule ciclico.
- 3. Schedule a priorità statica: schedule rate-monotonic e deadline monotonic, analisi di schedulabilità.
- 4. Schedule a priorità dinamica: schedule earliest-deadline-first e least-slack-time-first.
- 5. Scheduling per job aperiodici e sporadici.
- 6. Analisi blocking time.
- 7. Sezioni critiche, anomalie di scheduling (inversione di priorità e deadlock), protocolli di priority inheritance e priority ceiling.

#### 5. Architetture software e librerie

- 1. Architetture round-robin, round-robin con interrupts, function-queue-scheduling.
- 2. (cenni) Librerie POSIX.4, Ada Real-Time e profilo Ravenscar, Real-Time e High-Integrity Java.
- 3. (cenni) Sistemi operativi real-time.

# 6. Laboratorio di programmazione di micro-controllori.

- 1. Catena programmativa ed IDE.
- 2. Programmazione assembly e sviluppo di semplici programmi.
- 3. Programmazione C.
- 4. Attività progettuale di gruppo.

# **Prerequisiti**

- 1. Conoscenze di architettura degli elaboratori.
- 2. Conoscenze di base di programmazione in C.

3. Concetti base di sistemi operativi e programmazione concorrente.

#### Modalità didattica

- · lezioni erogative;
- attività interattiva di laboratorio, con sviluppo di progetti in piccoli gruppi; queste attività saranno basate su HW STM della famiglia Nucleo ed annessi shields e sul piccolo robot Coderbot (Raspberry Pi).

#### Materiale didattico

#### importanti

• G. C. Buttazzo. Hard Real-Time Computing Systems, Predictable Scheduling Algorithms and Applications, 3rd Edition. Springer, 2011

# meno importanti

- J. W. S. Liu. Real-Time Systems. Prentice-Hall, 2000.
- E. A. Lee, S.A. Seshia. Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Approach. Second Edition, MIT Press, 2017.
- D. E. Simon. An Embedded Software Primer. Addison Wesley, 1999.
- C. Brandolese, W. Fornaciari. Sistemi Embedded: Sviluppo Hardware e Software per Sistemi Dedicati. Pearson, 2007.

# Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre

# Modalità di verifica del profitto e valutazione

- Prova scritta con esercizi e/o domande aperte sugli argomenti non coperti dalla attività di laboratorio;
- relazione sulla attività di laboratorio;
- eventuale colloquio sulla relazione sulla attività di laboratorio.

#### Orario di ricevimento

Inviare email per un appuntamento.

# **Sustainable Development Goals**

IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE