

Sistemi Embedded

Architettura e progettazione

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

Sistemi Embedded
2010/2011

1

Sommario

- Architettura e progettazione
 - Printed Circuit Board
 - Componenti
 - Supporto
 - Montaggio dei componenti
 - Approccio alla progettazione
 - System-on-Chip
 - Approccio alla progettazione
 - Design for testability
 - Sistemi (embedded) distribuiti
 - Alcuni ambiti applicativi
 - Wireless sensor networks
 - Approccio alla progettazione
 - Piattaforme di prototipazione
 - Tipologie di sistemi
 - Approccio alla progettazione

Sistemi Embedded
2010/2011

2

Architettura e progettazione

Architettura e progettazione

- La definizione dell'architettura di un sistema embedded è uno degli aspetti più critici di tutta la progettazione
 - Un errore di valutazione in questa fase, infatti, può avere gravi effetti sull'esito del progetto, in termini di qualità e di costi
 - In generale si può scomporre lo sviluppo nelle seguenti fasi
 - Definizione delle specifiche di sistema
 - Definizione dell'architettura del sistema (HW o HW/SW)
 - Partizionamento in hardware, software e comunicazione
 - Implementazione delle sezioni hardware, software e di comunicazione
 - Produzione

Architettura e progettazione

- Problema
 - Più si procede nello sviluppo, maggiore è lo sforzo necessario alla riprogettazione
- Sfortunatamente l'eterogeneità dei sistemi embedded e la varietà dei vincoli rendono difficile definire criteri di massima per la scelta di una “buona” architettura
 - Non esistono assodate metodologie generali pensate a questo scopo e spesso l'unica possibilità è quella di ricorrere alle indicazioni di progettisti con alle spalle una grande esperienza
 - Criteri empirici e di valutazioni qualitative che possono servire a indirizzare la decisione in una certa direzione

Sistemi Embedded
2010/2011

5

Architettura e progettazione

- Prima di entrare nel merito di alcune delle più comuni soluzioni architettureali (HW), è utile descriverne molto sinteticamente le caratteristiche principali, in modo da fornire una panoramica generale dello spettro di alternative disponibili
 - Circuiti stampati
 - System-on-chip
 - Sistemi (embedded) distribuiti

Sistemi Embedded
2010/2011

6

Architettura e progettazione

- Circuiti stampati (*Printed Circuit Board*)
 - Un circuito stampato o PCB è una soluzione architettuale basata sull'assemblaggio di componenti, eventualmente progettati specificamente per l'applicazione in questione, su di una basetta di materiale plastico che realizza tutte le interconnessioni necessarie

Architettura e progettazione

- System-on-chip
 - Si tratta di un'architettura basata su un singolo chip in tecnologia integrata che ospita l'intero sistema
 - In pratica, piccole porzioni del sistema si trovano al di fuori del chip (connettori, antenne, slot di alloggiamento di memorie flash, ecc...) montate su un semplice PCB
 - La differenza con un PCB sta nell'approccio alla progettazione che, in questo caso, può sfruttare efficacemente tutti i benefici offerti dalle tecnologie ad altissima scala d'integrazione
 - A seconda della struttura interna si parla di
 - SoC
 - MPSoC
 - MCM
 - NoC

Architettura e progettazione

- Sistemi embedded distribuiti (o *networked*)
 - Sono sistemi che realizzano una funzionalità complessa avvalendosi di più sottosistemi distinti fortemente interagenti tra loro mediante reti di comunicazione wired e/o wireless
 - Un esempio di notevole interesse è costituito dalle WSN
 - Sistemi costituiti da insiemi di nodi, ognuno dotato di sensori, di una limitata capacità di calcolo e interfacce wireless per la comunicazione
 - Altri esempi si incontrano in automotive dove diversi sottosistemi, tipicamente wired, controllano le diverse funzioni di un autoveicolo
 - Similmente, in domotica si incontrano sistemi, sia cablati sia wireless, che realizzano funzioni che vanno dall'intrattenimento e dalla sicurezza domestica, alla teleassistenza di persone anziane

Sistemi Embedded
2010/2011

9

Architettura e progettazione

- In ogni caso...
 - Un supporto ormai essenziale allo sviluppo di un sistema embedded di una certa complessità è offerto dalle board di prototipazione
 - Tali sistemi, basati su FPGA, DSP o entrambi, integrano diversi dispositivi e periferiche e permettono di sviluppare in tempi relativamente rapidi intere applicazioni
 - Grazie al fatto che i problemi d'integrazione e interfacciamento sono stati risolti a monte dai produttori, tali board consentono al progettista di concentrare gli sforzi sull'applicazione specifica

Sistemi Embedded
2010/2011

10

Printed Circuit Board

Printed Circuit Board

- I sistemi basati su PCB utilizzano e integrano **componenti** disponibili sul mercato o realizzati appositamente per l'applicazione
 - I componenti disponibili sul mercato sono chiamati COTS
 - Questo stesso acronimo viene utilizzato per riferirsi all'approccio di progettazione che ne fa largo uso e ai sistemi che ne risultano
- Salvo rarissimi casi, qualsiasi sistema embedded nella sua forma finale si presenta come un PCB
 - Si parla di sistemi **basati** su PCB solo quando la funzionalità complessiva è realizzata mediante l'uso di molti componenti che svolgono funzionalità elementari

Printed Circuit Board

- Componenti

- Nell'affrontare la progettazione basata su PCB il primo problema a cui far fronte consiste nell'individuare e nello scegliere i COTS
 - A prescindere dalla natura specifica del sistema, le tipologie di componenti più comunemente utilizzate sono le seguenti
 - Componenti passivi
 - » Connettori, socket, dip-switch, pulsanti, LED, resistori, condensatori e induttori
 - Sistemi di alimentazione
 - » Ogni sistema deve essere alimentato mediante una opportuna rete di distribuzione e controllo delle alimentazioni
 - Convertitori e filtri
 - » Su PCB che si interfacciano al mondo esterno mediante segnali analogici, si trovano filtri, convertitori ADC e DAC, amplificatori, oscillatori e in alcuni casi, stadi di potenza
 - ...

Sistemi Embedded
2010/2011

13

Printed Circuit Board

- Componenti

- Componenti elettro-ottici
 - » Componenti che fungono da interfaccia tra segnali di natura elettromagnetica e segnali di natura ottica come i disaccoppiatori, i fotodiodi, i rivelatori infrarossi
- Componenti a radiofrequenza
 - » Antenne e stadi di amplificazione, modulazione e demodulazione
- Display
 - » Display LED a 7-segmenti, display LCD alfanumerici, LCD grafici monocromatici e a colori, display al plasma e touch-screen
- Sensori
 - » Componenti in grado di rilevare e misurare una specifica grandezza fisica e codificare questa informazione mediante una grandezza elettrica
- Componenti digitali
 - » Nella maggior parte dei sistemi embedded, l'elaborazione dei dati avviene principalmente nel dominio digitale, sia hardware sia software
 - » La varietà di questi componenti è amplissima e spazia dai circuiti integrati dedicati, alle logiche programmabili, ai microprocessori e microcontrollori e altri ancora

Sistemi Embedded
2010/2011

14

Printed Circuit Board

- Componenti
 - Scelto un componente, spesso si può di scegliere il package, il contenitore che lo protegge e rende accessibili i contatti elettrici
 - Caratteristiche distintive del package
 - Tecnica di montaggio
 - » Montaggio passante (Through-Hole) e superficiale (Surface Mounted)
 - Posizionamento dei pin
 - » In relazione al posizionamento dei pin, si distinguono quattro tipologie
In-Line: SIP, DIP, PDIP; *Small-Outline*: SOJ, SOP, TSOP
Quad Surface Mount (CC, QFP); *Grid Array* (PGA, BGA)
 - Materiale del package
 - » La maggior parte dei package è realizzata in materiale plastico oppure in materiale ceramico

Sistemi Embedded
2010/2011

15

Printed Circuit Board

- Componenti
 - A seconda della tecnica di montaggio, del posizionamento e del numero dei pin e del materiale utilizzato, si ha poi una vasta gamma di package con caratteristiche molto variabili
 - Parametri d'interesse influenzati da tali scelte
 - Efficienza
 - » Misura il rapporto tra l'area del *die* e l'area del package
 - Pin-count
 - » Numero di pin (8-2000)
 - Pitch
 - » Spaziatura tra i pin (2.5-0.6 mm)
 - Resistenza termica
 - » Capacità di dissipare calore generato dalla dissipazione di potenza causata dall'elettronica del *die* verso l'esterno del package (°C/W)

Sistemi Embedded
2010/2011

16

Printed Circuit Board

- Supporto
 - Il supporto per i componenti costituisce la printed circuit board vera e propria ed è costituito da tre differenti materiali
 - Conduttore
 - Isolante
 - Materiale adesivo (isolante)

Printed Circuit Board

- Supporto
 - Conduttore
 - Il conduttore utilizzato per eccellenza è il rame
 - Con questo materiale si fabbricano le piste delle interconnessioni, i piani di alimentazione e massa e tutte le zone di contatto sulle quali sono saldati i piedini dei componenti
 - Nelle board multistrato si utilizzano in genere 4-8 strati per alimentazione e massa e altri 6-10 strati per le interconnessioni

Printed Circuit Board

- Supporto
 - Isolante
 - Il materiale isolante ha il duplice scopo di isolare elettricamente le piste delle interconnessioni le une dalle altre e di fornire un supporto meccanico per il montaggio dei componenti
 - Il materiale di gran lunga più utilizzato è una particolare fibra di vetro (Fiberglass Epoxy Resin) indicata con le sigle FR-2 e FR-4
 - In casi molto particolari si ricorre a materiali diversi quali, per esempio, il Kevlar oppure il Kapton, utilizzato per realizzare supporti flessibili

Printed Circuit Board

- Supporto
 - Adesivo
 - I vari strati di dielettrico sui quali sono state tracciate le linee di conduttore vengono uniti mediante materiale adesivo, tipicamente vetro-resina pre-impregnata con resine adesive epossidiche
 - Tali materiali, noti con il nome generico di *pre-preg*, a temperatura ambiente si presentano come fogli solidi e non adesivi; in condizioni di pressione e temperatura adeguate, le resine diminuiscono di viscosità divenendo adesive e mantenendo le proprietà isolanti
 - Riportando la board a temperatura ambiente e in condizioni di pressione normale, le resine epossidiche solidificano nuovamente e assumono le proprietà chimiche, elettriche e meccaniche richieste al prodotto finito

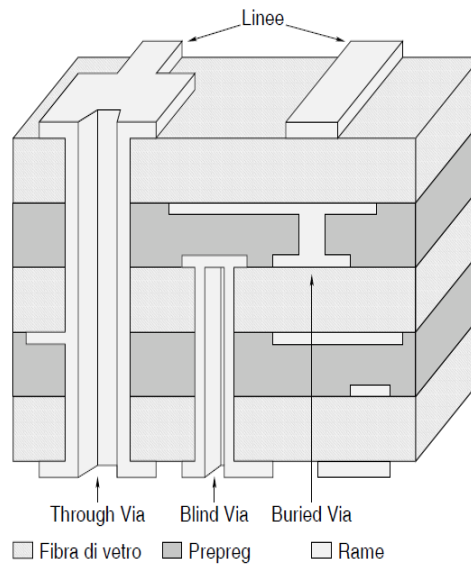
Printed Circuit Board

- Tranne che nei casi più semplici, una board è costituita da più strati di materiale isolante, sulle cui facce sono fabbricate le tracce di materiale conduttore, separate da strati di pre-preg
- Il processo di fabbricazione dei PCB, piuttosto complesso e delicato, prevede una sequenza di fasi riassunte brevemente nel seguito
 - Il punto di partenza di tale processo è costituito da file (Gerber, Excellon, ecc...) che sono il risultato del flusso di progettazione

Printed Circuit Board

- Fasi del processo di fabbricazione di un PCB
 - Preparazione dei supporti dielettrici
 - Fabbricazione delle tracce conduttive
 - Si usa una resina fotosensibile (*photoresist*) che, illuminata selettivamente, diviene resistente a opportuni acidi. Con questi le zone non protette vengono rimosse creando così le piste
 - Assemblaggio degli strati
 - Gli strati fabbricati mediante processo fotolitografico vengono impilati alternati a fogli di pre-preg e inseriti in una pressa riscaldata
 - Foratura (*via*)
 - Fabbricazione degli strati esterni
 - Finitura

Printed Circuit Board

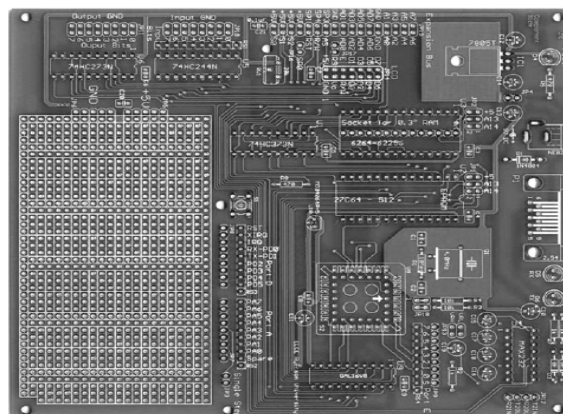


Sistemi Embedded
2010/2011

23

Printed Circuit Board

- Risultato finale della fabbricazione



Sistemi Embedded
2010/2011

24

Printed Circuit Board

- Terminata la fabbricazione della board è necessario procedere al testing elettrico (*bare-board testing*) per verificare se i punti di contatto siano connessi o isolati
 - Il modo più semplice per effettuare tale test consiste nel misurare la resistenza tra coppie di punti
 - Tester letto di chiodi (*bed-of-nails*)
 - Tester *flying-probe*
 - Fotografia a raggi X
 - *Image recognition*
- Il board-testing è un processo lento, costoso e delicato
 - Spesso si usano tecniche di progetto che integrano nel sistema una sezione (non funzionale) di supporto al debugging e testing

Sistemi Embedded
2010/2011

25

Printed Circuit Board

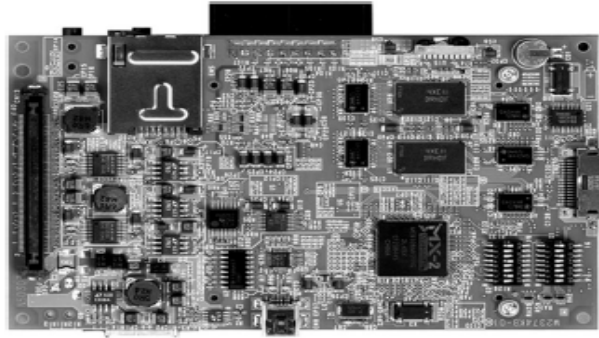
- Montaggio dei componenti
 - Per board di piccole dimensioni e per volumi limitati (es. prototipi), il montaggio (posizionamento e saldatura) viene effettuato manualmente da personale specializzato
 - Quando la complessità della board, i volumi e soprattutto la tipologia di componenti utilizzati rendono il montaggio manuale non praticabile, è necessario ricorrere ad apposite macchine
 - Speso, chi sviluppa un sistema su PCB si limita alla progettazione, commissionando all'esterno la fabbricazione e il montaggio
 - Il problema principale del montaggio manuale riguarda la precisione richiesta nel posizionamento dei componenti e nella saldatura
 - » Per package di tipo SIP o DIP la spaziatura dei pin consente di realizzare la saldatura manualmente, mentre per QFP, PGA o BGA ciò non è possibile

Sistemi Embedded
2010/2011

26

Printed Circuit Board

- Risultato finale della saldatura



Sistemi Embedded
2010/2011

27

Printed Circuit Board

- Approccio alla progettazione
 - La progettazione di un sistema su PCB comporta le tipiche problematiche di progettazione dei sistemi complessi ed eterogenei
 - Siccome una board può integrare diversi componenti dedicati e uno o più microprocessori, è indispensabile organizzare il piano di sviluppo, in modo che vari gruppi possano lavorare in parallelo fino alla fase finale d'integrazione e verifica a livello di sistema
 - Il primo passo consiste in un corretto partizionamento delle funzionalità non solo rispetto al dominio di pertinenza (hardware o software) ma anche rispetto ai singoli dispositivi
 - » Definire con precisione i segnali d'ingresso e uscita dei singoli componenti e l'assegnazione di tali segnali logici ai pin fisici dei singoli chip (*pin-out*)

Sistemi Embedded
2010/2011

28

Printed Circuit Board

- Approccio alla progettazione
 - I criteri che guidano il partizionamento sono diversi e non necessariamente di carattere strettamente funzionale
 - Numero di segnali necessari a connettere due diversi chip
 - All'aumentare del numero di pin si alza il costo di un dispositivo e al tempo stesso cresce la complessità della board
 - Caratteristiche di banda dei segnali in gioco
 - Con frequenze molto elevate è preferibile, ove possibile, non portare i segnali sulla board ma mantenere le sezioni che devono comunicare su un singolo chip
 - Ritardi dei segnali che viaggiano sulla board
 - Data la dimensione e la lunghezza delle piste sulla board rispetto alle connessioni interne ai singoli chip, si ha a che fare con costanti di tempo, molto più elevate
 - Fissati partizionamento e pin-out, i team di progetto e il gruppo di sviluppo della board possono procedere in parallelo

Sistemi Embedded
2010/2011

29

Printed Circuit Board

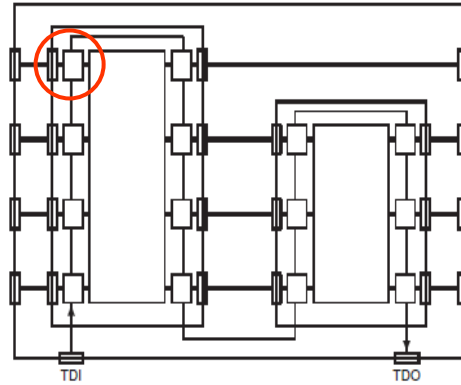
- Approccio alla progettazione
 - Come già detto, il problema del testing della board è molto critico
 - *Boundary scan testing*
 - Metodologia che prevede la realizzazione di una catena, costituita da opportune celle basate su flip-flop e multiplexer, che interessa tutti i pin di tutti o di una parte dei dispositivi montati su una board
 - » In condizioni normali, i registri interessati dalla *scan chain* sono connessi agli ingressi e/o uscite effettive del sistema
 - » In modalità test, tali registri implementano un registro a scorrimento, detto *scan chain*, che permette di portare il valore logico desiderato su pin del sistema o, di leggere il valore logico su un pin e portarlo all'esterno
 - La stessa tecnica, applicata a livello di blocco logico integrato viene utilizzata per consentire il testing dei sistemi su singolo chip

Sistemi Embedded
2010/2011

30

Printed Circuit Board

- Approccio alla progettazione
 - Boundary scan testing a livello di board



Sistemi Embedded
2010/2011

31

System-on-Chip

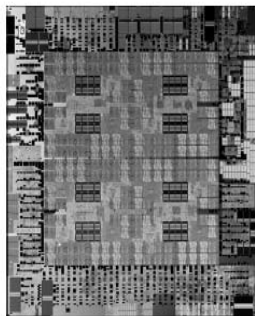
Sistemi Embedded
2010/2011

32

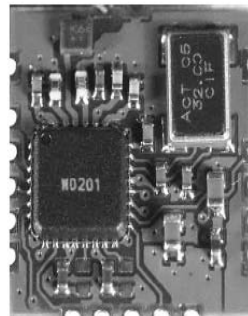
System-on-Chip

- Nell'accezione più generale, con il termine System-on-Chip si indica un sistema completo realizzato integrando tutte le sue parti su un singolo chip di silicio
 - Un SoC raccoglie tutte le funzioni principali di un dato sistema, in modo da limitare il numero di componenti esterni necessari
- Alcune porzioni del sistema non potranno però essere integrate a causa delle loro caratteristiche elettriche e/o meccaniche
 - Un SoC, per essere utilizzabile, deve quindi essere montato su una board che sarà presumibilmente molto semplice

System-on-Chip



a. Die di un system on chip (IBM)



b. Piccolo system on chip montato board

System-on-Chip

- Le ragioni per approcciare la progettazione di un sistema secondo il paradigma SoC sono diverse e partono da considerazioni di natura differente
 - Costo unitario
 - Prestazioni
 - Assorbimento energetico
 - Ingressi/uscite
 - Sicurezza
 - Proprietà intellettuale
 - Dati sensibili

System-on-Chip

- Il concetto di SoC assume una grande varietà di sfumature, principalmente legate all'architettura del sistema stesso
 - Uno o più microprocessori anche eterogenei
 - Diversi tipi di memorie
 - Blocchi digitali dedicati e specifici dell'applicazione
 - Core digitali standard
 - Encoder/decoder, filtri, FFT
 - Blocchi di temporizzazione
 - Timer, watchdog, oscillatori, phase locked loop
 - Blocchi di alimentazione
 - Interfacce
 - ADC, DAC, interfacce seriali e parallele standard, interfacce di rete

System-on-Chip

- Approccio alla progettazione
 - Come per la progettazione di sistemi su board, anche in questo caso il primo passo consiste nel partizionamento del sistema
 - Dal momento che ogni funzionalità sarà realizzata utilizzando la stessa tecnologia, i criteri che guidano il partizionamento sono prevalentemente di natura funzionale/prestazionale
 - La connettività è un problema meno critico rispetto ai sistemi su PCB
 - Una volta definito il partizionamento in termini di funzionalità hardware e software, resta da decidere come allocare le varie funzionalità sulle diverse risorse di calcolo

Sistemi Embedded
2010/2011

37

System-on-Chip

- Approccio alla progettazione
 - In base all'allocazione scelta si passa quindi alla definizione della gerarchia di memoria e delle politiche di accesso
 - Soluzione centralizzata vs. Soluzione distribuita
 - A guidare la definizione dell'architettura di memoria sono prevalentemente considerazioni di prestazioni e di località
 - In generale, una maggiore località migliora le prestazioni dei sottosistemi ma comporta una maggiore complessità di comunicazione, sincronizzazione e gestione della coerenza dei dati
 - Un sistema più centralizzato risolve i problemi di coerenza e semplifica i meccanismi di comunicazione ma si ha spesso un peggioramento delle prestazioni dovuto a conflitti di accesso

Sistemi Embedded
2010/2011

38

System-on-Chip

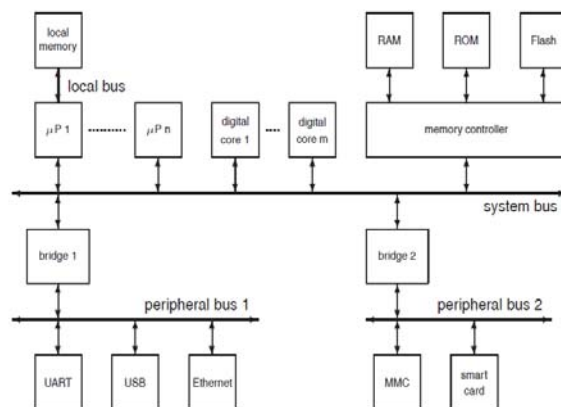
- Approccio alla progettazione
 - Strettamente legata alla struttura delle memorie e al partizionamento delle funzionalità è la definizione dell'infrastruttura di comunicazione
- La scelta tradizionale (gerarchia di bus) sta perdendo popolarità a favore di un'architettura NoC, in cui una piccola rete, completa di meccanismi d'indirizzamento e routing, smista delle informazioni
 - Questa architettura, pur richiedendo risorse hardware abbastanza complesse, risolve diversi problemi, tra cui il principale è sicuramente la sincronizzazione di sottosistemi con clock differenti
 - » L'architettura NoC, inoltre, ben si presta alla scalabilità dei sistemi
 - » Una topologia differente e basata sull'uso di più switch è l'architettura mesh

Sistemi Embedded
2010/2011

39

System-on-Chip

- Approccio alla progettazione
 - Struttura a bus gerarchici

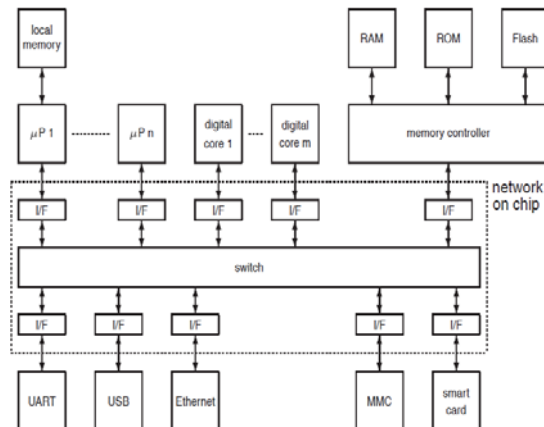


Sistemi Embedded
2010/2011

40

System-on-Chip

- Approccio alla progettazione
 - NoC Centralizzato

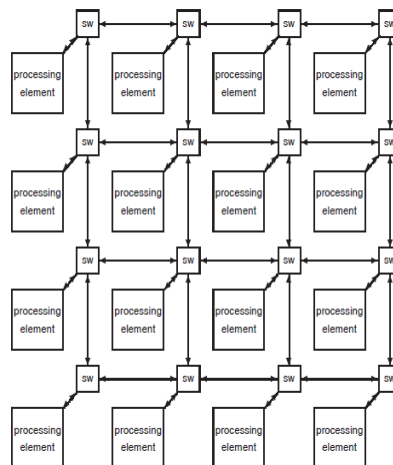


Sistemi Embedded
2010/2011

41

System-on-Chip

- Approccio alla progettazione
 - NoC Meshed



Sistemi Embedded
2010/2011

42

System-on-Chip

- Design for testability
 - Architetture basate su singolo chip: problema della verifica
 - Con i componenti discreti si possono testare i singoli componenti prima dell'integrazione e poi procedere al test di sistema
 - Una simile strategia non può essere adottata per i SoC poiché non è pensabile fabbricare i moduli separati unicamente allo scopo di testarli
 - Benché i sistemi di prototipazione offrano una possibile via d'uscita, il problema viene affrontato in fase di progettazione
 - Metodologia di progettazione mirata alla semplificazione del testing che prevede di introdurre una serie di moduli aggiuntivi, unicamente dedicati a fornire un supporto alla successiva fase di test

System-on-Chip

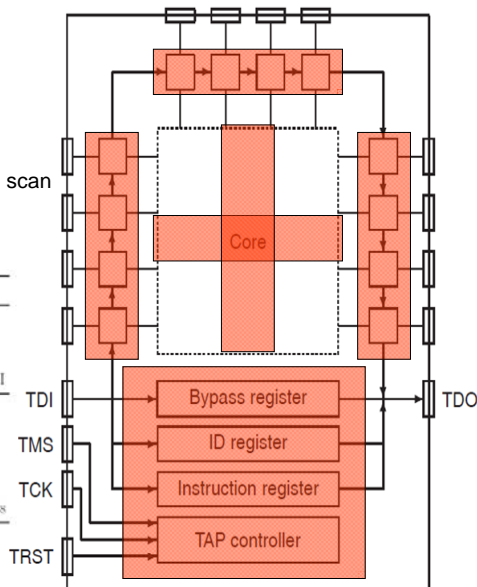
- Design for testability
 - Boundary, partial e full scan (concetto già visto per i PCB)
 - Oltre al boundary scan, si hanno strutture dette partial o full scan, a seconda che le catene coinvolgano tutti o parte dei i registri del chip
 - Il full scan richiede molte risorse ed è complesso da gestire
 - Il partial scan se ben organizzato, garantisce un ottimo supporto
 - Per poter effettuare operazioni di testing complesse è necessario poter configurare e usare la catena di scan in diversi modi
 - TAP controller (*Test Access Port controller*): interpreta un semplice protocollo costituito da alcuni comandi di configurazione
 - » La struttura del TAP controller, il protocollo di comunicazione e i comandi di configurazione sono definiti dallo standard: IEEE 1149.1 JTAG (Joint Test Action Group)

System-on-Chip

- Design for testability
 - Boundary, partial e full scan
 - Architettura JTAG
 - TAP controller e registri di scan

Istruzione	Registro	Descrizione
EXTEST	Scan	Test delle linee di connessione tra i dispositivi su board
BYPASS	Bypass	Connette TDI a TDO, saltando la catena di scan
SAMPLE	Scan	Carica nel registro di scan i valori alle uscite del core
PRELOAD	Scan	Carica nel registro di scan i valori impostati tramite TDI
INTTEST	Scan	Applica un pattern agli ingressi del core
IDCODE	ID	Legge l'identificativo memorizzato nel registro ID
USERCODE	ID	Legge un identificativo opzionale
RUNBIST	—	Attiva il BIST (vedi oltre)
CLAMP	Bypass	Fissa i valori sulla scan chain e seleziona bypass
HIGHZ	Bypass	Porta i pin di uscita in alta impedenza e seleziona bypass

Sistemi Embedded
2010/2011



System-on-Chip

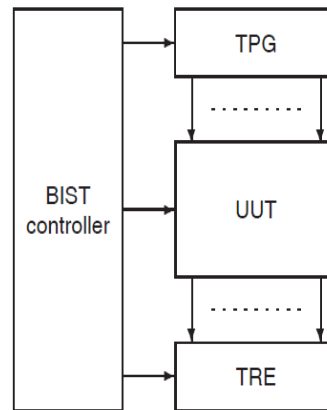
- Design for testability
 - BIST
 - I test realizzabili mediante scan si rivelano spesso insufficienti o inefficienti nei sistemi di elevata complessità
 - Il limite sta nel fatto che l'applicazione di tali tecniche è svolta a una frequenza più bassa di quella operativa del sistema e deve essere controllata dall'esterno
 - A supporto di queste tecniche è stata sviluppata una famiglia di strategie di verifica interna e automatica detta *Built-In Self-Test*
 - Architettura integrata in cui un generatore di vettori di test (TPG) produce come uscite sequenze di vettori di test che vengono inviati alla UUT (Unit Under Test) sotto il controllo di una unità di gestione, il BIST controller
 - » Le uscite prodotte dalla UUT vengono poi analizzate da una struttura hardware dedicata, detta ORA (Output Response Analyzer) o TRE (Test Response Evaluator)

Sistemi Embedded
2010/2011

46

System-on-Chip

- Design for testability
 - BIST
 - Architettura generale
 - TPG
 - » Test esaustivo
 - » Test statistico
 - » Test segmentato
 - TRE (ORA)
 - » Signature based



Sistemi embedded distribuiti

Sistemi embedded distribuiti

- Sistemi in cui l'elaborazione e la memorizzazione dei dati non sono centralizzate su un singolo apparato ma suddivise tra sistemi opportunamente connessi
 - Un sistema effettivamente distribuito è costituito da un numero non esiguo di sottosistemi e dove la mole di dati memorizzati e la capacità di calcolo sono distribuite equamente tra le parti
 - *Distributed vs. Networked*
- Quando la rete d'interconnessione e di comunicazione ha una struttura non banale, l'approccio al progetto tradizionale non è più sufficiente e deve essere integrato con tecniche specifiche
 - Una volta affrontato il problema nel suo insieme è poi possibile seguire le metodologie viste per lo sviluppo di PCB o di SoC

Sistemi Embedded
2010/2011

49

Sistemi embedded distribuiti

- Due classi principali in base alla tipologia di connessione e di comunicazione
 - Sistemi wired
 - Infrastruttura di comunicazione fissa e nota
 - Sistemi wireless
 - Infrastruttura di comunicazione più flessibile e più complessa
 - Applicazioni distribuite cablate: domotica e automotive
 - Grande interesse stanno riscuotendo sistemi noti come *Sensor Networks*, basati su comunicazione cablata o wireless
 - Questi ultimi, detti *Wireless Sensors Networks*, trovano applicazioni sempre nuove in settori che vanno dalla telemedicina, alla protezione ambientale, al monitoraggio dei beni culturali, ecc...

Sistemi Embedded
2010/2011

50

Sistemi embedded distribuiti

- Ambiti applicativi
 - Domotica
 - L'automazione degli ambienti domestici è un ambito in cui i sistemi distribuiti trovano una naturale applicazione per via dell'elevato numero di apparati che possono essere controllati
 - Da semplici interruttori e prese elettriche, a dispositivi di allarme posizionati sui serramenti, a una grande varietà di elettrodomestici, fino a interi sistemi d'intrattenimento audio/video
 - » Un approccio alla progettazione per la domotica deve confrontarsi con la necessità di interfacciare dispositivi con livelli molto diversi d'intelligenza
 - Diverse soluzioni, anche disponibili commercialmente, si basano sull'uso di un sistema centrale di controllo che racchiude la maggior parte della logica di controllo e un insieme di nodi molto semplici per il rilevamento o il controllo di aspetti specifici

Sistemi Embedded
2010/2011

51

Sistemi embedded distribuiti

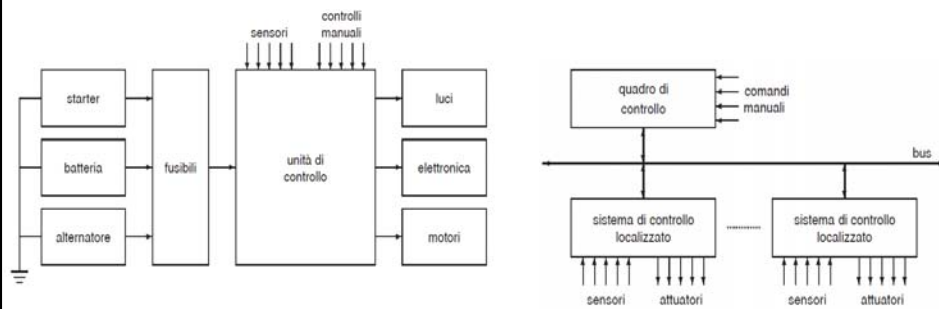
- Ambiti applicativi
 - Automotive
 - Automazione e del controllo di apparati che si trovano su un generico mezzo di trasporto
 - L'approccio tradizionale consiste nell'uso di una unità centrale che pilota un insieme di apparati di attuazione
 - Tali apparati sono connessi al sistema centrale mediante cavi dedicati
 - A spingere verso una soluzione distribuita sono diversi fattori, spesso con una ricaduta economica non trascurabile
 - Sicurezza: i moltissimi cavi utilizzati dalla soluzione centralizzata sono una pericolosa fonte di malfunzionamento oltre ad avere un costo e un peso rilevanti

Sistemi Embedded
2010/2011

52

Sistemi embedded distribuiti

- Ambiti applicativi
 - Automotive
 - Architettura centralizzata e distribuita



Sistemi Embedded
2010/2011

53

Sistemi embedded distribuiti

- Wireless Sensor Networks
 - Una rete wireless di sensori è una rete che consiste di dispositivi autonomi, i **nodi sensore**, distribuiti nello spazio e dotati di diversi sensori, che cooperano al fine di fornire una funzione complessiva di monitoraggio dell'ambiente circostante
 - Benché il nome ponga l'accento sugli aspetti sensoristici, ogni nodo integra, oltre ai sensori veri e propri, diversi componenti tra cui un microprocessore, una piccola quantità di memoria, un transceiver, un'antenna e una sorgente di energia e, a volte, anche attuatori
 - La dimensione e la potenza di calcolo di un singolo nodo possono variare significativamente
 - Si spazia da nodi complessi e potenti, delle dimensioni di un computer portatile, fino a nodi estremamente semplici e piccoli

Sistemi Embedded
2010/2011

54

Sistemi embedded distribuiti

- Wireless Sensor Networks

- Esempi di nodi

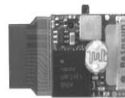
- [Lista](#)



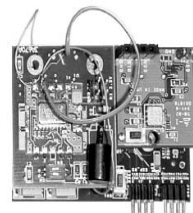
a. Nodo Mica di Crossbow.



b. Nodo Mica2dot di Crossbow.



c. Nodo EcoMote di UC Irvine.



d. Nodo di Gnome di Rice University.

Sistemi Embedded
2010/2011

55

Sistemi embedded distribuiti

- Wireless Sensor Networks

- A prescindere dalla specifica realizzazione e dai singoli componenti utilizzati per i nodi, le WSN possono presentare alcune caratteristiche peculiari e distintive

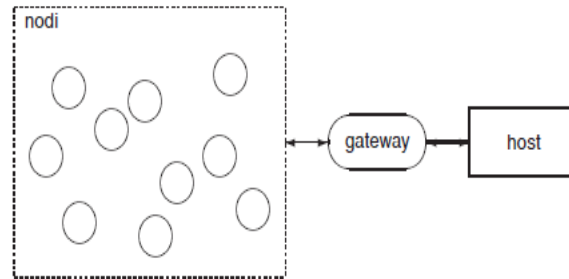
- Capacità limitata di offrire, raccogliere e accumulare energia
 - Esposizione a condizioni ambientali potenzialmente critiche
 - Eterogeneità dei nodi
 - Mobilità dei nodi
 - Guasti e possibile rottura definitiva dei singoli nodi
 - Malfunzionamenti degli apparati di comunicazione
 - Topologia variabile dell'infrastruttura di rete
 - Capacità di funzionare per tempi lunghi senza manutenzione

Sistemi Embedded
2010/2011

56

Sistemi embedded distribuiti

- Wireless Sensor Networks
 - Architettura di sistema



Sistemi Embedded
2010/2011

57

Sistemi embedded distribuiti

- Wireless Sensor Networks
 - Approccio alla progettazione
 - Modello del sistema
 - Nodi fisici vs. Componenti funzionali
 - Computazione locale vs. Comunicazione
 - Architettura hardware dei nodi
 - Microprocessore/Microcontrollore
 - » IBM 8051, Atmel ATmega 128L, XScale PXA271, Philips CoolFlux, Cambridge Consultant 16-bit XAP2b e Texas Instruments MSP430
 - Chipset per la comunicazione e la corrispondente antenna
 - » ChipCom CC1000 e CC2420
 - Bus di comunicazione locale
 - » SPI, I2C o proprietari

Sistemi Embedded
2010/2011

58

Sistemi embedded distribuiti

- Wireless Sensor Networks
 - Approccio alla progettazione
 - Architettura software dei nodi
 - Data la necessità di stack protocollari, timer, allarmi, input/output, interruzioni, è molto comune dover utilizzare un sistema operativo
 - » TinyOS, MANTIS, FreeRTOS, SOS, Contiki
 - Modello di programmazione
 - Il modello di programmazione di una rete di sensori fornisce un supporto all'accesso ai dati e alle risorse di calcolo della rete
 - » A oggi, il modello più comune è quello delle basi di dati distribuite
 - Una volta definito il modo in cui il sistema espone (o vede) i dati è necessario stabilire come utilizzarli a livello applicativo e come strutturare l'applicazione nell'insieme
 - » Query, Eventi, Thread, Publish/Subscribe

Sistemi embedded distribuiti

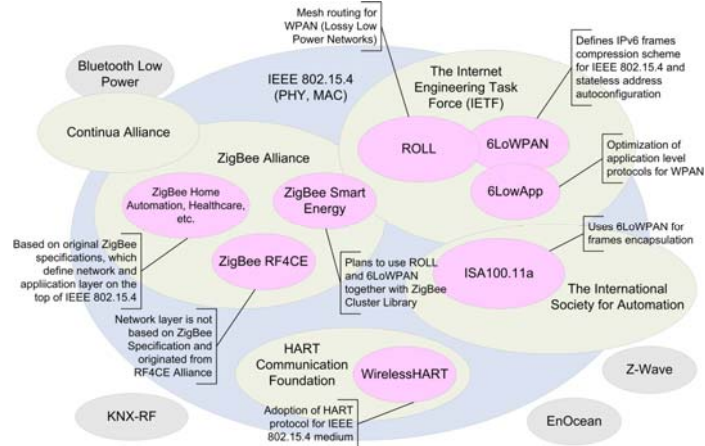
- Wireless Sensor Networks
 - Approccio alla progettazione
 - Protocolli
 - I protocolli di comunicazione impiegati nelle WSN sono diversi ed eterogenei
 - » Ai livelli più bassi, ci si appoggia a protocolli standard quali IEEE 802.15.4, SP-100.11a, IETF 6lowpan, Bluetooth, ecc...
 - Un aspetto essenziale è la riconfigurabilità dinamica della topologia della rete che, in molti casi reali, è soggetta a cambiamenti
 - » Specifici algoritmi di routing: SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation), Directed Diffusion, Rumor Routing, Q-RC (Q-learning Routing and Compression), ecc...

Sistemi embedded distribuiti

- Wireless Sensor Networks
 - Approccio alla progettazione: Protocolli

Attualmente sono in corso, a livello sia accademico sia industriale, molti progetti di ricerca mirati alla definizione di metodologie di progetto e relativi strumenti software di supporto

Sistemi Embedded
2010/2011



Piattaforme di prototipazione

Sistemi Embedded
2010/2011

62

Piattaforme di prototipazione

- La definizione dell'architettura e la scelta di una tecnologia hanno un grande impatto sulla progettazione del sistema
- Una volta definita la struttura di massima, si procede allo sviluppo e alla verifica delle macro-funzionalità
 - Co-Simulazione
 - Gli ambienti di simulazione hw/sw, offrono un supporto nelle fasi iniziali ma risultano insufficienti per una verifica completa
 - In molti casi, il sistema prevede l'uso di COTS di terze parti per i quali non sono disponibili modelli di simulazione
 - Un altro limite sta nel tempo di calcolo richiesto che rende difficile verificare il sistema in casi d'uso realistici

Sistemi Embedded
2010/2011

63

Piattaforme di prototipazione

- Per questo si ricorre pressoché sempre a sistemi di sviluppo che offrano una piattaforma di prototipazione
 - Una piattaforma altamente configurabile appoggiandosi alla quale è possibile sviluppare una versione prototipale del sistema
 - Grazie a tali piattaforme si può procedere a una verifica più completa ed esaustiva del sistema implementato
- Tale prototipo, costituito in generale da sezioni HW dedicate, componenti standard, SO e SW applicativo, è inserito in un contesto ambientale realistico e utilizzato direttamente per la verifica
 - Questo tipo di approccio prende il nome di **emulazione** e, vista la complessità dei sistemi odierni, costituisce una fase imprescindibile del flusso di progettazione

Sistemi Embedded
2010/2011

64

Piattaforme di prototipazione

- Tipologie di sistemi di sviluppo
 - Sistemi di emulazione digitali semplici
 - Board che integrano in genere un dispositivo programmabile (FPGA o CPLD) e poche semplici interfacce digitali standard (RS-232, USB, JTAG)
 - Utilizzati per la verifica di funzionalità non particolarmente critiche
 - Sistemi di emulazione digitali complessi
 - Board che forniscono uno o più componenti digitali programmabili, memorie esterne (RAM, E2PROM, Flash), svariate interfacce (PCI, PCI Express, Serial ATA, Ethernet, FireWire, GPIO), sezioni per il controllo e la gestione dei clock e dell'alimentazione, e sezioni d'interfacciamento e conversione AD
 - Adatte per sistemi realizzati, nella versione finale, su PCB o SoC

Sistemi Embedded
2010/2011

65

Piattaforme di prototipazione

- Tipologie di sistemi di sviluppo
 - Sistemi di emulazione software
 - Molti sistemi embedded reali sono sviluppati intorno a un elemento di calcolo centrale costituito da un microprocessore e poche interfacce verso l'esterno
 - Esistono soluzioni semplici, costituite da un singolo processore, una modesta quantità di memoria e alcune interfacce standard, e soluzioni potenti e flessibili
 - Sistemi di emulazione hardware/software
 - In questa classe rientrano sistemi, di complessità variabile, che integrano uno o più dispositivi digitali programmabili e uno o più microprocessori
 - Offrono anche una strato base di firmware (HAL/BSP), un SO e librerie per la configurazione e l'uso delle periferiche integrate

Sistemi Embedded
2010/2011

66

Piattaforme di prototipazione

- Tipologie di sistemi di sviluppo
 - Sistemi di emulazione di SoC
 - Simili alle piattaforme appena descritte, questi sistemi ne costituiscono una versione integrata su single-chip
 - In genere si tratta di FPGA di fascia molto alta che integrano al loro interno uno o più microprocessori *fusi*, cioè già realizzati sul silicio, memoria e blocchi funzionali dedicati quali moltiplicatori veloci, interfacce standard, PLL/DPLL, ecc...
 - Sistemi di emulazione Application-Specific
 - Tra questi, i casi più comuni sono i sistemi per lo sviluppo di applicazioni di rete, che dispongono di una vastissima gamma di interfacce, i kit per reti di sensori, costituiti da vari nodi e da un gateway, le piattaforme di sviluppo di applicazioni audio/video che forniscono componenti quali encoder/decoder e molti altri ancora

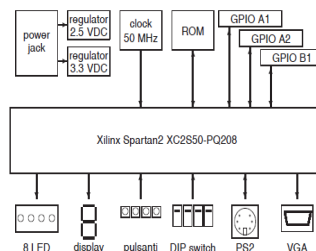
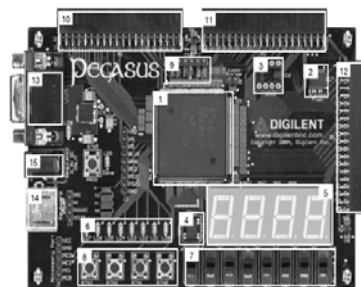
Sistemi Embedded
2010/2011

67

Piattaforme di prototipazione

- Tipologie di sistemi di sviluppo
 - Esempio: Digilent Pegasus

#	Descrizione	#	Descrizione
1	Spartan2 XC2S50-PQ208 FPGA	9	Connettore JTAG
2	XCF01S Platform Flash ROM	10	Banco A1 di connettori GPIO
3	Connettori per clock esterno	11	Banco A2 di connettori GPIO
4	Generatore di clock on-board	12	Banco B1 di connettori GPIO
5	Display LED a 7 segmenti	13	Porta VGA
6	Banco di 8 LED	14	Porta seriale PS2
7	Banco di 8 DIP switch	15	Alimentazione
8	Banco di 4 pulsanti		



Sistemi Embedded
2010/2011

68

Piattaforme di prototipazione

- Tipologie di sistemi di sviluppo
 - Esempi: XUP Virtex-II Pro (Xilinx)
 - La board si basa su una FPGA Xilinx della famiglia Virtex-II Pro
 - Sulla board ci sono poi 256MB di RAM DDR, un AC97, LED, pulsanti, switch di configurazione e interfacce varie
 - Dato che la FPGA integra due PowerPC, l'ambiente di sviluppo fornisce il firmware necessario per utilizzare diversi SO embedded
 - WxWorks di Windriver, Windows CE di Microsoft, Linux e altri
 - Per la progettazione HW, si usa l'*Embedded Development Kit* (EDK) di Xilinx, che permette di sviluppare moduli digitali dedicati e interfacciarli in modo abbastanza semplice ai due core PowerPC
 - Sistemi analoghi sono prodotti da Altera, Lattice e altri

Sistemi Embedded
2010/2011

69

Piattaforme di prototipazione

- Tipologie di sistemi di sviluppo
 - Esempi: prototipazione di software per DSP (TMDXEVM6455)
 - Il cuore di questo sistema è costituito da due processori TMS320C6455 in virgola fissa in grado di eseguire fino a 8 miliardi di istruzioni al secondo
 - Questo tipo di sistema di prototipazione è adatto allo sviluppo di soluzioni SoC, in quanto ognuno dei due processori costituisce di per sé un complesso SoC dotato di molte periferiche e interfacce
 - » 1 decoder per Turbocodici & 1 decoder Viterbi
 - Oltre alla notevolissima potenza di calcolo e alla varietà di interfacce offerte dai due processori, la board integra altri dispositivi
 - » due interfacce Ethernet
 - » un convertitore analogico/digitale a 24-bit
 - » un convertitore digitale/analogico con qualità audio

Sistemi Embedded
2010/2011

70

Piattaforme di prototipazione

- Tipologie di sistemi di sviluppo
 - Esempi: prototipazione di software per DSP (TMDXEVM6455)
 - Per poter efficacemente sfruttare una tale quantità di risorse è necessario un ambiente di sviluppo potente e flessibile quale Code Composer Studio, sviluppato e distribuito da Texas Instruments
 - Code Composer è un ambiente completo per la compilazione e il linking di applicazioni DSP che offre anche diversi strumenti di analisi e ottimizzazione quali un *instruction set simulator*, un *profiler*, un analizzatore della cache e altri
 - » Il sistema di sviluppo fornisce poi il BSP della board e un'ampia e completa libreria di supporto alle funzionalità del chip (CSL)
 - » Per poter sfruttare al meglio tali risorse e per semplificare lo sviluppo di applicazioni articolate, Texas Instruments rende disponibile infine un piccolo SO proprietario chiamato DSP-Bios

Sistemi Embedded
2010/2011

71

Piattaforme di prototipazione

- Approccio alla progettazione
 - Nello sviluppo di un sistema embedded con l'ausilio di un sistema di prototipazione si possono individuare due fasi principali: quella che porta dalla concezione al prototipo e quella che va dal prototipo al prodotto
 - Approccio che si tende a seguire per la prototipazione
 - Analisi dei requisiti
 - Identificazione della piattaforma & Reperimento
 - Progettazione
 - Realizzazione del prototipo
 - Verifica
 - Terminata la verifica, si passa a realizzare del sistema finale
 - Ciò comporta in genere un minimo di adattamento e/o riprogettazione delle funzionalità e lo sviluppo dell'intero sistema (PCB o un SoC)

Sistemi Embedded
2010/2011

72

Conclusioni

Conclusioni

- Abbiamo trattato il problema della scelta e della definizione dell'architettura HW di un sistema embedded
 - Dopo avere brevemente descritto varie soluzioni tecnologiche sono stati approfonditi alcuni casi di particolare interesse
 - La più comune delle architetture è quella basata su PCB
 - Di questa si è vista la struttura generale, il processo di progettazione e di fabbricazione e i materiali e le tecnologie impiegate
 - Il secondo tipo di soluzione architetture trattate riguarda i SoC
 - Per questa classe di sistemi si è tracciata una metodologia generica di progettazione, evidenziando gli aspetti critici e il problema del testing
 - La terza classe di architetture trattate è quella dei sistemi distribuiti
 - L'ultima parte è dedicata alle piattaforme di prototipazione
 - Questi sistemi stanno assumendo una importanza progressivamente maggiore poiché sono, di fatto, gli strumenti abilitanti per le moderne tecnologie