

Sistemi Embedded

Introduzione

Luigi Pomante
Università dell'Aquila – DEWS
luigi.pomante@univaq.it

Sommario

- Introduzione
 - Caratteristiche di un sistema embedded
 - Esempio
 - Progettazione dei sistemi embedded
 - Evoluzione
 - *Electronic Design Automation*
 - Piattaforme di sviluppo
 - Conclusioni

Introduzione

- La presenza di sistemi digitali nella vita quotidiana è costante e molte volte pressoché invisibile
 - Tali dispositivi
 - Spesso includono un sistema a microprocessore
 - Vengono percepiti spesso come un tradizionale elettrodomestico
 - » Telefono cellulare, lavatrice, navigatore, carta di credito e così via, fino all'automobile ove si contano decine di microprocessori
- La presenza di tali sistemi, detti *embedded* in virtù della loro forte interazione con l'ambiente nel quale sono immersi, serve talvolta per ottenere le funzionalità desiderate o è il veicolo per introdurre innovazione

Sistemi Embedded
2010/2011

3

Introduzione

- Prodotti tradizionali e servizi innovativi...
 - Esempio: *e-tooth-brush*

When the **tooth brush** communicates with the bathroom **mirror**

- animated **cartoon** appears on the mirror
- brushing the teeth becomes a **computer game**, the tooth brush becomes a **joy stick**
- high-score lists, collect rewarding **points**,...



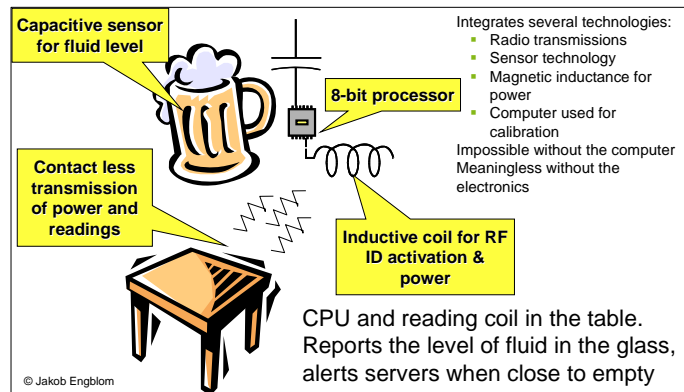
Image source: Philips

Sistemi Embedded
2010/2011

4

Introduzione

- Prodotti tradizionali e servizi innovativi...
 - Esempio: *smart beer glass*



Sistemi Embedded
2010/2011

5

Introduzione

- Prodotti tradizionali e servizi innovativi...
 - Esempio: *e-jeans*
 - <http://www.angeldeviltouch.it/>

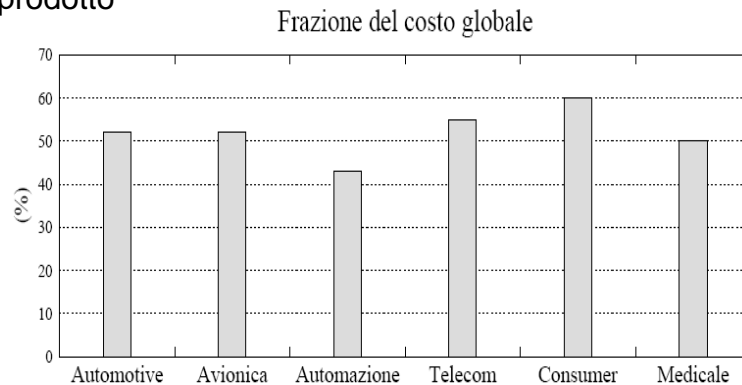


Sistemi Embedded
2010/2011

6

Introduzione

- La loro rilevanza in ogni settore applicativo è tale che rappresentano all'incirca la metà del costo finale di un prodotto



Sistemi Embedded
2010/2011

7

Introduzione

- In generale un sistema embedded è la struttura di supporto per applicazioni con un pronunciato livello di interazione con il mondo esterno
 - I comandi o le modalità operative possono derivare da segnali di ingresso che consentono la rilevazione di particolari eventi
 - Il risultato dell'elaborazione può essere costituito solo da un insieme di segnali d'informazione o da un controllo su attuatori
- Caratteristiche fondamentali
 - Stretta interazione del sistema con l'ambiente in cui è immerso
 - Presenza di interfacce spesso non visibili o non conformi alle modalità d'interazione a cui ci ha abituato il computer da tavolo

Sistemi Embedded
2010/2011

8

Caratteristiche di un sistema embedded

Caratteristiche

- L'obiettivo di un sistema embedded e le conseguenti architetture realizzative sono duali rispetto a quella di un normale elaboratore
 - Un PC viene realizzato in modo da essere versatile, in grado di adattarsi a diversi ambiti applicativi con programmi differenti
 - L'architettura HW contiene risorse in genere sovrabbondanti rispetto alle singole applicazioni
 - Un sistema dedicato a una classe specifica di applicazioni può invece essere fortemente ottimizzato
 - Sulla base di una conoscenza abbastanza approfondita dell'applicazione finale, si può dimensionare in modo corretto la capacità di calcolo

Caratteristiche

- Nei sistemi embedded si osserva la presenza di una maggiore diversificazione a livello di architetture
 - Il software e l'hardware vengono scelti e organizzati in modo da ottimizzare un più ampio ventaglio di obiettivi
 - consumo di potenza, ingombro, costo, gestione di segnali di I/O
 - In questo modo è possibile utilizzare microprocessori con costi inferiori ai 10 dollari e realizzare sistemi, come ad esempio i telefoni cellulari, che contengono almeno un paio di microprocessori, un sistema di ricezione e trasmissione a radiofrequenza, e gestiscono tastiera schermo grafico, al costo complessivo di poche decine di dollari

Sistemi Embedded
2010/2011

11

Caratteristiche

- Non è quindi facile standardizzare l'architettura di un sistema embedded
 - Anche a parità di requisiti funzionali, a seconda dei vincoli posti dall'applicazione, la realizzazione migliore può essere sensibilmente diversa
 - Ad esempio
 - L'obiettivo tassativo di realizzare il sistema in pochi mesi, spesso sbilancia le scelte verso soluzioni principalmente software
 - Le esigenze di raggiungere ingombri limitati o bassi costi unitari per elevati volumi di produzione possono richiedere lo sviluppo di hardware dedicato

Sistemi Embedded
2010/2011

12

Caratteristiche

Esempio

- Prendiamo come esempio una funzionalità sempre più diffusa, ovvero la capacità di effettuare fotografie digitali
 - Tale funzionalità è propria delle macchine fotografiche digitali ma è possibile scattare fotografie a partire da una webcam...
- Un primo passo verso l'analisi e la progettazione consiste nel delineare gli scenari di utilizzo
 - Definizione dei requisiti funzionali
 - Definizione dei vincoli di progetto
 - In sintesi si cercherà di identificare uno spazio delle soluzioni, entro cui prendere le decisioni che guideranno lo sviluppo dell'applicazione reale

Sistemi Embedded
2010/2011

13

Caratteristiche

Esempio

- Macchina fotografica per *consumer electronics*
 - L'obiettivo è raggiungere le prestazioni migliori in termini di risoluzione, velocità di scatto, capacità di memorizzazione e di gestione delle foto memorizzate
 - L'interfaccia utente deve essere semplice e prevedere essenzialmente l'uso di pulsanti e un piccolo schermo grafico con possibilità di connessione verso un PC/TV
 - I requisiti di consumo di potenza sono medi; anche le dimensioni possono essere definite medie e vi è la necessità di gestire parti meccaniche, anche delicate, come lo zoom
 - Un aspetto importante è il costo e si prevedono volumi elevati
 - L'oggetto è comunque concepito per durare diversi anni, soprattutto se il suo prezzo è elevato

Sistemi Embedded
2010/2011

14

Caratteristiche

Esempio

- Funzionalità di scatto con webcam per PC
 - La funzionalità non è legata allo sviluppo di un sistema ad-hoc, ma viene derivata da quella del sistema esistente
 - Molti vincoli di progetto ma la disponibilità di risorse è sovradimensionata
 - Utilizzo delle interfacce degli applicativi per PC e memorizzazione degli scatti direttamente nel sistema ospite
 - Le esigenze legate al trasferimento e visualizzazione delle immagini dovranno adattarsi e riusare quanto normalmente presente in un PC
 - La velocità di scatto o un uso legato a una impugnabilità o trasportabilità del sistema sono davvero poco influenti
 - Le aspettative dell'utente finale sono di gran lunga inferiori a quelle di un acquirente di una macchina fotografica digitale

Sistemi Embedded
2010/2011

15

Caratteristiche

Esempio

- Nonostante la sintesi nella descrizione degli scenari, si possono comunque evincere buona parte dei vincoli iniziali di un progetto realistico
 - Tali deduzioni guideranno alla specializzazione dell'architettura hardware e software per i vari scenari d'uso, al fine di identificare come realizzare le funzioni tipiche di ogni sistema
 - Elaborazione
 - Comunicazione
 - Memorizzazione
- L'analisi riporta alcuni degli aspetti salienti per l'esempio, importanti in generale per ogni sistema embedded

Sistemi Embedded
2010/2011

16

Caratteristiche Esempio

- **Volumi**

- Sono un fattore importante, soprattutto per la scelta della tecnologia HW
 - Sviluppare ASIC costa diversi milioni di dollari mentre usare logiche programmabili 1-2 ordini di grandezza in meno
 - Il costo fisico finale del silicio ha un andamento opposto
 - L'utilizzo di COTS è una scelta interessante per volumi bassi o medi
- quindi...
 - Per la macchina fotografica digitale conviene produrre IC
 - La webcam non richiede lo sviluppo di nuovo HW rispetto a quello già esistente, ma solo integrazioni SW

Sistemi Embedded
2010/2011

17

Caratteristiche Esempio

- **Interfacce di comunicazione**

- Per la macchina fotografica si deve creare un sistema completo e usabile senza la necessità di ausili esterni
 - Schede di memoria e/o interfacce via cavo
 - Uscita TV
- Nella webcam si usa direttamente lo schermo del PC

- **Interfacce utente**

- L'interfaccia utente di una macchina fotografica deve essere progettata ad-hoc, facendo uso di un insieme di pulsanti ergonomicamente posizionati e un piccolo schermo
- Il PC consente di avere una interfaccia grafica decisamente sofisticata, ma non certo comoda da utilizzare per i fini fotografici

Sistemi Embedded
2010/2011

18

Caratteristiche Esempio

- **Consumo energetico**

- E' un fattore importante per la macchina fotografica
- Non ha una reale significatività per un PC
- Questo fattore influisce sulla scelta delle tecnologie, ovvero su dimensioni e costo delle batterie (che spesso è pari a quello dell'intera parte elettronica) e sulle tecnologie realizzative
 - La scelta di impiegare un ASIC è quella che garantisce le più basse tensioni di alimentazione e la maggiore efficienza energetica
 - Nel caso si debba ricorrere a un uso intensivo di un microprocessore, si utilizzeranno quelli *low-power* cercando di ridurre al minimo l'impatto di interfacce grafiche o di SO

Caratteristiche Esempio

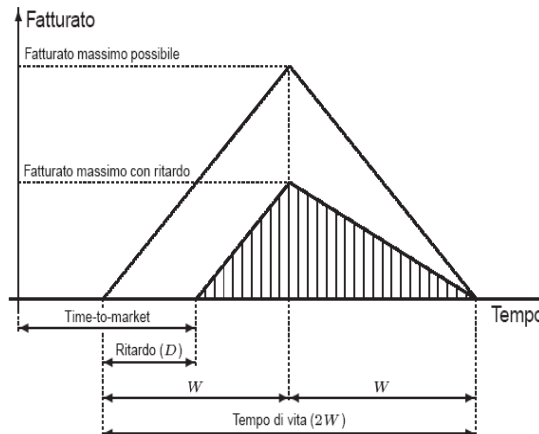
- **Time-to-market**

- Per un progettista i fattori che guidano le scelte sono tecnologici, ma nella realtà la capacità di sfruttare il mercato nel momento propizio diviene spesso più rilevante
 - Il *time-to-market* è il tempo che passa fra l'inizio della progettazione e il momento in cui si distribuiscono i prodotti per la vendita
- Si cerca di scegliere tecnologie e metodi di progetto che portino al massimo fatturato possibile, che non sempre significa arrivare al prodotto che costa meno
 - Es, avere macchine fotografiche da 2 Mpixel che costano il 50% in meno della concorrenza che le ha lanciate con 2 anni di anticipo non serve, perché dopo 2 anni il mercato non è più in grado di assorbire tali dispositivi in volumi tali da giustificare l'investimento
 - In tali casi può convenire usare tecnologie più costose, ma in grado di rendere possibile la produzione in tempi più brevi

Caratteristiche Esempio

- **Time-to-market**
 - **Perdita di fatturato**

$$R_L = R_0 \frac{D(3W - D)}{2W^2}$$



Sistemi Embedded
2010/2011

Caratteristiche Esempio

- **Dimensioni, meccanica, ottica**
 - Risoluzione e qualità sono determinanti per una macchina fotografica
 - Per la webcam, spesso le risoluzioni sono inferiori al Mpixel e gli scatti hanno qualità accettabili solo se in piccoli formati
- **Tempo di vita**
 - Il tasso di ricambio è un altro fattore molto importante
 - Si va da dispositivi quasi usa e getta, come sta diventando il telefono (vita media minore della garanzia!) sino a dispositivi con vita più lunga che devono poter essere aggiornati
 - Le macchine fotografiche potrebbero essere concepite per grossi volumi anche con diversi rilasci del prodotto
 - Simili riflessioni si applicano alla webcam, dove le funzionalità sono realizzate principalmente tramite sw

Sistemi Embedded
2010/2011

22

Caratteristiche

Esempio

- Il passo successivo alla caratterizzazione degli scenari d'uso consiste nel coniugare i vincoli che ne derivano con le funzionalità dell'applicazione, in modo da derivare l'architettura ottima per la sua realizzazione
- Ad alto livello si può schematizzare con uno schema a blocchi la catena di elaborazione di un'applicazione fotografica
 - A seconda dello scenario, alcune funzionalità saranno in parte già disponibili, oppure richiederanno lo sviluppo di software o hardware specializzato

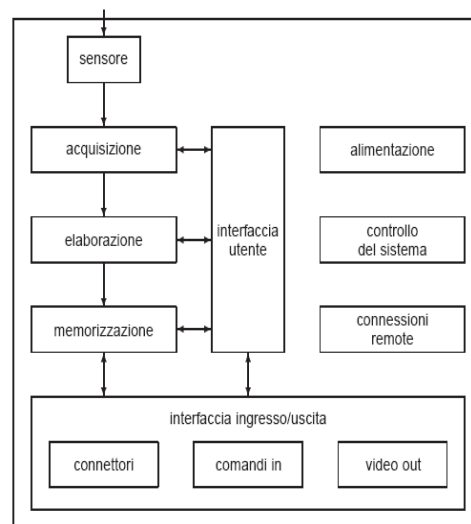
Sistemi Embedded
2010/2011

23

Caratteristiche

Esempio

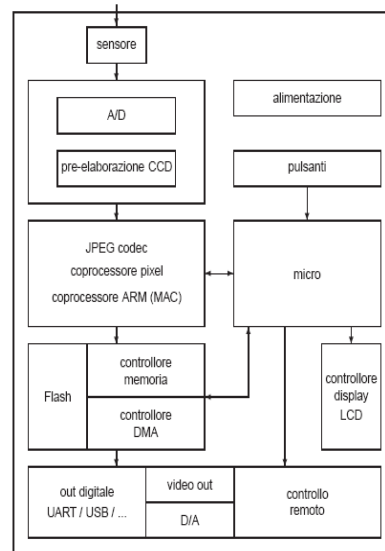
- Schema a blocchi
 - Applicazione fotografica



Sistemi Embedded
2010/2011

Caratteristiche Esempio

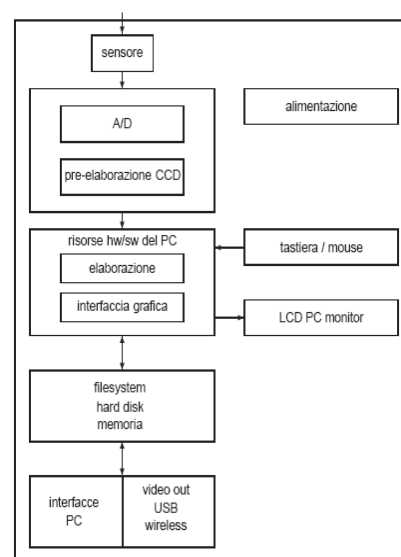
- Architettura
 - Macchina fotografica



Sistemi Embedded
2010/2011

Caratteristiche Esempio

- Architettura
 - Webcam PC



Sistemi Embedded
2010/2011

Caratteristiche

Esempio

- Come si è visto la stessa funzionalità può tradursi in architetture hw/sw fortemente differenti, sulla base di vincoli non solo funzionali
 - I fattori importanti sono elementi come time-to-market, costo, potenza, dimensioni, portabilità, tempo di risposta, riuso, e, raramente, la ricerca della soluzione tecnologica di frontiera
- I vincoli legati all'ambiente in cui viene utilizzato lo stesso sistema possono portare a realizzazioni così diverse da richiedere competenze, flussi di sviluppo e tecnologie spesso radicalmente differenti
 - Per tale motivo un buon progettista di sistemi embedded deve possedere un bagaglio di conoscenze fortemente interdisciplinari

Progettazione dei sistemi embedded

Progettazione

- La progettazione dei SE è una disciplina in buona parte ancora inesplorata. Infatti, si avverte la mancanza di metodologie o linee di indirizzo nella progettazione davvero mature e di applicabilità generale
- Progettare un SE è un'attività fortemente multi-disciplinare, essendo il suo ruolo quello di introdurre capacità elaborative direttamente nel prodotto finale che può essere fortemente variegato
 - Questo richiede agli sviluppatori competenze trasversali rispetto ai vari settori dell'ingegneria e una conoscenza specifica dell'ambito applicativo

Sistemi Embedded
2010/2011

29

Progettazione

- I SE devono spesso essere *dependable*
 - Deve essere quindi possibile considerare aspetti di *hard real-time* e *soft real-time*
 - In molti casi non è possibile progettare per il caso medio, ma si deve garantire un comportamento accettabile nelle condizioni più gravose
- Il problema iniziale del progetto è pertanto cercare di modellare sia i requisiti sia le prestazioni dell'architettura del sistema e verificarne le qualità prima di procedere all'implementazione
 - (*Electronic*) *System Level Design*: progettazione a livello di sistema, considerando in modo unificato tutti gli elementi hw/sw che lo compongono ancora prima di procedere alla realizzazione

Sistemi Embedded
2010/2011

30

Progettazione

- I due domini realizzativi hw/sw hanno infatti aspetti fortemente complementari
 - I componenti hw sono paralleli e spesso vengono rappresentati da modelli che ne specificano la “funzione di trasferimento”
 - La natura del sw non è fortemente parallela e prevede una esecuzione sequenziale, con una spiccata natura dinamica
 - La sua rappresentazione è tipicamente legata a modelli computazionali vincolati da di un motore di esecuzione astratto
 - L'hardware è meno flessibile e richiede uno sviluppo abbastanza complesso e costoso, mentre il software, sebbene non raggiunga le prestazioni dell'hardware, può avere tempi di sviluppo e costi contenuti

Sistemi Embedded
2010/2011

31

Progettazione

- Fino ad ora abbiamo sempre pensato al sistema come a una composizione di hardware e software
 - Ad alto livello di astrazione tale semplificazione è corretta, ma un'analisi più approfondita dovrebbe in realtà coinvolgere anche gli aspetti di comunicazione e di memorizzazione che hanno un impatto significativo su come verrà realizzata una data funzione
- Ci si trova di fronte quindi a problemi di modellazione del sistema in senso astratto e funzionale che devono convivere con requisiti non funzionali, che contribuiscono in egual misura alle scelte realizzative

Sistemi Embedded
2010/2011

32

Evoluzione dei sistemi embedded

Sistemi Embedded
2010/2011

33

Evoluzione

- Comprendere e predire compiutamente l'evoluzione dei sistemi embedded implica poter analizzare le tre dimensioni che ne delimitano il percorso
 - Si tratta di tre prospettive non indipendenti, che consentono di capire cosa significhi operare in una prospettiva di *System Engineering*, dove tecnologie, metodologie di progetto, tool e processi devono evolvere in modo coordinato per supportare la richiesta di competitività e i requisiti delle nuove applicazioni

Industria	Trend di mercato	Tecnologie
Medicale	Mobilità e autonomia	Hardware
Consumer	Specializzazione	Software
Telecom	Interfacce utente	Compilatori
Automazione	Affidabilità	EDA
Avionica	Sicurezza	
Automotive		

Sistemi Embedded
2010/2011

34

Evoluzione

Electronic Design Automation

- Ogni valida metodologia di progetto richiede la disponibilità di tool che consentano di trattare problemi di complessità crescente in tempi sempre più ridotti
 - Gli strumenti EDA sono evoluti negli anni da semplici strumenti di simulazione ad ambienti di lavoro complessi in grado di guidare il progettista nelle attività ad alto livello di astrazione
- Nell'attuale industria dei semiconduttori, la validazione di sistemi complessi come i SoC può arrivare a pesare sino all'80% del tempo-costo di sviluppo totale
 - Uno dei principali fattori d'inefficienza è l'utilizzo di linguaggi eterogenei per i diversi livelli di astrazione delle descrizioni

Sistemi Embedded
2010/2011

35

Evoluzione

Electronic Design Automation

- La spinta attuale è nella direzione di formalismi/linguaggi (es. SystemC) che permettano l'integrazione nello stesso framework di viste differenti, permettendo un graduale raffinamento delle specifiche verso l'implementazione
 - La mancanza di strumenti correlati in grado di produrre realizzazioni efficienti ha lasciato spazio a un filone di pensiero alternativo, che prevede l'impiego di linguaggi specifici per ogni tipologia di applicazione
- Per questo, si assisterà probabilmente nel prossimo decennio ad un'evoluzione delle soluzioni per la specifica e validazione a livello di sistema, dove agli alti livelli di astrazione si lavorerà con modelli virtuali

Sistemi Embedded
2010/2011

36

Evoluzione Platform Based Design

- Una semplificazione del processo di convergenza degli strumenti EDA e delle metodologie di progetto verrà probabilmente offerta dal Platform Based Design
- L'idea di fondo si basa sulla ricerca di un'architettura i cui blocchi costituenti siano abbastanza generali da poter ospitare le applicazioni di uno specifico dominio
 - Si cerca di identificare gli aspetti comuni a vari progetti, mantenendo la possibilità di differenziare i prodotti
- Il vantaggio consiste nel poter disporre di blocchi già testati e disponibili commercialmente spostando le fasi di progettazione verso i livelli di astrazione più elevati

Sistemi Embedded
2010/2011

37

Evoluzione Platform Based Design

- La piattaforma, in base al livello di astrazione in cui si pone, può essere anche virtuale, qualora per descriverla si usi un formalismo a livello sistema
 - I vantaggi risiedono nei tempi di sviluppo e di simulazione e nel poter ritardare alcune scelte realizzative
 - La piattaforma può anche essere “più reale”, qualora i blocchi siano identificati nella loro natura hw/sw, così come le loro caratterizzazioni funzionali e di interfacciamento
- Assume comunque importanza la disponibilità di un insieme di strumenti di analisi e sviluppo specializzato per la piattaforma, tale da rendere l'implementazione il più possibile top-down

Sistemi Embedded
2010/2011

38

Evoluzione

Piattaforme di sviluppo

- A partire dal PBD, si possono identificare diverse tecnologie a cui applicare tali principi, che essenzialmente operano a livello di board e chip
 - A livello di board, la piattaforma consiste in un sistema di riferimento che contiene molti elementi, come processori, memoria, interfacce wireless, bus, controller video, oltre alla sezione di alimentazione
 - A livello di chip, la piattaforma può essere un progetto volto alla realizzazione sostanzialmente su single-chip consistente di uno o più processori, elementi di memoria, periferiche varie e bus

Conclusioni

Conclusioni

- L'utilizzo delle tecnologie ICT è da diverso tempo maturo e percepito come un importante strumento di lavoro in ogni ambito produttivo, non necessariamente di carattere ingegneristico
- I sistemi embedded rappresentano il nuovo passo evolutivo, la coniugazione fra la tecnologia e le applicazioni cui siamo abituati, non riconducibili in maniera evidente al settore informatico/elettronico
- Le loro caratteristiche principali sono la forte interazione con l'ambiente nel quale sono immersi e la presenza di molti vincoli progettuali

Conclusioni

- La loro diffusione è inarrestabile, le analisi di mercato mostrano che sono ormai presenti in ogni apparato sia in modo evidente sia in modo trasparente
- La loro tipica architettura realizzativa richiede spesso di integrare capacità di comunicazione con sottosistemi hardware e software fra loro strettamente interagenti
- Il progetto di tali sistemi è quindi molto complesso poiché richiede competenze multi-disciplinari e la pressione del mercato riduce i tempi di design a pochi mesi

Conclusioni

- Inoltre, ogni singolo settore applicativo richiede di prendere in considerazione aspetti talmente peculiari da rendere difficile l'identificazione di architetture, metodologie di progetto e tool di valenza generale
- Ciononostante il settore è in forte espansione e rapida maturazione, sotto la spinta di un mercato che sta crescendo con tassi superiori a qualunque altro ambito industriale
- La figura del progettista dei sistemi embedded si preannuncia quindi come una delle più richieste nel prossimo decennio