

XXIII Ciclo di Dottorato di Ricerca in Meccanica Applicata

*Relazione Primo Anno*

# **Mechatronic paradigm: approccio teorico, esempi ed applicazioni del modello mecatronico**

Curriculum: Sistemi Avanzati di Manifattura

Dottorando: Diego Pomi

Coordinatore: Prof. Giovanni Legnani

Tutore: Prof. Rodolfo Faglia



---

Università degli Studi di Brescia

Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale



---

Attività principali di ricerca

Attività collaterali di ricerca

Collaborazioni e progetti

Pubblicazioni

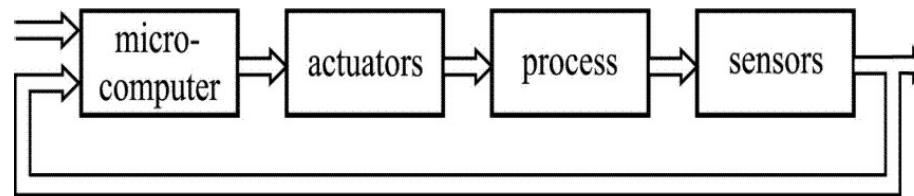
Sviluppi futuri

## Attività principali di ricerca

In generale, l'elaborazione di segnali di Input ed Output direttamente misurabili (Velocità, Posizione, Coppia, Forza/Carico) può essere organizzata per mezzo di un' ARCHITETTURA di CONTROLLO MULTI-LEVEL, con i seguenti livelli :

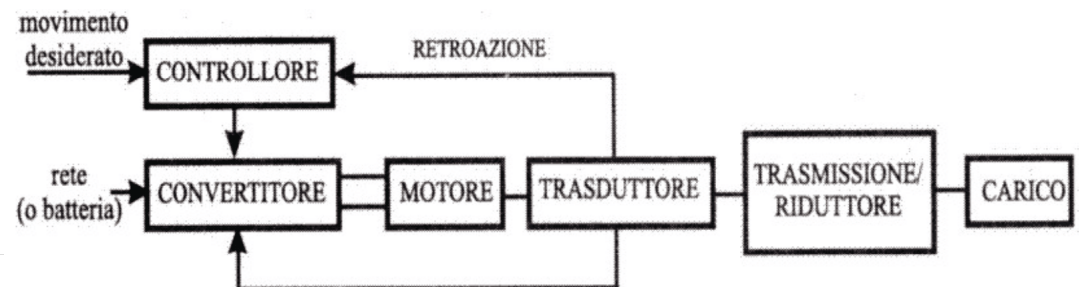
- livello 1: controlli di basso livello** (feedforward e feedback per stabilizzare o linearizzare)
- livello 2: controlli di alto livello** (strategie di avanzato controllo dei feedback)
- livello 3: supervisione e diagnosi guasti**
- livello 4: ottimizzazione, coordinazione di processi**
- livello 5: management generale di processo**

I sistemi meccanici convenzionali e gli attuali sistemi elettromeccanici sono stati **abitualmente strutturati per processare segnali ai livelli più bassi** (livello 1 e 2) e per questo presentano un'architettura semplicemente **definibile con metodologie ADDIZIONALI**.



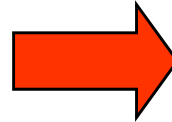
### Componenti di un azionamento elettromeccanico

Applicazione di regole o algoritmi per portare meccanicamente a termine compiti o per risolvere problemi già affrontati con successo in passato.



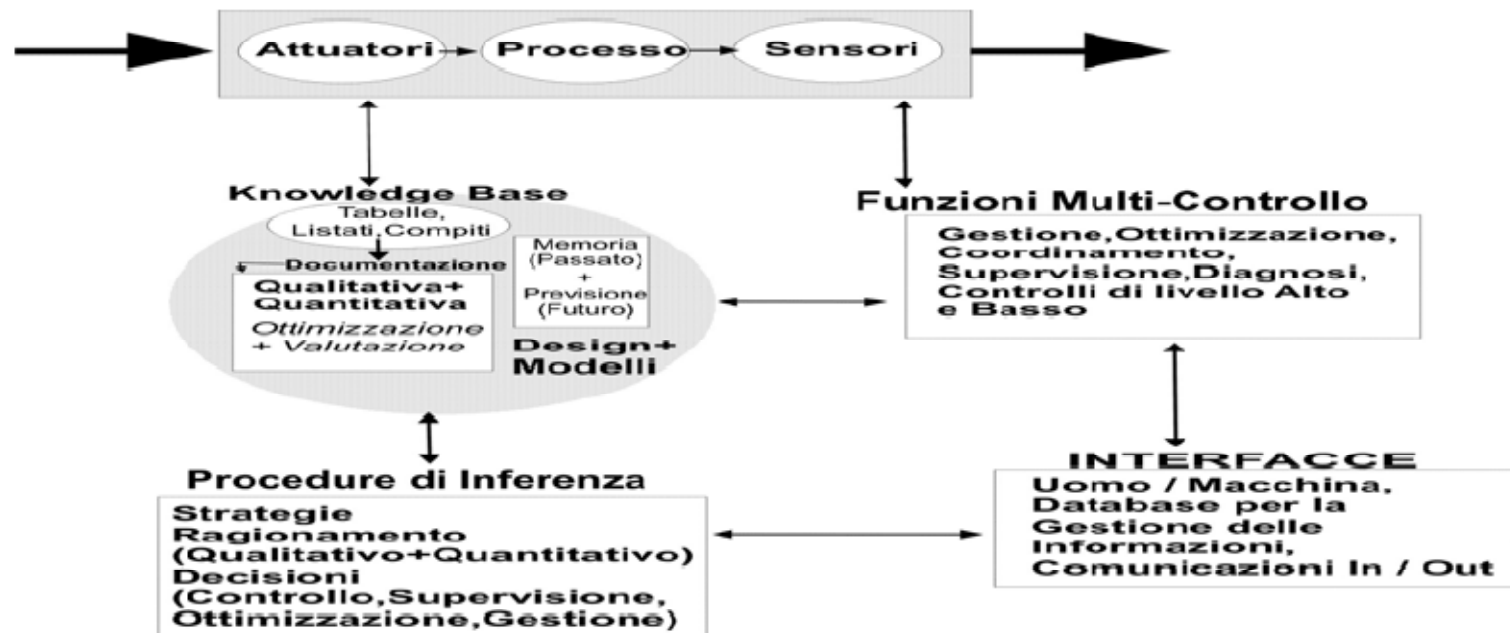
## Attività principali di ricerca

In un'ottica evoluzionistica, l'intelligenza intesa come **strumento che migliora l'adattamento all'ambiente**, è in primo luogo la **capacità di risolvere nuovi problemi**, oppure di risolvere **vecchi problemi in maniera innovativa**.



La necessità di disporre di sistemi caratterizzati da una **crescente intelligenza, capace di andare oltre alle già acquisite funzionalità di controllo, valutazione e giudizio**, ha portato ad ampliare il campo di competenza della tradizionale elettromeccanica.

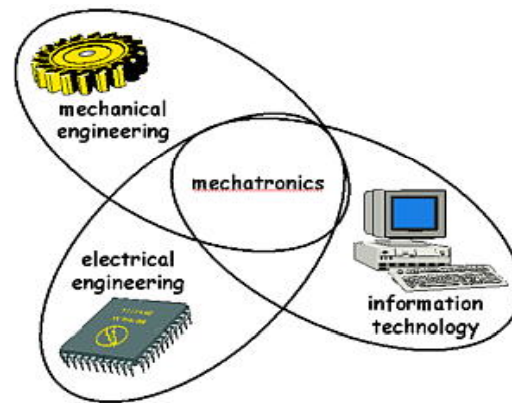
Un sistema più intelligente implica la necessità di organizzare un sistema di controllo intelligente on-line, basato sul coordinamento tra: funzioni di multi – controllo; knowledge base; procedure di Inferenza; INTERFACCE di comunicazione.



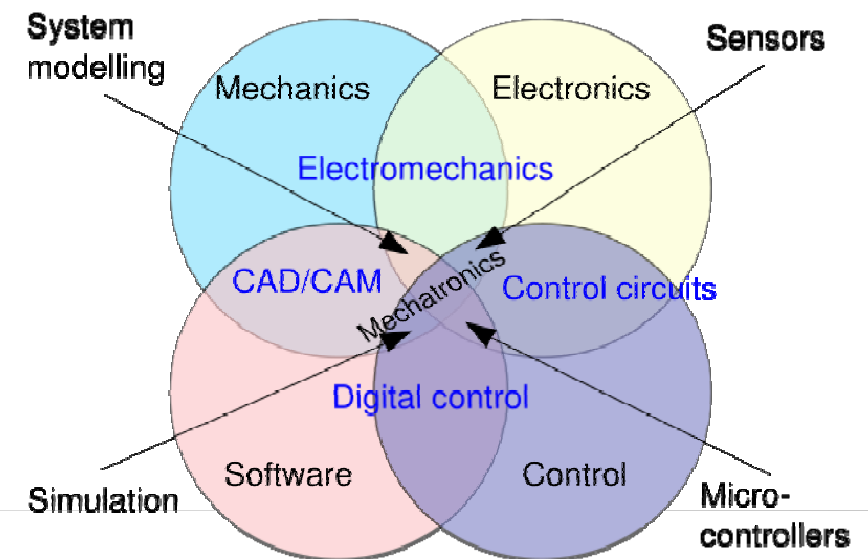
## Attività principali di ricerca

Anche grazie al continuo miglioramento dell'elaborazione DIGITALE, le prospettive offerte da un sistema con la precedente architettura sono quelle di **raggiungere stabilmente il Livello 3 di supervisione e diagnosi dei guasti**, ma anche di **poter elaborare dei segnali che permettano al sistema di fornire DECISIONI di OTTIMIZZAZIONE e COORDINAMENTO (Livello4)** ed infine di riuscire a **GESTIRE un intero processo (Livello 5)**, partendo da INPUT quali l'approvvigionamento dei componenti necessari, per arrivare ad OUTPUT quali la giacenza a magazzino dei pezzi assemblati.

*Un sistema intelligente con finalità di auto-programmazione, auto-diagnosi, capacità di ragionamento induttivo, risulta oggi il prodotto di un ambito di studio implicante l'analisi, la progettazione, la sintesi e la selezione di sistemi che combinano componenti meccanici ed elettronici con i più moderni controlli e microprocessori.*

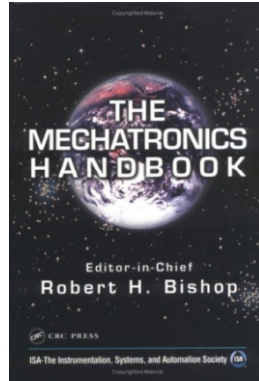


## MECCATRONICA



# Attività principali di ricerca

## The Mechatronics Handbook – 2002, CRC Press



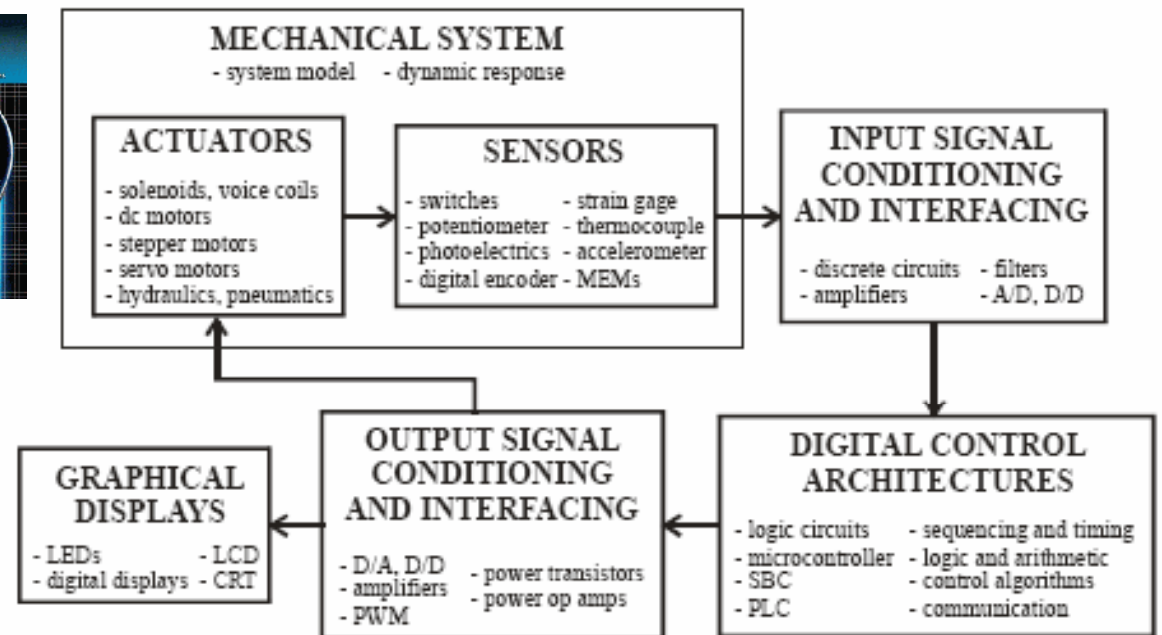
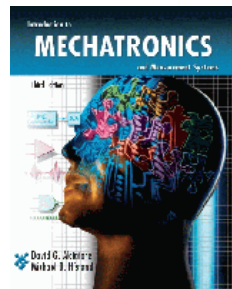
...“Molti problemi in ambito ingegneristico possono essere **formulati, affrontati e risolti attraverso il paradigma (modello) mecatronico.**

Problemi emergenti e di riferimento nelle dinamiche dell'integrazione tecnico – scientifica tra elettronica, meccanica e computer engineering non ancora affrontati e risolti o che presentino soluzioni già esistenti ma non considerabili OTTIME. Questo riflette le **tendenze evidenti** nei campi della ricerca applicata, sperimentale e di base **in risposta a problemi che rimangono irrisolti da lungo tempo**, ma con spinte sia dall'offerta di innovazioni tecniche e tecnologiche sia dalla richiesta evolutiva dei sistemi”...

## Mechatronics and Modern Engineering

## Introduction to Mechatronics and Measurement Systems – 2007, Mc Graw Hill Int.

**Meccatronica:**  
ambito ingegneristico  
**INTERDISCIPLINARE**  
in rapida e crescente  
evoluzione, che si basa  
sulla **PROGETTAZIONE** di  
sistemi il cui  
**funzionamento** è  
strettamente  
**CORRELATO**  
all'**integrazione tra**  
**componenti elettronici e**  
**meccanici coordinati da**  
**un'architettura di**  
**controllo intelligente.**

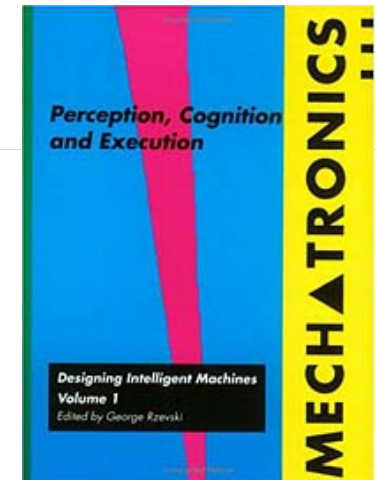


## Attività principali di ricerca

In risposta alle crescenti richieste circa l'aumento richiesto ai sistemi elettromeccanici in termini di complessità, performance ed intelligenza è stato quindi introdotto il modello mecatronico (**mechatronics paradigm**).

Molteplici indagini e report hanno già quantificato il valore aggiunto complessivo di un processo di sviluppo di sistemi seguente un approccio trasversale, meglio definito come **approccio progettuale mecatronico**.

**Mechatronics: Designing Intelligent Machines,  
Vol. 1: Perception, Cognition and Execution –  
1995, Butterworth-Heinemann Ltd**

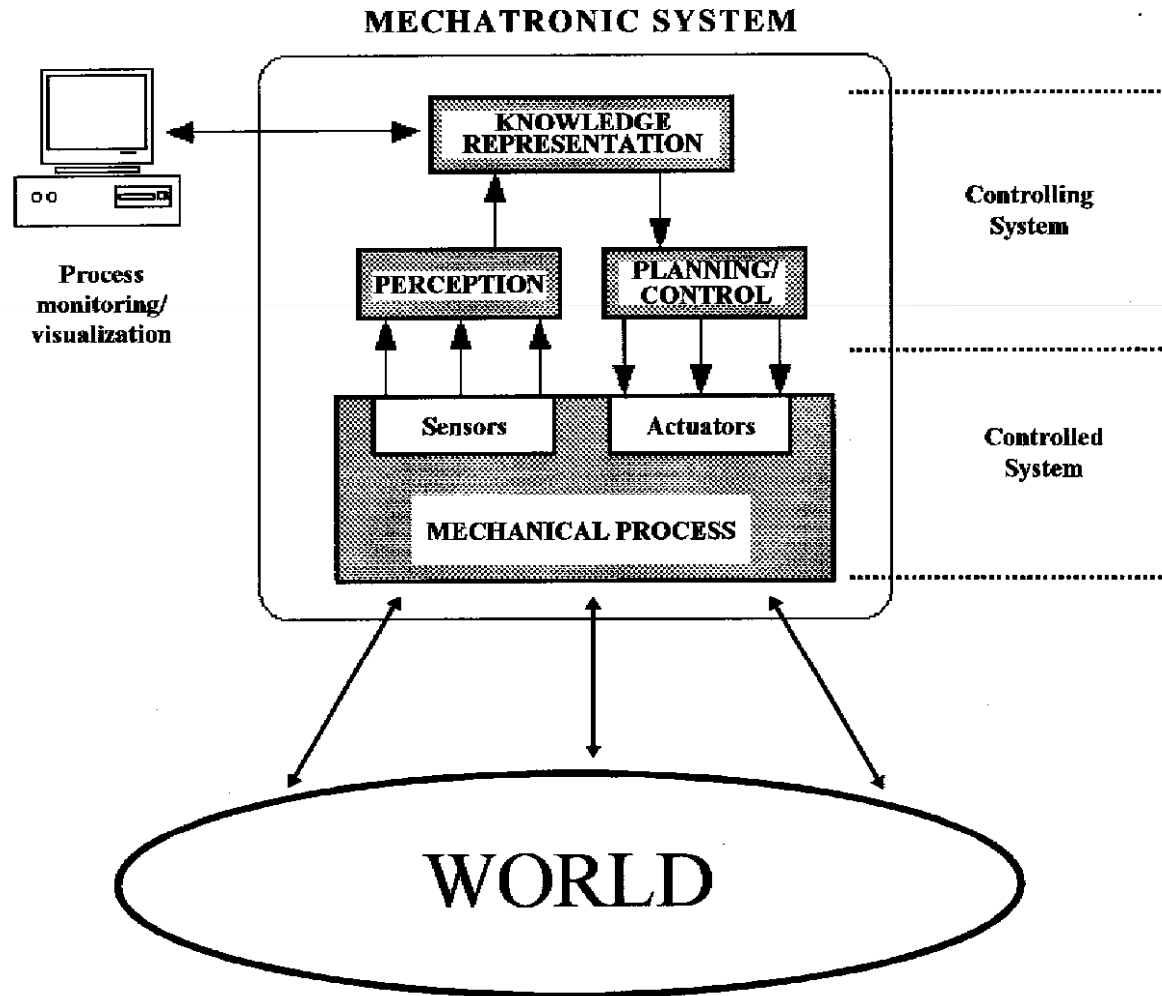


**Parlare di sistemi mecatronici non significa snaturare la parte “meccanica” di un processo, che, comunque, deve rimanere il centro della funzionalità che il sistema stesso vuole assolvere, bensì significa prevedere un'integrazione dello stesso con processi “non-meccanici” in grado di assolvere a funzionalità di natura “informativa”.**

Lo sviluppo di un approccio mecatronico per la progettazione di macchine automatiche intelligenti ha come principale punto di partenza l'indagine di architetture cinematiche con lo scopo di ottimizzare il sistema degli attuatori e la logica di controllo, l'analisi del blocco attuativo con particolare attenzione ai criteri di selezione di attuatori elettrici, meccanici, oleodinamici e pneumatici e l'analisi dei sistemi uomo-macchina, con particolare attenzione alle interfacce HMI.



# Attività principali di ricerca



Un sistema mecatronico ha 2 principali componenti:

- **sistema controllato** = processo meccanico, in **contatto con il mondo esterno** attraverso sensori ed attuatori;

- 3 sotto-sistemi che compongono il **controlling system** (tratto distintivo dei sistemi mecatronici): i blocchi di **perception**, **knowledge representation**, **planning and control**.

1. Flusso informativo dai sensori a **Perception**
2. Da Perception a **Knowledge representation** dove **vengono implementate metodologie** che in
3. **planning and control** permettano di **pianificare una sequenza di azioni**

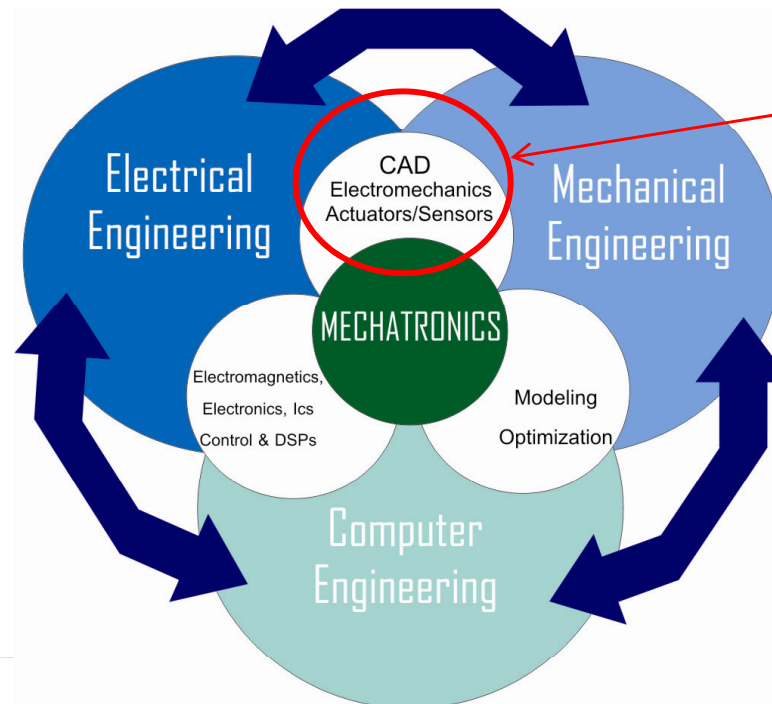
PER

rendere il sistema controllato in grado di portare a termine compiti assegnati anche in real-time e non di solo controllo GO / NO GO.

# Attività principali di ricerca

## DESIGN of MECHATRONIC SYSTEMS (The Mechatronics Handbook – 2002, CRC Press)

"I problemi più impegnativi nell'ambito della progettazione di sistemi mecatronici sono dati dalla **SINTESI** (intesa come processo che combina tra loro 2 o più elementi pre-esistenti al fine di produrre come risultante la formazione di qualcosa di nuovo) **dell'architettura di sistema, dall'integrazione ed ottimizzazione del sistema**, così come dalla **selezione dell'hardware** (attuatori, sensori, elettronica di potenza, circuiti integrati, microcontrollori, centraline DSP per l'elaborazione digitale del segnale) **e del software** (algoritmi computazionali per il controllo, tools per la sensoristica, procedure esecutive, emulazione, acquisizione e trattamento dei dati reperiti dai flussi informativi, visualizzazione e virtual prototyping)."

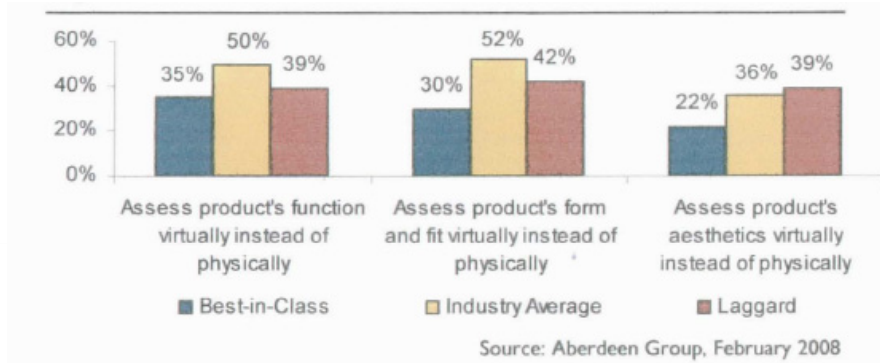


# Attività principali di ricerca

Febbraio 2008, Aberdeen Group

## “Complementary Digital and Physical Prototyping strategies”

### Simulation



### Best-in-Class

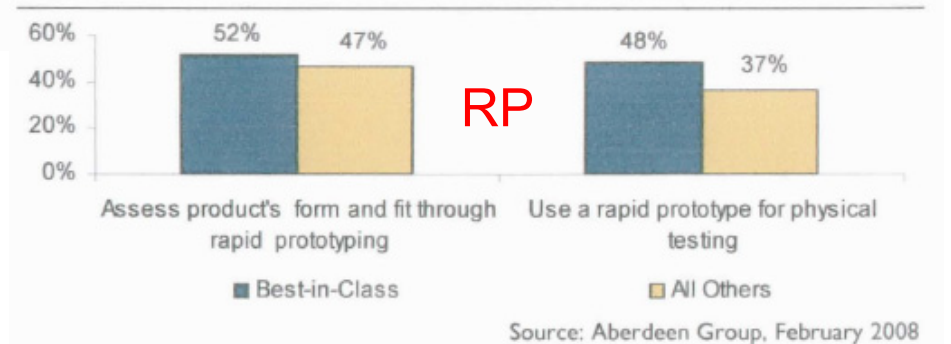
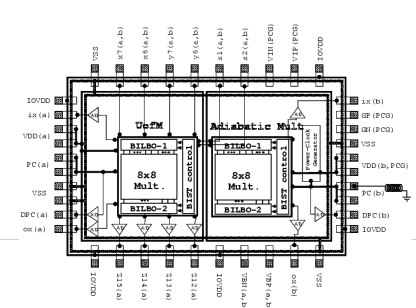
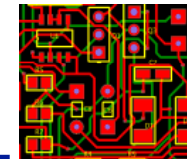
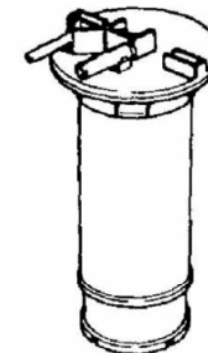
prototipazione con tempi e costi di realizzazione sensibilmente ridotti:  
simulazioni a mezzo software

+  
verifica dei risultati con prototipi low cost mediante di tecnologie di prototipazione rapida

## “System Design: New Product Development for Mechatronics”

### Virtual + Rapid Prototyping

- Tools di verifica fin dall'ambiente virtuale del rispetto dei requisiti Funzionali +
- corretta integrazione tra diverse componenti meccaniche, elettroniche etc. mediante RP + componenti pre-esistenti



RP



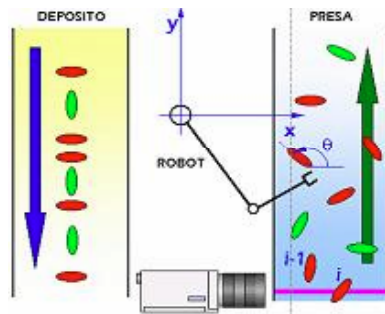
## Attività principali di ricerca

IRDAC - Industrial Research and Development Advisory of European Community

**Meccatronica - Aree strategiche di sviluppo:** **SUPPORTO ed AUSILIO**  
**dei processi di natura MECCANICA (MANIFATTURIERA)**  
**mediante:**

- Applicazioni tecnologiche di SUPERVISIONE in Real Time e DIAGNOSI PREDITTIVA,
- Sistemi di REPERIMENTO, GESTIONE ed ELABORAZIONE delle INFORMAZIONI sfruttando reti di SENSORI intelligenti ed i derivanti flussi INFORMATIVI,
- Applicazioni INFORMATICHE per l'ELABORAZIONE di flussi informativi,
- Tecnologie di Telecomunicazione, per la TRASMISSIONE dei DATI reperiti o elaborati

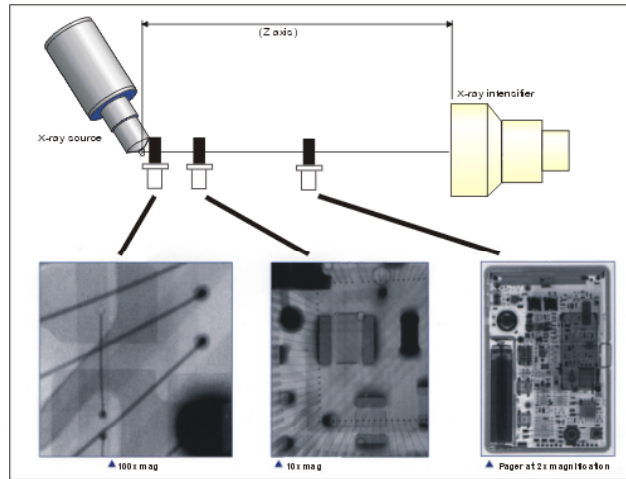
Pick and place con  
tradizionali  
sistemi di visione



processi produttivi in cui siano  
fondamentali informazioni su geometrie  
volumetriche relative non solo agli  
ingombri esterni di un oggetto



# Attività principali di ricerca

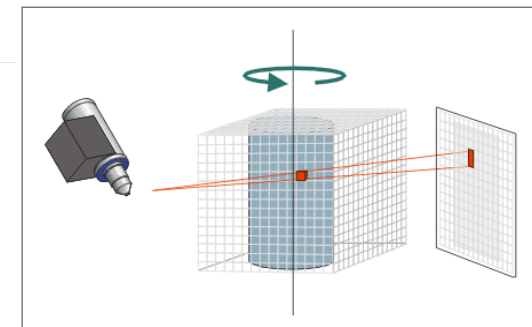


Tecnologie a Raggi X  
(per visualizzare i dettagli  
dell'interno di un sistema)

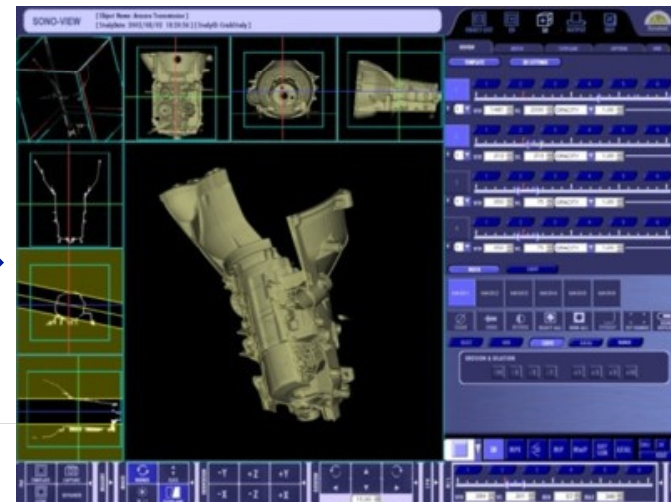
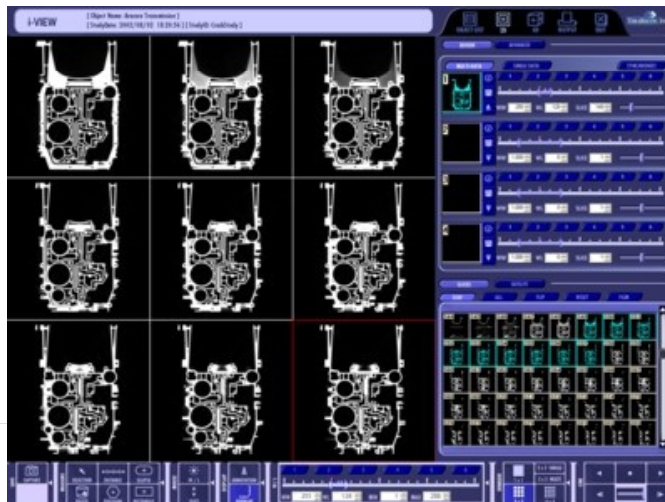


CPU ,  
Imaging  
Software

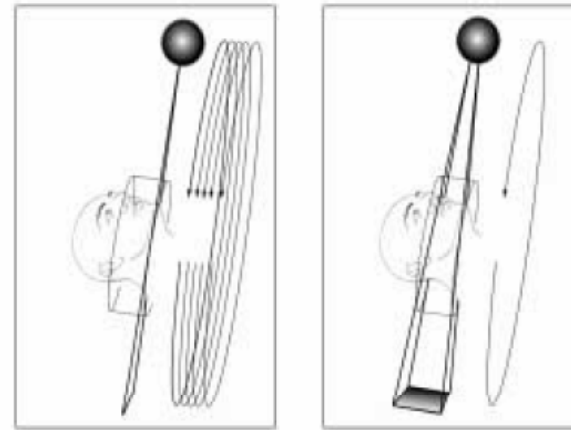
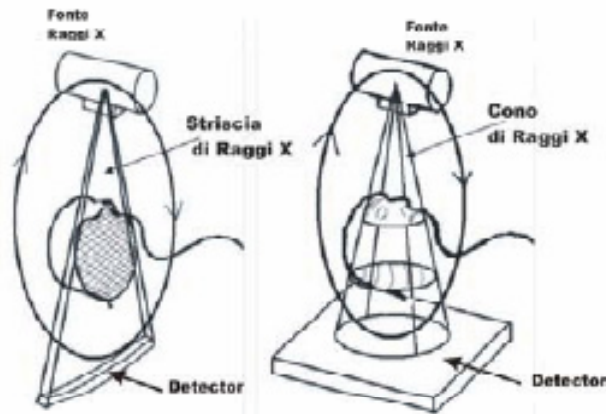
Ricostruzione volumetrica



**CT Industrial Inspection**



## Attività principali di ricerca



**CT vs. CB3D**



**CAT Scan**

**CT tradizionali = fascio molto sottile che ruota intorno all'oggetto acquisendo una o più "slices" assiali ad ogni giro = maggior numero di rotazioni**

**CBCT**

**Dimensioni Volume: 160 mm (diametro) x 130 mm (altezza)**

**Durata Scansione: 18s**

**Totale Tempo di Ricostruzione: 100 s (tipico)**



**Vantaggi CERTI**

**Diminuzione dei tempi +  
Aumento precisione**

**CT Industrial Inspection**



**CBCT Industrial Inspection**



## Attività collaterali di ricerca

## Attività collaterali di ricerca

### Partecipazione a corsi, convegni e seminari:

- Partecipazione a “Componenti Meccatronici per le macchine di montaggio” e “Sistemi di Visione nella Robotica”: sessione convegnistica di Ucimu, BI-MEC 2007, Fieramilanocity, Milano, 15,16 Novembre 2007.
- “Esperienze e prospettive di Biomeccanica presso la Facoltà di Ingegneria dell’Università di Brescia”: *giornata di studio*, Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria, Brescia, 30 Novembre 2007.
- Partecipazione a “Robotics: a new science”: giornata di studio sullo stato dell’arte e sulle prospettive della Robotica nel mondo, Accademia dei Lincei, Roma, 17 Febbraio 2008.
- “Maple 11 Base e Maple 11 Advanced”: *corso*, Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria, Brescia, 6 e 7 Marzo 2008.
- “Pro/ENGINEER (Pro/E) versione Wildfire 3.0”: *corso*, Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria, Brescia, 17, 18, 19, 20 e 21 Marzo 2008.



## Attività collaterali di ricerca

### Partecipazione a corsi, convegni e seminari:

- “Programmazione fuori linea”: *convegno SIRI con mostra di affiancamento*, Facoltà di Ingegneria, Modena, 10 Aprile 2008.
- “Corso nazionale automazione e robotica 2008”: *corso SIRI*, Facoltà di Ingegneria, Bergamo, 21, 28 Maggio e 4, 18, 25 Giugno 2008.
- Partecipazione a “Hannover Messe 2008”: *fiera internazionale sull’innovazione tecnologica*, Hannover Messe, Hannover (D), 22, 23 e 24 Aprile 2008.
- Partecipazione a “CF Design”: *corso*, Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria, Brescia, 28 Aprile e 27 Giugno 2008.
- Partecipazione a “Actuator 2008”: *seminario internazionale, biennale, su attuatori e microattuatori*, Bremen Messe, Brema (D), 9,10 e 11 Giugno 2008.
- Partecipazione a “Automatica 2008”: *fiera internazionale per Robotica ed Automazione*, Messe Muenchen, Muenchen (D), 12 e 13 Giugno 2008.





## Collaborazioni e progetti

## Collaborazioni e progetti

- Collaborazione didattica, nell'ambito del settore disciplinare di Automazione Industriale (Corso di Laboratorio di Automazione Industriale: didattica frontale, supporto alla stesura e alla correzione di elaborati).
- Collaborazione al corso di Meccanica Applicata alle Macchine, nell'ambito del Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione Industriale.
- Correlazione a: "Analisi di un innovativo impianto automatizzato per la lavorazione di canne da fucile" del Laureando Ipprio M., Tesi di Laurea del Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione Industriale.
- Partecipazione al progetto "Protesi Automatica" in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale, Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria.
- Partecipazione al progetto "Biorobot" in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale, Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria.





## Pubblicazioni

## Pubblicazioni

### Partecipazione al convegno “EUCOMES 2008” (Cassino) :

- C. Amici, A. Borboni, P. L. Magnani, D. Pomi, *Kinematic Analysis of a Compliant, Parallel and Three-Dimensional Meso-Manipulator Generated from a Planar Structure*, EUCOMES 2008, Cassino 17, 18 e 19 Settembre 2008.
- C. Amici, A. Borboni, P. L. Magnani, D. Pomi, *Dynamic Analysis of a Compliant, Parallel and Three-Dimensional Meso-Manipulator Generated from a Planar Structure* EUCOMES 2008, Cassino 17, 18 e 19 Settembre 2008.



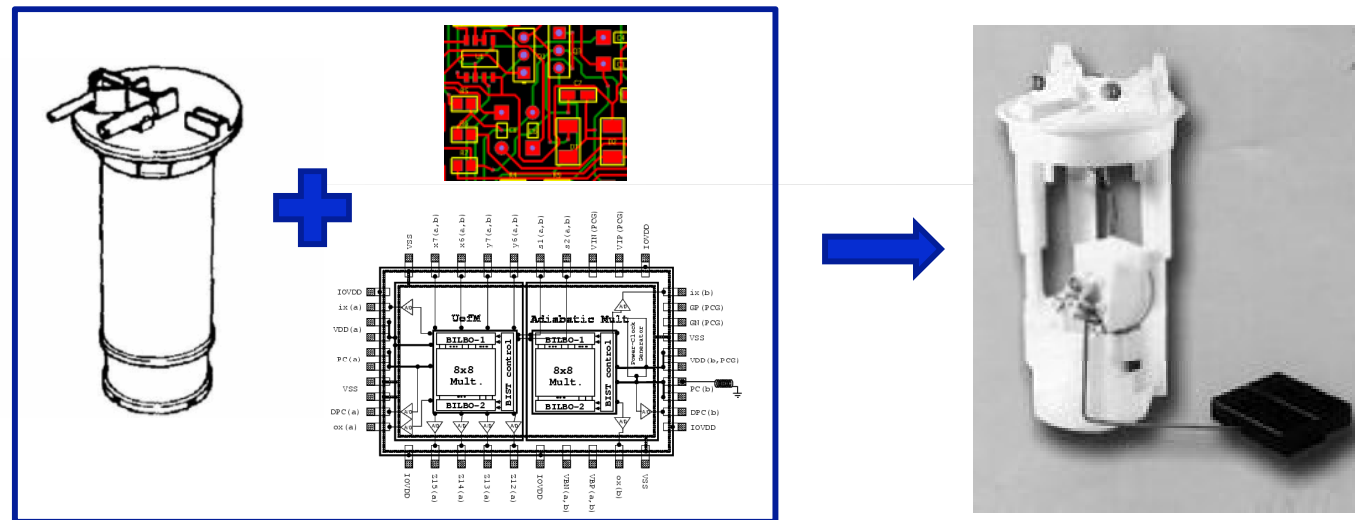


## Sviluppi futuri

## Sviluppi futuri

Nel successivo anno di corso si prevede di ampliare argomenti di interesse applicativo quali:

### Direct Digital Manufacturing: da Rapid Prototyping (RP) a Rapid Manufacturing (RM)



**Rapid Prototyping** = ottenere un modello finito in **poco tempo** ed utile per prove funzionali, fluido-aerodinamiche, d'accoppiamento e d'assemblaggio.

**richiesta  
del mercato**

**massima prestazione, qualità e ripetibilità entro tempi brevissimi.**

**RP**

produttori di materiali hanno migliorato  
proprietà e qualità dei prototipi  
ottenibili

**RM**

costruttori di macchinari stanno cercando  
di ottenere la massima ripetibilità



## Sviluppi futuri

### SUPPORTO ed AUSILIO dei processi di natura MECCANICA (MANIFATTURIERA)



#### CT Industrial Inspection

Fault detection + failure analysis  
 Assembly inspection (meccanismi complessi)  
 Misure dimensionali delle componenti interne  
 Confronto con il modello CAD  
 Analisi di strutture biologiche  
 Database dei modelli

Real time X-ray inspection



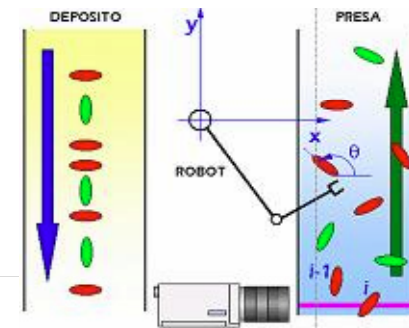
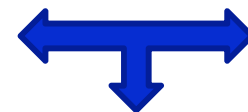
Offline CT analysis

#### Vantaggi CBCT

Diminuzione dei tempi +  
 Aumento precisione



#### Real time CBCT analysis



XXIII Ciclo di Dottorato di Ricerca in Meccanica Applicata

*Relazione Primo Anno*

## **Mechatronic paradigm: approccio teorico, esempi ed applicazioni del modello mecatronico**

Curriculum: Sistemi Avanzati di Manifattura

Dottorando: Diego Pomi

Coordinatore: Prof. Giovanni Legnani

Tutore: Prof. Rodolfo Faglia



---

Università degli Studi di Brescia

Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale