



Consiglio Nazionale delle Ricerche



**Le ricerche del Dipartimento Sistemi  
di Produzione del CNR e lo sviluppo  
delle prospettive internazionali**



**Editor Claudio Bertoli**



Consiglio Nazionale delle Ricerche



Le ricerche del  
Dipartimento Sistemi di Produzione  
del CNR e lo sviluppo delle prospettive  
internazionali



Editor Claudio Bertoli

BetMultimedia

Marzo 2011

Curatore: Petrucci Emiliano

Dipartimento Sistemi di Produzione  
Direttore f.f. Claudio Bertoli

Si ringrazia il personale della Segreteria del Dipartimento Sistemi di Produzione  
(Gervasi Francesca, Iorio Stefano, Ricci Maddalena, Rubeo Silvano)

Dipartimento Sistemi di Produzione  
Piazzale Aldo Moro, 7 – 00185 Roma  
Tel. 06 49933711 – Fax 06 49932658  
e-mail: [segreteria.dsp@cnr.it](mailto:segreteria.dsp@cnr.it)

*BetMultimedia*

Editing, grafica e stampa  
Tel.: +39 06 86216255  
E mail: [info@betmultimedia.it](mailto:info@betmultimedia.it)

Marzo 2011

ISBN 978-88-903312-9-9



INTRODUZIONE .....	5
--------------------	---

## PARTE I - SCENARI

<i>Capitolo 1</i> – PROSPETTIVE FUTURE NEL SETTORE DELLA COSTRUZIONE CIVILE INDUSTRIALE .....	13
<i>Capitolo 2</i> – LA FABBRICA DEL FUTURO: UNA SFIDA EUROPEA PER LA COMPETITIVITÀ GLOBALE...	19
<i>Capitolo 3</i> – AUTOMAZIONE, ROBOTICA E SENSORISTICA: SVILUPPI FUTURI NEL SETTORE DELLE MACCHINE OPERANTI IN AMBIENTI POCO STRUTTURATI .....	49
<i>Capitolo 4</i> – L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE E LE SUE PROSPETTIVE NEL SETTORE CIVILE, INDUSTRIALE E SOCIALE .....	81
<i>Capitolo 5</i> – EVOLUZIONE DEI MATERIALI PER APPLICAZIONI AVANZATE NEL SETTORE DELLA MICROPRODUZIONE DI ENERGIA E NEL RISPARMIO ENERGETICO .....	85

## PARTE II - ISTITUTI DEL DIPARTIMENTO

### ISTITUTI AFFERENTI

<i>Capitolo 1</i> – IDASC .....	91
<i>Capitolo 2</i> – IMAMOTER .....	111
<i>Capitolo 3</i> – IMEM .....	137
<i>Capitolo 4</i> – ISSIA .....	167
<i>Capitolo 5</i> – ISTECH .....	203
<i>Capitolo 6</i> – ITC .....	221
<i>Capitolo 7</i> – ITIA .....	233

*ISTITUTI PARTECIPANTI*

<i>Capitolo 8 – ISMAC</i> .....	263
<i>Capitolo 9 – IVALSA</i> .....	273
<i>Capitolo 10 – ISTITUTI PARTECIPANTI</i> .....	283

*UNITÀ RICERCA PRESSO TERZI*

<i>Capitolo 11 – URT DIPARTIMENTO DI LINGUISTICA UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA</i> .....	285
--	-----

**PARTE III - PROGETTI DEL DIPARTIMENTO**

<i>Capitolo 1 – DSP-P.01: “PROCESSI, SISTEMI DI PRODUZIONE INDUSTRIALI, PRODOTTI HIGH TECH E MATERIALI AVANZATI”</i> .....	289
<i>Capitolo 2 – DSP-P.02: “MICROSISTEMI E DISPOSITIVI EMBEDDED”</i> .....	313
<i>Capitolo 3 – DSP-P.03: “ROBOTICA, SISTEMI DI PRODUZIONE E SISTEMI DI MOVIMENTAZIONE IN AMBIENTI POCO STRUTTURATI”</i> .....	327
<i>Capitolo 4 – DSP-P.04: “METODI E STRUMENTI PER LA GESTIONE E L’INNOVAZIONE TECNOLOGICA, ENERGETICA ED AMBIENTALMENTE SOSTENIBILE PER LA COSTRUZIONE EDILE E CIVILE”</i> .....	343
<i>Capitolo 5 – DSP-P.06: “SISTEMI DI MONITORAGGIO, CONTROLLO E SICUREZZA NEI CONTESTI PRODUTTIVI E D’USO; MATERIALI E SENSORI”</i> .....	371
<i>Capitolo 6 – DSP-P. INTERDIPARTIMENTALE: “TURISMO: SISTEMA PRODUTTIVO APERTO”</i> .....	379



Il Dipartimento Sistemi di Produzione, di cui ho la direzione ad interim dalla fine del 2009, copre un'estesa area scientifica, da molto tempo rappresentata all'interno del CNR, che può descriversi con la locuzione "fondamenti, sviluppi ed applicazioni di tecnologie avanzate" o più sinteticamente "scienza e tecnologia". A tal proposito è utile ricordare che, prima della così detta riforma "Bianco", nell'Ente era attivo il Comitato di Consulenza Tecnologico che era nato, molti anni prima, come l'unico Comitato di Consulenza trasversale rispetto allo schema abbastanza rigido delle discipline (Chimica, Fisica, Medicina, Ingegneria e Architettura etc.) rappresentato dagli altri Comitati elettivi. In sostanza si può affermare che il settore tecnologico sia stato uno dei primi tentativi in ordine di tempo di sistematizzare, all'interno del CNR, i caratteri d'interdisciplinarietà e multidisciplinarietà del processo di creazione delle conoscenze che man mano sono arrivati ad affermarsi come una delle caratteristiche migliori e vincenti del modo di lavorare del più grande Ente di Ricerca Italiano.

Pertanto nel 2006 si è ritenuto rilevante che questa macro area di attività desse vita al Dipartimento Sistemi di Produzione, nato con obiettivi ambiziosi. Infatti il manifatturiero Italiano, secondo in Europa solo a quello Tedesco, è un'area molto vasta sempre bisognosa della creazione di competenze, dello sviluppo di prodotti e processi High Tech per alimentare e mantenere la competitività delle nostre "creazioni" che ci fanno conoscere in tutto il mondo sotto il simbolo del marchio Made in Italy.

L'obiettivo generale su cui far crescere il Dipartimento è stato, infatti, quello di progettare ed attuare strategie per promuovere e realizzare, attraverso le proprie strutture, sinergie ed attività comuni con l'impresa e l'Università al fine di coadiuvare, per il tramite della ricerca, il sistema produttivo a:

- conservare la capacità d'impresa;
- aumentare la competitività;
- favorire l'aggregazione di imprese con nuovi paradigmi e capacità di produzione.



Il Dipartimento ha quindi puntato a sviluppare conoscenze mirate all'aumento della competitività di settori rilevanti per l'economia nazionale quali le costruzioni, il manifatturiero, declinato nelle sue componenti che vanno dai beni strumentali al tessile, dall'industria del legno alla ceramica, e il turismo.

Punto di forza della metodologia d'intervento che ha connotato la rete scientifica del Dipartimento è la focalizzazione dell'innovazione di prodotto e/o della tecnologia studiata, sulla destinazione d'uso della stessa, mediante un approccio altamente interdisciplinare favorito dalla partecipazione di Istituti dedicati principalmente, all'interno dei quali operano insieme ricercatori appartenenti a settori scientifici e disciplinari diversi (es. chimici, fisici, ingegneri, architetti, matematici, ...).

L'integrazione delle competenze e la capacità delle strutture del CNR di operare a rete è quindi un obbligo sempre sentito dal Dipartimento che è costantemente impegnato nello sviluppo di metodologie innovative a riguardo e ricercherà in futuro anche una maggiore semplificazione formale e amministrativa possibile.

Una idea complessiva del "portafoglio" di attività scientifico tecniche e delle forze in campo del Dipartimento, che vengono puntualmente e diffusamente illustrate nel Libro può desumersi attraverso una macroripartizione di attività in tre grandi linee strategiche:

- 1) Manifatturiero;
- 2) Tecnologie Abilitanti per l'edilizia, il manifatturiero ed il turismo;
- 3) Edilizia sostenibile.

### **Linea strategica: Manifatturiero**

Per questa linea di ricerca il Dipartimento impegna circa 243 anni/uomo di ricercatori strutturati e non.

Si punta a sviluppare conoscenze mirate all'aumento della competitività di settori rilevanti per l'economia nazionale quali il manifatturiero, declinato nelle sue componenti che vanno dai macchinari per le lavorazioni industriali al tessile e al calzaturiero, dall'industria del legno alla ceramica, dall'industria termofotovoltaica e quella optoelettronica (laser).

- Le conoscenze che il Dipartimento sviluppa riguardano:
- l'individuazione e l'analisi di nuove problematiche che si affacciano anche a settori definiti tecnologicamente maturi;

- l'innovazione metodologica nella risoluzione dei problemi;
- l'approccio di sistema interdisciplinare ai problemi;
- l'utilizzo di metodi di sviluppo scientifico e tecnologico messi a punto in specifici ambiti produttivi, per la modernizzazione e l'evoluzione di settori meno evoluti o meno curati dal punto di vista dell'innovazione;
- Le linee di ricerca rivolte ai Prodotti industriali high tech, ai Processi industriali high tech all'uso dei robot e ai sistemi di movimentazione e logistici completano l'approccio del Dipartimento al comparto manifatturiero.

### **Linea strategica: Tecnologie abilitanti per l'edilizia, il manifatturiero ed il turismo**

Per questa linea il Dipartimento impegna circa 73 anni/uomo di ricercatori strutturati e non.

I ricercatori che afferiscono a questa linea appartengono a discipline anche molto diverse che si complementano ai fini del risultato della ricerca: matematici, fisici, informatici, ingegneri.

Esempi significativi riguardano:

- tecnologie abilitanti e sistemi di automazione adattativi per fabbriche orientate alla produzione personalizzata;
- sistemi di monitoraggio ad alte prestazioni (rivelatori gas, di radiazioni ad alta energia, sensori chimici, ...);
- attuatori e trasduttori per applicazioni in meccanica, domotica e in sistemi manifatturieri;
- progettazione, con realizzazione di prototipi, di nuovi materiali polifunzionali o nanomesa strutturati, specificatamente orientati alle esigenze industriali e di nuovi sensori e tecniche avanzate di trasduzione ed elaborazione dati, in grado di rispondere, con elevate prestazioni, anche superiori allo stato dell'arte, a sollecitazioni di tipo fisico, chimico e biologico;
- sistemi autonomi intelligenti di monitoraggio, controllo e sicurezza in contesti applicativi specifici con sviluppo di metodologie di progettazione alternative a quelle attuali in grado di rispondere alle esigenze innovative dei contesti applicativi coinvolti.





## Linea strategica: Edilizia sostenibile

Per questa linea il Dipartimento impegna circa 141 anni/uomo di ricercatori strutturati e non.

L'ambiente costruito è oggi responsabile del 40% dei consumi nazionali, ed è quindi un settore prioritario di intervento. Data la natura dell'ambiente costruito, la cui durata nel tempo è in realtà non prevedibile, la sostenibilità di qualunque intervento è un obbligo non differibile. In questo quadro di riferimento la struttura scientifica del Dipartimento si è focalizzata principalmente su:

- il controllo dell'inquinamento nell'ambiente costruito;
- la realizzazione di costruzioni sicure e di elevate prestazioni;
- il miglioramento della sostenibilità energetica e acustica.

Come in precedenza accennato le attività del Dipartimento sono diffusamente illustrate dai vari Autori nel contesto di scenari nazionali ed internazionali delle varie problematiche scientifico tecniche trattate.

Gli attenti lettori avranno modo quindi di concordare con il mio giudizio sulla buona impostazione iniziale del Dipartimento dovuta al compianto collega Valter Esposti che voglio qui ricordare con affetto e gratitudine.

Nel corso dell'anno, ormai trascorso, della mia direzione ho puntato a ricreare un più intenso rapporto di collaborazione con i Direttori degli Istituti afferenti e partecipanti nonché in generale di tutta la rete scientifica del dipartimento

Con l'aiuto poi del nuovo Consiglio Scientifico del DSP si è anche proceduto ad operare una prima ristrutturazione dei progetti del DSP per adeguarli, dopo quattro anni di operatività, ai mutati scenari nazionali ed internazionali.

Per curare le importantissime "risorse umane per il futuro", alle Conferenze di dipartimento sono stati invitati numerosi giovani non strutturati che prestano il loro impegno nei nostri Istituti per creare quello spirito di appartenenza al CNR che garantirà in futuro il conseguimento di nuovi ambiziosi traguardi scientifici.

Infine si è creata una rete di collaborazioni con i gruppi di ricerca del Dipartimento Energia e Trasporti, che dirigo, che si concretizzerà soprattutto a livello di partenariati sui progetti Nazionali ed internazionali.

In conclusione sono doverosi i ringraziamenti a tutto il personale del dipartimento per lo spirito costruttivo e la professionalità con cui opera e che ritengo siano i principali attori di una rinnovata identità scientifica della nostra comunità; questo è probabilmente il risultato più importante ottenuto dal Dipartimento Sistemi di Produzione.

*Claudio Bertoli*





# **SCENARI**

---





## Prospettive future nel settore della costruzione civile industriale

Roberto Vinci

Gli orientamenti inerenti le nuove frontiere della Ricerca nel settore dell'Edilizia e delle Costruzioni e nella sua filiera, prettamente inerenti l'ambito tecnologico, concordano sia a livello mondiale che europeo e nazionale verso priorità complementari, ma di diverso respiro strategico quali la sostenibilità e l'innovazione (di prodotto, di processo e di sistema). Qui di seguito, con un esercizio di sintesi che mal si confronta con la molteplice declinazione degli approfondimenti possibili, si tenta di evidenziare alcune delle linee tendenziali più interessanti e - tra loro - diverse, proprie di questo complesso settore, che è costitutivamente diverso dagli altri, paragonabili, ambiti in cui si esercita la Ricerca.

In termini temporali e tematici certamente ampi, la problematica della sostenibilità energetico-ambientale delle costruzioni ha individuato un ambito d'intervento che fonda le sue premesse ed i suoi obiettivi anche sugli aspetti economici, interpretandoli e coniugandoli peraltro attraverso una nuova prospettiva positiva in grado di evidenziare le ricadute sociali che un approccio ambientalmente più consapevole può certamente consentire.

Secondo documenti di indirizzo diversamente originati e differentemente approfonditi presso le Nazioni Unite ed il CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*), cui hanno fatto seguito contestualizzazioni della Commissione Europea e della Piattaforma Europea delle Costruzioni-ECTP (che hanno già originato primi Bandi di ricerca dedicati), opportunamente riprese in sede nazionale dalla corrispondente Piattaforma Italiana delle Costruzioni-PTIC ma anche dal Programma Nazionale della Ricerca 2010-2012, è stata definita e confermata la necessità di una visione olistica del progetto, ovvero di una "valutazione della sostenibilità", che passa attraverso due tipologie di metodo complementari: gli strumenti di valutazione ed i bilanci ambientali.

I primi prevedono l'attribuzione di un punteggio corrispondente ad uno specifico livello prestazionale rispetto ad uno specifico aspetto di sostenibilità ambientale: la ricerca si concentra in questo caso sulla definizione delle liste di criteri e dei *benchmark* di riferimento con i quali confrontare le prestazioni energetico ambientali degli edifici.



Nel secondo caso, invece, si tratta di analizzare i carichi e gli effetti ambientali sviluppati sull'ecosistema da materiali, sistemi e processi durante il loro intero ciclo vita, attraverso l'*LCA-Life Cycle Assessment*. Questa disciplina implica la conoscenza e l'utilizzo di informazioni di dettaglio circa gli impatti associati ad ogni fase, ricercando la definizione di dati quantitativi che permettano la comparazione di alternative progettuali e tecnologiche: fatto questo che, particolarmente nel nostro Paese, rischia di mettere in luce importanti lacune di dettaglio informativo tecnico ed affidabile anche presso i più importanti produttori del settore.

Anche in questo settore, cresce dunque l'esigenza di certezza della conoscenza, che nel mondo fisico significa "poter e saper misurare", ma va certamente attribuito nuovo valore alla portata della "valutazione" (qualitativa e propria di un esperto, dunque non normalizzabile), rispetto alla "misurazione" (prevalentemente quantitativa, fondata su convenzioni e quindi riproducibile, anche artificialmente), perché ogni volta che si ricorre a misurazioni, si rinuncia scientemente e comodamente proprio all'uso dell'intelletto, alla cultura del saper fare, che è tipica di ogni professione e che differenzia in termini concreti l'operato dei singoli e le loro capacità di discernimento tecnico e procedurale, che rappresentano viceversa la vera discriminante costitutiva ed interpretativa che è propria del "mondo" della Costruzione.

In altri termini l'approccio quantitativo (cioè l'espressione convenzionale attraverso parametri o entità) è un comodo strumento di confronto, ma è contemporaneamente un'inibizione all'approfondimento delle problematiche a livello di sistema che proprio i "numeri" nascondono, che confonde le grandezze con le funzioni loro attribuite e che consente (talvolta pericolosamente) che si fraintenda tra quanto è assoluto (e reale) e quanto è convenzionale (e fittizio).

La tematica dell'Innovazione tecnologica nelle Costruzioni è da sempre considerata una frontiera da raggiungere, tuttavia nel tempo è innegabile che si sono continuamente modificate le logiche ed i percorsi tendenziali scelti da parte dei vari operatori del processo edilizio coinvolti, secondo opportunità e talvolta "mode" e/o contingenze che hanno via via risentito dei cambiamenti sociali, più che delle accresciute potenzialità tecniche, con una continuità strategica certamente assai poco coerente.

Questo settore (che pure in termini economici ed occupazionali, diretti ed indiretti, è ormai dimostrabilmente il più importante del Paese) sta infatti avviando soltanto adesso un cambiamento sostanziale di quell'ordine sociale appena raggiunto quale compimento del ciclo di trasformazione in società industriale che si era avviato alla fine del Settecento e che poneva al centro del sistema la produzione e, di conseguenza, l'organizzazione del lavoro, assumendo quali principali parametri identificativi: la standardizzazione dei prodotti e dei processi, la specializzazione delle mansioni, il sincronismo delle attività, la concentrazione delle risorse ed il centralismo delle decisioni.

Si incominciano ad affermare soltanto ora nuovi concetti (e neologismi) che ribaltano completamente i principi fondamentali della società industriale: demassificazione, despecializzazione, ripensamento dell'organizzazione strutturale sia spaziale che temporale, decentramento, ecc., e si va quindi verso la cosiddetta "*deregulation*", che bisogna peraltro pianificare, in quanto la capacità di auto-organizzazione non è intesa come una definitiva "liberatoria", ma piuttosto come una nuova risorsa gestionale per un ulteriore sviluppo della società, che si auspica più consapevole.

In questo particolare settore una delle più evidenti e significative differenze tra le due configurazioni socio-tecniche risiede ad esempio nella sempre maggiore flessibilità richiesta alle organizzazioni industriali, produttive, professionali, che devono garantire al loro interno l'adattamento al modificarsi delle condizioni al contorno e ciò è possibile, a livello d'impresa, attraverso un ripensamento delle interdipendenze, cioè dei processi di formazione e di comunicazione fra persone, delle reti di connessione esterne e delle responsabilità.

Tutto ciò apre, tra l'altro, a due paralleli scenari legati alla Ricerca ed all'Innovazione che implicano potenziali conseguenze sullo sviluppo della tecnologia di settore: da un lato la multifunzionalità dei prodotti da costruzione, dall'altro un miglioramento dei contenuti e della gestione dell'informazione (tecnica), finalmente interpretata in termini di risorsa economica.

In merito al primo argomento, la multifunzionalità dei prodotti da costruzione, non solo attraverso il risultato di positive "contaminazioni" (ad esempio di derivazione chimica, informatica ed impiantistica), ma soprattutto sulla scorta di un processo di reale concorrenza e di migliore consapevolezza tecnica del mercato, l'orientamento più interessante è quello indirizzato all'integrazione di funzioni aggiuntive da parte della componentistica edilizia più evoluta che, sfruttando le potenzialità dell'efficienza delle prestazioni e della miniaturizzazione tecnologica, tende verso prodotti ibridi, spesso non ripetitivi, sia in termini di prestazioni offerte, sia in termini di funzioni assolvibili.

Questo fatto, se da un lato tende ad abbattere le note e limitative barriere progettuali (architettura, struttura, impianti e finiture, nonché tecnologiche ed imprenditoriali), dall'altro costringe esso stesso all'avvio di nuovi filoni di Ricerca e Sperimentazione al fine di verificare comportamenti di prodotti da costruzione costitutivamente sempre più complessi, obbligando dunque a studiare ed utilizzare metodiche di calcolo e sperimentali sempre più complicate per la verifica a livello di sistema costruito.

Nel nostro Paese, per certi versi così macchinoso e così ricco di singolarismi, l'aggiornamento evolutivo in corso evidenzia sempre di più l'importanza di creare sinergie operative basate sulla collaborazione, più che sulla competizione, in ambiti di competenza anche non omogenei, ma complementari: ciò al fine di recuperare quella "massa critica"





necessaria che in altri Paesi è da tempo una realtà di grande utilità per il settore. Tutto ciò comporta chiarezza d'intenti e definizione di "protocolli" di collaborazione in grado di coinvolgere operativamente il più ampio panorama di competenze, per fasi successive, a partire da occasioni concrete e diverse, per la definizione delle quali è necessaria l'assunzione di precise responsabilità, ma soprattutto l'espressione di effettive volontà: il campo delle possibili attività è assai vasto, ma l'esperienza insegna che, sul piano operativo, i problemi sono sempre risolvibili, se vengono affrontati gradatamente, con spirito obiettivo.

Riguardo invece alla problematica del miglioramento dei contenuti e dei sistemi informativi tecnici, la raggiunta e crescente complessità procedurale di processo propria del settore della Costruzione richiede sempre più pressantemente che si studi approfonditamente il sistema comunicativo e, parallelamente, la specifica semantica del linguaggio, per realizzare strumenti aggiornati e comuni di miglioramento del trasferimento delle informazioni tecniche e di processo tra i diversi operatori e tra le differenti fasi (progettazione, produzione, valutazione preventiva, posa/installazione/costruzione, collaudo, gestione/manutenzione, recupero/ristrutturazione e dismissione). È noto l'alto valore aggiunto che, soprattutto in termini economici, potrebbe derivare al settore della Costruzione da una sistematizzazione dei "linguaggi" che lo contraddistinguono, tenuto in particolare conto del numero di operatori (diversi) che operano nel settore e nella sua filiera, con distinzione di ruoli, professionalità, responsabilità, dimensioni ed interessi (talvolta anche contrapposti). La finalità di questa tematica di ricerca, che prevede anche concrete ma parziali forme di cooperazione internazionale, è mirata a realizzare riferimenti e strumenti ispirati ai concetti di "chiarezza" e "comprensibilità". Il primo è da ricondursi ad una profonda ed aggiornata conoscenza tecnica (della complessità tecnologica, procedurale, imprenditoriale e professionale propria del settore), strumentalmente coadiuvata da competenze di "organizzazione del linguaggio"; il secondo si lega agli aspetti che sono garanzia di concreta utilizzabilità e di pratica gestione, certamente facilitati da uno sforzo di ricerca della "semplicità" e dell'essenzialità che sono proprie della sintesi (cioè dell'unificazione del molteplice). Si tratterà, in prima battuta, di definire i criteri e gli indirizzi, più che i contenuti o le soluzioni tecnicistiche finali di loro gestione. Ciò a partire da una puntuale analisi dei problemi, dei limiti e delle cause ostative così come registrati presso le singole, diverse categorie di operatori (al loro interno e quale interrelazione tra le medesime) alla predisposizione e circolazione di un'informazione tecnica utile, flessibile, essenziale e corretta. In presenza di tali criteri e di regole semantiche mirate di linguaggio, sono evidenti le ricadute pratiche che potrebbero derivare nel settore in merito alla predisposizione di strumenti innovativi di informazione e comunicazione tecnica interoperabili (prezzari, schede tecniche prodotti, capitolati, progetti, ecc.).

Argomentando di scenari (ancorché, in questa sede, in maniera evidentemente limitata ed esemplificativa) servono ovviamente anche linee strategiche ed esse non possono che essere il risultato di considerazioni che muovono da due concetti diversi e complementari, ritenuti entrambi fondamentali alla crescita (armonica) di questo settore: da un lato la continuità, dall'altro l'allineamento alle più importanti ed innovative tematiche di attuale interesse per il settore, a livello europeo e mondiale.

Garantire continuità significa dare valore all'esperienza e riconoscere che la strada finora percorsa non era sbagliata ed è ancora attuale e significa anche che le energie profuse a creare talune competenze e dotazioni strumentali potranno continuare, in un regime maturo, a migliorare ulteriormente ed a fornire risultati di cui il settore manifesta ancora l'esigenza, eventualmente con lievi re-indirizzi, sempre possibili, se utili e resi preventivamente condivisi. Adattarsi al nuovo che incalza, in termini di Ricerca (pubblica), significa invece mettere in campo la capacità di desumere dall'ambito scientifico internazionale più avanzato di settore, cui pure attivamente si contribuisce in fase di proposta ed indirizzo, o da contesti esterni alla filiera delle Costruzioni quelle idee e quelle tendenze che maggiormente possono contribuire a creare ricadute di pubblica utilità per questo comparto imprenditoriale nazionale e/o a livello economico e sociale nel Paese.

A questo scopo è fondamentale mantenere opportunità di presenza e canali di informazione e confronto nelle più importanti, riconosciute ed utili sedi di aggregazione della comunità scientifica mondiale (ad esempio, il già citato CIB) ed europea (ad esempio, l'ENBRI, *European Network of Building Research Institutes*).





## La fabbrica del futuro: una sfida europea per la competitività globale

Tullio Antonio Maria Tolio

In questo capitolo è presentata un'analisi degli scenari futuri per il settore manifatturiero, che rappresenta un pilastro fondamentale su cui devono basarsi le economie moderne per la produzione di ricchezza e di benessere sociale. Questa necessità è stata resa ancor più evidente della recente crisi globale e dalle azioni in risposta alla crisi messe in atto dai principali governi mondiali. Nella prima parte del capitolo è presentata un'analisi del settore manifatturiero che ne sottolinea la rilevanza, ne identifica i trend di sviluppo e illustra quali azioni abbiano messo in campo i paesi industrializzati per rispondere alle sfide competitive poste dal contesto. Nella seconda parte si presenta la descrizione della "fabbrica del futuro" quale elemento cardine intorno al quale dovrà ruotare l'innovazione del settore manifatturiero alla luce dell'evoluzione dei mercati e dei progressi nelle nuove scienze e nelle tecnologie abilitanti.

### 1. Il manifatturiero in Europa, in Italia e nel mondo

Il settore manifatturiero rappresenta uno dei pilastri fondamentali dell'economia Europea. Esso ha generato nel 2008 il 20,1% del valore aggiunto totale creato nel vecchio continente (Figura 1) [Eurostat, 2010].

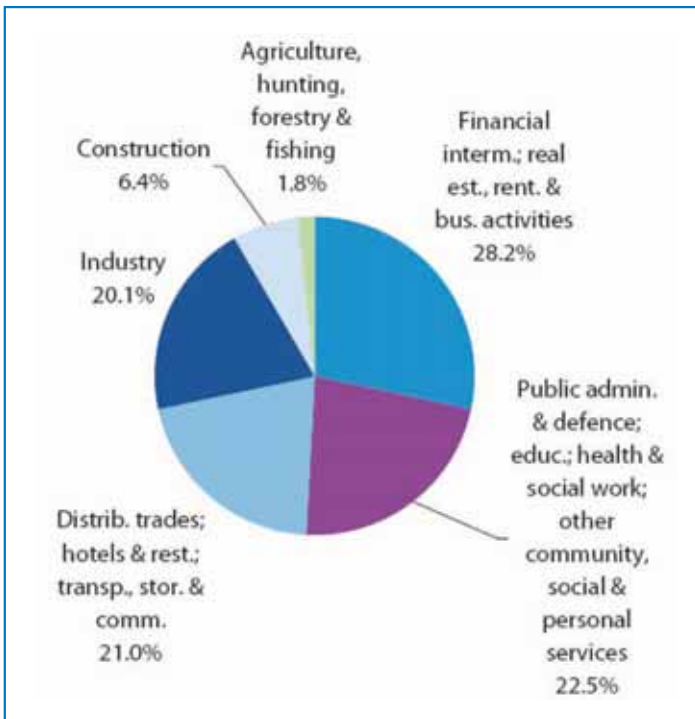


Fig. 1: Valore aggiunto creato dai diversi settori dell'economia Europea [Eurostat, 2010]

Se si considerano le attività economiche non finanziarie e si esclude dal computo del valore aggiunto il contributo del settore finanziario, tale percentuale è stata del 30% nel 2006. Gli occupati che vi trovano lavoro sono circa 34,5 milioni di unità e rappresentano il 26% degli occupati nelle attività economiche non finanziarie. Il fatturato prodotto dalle 2,3 milioni di imprese del settore è stato di 7,3 miliardi di euro, con un valore aggiunto complessivo di 8,1 miliardi.

Il settore è molto variegato al suo interno e comprende sia attività economiche a bassa intensità di investimento, costo del lavoro e produttività (come ad esempio il tessile-abbigliamento e l'industria dei pellami), che attività che presentano alti valori degli stessi indicatori (quali ad esempio l'industria dell'high-tech). La Figura 2 indica la percentuale di valore aggiunto prodotto dai diversi comparti del manifatturiero europeo, insieme a quella del personale occupato. È da notare come il settore alimentare, della produzione dei metalli

e dei beni strumentali rappresentino più del 35% del valore aggiunto complessivo, avendo ciascuno di essi un peso simile (superiore al 10%).

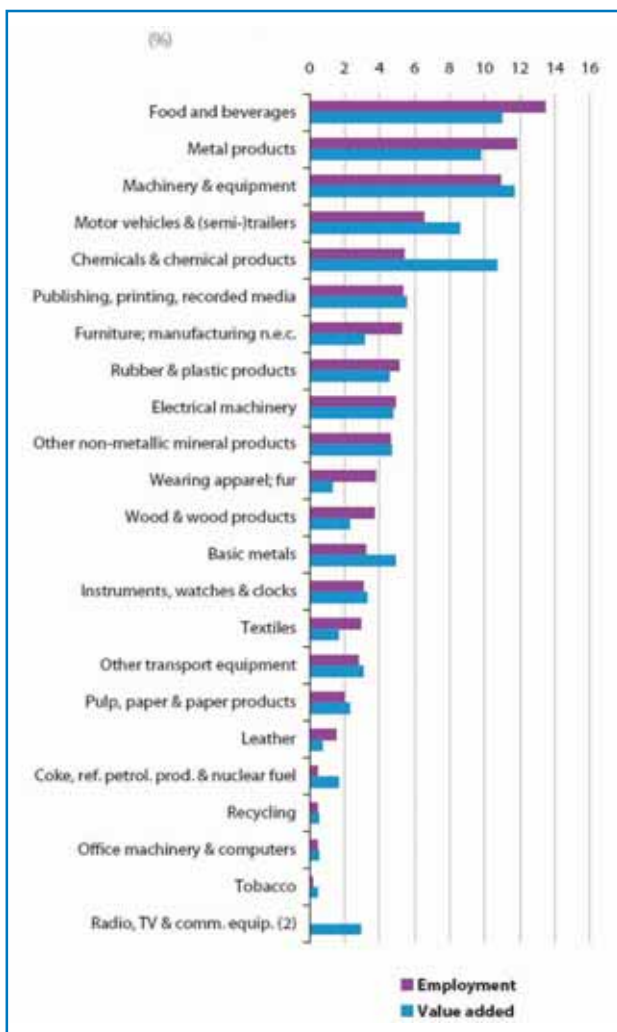


Fig. 2: Valore aggiunto ed occupati dei diversi comparti del manifatturiero Europeo [Eurostat, 2010]



In termini di competizione globale, il fenomeno che ha determinato i cambiamenti maggiori nel settore manifatturiero è stato certamente la crescita delle economie emergenti, che hanno fatto cambiare radicalmente volto alla mappa dei produttori. Tale crescita non è più solamente alimentata da una forte domanda estera, ma anche da una sempre maggiore domanda interna, che sta a sua volta attivando importanti flussi di importazioni. La Tabella 1 mostra la nuova mappa mondiale della produzione manifatturiera in termini di quote percentuali [Confindustria, 2010].

*Tabella 1* – Primi 20 paesi per produzione manifatturiera [Confindustria, 2010]

Paesi produttori	Quote % dei primi 20 produttori mondiali in dollari correnti		
	2000	2007	2009
1 Cina	8,3	15,4	21,5
2 Stati Uniti	24,8	17,4	15,1
3 Giappone	15,8	8,9	8,5
4 Germania	6,6	7,5	6,5
<b>5 Italia</b>	<b>4,1</b>	<b>4,5</b>	<b>3,9</b>
6 Corea del Sud	3,1	3,9	3,6
7 Francia	4,0	3,9	3,6
8 India	1,8	2,7	2,9
9 Brasile	2,0	2,6	2,7
10 Regno Unito	3,5	3,0	2,3
11 Russia	0,7	2,1	2,2
12 Spagna	2,0	2,5	2,2
13 Canada	2,3	2,2	1,8
14 Messico	2,3	1,8	1,6
15 Turchia	0,9	1,1	1,3
16 Taiwan	1,7	1,4	1,3
17 Paesi Bassi	1,1	1,2	1,2
18 Polonia	0,6	0,9	0,9
19 Belgio	0,9	1,0	0,9
20 Svizzera	0,7	0,8	0,8
UE 15	25,7	27,6	24,0
BRIC	12,8	22,7	29,3
Nuovi-UE	1,4	2,6	2,5

L'Italia ha rappresentato la quinta potenza manifatturiera mondiale nel 2009, con il 3,9% della produzione manifatturiera globale. In ambito Europeo, essa è il secondo paese manifatturiero dopo la Germania, che ha mantenuto negli ultimi anni la sua posizione di leadership difendendo il proprio vantaggio. Hanno invece perso terreno rispetto al nostro paese la Francia (settima con il 3,6%) ed il Regno Unito (decimo con il 2,3%). Guardando allo scenario globale, la Cina è balzata saldamente in testa alla classifica con il 21,5% della produzione manifatturiera, scavalcando Stati Uniti e Giappone, rispettivamente al secondo ed al terzo posto, che hanno quasi dimezzato nell'ultimo decennio il proprio contributo alla produzione mondiale (pari rispettivamente al 15,1% e all'8,5% nel 2009). Il nostro paese risulta però incalzato da vicino dalla crescita industriale di Corea del Sud, India e Brasile (rispettivamente al sesto posto con il 3,6%, ottavo con il 2,9% e nono con il 2,7%).

La vocazione manifatturiera dell'Italia risulta ancora più marcata se si considera la produzione industriale pro-capite. Secondo questo indicatore, in nostro paese è la seconda nazione più industrializzata al modo dopo la Germania, distaccata di oltre il 27%. Dopo l'Italia segue il Giappone e gli Stati Uniti, distaccati di oltre il 29% rispetto all'Italia (Figura 3).



Fig. 3: Produzione pro-capite dei paesi industrializzati  
[Confindustria, 2010]

Nell'attuale scenario competitivo non si può non far cenno alla crisi finanziaria ed industriale che ha investito il mondo negli ultimi anni. Essa ha fatto sì che la produzione industriale sia crollata a partire dal 2008 toccando un minimo nel marzo 2009. Da allora è





in atto un processo di recupero la cui velocità è diversa da paese a paese (i paesi del BRIC hanno già ripreso a crescere come nella situazione pre-crisi, mentre le economie avanzate sono ancora in fase di lento recupero).

Oltre che per il suo peso assoluto, l'importanza del manifatturiero nelle economie moderne è ancora maggiore quando se ne evidenziano i legami con il primo settore produttore di valore aggiunto nelle economie moderne, cioè quello dei servizi. Se il manifatturiero conta in Europa per circa il 20%, infatti, i servizi intesi nella più ampia accezione (servizi per l'attività economica e per la società) contano per il 70%. Oltre alla propria quota di mercato, il settore manifatturiero è fondamentale nel sostenere l'economia dei servizi in quanto ne è cliente da un lato, e fornitore dall'altro. L'industria, infatti, richiede servizi per il suo funzionamento e il suo sviluppo traina di conseguenza quello del settore dei servizi (effetto "pull"). D'altra parte, l'industria fornisce prodotti e semilavorati che sono necessari alle imprese di servizio per erogare le proprie prestazioni (effetto "push"), determinandone attivamente la qualità e le possibilità di erogazione. È stato stimato che l'industria manifatturiera assorbe il 17% del totale dei servizi "business-oriented" prodotti e che per ogni euro aggiuntivo di produzione manifatturiera vi siano 0,50 centesimi di valore di servizi richiesti [European Commission, 2009]. In veste di "fornitore", invece, si stima che il settore manifatturiero dedichi l'8% circa della sua produzione globale al funzionamento del mondo dei servizi. Ciò sta a indicare che il manifatturiero non va considerato come un settore in grado di produrre ricchezza e occupazione di per sé in contrapposizione al più rilevante mondo dei servizi, ma va bensì considerato un pilastro fondamentale dell'economia moderna, senza il quale i servizi non potrebbero più erogati e perderebbero anche parte del loro attuale mercato di sbocco.

Il contesto internazionale mostra quindi come i paesi industrializzati debbano trovare nuove strade per difendere un settore fondamentale per la loro economia, minacciato dalla incalzante competizione dei paesi emergenti che possono contare su bassi costi delle risorse produttive ed in una situazione di recessione dovuta alla recente crisi economica.

Accanto all'emergere dei nuovi paesi produttori, vi sono altri fenomeni che influenzano fortemente l'evoluzione del settore manifatturiero e dai quali qualsiasi analisi di scenario non può prescindere. Essi sono:

- L'accorciamento del ciclo di vita dei prodotti e delle tecnologie: l'evoluzione tecnologica da un lato e l'aumentata cultura e consapevolezza dei consumatori dall'altro, hanno fatto sì che il ciclo di vita di prodotti e tecnologie si sia drasticamente ridotto, soprattutto nei settori high-tech dove il progresso è più rapido. Ciò pone molteplici sfide alle imprese manifatturiere, che devono essere in grado di adeguare rapidamente le proprie tecnologie allo stato dell'arte e seguire i mutamenti del mercato attraverso l'offerta di prodotti sempre nuovi e aggiornati. Esse devono quindi acquisire una flessibilità operativa ed una capacità di riconfigurazione dei

propri sistemi di prodotto-processo-infrastruttura manifatturiera che erano impensabili nel passato. Un esempio significativo è costituito dai recenti progressi nei settori dei materiali innovativi, nanotecnologie, ICT e mecatronica, che abbattano considerevolmente i limiti nello sviluppo di nuovi prodotti o nell'innovazione di quelli esistenti.

- La disintegrazione delle filiere produttive e la dimensione globale delle supply chain: l'apertura di nuovi paesi agli scambi internazionali ed i rapidi progressi di internet e dell'Information Technology, hanno spinto le imprese a suddividere la produzione in step intermedi e a disintegrarsi verticalmente con lo scopo di ricercare efficienza complessiva e di concentrarsi sul proprio core business. La disponibilità di mercati di fornitura a basso costo del lavoro ha favorito questa tendenza, anche se in molti casi gli svantaggi sono stati notevoli (legati alla difficoltà di coordinamento, di ottenimento di qualità costante dei prodotti, di perdita di know-how e di supporto nella generazione di nuovi concorrenti). Se in passato il tema della progettazione della supply chain è stato gestito in maniera tattica, la scelta del paradigma produttivo riveste oggi un'importanza strategica per le imprese industriali, poiché da esso dipende in larga parte l'acquisizione di vantaggi competitivi sostenibili.
- La sostenibilità ambientale: lo sfruttamento intensivo delle risorse del pianeta che perdura da decenni, l'ingresso tra i paesi industrializzati delle economie emergenti e l'accorciamento del ciclo di vita dei prodotti e delle tecnologie, pongono la questione della sostenibilità ambientale in maniera cogente. Saranno necessarie nel futuro prossime nuove logiche di utilizzo delle risorse e dei beni di produzione che siano più efficienti e sostenibili. Ad esempio, nuove fonti energetiche, nuove tecnologie che riducano drasticamente l'impiego di risorse, nuovi modelli di business basati sulla condivisione della capacità produttiva o sul "pay per use", sul "re-manufacturing" e "re-use" dei prodotti e delle tecnologie, oltre che sul recupero intelligente dei materiali alla fine del ciclo di vita.
- Le regolamentazioni: per indirizzare lo sviluppo nella direzione della sostenibilità ambientale, i paesi industrializzati si sono dotati e si stanno dotando di diverse regolamentazioni che normano la sicurezza, l'impatto ambientale e la qualità dei processi manifatturieri. Tuttavia, vi è disomogeneità di regole tra paese e paese e, soprattutto, la regolamentazione è ancora in uno stato embrionale o disattesa nei paesi emergenti. Tale situazione, oltre che creare squilibri competitivi a vantaggio dei paesi emergenti, rende molto complessa la gestione di filiere produttive globali di imprese multinazionali che mirino a sfruttare i vantaggi competitivi di diversi siti produttivi. Al di là dell'aspetto ambientale, un ulteriore problema che le imprese dei



paesi industrializzati si trovano a gestire attraverso le regolamentazioni internazionali è relativo alla imitazione non autorizzata dei prodotti che essi producono ed esportano. Le attuali regolamentazioni per la protezione intellettuale, tuttavia, non sono spesso efficaci nel preservare il know-how dei produttori. In futuro occorrerà promuovere nuove soluzioni regolamentative condivise, oltre che avviare specifiche iniziative di ricerca che abbiano lo scopo di studiare come ci si possa cautelare dalla copiatura dei propri prodotti dal punto di vista tecnico (ad esempio attraverso nuovi accorgimenti di progettazione, produzione, nuove modalità e mezzi per la fornitura di assistenza e servizi nell'ambito delle supply chain globali, etc.).

Per rispondere alle sfide poste dallo scenario sopra descritto, si è costituita nei primi anni 2000 la piattaforma Europea "ManuFuture", che raggruppa le principali azioni ed iniziative a livello Europeo, nazionale e regionale sul manufacturing al fine di supportare il settore manifatturiero Europeo. Dopo aver organizzato numerosi gruppi di lavoro, cui la direzione ITIA-CNR ha partecipato in qualità di membro dell'"High level Group" e dell'"Implementation Support Group", nel 2006 "ManuFuture" ha sancito la necessità di cambiare il paradigma competitivo Europeo, ormai inadeguato a fronteggiare la nuova situazione globale [Manufuture, 2006]. Da una parte, infatti, il manifatturiero Europeo soffre l'agguerrita competizione di altri paesi industrializzati, quali ad esempio la Corea, nei suoi comparti a più elevato contenuto tecnologico. Dall'altra, le attività produttive nei comparti più tradizionali si stanno progressivamente spostando nei paesi a più basso costo del lavoro, con i quali le condizioni strutturali non consentono di competere. La risposta strategica proposta dalla piattaforma è lo spostamento della competizione su prodotti e attività ad alto valore aggiunto e contenuto di conoscenza, intorno ai quali deve ruotare l'innovazione del comparto manifatturiero. In particolare, i cinque pilastri del manifatturiero del futuro, sono indicati dalla piattaforma in:

- nuovi sistemi di prodotti-servizi ad alto valore aggiunto;
- nuovi modelli di business;
- l'adozione di soluzioni avanzate di ingegneria industriale;
- lo sviluppo di conoscenze e tecnologie manifatturiere;
- l'innovazione dell'infrastruttura della ricerca e del sistema di educazione.

La crisi finanziaria intervenuta negli anni successivi, ha ancor di più sottolineato l'importanza del settore manifatturiero quale pilastro delle economie. A livello Europeo, infatti, il "recovery plan" varato dal presidente Barroso nel 2008 ha previsto la creazione di "Public Private Partnerships" tra la Commissione Europea e privati per stimolare gli investimenti in settori

ed attività strategiche. In particolare, per il settore manifatturiero è stato stanziato un budget complessivo di 1,2 miliardi di euro. Ciò ha portato alla costituzione della “European Association for the Factories of the Future” (EFFRA), una Associazione privata di rilevanza europea nata in ambito Manufature che si compone di aziende, associazioni di categoria e centri di ricerca. EFFRA ha lo scopo riconosciuto dalla UE di svolgere il ruolo di interlocutore Privato che insieme alla parte Pubblica (UE) si impegni nella realizzazione della Public-Private Partnership (PPP) sulla tematica “Factories of the Future”. EFFRA ha già prodotto una “Strategic multiannual roadmap” alla quale l’Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITIA-CNR) ha apportato contributo in qualità di membro dello “Industrial Research Advisory Group” [Effra, 2010]. Tale roadmap traccia le linee guida delle attività di ricerca ed innovazione europea nel manifatturiero proposte dagli stakeholder industriali, che si articolano lungo i seguenti quattro filoni fondamentali:

- manufacturing sostenibile (dal punto di vista ambientale, economico e sociale);
- manufacturing intelligente abilitato da ICT;
- manufacturing dalle alte prestazioni;
- sfruttamento di nuovi materiali attraverso il manufacturing.

Le tematiche proposte della roadmap strategica di EFFRA hanno costituito la base per lo sviluppo delle “call for proposal” di progetti di ricerca Europei attualmente in corso.

Nell’ultimo anno, l’importanza del manifatturiero e la necessità di considerarlo elemento centrale nella definizione delle future politiche di sviluppo della Information & Communication Technology (ICT) e delle azioni di politica economica ed infrastrutturale Europea è stata confermata da due relazioni elaborate dalla Commissione per il Parlamento Europeo: l’una della direzione generale “Information Society and Media” [European Commission (a), 2010], l’altra della direzione generale “Enterprise and Industry” [European Commission (b), 2010].

Anche negli Stati Uniti, la centralità del manifatturiero è stata posta dal Presidente Obama quale elemento fondante della ricostruzione a seguito della crisi finanziaria. Similmente a quanto avvenuto in Europa, il “recovery plan” varato dal presidente prevede uno specifico capitolo per “Manufacturing and green jobs”, che delibera l’istituzione di un “Advanced Manufacturing Fund” per lo sviluppo delle strategie manifatturiere avanzate, il raddoppio dei finanziamenti per l’istituzione di partnership tra imprese industriali per innovare le tecnologie di produzione e migliorare la loro efficienza, oltre che ingenti investimenti per lo sviluppo di nuove tecnologie nel settore dell’energia in ottica di sostenibilità [Obama, 2010].

Anche a livello nazionale, l’attenzione delle istituzioni e del mondo industriale alla innovazione e supporto del settore è attualmente altissima. Muovendo dai trend e dai bisogni espressi dai tavoli



tematici rappresentativi di diversi comparti e settori, uno dei quali è stato specificamente dedicato ai beni strumentali, il Programma Nazionale della Ricerca (PNR) predisposto dal Governo Italiano stabilisce importanti azioni di ricerca orientata alle tecnologie abilitanti, allo sviluppo di settori industriali innovativi, al sostegno delle industrie esistenti per il miglioramento della loro efficienza e competitività, ed al sostegno di nuove imprese high-tech [PNR, 2010]. Tra i “progetti bandiera” del PNR che stanno per avere avvio imminente, ve ne è uno intitolato “La fabbrica del futuro”, per il quale sono stati stanziati trenta milioni di euro. Ciò risulta coerente con la logica di evoluzione verso un manifatturiero a più alto valore aggiunto promossa in sede Europea.

In quest’ottica, il comparto dell’automazione e dei beni strumentali rappresenta un volano importante per l’industria manifatturiera italiana in quanto produce una vasta e variegata offerta di tecnologie e sistemi che, per le loro caratteristiche, sono in grado di contribuire significativamente alla competitività delle imprese industriali che le impiegano nei loro processi produttivi. L’Italia occupa il quarto posto della classifica mondiale dei produttori di macchine utensili (circa 5.8 miliardi di euro nel 2008) e la terza posizione tra gli esportatori (oltre 3,2 miliardi di euro) [UCIMU, 2009].

Il disegno di legge “Industria 2015” varato dal governo nel 2006 pone l’industria estesa alla nuove filiere produttive che integrano manifattura, servizi avanzati e nuove tecnologie al centro dello sviluppo economico futuro dell’Italia e della valorizzazione dei nostri valori e competenze storiche. Esso identifica gli strumenti delle reti di impresa, della finanza innovativa e dei progetti di innovazione industriale per reindirizzare il sistema manifatturiero nazionale e per renderlo competitivo nella nuova economia globalizzata [MSE, 2006].

A livello regionale, è da segnalare la recente iniziativa “Mind in Italy” in cui il Consiglio Nazionale delle Ricerche e la Regione Lombardia hanno recentemente sottoscritto un accordo quadro per la realizzazione di quattro progetti di ricerca per complessivi 40 milioni di euro (20 a carico della Regione, 20 del CNR), il più rilevante dei quali in termini di numero di posti da ricercatore previsto riguarda “processi high-tech e prodotti orientati al consumatore per la competitività del manifatturiero lombardo” [CNR, 2006].

Grazie alle azioni già intraprese in termini di ricerca e sviluppo e grazie alla forza del tessuto imprenditoriale italiano, i primi dati dopo la crisi mostrano che il nostro paese sta rispondendo adeguatamente alle difficili sfide poste dal contesto. Infatti, l’Italia è stata in grado di difendere la sua quota di esportazione globale di manufatti: essa è stata in media del 4,8% l’anno negli anni 2004-2008, valore simile a quello degli anni 2000-2003 [Confindustria, 2010]. Ad eccezione della Germania, che mantiene un saldo primato, tutti gli altri paesi industrializzati hanno invece ceduto quote di export in favore dei paesi emergenti. In Europa, in particolare, Francia e Regno Unito hanno perso significative quote di export (Tabella 2).

I dati mostrano come nel nostro paese sia in corso una ristrutturazione della composizione settoriale del manifatturiero: i comparti tradizionali del conciario-calzaturiero, mobile

arredamento e tessile-abbigliamento si sono nettamente ridimensionati in favore dei beni strumentali, metallurgia e chimica, settori a più alto contenuto tecnologico. Ciò ha fatto sì che oltre il 50% delle esportazioni abbia riguardato beni strumentali e intermedi, mentre i comparti tradizionali abbiano pesato meno del 15%. Ovviamente, data la storica tradizione dell'Italia in questi settori, il nostro paese ha mantenuto in essi il primo posto nelle classifiche mondiali. La crescita degli altri, però, ci ha consentito di classificarci secondi in molti ambiti dopo la Germania, come mostrato nella Tabella 3. Per una corretta interpretazione della tabella, occorre considerare che la classifica di competitività è in essa calcolata non semplicemente sulla base della quota di mercato nelle esportazioni mondiali, ma attraverso il "Trade Performance Index" definito dall'International Trade Centre. Tale indice considera, oltre al volume assoluto delle esportazioni, fattori come le esportazioni pro-capite ed il trend nel tempo e permette quindi di avere una stima più completa di competitività [ITC, 2007].

*Tabella 2* – Quote di mercato nell'export di manufatti [Confindustria, 2010]

<b>Chi esporta più manufatti...</b> (Export mondiale di manufatti, quote % su dati a prezzi e cambi correnti)			
	2000-2003	2004-2008	2009*
<b>Asia</b>			
Cina	6,8	11,0	12,4
India	0,9	1,3	1,7
Giappone	8,4	7,2	5,7
Corea del Sud	3,3	3,8	4,1
Taiwan	2,7	2,4	2,0
<b>Europa</b>			
Unione europea (27)	47,4	48,6	48,7
Unione europea (15)	45,6	44,4	43,3
Italia	4,9	4,8	4,6
Germania	11,2	12,0	12,3
Francia	6,3	5,4	5,1
Regno Unito	4,7	4,0	3,5
<b>America settentrionale</b>			
Stati Uniti	13,1	10,9	9,9
<b>America centro-meridionale</b>			
Brasile	1,0	1,2	1,2
<b>Altri paesi</b>			
Russia	0,9	1,5	-



**Tabella 3** – Classifica di competitività nelle esportazioni secondo il “Trade Performance Index” [Confindustria, 2010]

Dove l'Italia è in vantaggio			
(Indice di competitività calcolato nel 2006 e basato su: quote di mercato, differenza di prodotto e di mercato, esportazioni nette)			
	1	2	3
Mezzi di trasporto	Germania	Francia	Corea del Sud
Meccanica non elettronica	Germania	<b>Italia</b>	Svezia
Chimica	Germania	Olanda	Francia
Prodotti manufatti di base*	Germania	<b>Italia</b>	Svezia
Prodotti diversi	Germania	<b>Italia</b>	Svizzera
Meccanica elettrica ed elettrodomestici	Germania	<b>Italia</b>	Francia
IT ed elettronica di consumo	Svezia	Cina	Singapore
Prodotti alimentari lavorati	Germania	Olanda	Francia
Prodotti in legno	Germania	Finlandia	Svezia
Tessili	<b>Italia</b>	Germania	Taiwan
Abbigliamento	<b>Italia</b>	Cina	Romania
Cuoio, pelletteria e calzature	<b>Italia</b>	Cina	Vietnam

\*Metalli di base non ferrosi, metalli ferrosi, ceramiche, vetro  
Fonte: elaborazioni CSC su dati WTO-UNCTAD.

La risposta delle fabbriche italiane è avvenuta riorganizzando le produzioni, innovando i prodotti, puntando su maggior valore aggiunto attraverso l'offerta di servizi e assumendo personale più qualificato, come dimostrato dalle statistiche di impiego di laureati nelle imprese industriali. Tuttavia, tale evoluzione è ancora agli esordi e, anche a causa delle negative condizioni congiunturali, non basta a contrastare la costante riduzione di redditività delle imprese: il margine operativo lordo è infatti calato dal 33% del 2000 al 29% nel 2007, dopo essere sceso al 27% nel 2005 (il dato 2009 del 18% va interpretato quale effetto della crisi finanziaria) [Confindustria, 2010].

Anche a livello Europeo, la transizione del manifatturiero verso offerte a più alto valore aggiunto che coniughino l'innovazione tecnologica con la dimensione dei servizi, è lungi dall'essersi compiuta e presenta sfide rilevanti che necessitano di sforzi congiunti da parte del mondo della ricerca e di quello industriale [Lay et al., 2010] [Copani et al., 2007].

## 2. La fabbrica del Futuro

Le iniziative promosse a livello Internazionale, Europeo e Nazionale sono volte ad identificare le caratteristiche per le fabbriche del futuro che siano in grado di garantire competitività sostenibile al comparto manifatturiero.

Le *fabbriche del futuro* saranno l'evoluzione delle fabbriche attuali attraverso il progresso delle tecnologie che le renderanno competitive. Saranno quindi fabbriche digitali dalle alte prestazioni e saranno caratterizzate da:

- configurazione e produzione "on site", cioè nel luogo dove è più conveniente produrre di volta in volta secondo logiche di personalizzazione spinta;
- emissioni prossime allo zero e impiego di cicli di produzione ad anello chiuso, cioè che si auto-sostengano attingendo in modo limitato alle risorse esterne;
- impiego di tecnologie ICT per il manufacturing quali la realtà virtuale, RFID, ecc. e di tecnologie che garantiscono alte prestazioni.

Accanto alle produzioni tradizionali, poi, vi saranno fabbriche che nasceranno specificamente per produrre una nuova generazione di prodotti e componenti basati su materiali e tecnologie radicalmente innovativi. Esse si avvarranno dei progressi che stanno compiendo le discipline della fotonica, nano-elettronica, nano-tecnologie, biotecnologie e materiali avanzati ed avranno l'obiettivo di creare macro-valore aggiungendo e generando anche materiale su scala nano e micro.

Per certo, immaginare la fabbrica del futuro è un compito complesso che continua a suscitare numerose discussioni nell'ambito della comunità scientifica e industriale. Tuttavia, sulla base degli eventi che caratterizzano il mondo del manifatturiero a livello mondiale, non ci si può esimere da un'accurata analisi delle prestazioni innovative che la fabbrica del futuro deve offrire. Adottando una visione olistica, probabilmente la fabbrica del futuro dovrà essere:

- **Intelligente (Smart).** Sulla base dei dati rilevati dal campo, la fabbrica intelligente sarà in grado di implementare in modo autonomo strategie adattative modificando le proprie prestazioni, i propri modi e dinamiche operative.
- **Sostenibile.** Il sistema fabbrica opererà nel completo rispetto dei vincoli di consumo energetico e di emissioni, a partire dai consumi delle macchine operatrici fino alla regolazione dei sistemi di illuminazione e condizionamento. La fabbrica sarà in grado di auto-sostenersi sotto il profilo energetico sfruttando in modo intelligente le fonti energetiche pulite, oltre a riutilizzare ogni potenziale fonte disponibile nella





fabbrica. Oltre ad essere “verde”, la fabbrica sarà sostenibile dal punto di vista sociale, integrandosi e sfruttando al meglio le capacità dei lavoratori e i costumi sociali, ed economico, portando risorse e benessere nel contesto in cui opera.

- **Riconfigurabile.** La necessità di operare in contesti produttivi dinamici dove la domanda e le tecnologie evolvono rapidamente, richiederà la capacità della fabbrica di poter reagire al cambiamento congiuntamente con i prodotti ed i processi, modificandosi in modo efficace ed economicamente competitivo. La riconfigurabilità si dovrà manifestare sui vari livelli della fabbrica, dalla singola risorsa produttiva alla rete logistica globale.
- **Sicura.** Gli uomini e le macchine dovranno cooperare, condividendo in sicurezza l'ambiente manifatturiero. L'ambiente produttivo dovrà essere sano e confortevole per l'uomo, aumentandone la percezione di operare in un ambiente che contribuisce al suo benessere.
- **Personalizzabile.** La soluzione di fabbrica potrà essere ritagliata sulle caratteristiche di prodotti complessi ed esigenze produttive che verranno valutate in ottica evolutiva, così da dotare la soluzione produttiva di capacità adattative e riconfigurabili.
- **Attenta al ciclo di vita dei prodotti.** Unitamente a prodotti complessi la fabbrica sarà in grado di far fronte alle sempre più crescenti esigenze di gestire le fasi finali del ciclo di vita dei prodotti andando a de-produrre, disassemblare, riusare, riciclare o recuperare i prodotti, generando nuove opportunità e risorse per il mondo del lavoro. In caso di necessità, la fabbrica sarà in grado di modificare i prodotti esistenti che necessitano up-grade nelle funzionalità o modifiche delle caratteristiche tecnologiche.
- **Auto-riparante.** La fabbrica sarà capace di identificare i guasti e le loro cause, intervenendo direttamente dove possibile con le riparazioni.
- **Adattabile.** Il concetto di fabbrica potrà essere applicato a diversi ambiti produttivi, sia per quanto riguarda la tipologia dei prodotti che per la loro dimensione (macro vs micro).

Sulla base delle caratteristiche elencate, il concetto di *fabbrica del futuro* può pienamente realizzarsi nel tessuto manifatturiero Europeo grazie a:

- Una lunga tradizione nel campo manifatturiero, fondata su solide basi culturali ed esperienze industriali e aziendali.

- La capacità di innovare nonché di essere il volano mondiale, considerato lo share di mercato che l'Europa possiede nel segmento manifatturiero.
- Una sviluppata cultura dell'ambiente e del risparmio energetico, che ha spinto l'Europa a regolamentare legalmente ogni tipo di produzione.
- La capacità e l'esperienza nell'integrazione e cooperazione fra macchine e operai in ambienti condivisi, investendo in campi come la sicurezza e l'ergonomia.
- Il vantaggio competitivo maturato sviluppando soluzioni ad hoc che rispondano alle esigenze produttive specifiche.
- Il know-how innovativo fornito dalle università e dai centri di ricerca nel manifatturiero.

Tuttavia, l'enorme potenziale Europeo nell'essere promotore di innovazione e competitività nel manifatturiero necessita di un continuo supporto politico e scientifico per poter realizzare concretamente la *fabbrica del futuro*. In questo senso, il ruolo della politica è di fondamentale importanza perché insieme al mondo industriale dovrebbe garantire un supporto economico costante alle attività di ricerca, oltre a facilitare il processo e le modalità di fruizione dei finanziamenti riducendo drasticamente la burocrazia. Il supporto politico dovrebbe garantire una legiferazione in tema ambientale che sia globalmente adottata e contestualmente limitare severamente le importazioni da paesi in cui il rispetto ambientale non è tutelato legalmente in modo appropriato. La sostenibilità deve essere un obiettivo strategico per l'industria europea, la cui competitività può essere migliorata grazie a nuova conoscenza tecnologica. Se ben gestito, il concetto di sostenibilità può generare profitto e crescita economica, garantendo al contempo la tutela ambientale e della salute dei cittadini. In modo analogo, si dovrebbe investire nella prevenzione in tema di sicurezza, permettendo la circolazione di fondi che supportino le aziende di tutte le dimensioni, e nella ricerca di soluzioni avanzate per il monitoraggio del processo, l'ergonomia e la sicurezza, supportando i lavoratori con dispositivi meccatronici nell'esecuzione di attività considerate ad alto rischio così come la minimizzazione delle attività usuranti. La politica dovrebbe inoltre promuovere in modo intensivo l'importanza del manifatturiero nell'istruzione scolastica e avvicinare in modo consapevole i giovani studenti e lavoratori al mondo industriale. Infine, il mondo politico dovrebbe supportare e privilegiare la conversione delle attuali realtà produttive in fabbriche del futuro, premiando strategie di innovazione di prodotti e processi.

In questo panorama, il ruolo della ricerca scientifica è di enorme responsabilità. Dal punto di vista tecnico-scientifico, le fabbriche del futuro saranno caratterizzate da un'architettura



molto evoluta, che integra la *fabbrica reale* con la *fabbrica virtuale* in un sistema ad anello chiuso. Analogamente a quanto avviene in un anello di controllo, il contesto produttivo della *fabbrica reale* (es. i prodotti lavorati, le macchine utensili e gli operatori) può fornire nel tempo molte informazioni che se manipolate e analizzate da strumenti digitali permettono di costruire un vero e proprio modello digitale di *fabbrica virtuale*. La *fabbrica virtuale* consiste in un ambiente digitale integrato che considera la fabbrica come un'entità unica fornendo funzionalità di pianificazione avanzata, supporto alle decisioni e validazione sia a livello locale che a livello di rete globale [Jain 2001]. Il paradigma di fabbrica virtuale può aiutare a rispondere al bisogno di innovazione andando ad affrontare vari aspetti, fra cui:

- Simulazione del comportamento della fabbrica reale e identificazione preventiva di opportune strategie di intervento da implementare nel sistema di produzione, per sincronizzare la fabbrica reale e la fabbrica virtuale, andando così a chiudere l'anello.
- Riduzione dei tempi di produzione e sprechi di materiale grazie all'analisi di modelli digitali dei nuovi prodotti.
- Miglioramento dell'efficienza e sicurezza dei lavoratori grazie all'addestramento e all'apprendimento su sistemi di produzione virtuali.
- Creazione di una rete di collaborazione fra persone che lavorano sugli stessi progetti e allo stesso tempo, ma in luoghi diversi.
- Democratizzazione grazie allo sviluppo di tecnologie "aperte" che siano fruibili anche da piccole e medie imprese (PMI).

La possibilità di chiudere l'anello fra fabbrica reale-virtuale assicurerebbe notevoli vantaggi competitivi alle imprese. Infatti, disponendo di modelli digitali realistici che riproducano il contesto produttivo, si possono fare analisi volte alla identificazione continua dello stato del sistema e alla ottimizzazione delle prestazioni reali. Inoltre, le soluzioni correttive e di miglioramento, identificate e testate nell'ambiente virtuale con opportuni modelli digitali e strumenti software, possono essere implementate nel sistema reale prima che si verifichino eventi inattesi, avendo già valutato le dinamiche che conseguiranno una decisione. Sarebbe così possibile combinare nel mondo virtuale l'esperienza e le metodologie in grado di ottimizzare il comportamento di un sistema produttivo lungo il suo ciclo di vita.

La varietà e complessità delle tematiche coinvolte nella concezione, progettazione e sviluppo delle fabbriche del futuro, richiede l'integrazione e cooperazione di mondi scientifici e tecnologici spesso molto diversi tra loro e tradizionalmente indipendenti. Ne consegue che il successo della fabbrica del futuro si basa sul coinvolgimento di team multi-disciplinari di esperti dotati di grande flessibilità e immaginazione. Nuove tecnologie, processi e

materiali performanti si possono trasformare in innovazione a livello di fabbrica solo se sono adeguatamente plasmate dalle risorse umane. Inoltre, la fabbrica nel futuro richiederà la convergenza di molte tecnologie e approcci multi-disciplinari rappresentando il luogo privilegiato di innovazioni, ancora di più dei singoli settori specialistici.

La realizzazione di soluzioni complesse e innovative per le fabbriche del futuro richiede l'investimento in un ampio spettro di aree di ricerca che coprono l'intero ciclo di vita della fabbrica, dalla sua progettazione alla sua dismissione, e allo stesso tempo prendono in considerazione la dimensione multi-livello del contesto produttivo che spazia dalla singola risorsa produttiva all'impianto nel suo complesso così come dalla dimensione micro-manifatturiera a quella macro. L'ottimizzazione dei sistemi produttivi può essere raggiunta solo agendo in modo congiunto sulla gestione delle risorse umane, sull'introduzione di tecnologie ed equipaggiamenti avanzati e sull'uso dell'ICT.

Dopo aver illustrato le caratteristiche fondamentali della fabbrica del futuro e aver identificato un'architettura in grado di fornire le prestazioni necessarie, nel seguito si presentano alcune linee di ricerca che dovrebbero essere approfondite nei prossimi anni per raggiungere gli obiettivi in precedenza.

### **Interoperabilità fra gli strumenti digitali**

L'uso di Information and Communication Technologies (ICT) in ambito manifatturiero può contribuire fortemente ad aumentare l'efficienza, adattabilità e sostenibilità dei sistemi di produzione e la loro integrazione con modelli di business e processi agili. In particolare, le metodologie e gli strumenti software che supportano la progettazione e la produzione dei prodotti lungo il loro ciclo di vita sono determinanti per poter gestire l'evoluzione congiunta di prodotti, processi e sistemi di produzione. A causa della complessità del contesto produttivo, solitamente tali metodi e strumenti sono ideati per assistere attività specifiche e limitate, e quindi poco efficienti nell'ottica integrata di fabbrica. Tuttavia, la decisione di affrontare problemi ingegneristici in modo organico e strutturato in cui si contemplino problemi di natura diversa, come la modellazione del prodotto, del processo produttivo e della progettazione di sistema manifatturiero, richiede spesso la definizione di una rete di collaborazione multi-disciplinare. In questi casi, la sfida principale consiste nell'integrazione e armonizzazione della conoscenza dell'azienda tramite l'uso di vari metodi e strumenti software che devono superare l'eterogeneità delle informazioni relative a prodotti, processi e risorse produttive che devono essere gestite nel corso del tempo. Inoltre, è evidente la necessità di architetture ICT che siano integrate e aperte per garantire il corretto uso degli strumenti software e gestire il flusso di informazioni attraverso la fabbrica.

L'interoperabilità tra strumenti software è cruciale per la condivisione e il trasferimento



di dati con l'obiettivo di identificare strategie di gestione del sistema produttivo che non rappresentino delle soluzioni locali, bensì vengano prese considerando il comportamento del sistema nel suo complesso (es. il consumo energetico, il ritmo produttivo, l'affidabilità delle macchine, ecc.).

La complessità dei problemi da affrontare richiede l'ausilio di strumenti di supporto per tutte le fasi del ciclo di vita della fabbrica [Canetta et al., 2011]. Infatti, le maggiori compagnie che operano nel settore ICT offrono già dei pacchetti software omnicomprensivi che sono stati sviluppati o acquisiti nel corso degli anni. Questi strumenti sono chiamati software per Product Lifecycle Management (PLM) e si occupano di varie fasi progettazione e pianificazione della fabbrica. Tuttavia, le soluzioni attualmente offerte non riescono a soddisfare tutti i fabbisogni dell'industria, non offrendo il supporto necessario ad affrontare nuove tematiche (per esempio il consumo energetico e LCA) e mancando di interoperabilità così come di una semantica comune. Inoltre, rimane da valutare se questi strumenti molto costosi siano effettivamente accessibili anche per le piccole e medie imprese (PMI). Infatti, solitamente solo le grandi aziende sono in grado di sostenere gli alti costi per software PLM [Sacco, et al. 2009] e perciò le PMI sono ancora alla ricerca di soluzioni personalizzabili e a costo contenuto che siano più adatte alla loro realtà [Consoni, et al. 2006].

### Catena CAD-CAM-NC

Fra gli strumenti software che rientrano nella categoria PLM si possono menzionare:

- Strumenti per la modellazione, analisi e simulazione di prodotti e processi, come ad esempio computer-aided design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM), simulazione ingegneristica, electronic design automation, ecc.
- Strumenti per la gestione dei dati di prodotto (Product Data Management) che offrono alle aziende la possibilità di organizzare e visualizzare le informazioni di prodotto e di processo nel corso del tempo e in modo collaborativo.

Uno dei problemi legati agli strumenti PLM consiste nel debole collegamento fra la progettazione di prodotto e la progettazione dei cicli produttivi, che si manifesta nella scarsa disponibilità di strumenti software che assistano la generazione dei piani di processo (Computer Aided Process Planning, CAPP) all'interno delle piattaforme PLM. Nel caso di risorse produttive a controllo numerico (NC), la realizzazione della catena "CAD-CAM-NC" consiste nell'integrazione di informazioni di prodotto e processo con informazioni funzionali e cinematiche relative ai dispositivi fisici del sistema produttivo. Attualmente ci sono ancora pochi strumenti software che affrontino il problema della catena CAD-CAM-NC e la maggior parte non offre funzionalità CAPP, evidenziando così la necessità di ulteriore ricerca in questo campo.

### **Realtà Virtuale/Realtà Aumentata**

A valle dell'interpretazione delle informazioni nell'ambiente virtuale, le decisioni identificate come strategiche devono essere validate per determinarne l'impatto nel contesto produttivo reale e poi implementate. In questo ambito, un tema di ricerca promettente riguarda lo sviluppo di nuove piattaforme software che si basano sulla realtà virtuale (VR) e realtà aumentata (AR) per facilitare la connessione tra il mondo digitale e quello reale [Viganò et al., 2009]. Per esempio, ciò consente agli operatori di interagire attivamente con un ambiente digitale immersivo e potenzialmente collaborativo per accedere a documenti provenienti da altri dipartimenti, collaborare all'interno di gruppi multi-disciplinari, effettuare valutazioni ergonomiche, visualizzare informazioni sul comportamento delle macchine e sullo stato di avanzamento del piano di produzione. Tutto ciò è finalizzato a intervenire sulla fabbrica reale nel più breve tempo possibile dopo aver valutato l'impatto delle varie opzioni sulla fabbrica virtuale [Sacco et al., 2010].

### **Progettazione avanzata delle macchine utensili**

Nuovi processi, macchine e sistemi di produzione ad alte prestazioni richiederanno nuovi metodi e strumenti per la progettazione delle macchine e il monitoraggio delle operazioni [Cau et al., 2009]. Inoltre, in accordo con l'ottica co-evolutiva di integrazione tra macchina e processo, la progettazione della macchina dovrà congiuntamente tenere conto di attività volte alla pianificazione del processo produttivo in termini di setup planning, configurazione pallet e definizione della sequenza di operazioni [Pellegrinelli et al., 2010].” Attualmente, i costruttori di macchinari e di sistemi meccanici complessi non possono più basarsi esclusivamente su prototipi fisici per individuare i punti deboli di un progetto. Al fine di ridurre i tempi e i costi di collaudo legati al processo iterativo del prototipo fisico, è necessario ricorrere sempre più spesso all'utilizzo dei così detti “Prototipi Virtuali” del comportamento statico e dinamico della macchina, che costituiscono l'ingrediente fondamentale di quella che viene spesso definita come progettazione “Model Based”. Quanto più il comportamento da descrivere è complesso, tanto più il contenuto scientifico e tecnico su cui si basa il modello è imponente e l'allestimento del prototipo virtuale risulta essere particolarmente oneroso. Se da un lato i software CAE stanno diventando sempre più potenti e user-friendly, dall'altro occorre individuare con precisione quando e fino a che punto è opportuno spingersi nella progettazione “Model Based”, il cui utilizzo deve essere valutato considerando le esigenze dei costruttori di macchine, dei system integrator e degli utilizzatori finali. Tali modelli devono sempre più coniugare elementi di meccanica, elettronica, componenti intelligenti, logica di controllo etc. rendendo assai difficile prevedere l'effetto di tutte le possibili interazioni [Albertelli et al., 2008]. Essi permetterebbero inoltre di ridurre in modo drastico il costo della progettazione e validazione della soluzione di macchina, ridimensionando l'utilizzo di prototipi fisici eccessivamente costosi in quanto



composti da componenti sempre più sofisticati. L'approfondimento legato alle tematiche di progettazione model based, andrebbe nella direzione di sviluppare soluzioni progettuali altamente innovative che spazierebbero in modo olistico dal singolo componente (per esempio, la struttura meccanica) al macchinario completo.

Inoltre, in un contesto manifatturiero molto dinamico la progettazione e l'innovazione di macchina è spesso incrementale. Partendo da una soluzione progettuale consolidata, è necessario apportare modifiche atte a migliorare il prodotto in alcuni aspetti, oppure adattarlo a una specifica esigenza del cliente. Pertanto, lo sviluppo di soluzioni scalabili di prototipazione virtuale, caratterizzate da poche e focalizzate verifiche basate su un ristretto insieme di indicatori standard, finalizzati ad assicurare la qualità del processo di progettazione, o per valutare in breve tempo alcune possibili varianti di progetto, risulta una chiave fortemente competitiva. Ciò è facilitato dal fatto che i risultati attesi (riguardanti informazioni come le proprietà strutturali, gli effetti di alcuni componenti e le prestazioni del sistema di controllo) saranno espressi con un linguaggio fruibile nel mondo industriale anche per coloro che non si occupano direttamente di progettazione di macchine, utilizzando indici di merito sintetici che indicano soglie convenzionali per progetti buoni o da scartare.

### **Gestione della produzione**

Le prestazioni delle fabbriche del futuro dipenderanno fortemente dall'efficacia con cui i metodi per la programmazione della produzione e la schedulazione sono in grado di fronteggiare i cambiamenti del mercato (es. domanda) e dell'ambiente produttivo (es. configurazione del sistema produttivo, disponibilità delle risorse, ecc.). La maggior parte degli strumenti attualmente disponibili non tengono in considerazione l'evoluzione la dinamicità del contesto in cui si opera, manifestando così la necessità di sviluppare nuove tecniche a supporto della fabbrica del futuro che siano in grado di fronteggiare l'incertezza e gestire il cambiamento dei piani di produzione. In particolare si possono citare gli approcci di programmazione della produzione reattiva e robusta. La programmazione della produzione reattiva si basa sulla capacità di reagire e modificare velocemente i piani di produzione non appena si verifica un evento imprevisto [Calhoun et al., 2002]. Invece, la programmazione della produzione robusta si propone di proteggere le prestazioni del piano produttivo rispetto a un insieme di eventi futuri che vengono almeno parzialmente modellati. La robustezza della pianificazione e della schedulazione si basa sulla capacità di poter modificare la sequenza temporale delle attività andando a impattare penalità limitate (o addirittura assenti) sul valore della funzione obiettivo che si vuole massimizzare per la fabbrica [Wullink 2005] [Terkaj and Tolio 2006].

L'operatività della fabbrica dovrà essere assistita anche da metodologie basate sulla simulazione che saranno utili nei Manufacturing Execution Systems (MES) e a bordo macchina.

Il monitoraggio e le informazioni provenienti da sensori consentiranno di prevedere il comportamento dei processi ed effettuare eventuali modifiche adattative.

La personalizzazione dei prodotti e la riduzione della dimensione dei lotti di produzione porta a inevitabili aumenti di costi legati a set-up, modifiche di processo e adattamento delle risorse produttive. Perciò, ci sarà bisogno di soluzioni innovative che aumentino l'efficienza della produzione, agendo in particolare su:

- Monitoraggio/controllo della qualità e miglioramento proattivo dei processi.
- Sistemi di misura intelligenti per garantire la produzione con zero-difetti.
- Strumenti di supporto alle decisioni per realizzare la produzione con zero-difetti.
- Sviluppo di una nuova generazione di sistemi basati sulla conoscenza che siano in grado di auto-apprendere.

### **Sensoristica avanzata**

La fabbrica intelligente che integra le dinamiche del sistema produttivo reale con un ambiente digitale, presenta notevoli sfide e non è un concetto già realizzato. Sebbene i metodi e le tecnologie per compiere il passaggio da reale a virtuale siano in parte disponibili, i modelli virtuali che oggi si è in grado di costruire e gestire sono ancora troppo parziali e distanti dall'incorporare al loro interno la complessità reale, senza la quale i risultati ottenibili non possono essere realmente significativi. Il tema dell'acquisizione e manipolazione dei dati dal campo, rappresenta un'area di ricerca molto complessa. Da un lato, la complessità riguarda l'ambito della progettazione di sensori accurati e a basso costo, che ne faciliti un'adozione diffusa nel contesto produttivo manifatturiero. Dall'altro, la ricerca deve occuparsi della generazione di algoritmi per l'interpretazione dei segnali. Una tematica innovativa potrebbe riguardare l'integrazione della ricerca nella metrologia con quella dello studio dei sensori complessi; tali aspetti si basano ad oggi su strumenti basati su tecniche di intelligenza artificiale che richiedono lunghi periodi di training e sono estremamente dedicati alle applicazioni specifiche. Nuovi algoritmi e strumenti flessibili per la manipolazione multi-livello dei dati permetterebbero di gestire efficientemente architetture ridondanti di sensori congiuntamente al controllo e monitoraggio del processo [Depari et al. 2010a, Depari et al. 2010b].

### **Controllo di fabbrica distribuito e riconfigurabile**

Le fabbriche del futuro dovranno produrre in modo efficiente prodotti complessi ad alto valore aggiunto, ottimizzando i tempi ciclo e riducendo al minimo le fonti di variabilità. Di conseguenza, la fusione del mondo dell'automazione e del mondo ICT risulta estremamente competitiva, permettendo di ricreare nel digitale il contesto e le dinamiche produttive.





Di fronte al nuovo contesto industriale, l'automazione svolge un ruolo fondamentale per risolvere la complessità della produzione manifatturiera. Le recenti innovazioni nel campo degli IPMCS (Industrial Process, Measurement and Control Systems), come l'introduzione delle avanzate tecniche di comunicazione dei bus di campo e dei dispositivi intelligenti, che incorporano microprocessori e hardware programmabile, hanno permesso la definizione di sistemi di controllo distribuiti su una rete di dispositivi eterogenei.

Di conseguenza, la definizione di strumenti metodologici generali e applicativi in grado di supportare la progettazione di ambienti di controllo in tempo reale per sistemi distribuiti risultano di primaria importanza [Ferrarini e Carpanzano, 2002; Checco et al., 2009; Valente et al., 2010]. Le tecnologie di controllo distribuito si basano sui controlli decentralizzati per sistemi computazionali distribuiti e fortemente interconnessi. In particolare, dal punto di vista metodologico, la principale innovazione riguarda la progettazione e gestione in real-time di sistemi di controllo dinamici distribuiti.

Le tradizionali tecniche di modellazione, basate sullo standard IEC 61131 e sui PLC, risultano inadeguate ai sistemi distribuiti e non permettono di soddisfare i requisiti di riusabilità, flessibilità e riconfigurabilità nello sviluppo di applicazioni di controllo. Pertanto, la ricerca sui controlli distribuiti e riconfigurabili si affiderà a standard del tipo IEC 61499, specificatamente dedicati a sistemi distribuiti riconfigurabili per il controllo e la misura industriali a supporto del progetto del software di automazione. Esso permetterà di risolvere tutti i problemi connessi all'interoperatività di sistemi distribuiti fornendo un nuovo paradigma modellistico orientato agli oggetti e basato sui blocchi funzionali. Tali modelli funzionali - oltre a presentare caratteristiche di portabilità, configurabilità, interoperatività - incorporeranno algoritmi innovativi di gestione real-time dinamica di eventi.

Le tecniche innovative per la progettazione di sistemi distribuiti richiederanno anche lo sviluppo di strumenti software prototipali, basati su soluzioni hardware low-cost e assolutamente facilmente reperibili sul mercato (PC) che spazieranno da strumenti CACSD (Computer Aided Control System Design) e strumenti di prototipazione rapida a tool di controllo logico (PLC) e controllo "hard" real time.

### **Controllo adattativo di processo**

Lo sviluppo di nuove metodologie di modellazione automatica (identificazione) e di progetto di controllori di processo, in presenza di variabilità temporale e di incertezze nel modello matematico usato sono fondamentali per garantire un controllo di processo ottimo nel tempo [Astrom e Wittenmark, 1994]. L'obiettivo primario della ricerca dovrebbe essere quello di sviluppare in modo cooperativo e coordinato, algoritmi, software ed architetture di controllo che siano allo stesso tempo generali ma anche applicabili nel contesto operativo della fabbrica intelligente.

Nello specifico, la necessità di sviluppare nuove tecniche per l'identificazione, la stima e modellazione di processi industriali nasce dalla necessità di disporre di metodi diretti e più efficienti per la descrizione matematica del sistema da controllare. Infatti, l'identificazione del modello rappresenta spesso la fase del progetto che richiede maggiore sforzo di ingegnerizzazione. La raccolta dei dati, la loro analisi, l'interpretazione dei risultati, la validazione, sono passi indispensabili di ogni procedura di modellazione e stima necessaria per garantire una descrizione significativa e valida per l'automazione dell'impianto. La complessità degli impianti e delle nuove aree tecnologiche a cui si applica l'automazione impongono lo sviluppo di tecniche di identificazione nuove e più efficaci di quelle tradizionali.

Un'ulteriore linea di ricerca riguarda la generazione di nuove tecniche di adattamento per il controllo di sistemi incerti, non stazionari e non lineari. Essa è strettamente legata alla necessità di conferire la necessaria flessibilità ai moderni sistemi di controllo così da affrontare la complessità e la variabilità dei processi da governare. Si tratta quindi di procedure che consentono di allargare il campo di applicabilità delle usuali tecniche di controllo in relazione a diverse condizioni operative dell'impianto.

### **Efficienza energetica**

Le nuove fabbriche ecologiche (Eco-Fabbrica) dovranno usare tecnologie che consentono l'uso efficiente delle risorse e si basano su processi "puliti". Pertanto è necessaria la ricerca di nuovi processi caratterizzati da bassi consumi energetici, lo sfruttamento di risorse rinnovabili, oltre a studiare come aumentare l'efficienza e ridurre di emissioni da parte dei processi produttivi [Brondi e Carpanzano, 2010].

L'applicazione di tecnologie di produzione a elevata efficienza energetica si fonderà sulla risoluzione di numerose sfide tecniche e aziendali che sono connesse agli elevati rischi tecnici di adozione di una nuova tecnologia industriale, alla mancanza di conoscenze specialistiche ed elevati costi iniziali. Pertanto, la capacità delle aziende di valutare l'incertezza circa i benefici e gli impatti delle nuove tecnologie sui processi produttivi può essere strategica. Piccoli cambiamenti tecnologici in complessi sistemi di produzione come quelli che caratterizzano il settore automotive e siderurgico, possono portare a modifiche importanti sul processo produttivo e sulla relativa qualità del prodotto finale. Quindi, è di vitale importanza avviare una profonda innovazione nel settore dell'ingegneria di produzione per far evolvere e trasformare i sistemi produttivi attuali in ottica di sostenibilità, investendo in attività di R&S finalizzate a:

- studiare in anticipo nuove soluzioni per ridurre al minimo i tempi e i costi della fase di startup in ambiente produttivo;
- orientare e ottimizzare l'evoluzione delle soluzioni tecnologiche già disponibili;



- sperimentare e validare in anticipo le opportunità offerte da nuove tecnologie e da nuove attrezzature.

### **Progettazione a supporto della riconfigurabilità**

Riprendendo il tema dell'anello chiuso tra fabbrica reale e quella virtuale, un'ulteriore sfida per la ricerca risiede nella possibilità di fare in modo che ogni decisione identificata nel contesto digitale possa essere implementata nel sistema di produzione reale nel modo più efficiente possibile. L'obiettivo è consentire alle aziende di reagire in modo agile ed efficace a variazioni frequenti delle caratteristiche dei prodotti e delle condizioni del mercato, in particolare nell'ambito della produzione di componenti complessi ad alto valore aggiunto le cui caratteristiche sono focalizzate sulle esigenze del cliente [Tolio et al., 2010].

La necessità di definire nuove architetture di sistemi e di macchine utensili, che siano riconfigurabili dal punto di vista dell'hardware e del sistema di automazione, in modo da poter far fronte a modifiche delle specifiche produttive nel tempo, risulta essere un tema molto interessante e, allo stesso tempo, complesso. Questo ambito di ricerca apre le porte allo sviluppo di metodologie e strumenti per la riconfigurazione di macchine e sistemi di produzione [Tolio 2009] introducendo anche nuove strategie di riduzione dell'impatto energetico e ottimizzazione delle dinamiche di automazione per nuove soluzioni meccatroniche.

### **Interazione e cooperazione Operatore-Macchina Operatrice e Macchina Operatrice-Ambiente**

Le nuove generazioni di unità operatrici dovranno essere in grado di operare in contesti scarsamente strutturati in modo autonomo, affidabile e flessibile eseguendo correttamente il proprio compito all'interno di ampi intervalli di incertezza operativa e con significativi gap di conoscenza. Ciò richiederà l'implementazione di strategie di controllo autonome per il tuning continuo e relativamente dettagliato di una varietà (a volte non predicibile) di parametri operativi.

Inoltre al tradizionale concetto di supervisione da parte dell'operatore dovrà sostituirsi un concetto di cooperazione tra operatore e macchina operatrice autonoma. A lungo termine, le unità operatrici dovranno pertanto evolvere verso profili di applicazione sempre più basati sulla conoscenza e per certi aspetti "umani". Tale scenario pone diverse sfide tecnologiche.

Dal punto di vista dell'interazione fisica uomo macchina risulta fondamentale garantire le condizioni di sicurezza della macchina stessa e degli operatori con cui la macchina interagisce (Malosio et al., 2006). In particolare nel caso della robotica industriale, sono da verificare i corretti parametri di funzionamento e, con maggiore rilievo, il posizionamento del robot nel caso in cui il suo spazio di lavoro sia condiviso con operatori umani. In tali

condizioni sono necessari nuovi dispositivi e metodi per la verifica di sicurezza (Vicentini et al., 2010) e algoritmi dedicati alla reazione sicura da parte del robot alla presenza all'interno dell'area di lavoro di operatori umani (Pedrocchi et al., 2009). A ciò si aggiunge la necessaria identificazione di strutture meccaniche intrinsecamente più sicure perché caratterizzate da masse in movimento significativamente ridotte.

Dal punto di vista dell'interazione funzionale con manufatti, semilavorati o altri agenti automatici non completamente noti a priori risulta fondamentale sia lo sviluppo e l'integrazione di nuovi sensori (Cenati et al., 2010) per la percezione autonoma dello spazio operativo che l'implementazione di strategie di controllo che sfruttino in tempo reale l'informazione sensoriale come per esempio visual servoing, controllo di forza, di impedenza/ammortenza, ibrido, ecc (Legnani et al., 2007).

Dal punto di vista delle interfacce e dei dispositivi di input si dovrà lavorare allo sviluppo di interfacce uomo/macchina più intuitive (Parazzoli et al., 2008).

### **Produzione di microcomponenti**

Lo sviluppo di tecnologie per il micro e nano manufacturing (MNMT) è di importanza strategica per mantenere un ruolo forte dell'industria europea e per consentirle di giocare un ruolo trainante nel mercato globale, sempre più in crescita, di prodotti e servizi basati su micro e nanotecnologie [MINAM 2008].

Il ventaglio delle capacità di fabbricazione su scala micro si dovrà espandere in modo da coprire una gamma sempre più vasta di materiali e geometrie con dimensioni sempre più piccole, definendo processi, attrezzature e utensili e tecnologie per la catena di processo in grado di soddisfare gli specifici requisiti funzionali e tecnici dei nuovi prodotti emergenti mono e pluri-materiale ed al contempo assicurare la compatibilità di materiali e tecnologie di processo lungo tutta la catena produttiva. La creazione di tali capacità produttive non dovrà quindi prescindere da: progettazione integrata di prodotto e processi produttivi; compatibilità di materiali e tecnologie di processo; sviluppo di metodologie e strumenti per colmare il gap tuttora esistente tra le lavorazioni 'meccaniche' ultra-precise e le tecnologie MEMS/ICT basate su silicio; integrazione di feature alla scala meso, micro e nano nei nuovi prodotti; sviluppo di nuove tecnologie abilitanti che facilitino l'integrazione funzionale nei nuovi prodotti emergenti multi materiali [Trotta et al., 2010]; sviluppo di tecnologie e strumenti per il microassemblaggio robotizzato di micro e meso dispositivi multi-funzione e multi-materiale [Pagano et al., 2007; Santochi et al., 2005].



## Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare Giacomo Copani, Walter Terkaj e Anna Valente per i loro contributi alla stesura di questo capitolo.

## Bibliografia

1. A. Depari, A. Flammini, D. Marioli, E. Sisinni, A. De Marcellis, G. Ferri, V. Stornelli (2010) "A New and Fast-Readout Interface for Resistive Chemical Sensors", IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. 59, N. 5, pp. 1276-1283, ISSN 0018-9456, DOI 10.1109/TIM.2009.2038292.
2. A. Depari, A. Flammini, D. Marioli, M. Serpelloni, E. Sisinni, A. Taroni (2010) "Efficient Sensor Signal Filtering for Autonomous Wireless Nodes", IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. 59, N. 1, pp. 229-237, ISSN 0018-9456, DOI 10.1109/TIM.2009.2023104.
3. Albertelli P., Leonesio M., Bianchi G., Monno M. (2008) An analytical approach to optimize Sinusoidal Spindle Speed Variation in milling, CIRP - PMI 2008, Hannover.
4. Astrom, K.J., Wittenmark, B. (1994) Adaptive Control, Addison-Wesley Longman.
5. Brondi C., Carpanzano E. (2010) A simulation based LCA tool for the eco-effective design of production systems. 43rd CIRP International Conference on Manufacturing Systems (ICMS 2010). 26- 28 May 2010, Vienna, Austria.
6. Calhoun, K. M., Deckro, R. F., Moore, J. T., Chrissis, J. W., Hove, J. C. V. (2002) Planning and re-planning in project and production scheduling, Omega, 30(3):155-170.
7. Canetta L, Flores M, Redaelli C (2011) DiFac: Digital Factory for Human Oriented Production System. Springer.
8. Cau N, Leonesio M., Zanotti E, Parenti P, Bianchi G (2009). Integrated Machine Tool Design, Proceedings of the 2nd International Researchers Symposium 2009 on Innovative Production Machines and Systems (IPROMS), Ischia (Italy), 22-24 July, NAPOLI: Università Federico II di Napoli, ISBN/ISSN: 978-88-95028-38-5.
9. Cenati C., Cevasco L., Borroni G., Danesi M., Parazzoli D., Molinari Tosatti L., CIA srl (2010) "Sistema e metodo per la ricostruzione tridimensionale di oggetti" domanda di brevetto nazionale.

10. Checco, R., Rusinà, F., Mangeruca, L., Ballarino, A., Abadie, C., Brusaferrri, A. (2009) RI-MACS: an innovative approach for future automation systems, *Int. J. Mechatronics and Manufacturing Systems*, 2/3:242-264.
11. CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche (2006) [www.mindinitaly.cnr.it](http://www.mindinitaly.cnr.it) [Accesso 29/11/2010].
12. Confindustria, Centro Studi (2010) "Nuovi Produttori, Mercati e Filieri Globali. Le Imprese Italiane Cambiano Assetto".
13. Consoni Florenzano Souza, M., Sacco, M., Vieira Porto, A.J. (2006) Virtual manufacturing as a way for the Factory of the Future. *Journal of Intelligent Manufacturing*. Volume 17, Issue 6, 725-735.
14. Copani G., Molinari Tosatti L., Lay G., Schroeter M., Bueno R. (2007) "New Business Models diffusion and trends in European machine tool industry", 40th CIRP International Manufacturing Systems Seminar, Liverpool.
15. EFFRA, European Commission (2010) "Factories Of the Future PPP Strategic Multi-Annual Roadmap Prepared by the ad-hoc Industrial Advisory Group".
16. European Commission, Dg Enterprise And Industry (2010), "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: An Integrated Industrial Policy for the Globalisation Era Putting Competitiveness and Sustainability at Centre Stage", October 2010.
17. European Commission, Dg Information Society And Media (2010) "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: "A Digital Agenda For Europe", May 2010.
18. European Commission, Enterprise and Industry (2009) "EU Industrial Structure 2009. Performance and competitiveness".
19. Eurostat (2010) "Key figures on European business".
20. Ferrarini, L., Carpanzano, E. (2002) A Structured Methodology for the Design and Implementation of Control and Supervision Systems for Robotic Applications, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 10/2:272-279.
21. ITC, International Trade Centre (2007) "The Trade Performance Index. Technical Notes", Geneva.



22. Jain, S, Choong, NF, Aye, KM, Ming, L (2001) Virtual Factory: an integrated approach to manufacturing system modelling. *Int. Journal of Operation and Production Management* 21(5/6):594-608.
23. Lay G., Copani G., Jager A., Biege S. (2010) "The relevance of service in European manufacturing industries", *Journal of Service Management*, Vol. 21 No. 5, 2010 pp. 715-72.
24. Legnani G., Visioli A., Ziliani G., Pedrocchi N. (2007) "Automatic Deburring of Pieces of Unknown Shape and Other Force Control Applications", *International Symposium on Robotics, ISR 2007 12-14 June*, In Proc. Book Of 38th.
25. Malosio M., Oberer S., Schraft R. D. (2006) "Investigation of Robot-Human Impact", *International Symposium on Robotics, ISR, May 15-17, 2006, Munich*.
26. Manufuture Platform (2006) "Strategic Research Agenda assuring the future of manufacturing in Europe", <http://cordis.europa.eu/technology-platforms/pdf/manufuture.pdf> [Accesso 29/11/2010].
27. MINAM- Vision for micro- and nano-manufacturing, 2008.
28. MSE, Ministero dello Sviluppo Economico (2006) [www.industria2015.ipi.it](http://www.industria2015.ipi.it) [Accesso 29/11/2010].
29. Obama B. (2010) [www.barackobama.com](http://www.barackobama.com) [Accesso 29/11/2010].
30. Pagano C. Fassi I., Development of a novel micro-handling device, *ASME IDETC/MNS 2007*.
31. Parazzoli D., Scari E., Danesi M., Molinari-Tosatti L., Gerio G., Lachello L., Romanelli F., Ciccirello B., Fraccaroli M. (2008) "Robot Systems", domanda di brevetto internazionale no. EP08425778.
32. Pedrocchi N., Malosio M., Molinari Tosatti L. (2009), "Safe Obstacle Avoidance for Industrial Robot Working Without Fences", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, 11-15 October, 2009, St. Louis, MO, USA.
33. Pellegrinelli S., Borgia S., Tolio T. (2010) "Step-NC Compliant Approach for Workpiece Setup Planning Problem on Transfer Line". *Proceedings of 43rd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 26-28 May, 2010 Vienna, Austria.
34. PNR, Programma Nazionale della Ricerca 2010-2012 (2010) [www.miur.it/UserFiles/3239.pdf](http://www.miur.it/UserFiles/3239.pdf) [Accesso 29/11/2010].

35. Sacco M, Pedrazzoli P, Terkaj W (2010) VFF: Virtual Factory Framework. Proceedings of 16th International Conference on Concurrent Enterprising, Lugano, Switzerland, 21-23 June 2010.
36. Sacco, M, Redaelli, C, Căndea, C, Georgescu, AV (2009) DiFac: an integrated scenario for the Digital Factory. Proceedings of ICE, June 2009.
37. Santochi M, Fantoni G, Fassi I, 'Assembly Of Microproducts: State Of The Art And New Solutions' 2005, AMST2005.
38. Terkaj, W., Tolio, T. (2006) A Stochastic approach to the FMS Loading Problem, CIRP Journal of Manufacturing Systems, 35(5):481-490.
39. Tolio T. (2009) Design of Flexible Production Systems. Springer.
40. Tolio, T., Ceglarek, D., ElMaraghy, H.A., Fischer, A., Hu, S., Laperrière, L., Newman, S., Váncza, J. (2010) SPECIES -- Co-evolution of Products, Processes and Production Systems. CIRP Annals - Manufacturing Technology. Volume 59, Issue 2, pp. 672-693.
41. Trotta G, R. Surace, F. Modica, R. Spina and I. Fassi, Micro Injection Moulding of Polymeric Components", AMPT 2010
42. UCIMU (2009) "Rapporto Ucimu 2009".
43. Valente, A., Carpanzano, E., Nassehi, A., Newman, S. T. (2010) A STEP compliant knowledge based schema to support shop-floor adaptive automation in dynamic manufacturing environments. Cirp Annals-Manufacturing Technology, 59 (1), pp. 441-444.
44. Vicentini F, Pedrocchi N., Malosio M. (2010) "Apparecchiatura robotizzata con dispositivo di sicurezza perfezionato e metodo di controllo per la verifica in tempo reale delle grandezze cinematiche di stato dell'apparecchiatura robotizzata" domanda di brevetto nazionale no. MI2010A001767.
45. Viganò GP, Greci L, Sacco M (2009) GIOVE Virtual Factory: the digital factory for human oriented production systems. Proc. of the 3rd Int. CARV Conf., Munich, Germany: 748-757.
46. Wullink, G. (2005) Resource loading under uncertainty, Ph.D. thesis, Beta Research School for Operations Management and Logistics.







### Automazione, robotica e sensoristica: sviluppi futuri nel settore delle macchine operanti in ambienti poco strutturati

Roberto Paoluzzi e Tullio Antonio Maria Tolio

Nel corso del tempo, l'automazione nei contesti produttivi si è evoluta da automazione rigida, in cui le macchine operatrici eseguono automaticamente singole operazioni e/o movimentazioni ripetute a tempo indeterminato, ad un'automazione flessibile, in cui le macchine operatrici eseguono un numero crescente, anche se finito, di varianti nelle operazioni e nei cicli. Alla base di entrambi i paradigmi troviamo sempre l'ipotesi che tutte le incertezze di prodotto, processo, materiale, ambiente, strumenti e informazioni possano essere eliminate prima di implementare con successo un sistema automatizzato. Là dove tale condizione non è rispettata, si continuano ad utilizzare processi produttivi manuali o mediati dalla supervisione di operatori umani. Di fronte ai costi del lavoro relativamente alti e alla potenziale mancanza di lavoratori specializzati, l'Europa deve e dovrà sempre di più affidarsi a macchine operatrici in grado di operare autonomamente e in modo affidabile in contesti non completamente noti a priori e con *range* di varianti nelle operazioni sempre meno limitati. Al concetto di supervisione da parte dell'operatore dovrà inoltre sostituirsi un concetto di cooperazione tra operatore e macchina operatrice autonoma. A lungo termine, le macchine operatrici dovranno pertanto evolvere verso profili di applicazione sempre più *knowledge based* e per certi aspetti "umani". Questa evoluzione "naturale" dovrà poi essere mediata, o meglio resa compatibile, con una serie di condizionamenti, primi fra tutti quelli provenienti dalla legislazione in materia di sicurezza, salute ed ambiente che, in Europa più che altrove, vincolano fortemente alcune scelte tecnologiche. Due esempi paradigmatici vengono di seguito illustrati nel settore delle macchine agricole e movimento terra e nel settore della robotica industriale.



## Il settore delle macchine agricole e movimento terra

### Introduzione

Il concetto di macchina operante in ambienti poco strutturati è legato alla necessità di agire in contesti in cui la possibilità di condizionare gli elementi di vincolo al contorno dell'ambiente di lavoro è sostanzialmente limitata, mutevole e non prevedibile. Questa condizione primaria rende fondamentale la possibilità di operare in modo flessibile, adattabile e completamente controllabile, in senso sistemistico. L'operatore umano è per sua natura rispondente a questi criteri, ed a lungo la filosofia progettuale delle macchine destinate a lavorare in ambienti non strutturati ha sostanzialmente perseguito l'obiettivo di estendere, potenziare e migliorare le reazioni umane, ma senza pretendere di sostituirsi ad esse o di alterarne le modalità di esecuzione in modo adattabile. Gli straordinari sviluppi degli ultimi anni in materia di componentistica elettronica, capacità di elaborazione e sensorizzazione hanno però radicalmente mutato lo scenario, e concetti che fino a solo pochi decenni orsono sembravano inattuabili, sono ora possibili, almeno tecnicamente. Non sempre però la fattibilità tecnica corrisponde alla realizzabilità economica, soprattutto in un settore, come quello delle macchine agricole, movimento terra e da cantiere, fortemente legato alle condizioni economiche ed infrastrutturali. In questo contesto emerge prepotentemente il ruolo trainante che la regolamentazione può avere nei confronti dell'evoluzione tecnologica, creando i prerequisiti in base ai quali le scelte di sviluppo tecnologico diventano premianti, creando la griglia di scelta sulla base della quale le opportunità tecnologiche vengono tramutate in sviluppi reali. Una corretta analisi degli scenari deve dunque partire dalla considerazione degli elementi condizionanti, fra i quali la dimensione economica dei settori di riferimento e le pressioni sociali e legislative in materia di sicurezza salute ed ambiente che da tempo condizionano le scelte politiche e legislative.

### Le dimensioni del settore delle macchine agricole e movimento terra

Quando si tratta di prospettive di sviluppo di un settore industriale, non si può prescindere dalla valutazione preliminare di due fattori:

1. La dimensione economica del comparto e la sua segmentazione;
2. La rilevanza sociale delle attività a esso correlate o da esso dipendenti.

La ragione è evidente e risiede nella disponibilità di risorse economiche dal mercato per

il primo aspetto, e la possibilità di mobilitare finanziamenti pubblici nel secondo. Entrambi i fattori sono determinanti nel condizionare l'accesso alle tecnologie di punta ed allo sviluppo della ricerca a medio-lungo termine.

Le macchine agricole e movimento terra condividono non solo una matrice comune nella discendenza dalla prima trattrice agricola nella seconda metà dell'800, ma rappresentano entrambe un esempio di integratori di tecnologie al servizio di un settore strategico: quello agricolo (alimentare ed industriale) nel primo caso e infrastrutturale nel secondo.

**Tabella 1** – Produzione di macchine per la lavorazione del terreno in Italia, unità (fonte:Unacoma 2010)

	2008	2009	2010*	Var. % 2009/2008	Var % 2010/2009
<i>ripuntatori e scarificatori</i>	2.396	2.104	1.934	-12,20%	-8,10%
<i>aratri per trattrici</i>	4.154	3.732	3.541	-10,20%	-5,10%
<i>vangatrici</i>	2.273	1.872	1.971	-17,60%	5,30%
<i>erpici rotativi</i>	12.658	9.523	9.833	-24,80%	3,30%
<i>erpici passivi e preparatori</i>	836	637	575	-23,80%	-9,70%
<i>zappatrici rotative per trattrici</i>	40.546	30.780	31.453	-24,10%	2,20%
<i>zappatrici rotative scavallatrici per trattrice</i>	2.047	1.373	1.429	-32,90%	4,10%
<i>frangizolle (erpici a dischi)</i>	2.030	1.574	1.567	-22,50%	-0,40%
<i>scavafossi</i>	1.107	857	896	-22,60%	4,60%
<i>trinciaerba ad asse verticale con diametro sup. 1 m</i>	9.263	9.011	9.629	-2,70%	6,90%
<i>trinciaerba, trinciastocchi, trinciasarmenti ad asse orizzontale</i>	55.594	47.869	48.996	-13,90%	2,40%
<i>sarchiatrici</i>	3.221	2.563	2.571	-20,40%	0,30%
<i>coltivatori a denti</i>	3.186	2.862	2.841	-10,20%	-0,70%
<i>falcia-decespugliatrici idrauliche per argini con braccio articolato</i>	3.508	2.687	2.738	-23,40%	1,90%
<b>TOTALE</b>	<b>142.819</b>	<b>117.444</b>	<b>119.974</b>	<b>-17,80%</b>	<b>2,20%</b>

La dimensione del settore è ampiamente rilevabile dai dati, seppure parziali, di Tabella 1 e 2 che mostrano, rispettivamente per macchine agricole destinate alla lavorazione del terreno e per trattrici agricole, numeri ben superiori alle 100000 unità annue. La produzione di macchine e trattrici agricole è dunque superiore alle 400 unità giornaliere, festività incluse, anche dopo la drammatica contrazione del mercato dovuta alla crisi iniziata a metà 2008.

**Tabella 2** – Produzione di trattrici in europa (fonte: unacoma 2010)

	2008	2009	Var. % 2008/2009
<i>Austria</i>	7.722	7.735	0,20%
<i>Belgio</i>	3.897	2.909	-25,40%
<i>Danimarca</i>	3.427	1.878	-45,20%
<i>Finlandia</i>	4.491	4.036	-10,10%
<i>Francia</i>	43.661	39.757	-8,90%
<i>Germania</i>	31.251	29.465	-5,70%
<i>Grecia</i>	2.610	745	-71,50%
<i>Islanda</i>	133	29	-78,20%
<i>Irlanda</i>	4.531	1.748	-61,40%
<i>Italia</i>	27.261	27.082	-0,70%
<i>Lussemburgo</i>	206	197	-4,40%
<i>Paesi Bassi</i>	4.900	2.840	-42,00%
<i>Norvegia</i>	3.708	2.631	-29,00%
<i>Portogallo</i>	4.129	2.983	-27,80%
<i>Slovenia</i>	2.451	1.823	-25,60%
<i>Spagna</i>	15.826	11.796	-25,50%
<i>Svezia</i>	4.462	3.609	-19,10%
<i>Svizzera</i>	2.590	2.653	2,40%
<i>Regno Unito</i>	18.564	16.326	-12,10%
Totale Immatricolazioni inclusi sollevatori telescopici	185.820	160.242	-13,80%
di cui trattrici agricole	164.499	141.942	-13,70%

La crisi generalizzata, che ha colpito il settore delle macchine movimento terra più di quello delle macchine agricole, ha comunque mostrato una sostanziale tenuta della produzione nazionale in termini di bilancia dei pagamenti, sebbene con un dato alterato dalla contrazione del mercato interno, avvenuta in misura superiore a quella di quello estero. Due elementi sembra valga la pena di evidenziare in relazione alla congiuntura economica del settore degli anni 2008-2010: rispetto a crisi precedenti, più o meno presenti con

cadenze decennali, quella attuale ha avuto la velocità e la dimensione maggiore, e quindi prevedibilmente trascinerà i propri effetti più a lungo; essa ha colpito in modo differenziato le diverse economie, risparmiando alcuni Paesi in misura maggiore di altri; in particolare hanno avuto prestazioni particolarmente significative il Brasile nel settore agricolo e la Cina in quello del movimento terra. A titolo di esempio possiamo citare come la produzione di escavatori idraulici in Cina, nel 2009, abbia per la prima volta superato il numero di macchine prodotto nel complesso da USA, Europa e Giappone.

Si può discutere sul modo in cui questi elementi condizionano lo scenario evolutivo anche dal punto di vista tecnologico, ma non si può negare che il condizionamento esista.

### I principali driver del settore

In uno scenario come quello delineato il contesto economico condiziona fortemente i driver tecnologici del settore, generando il rischio che la formidabile pressione competitiva delle economie emergenti e la fase di contrazione della capacità del mercato di premiare soluzioni innovative, anche se più onerose, ostacolino l'introduzione di nuove tecnologie, o le orientino esclusivamente verso un obiettivo minimale di riduzione del prezzo finale di acquisto delle macchine.

#### *Efficienza Energetica*

In tale ambito, si possono identificare sicuramente due settori di intervento:

- miglioramento ottenibile utilizzando forme di recupero energetico in lavorazioni ad elevata dinamica;
- ottimizzazione globale del sistema di sfruttamento dell'energia gestendone in modo intelligente il trasferimento dal motore primo verso gli organi di lavoro e di locomozione.

La catena energetica offre ampi margini di miglioramento, a partire dalla possibilità di ottimizzazione delle metodologie di controllo del punto di lavoro del motore primo prescindendo dalle caratteristiche del lavoro svolto dalla macchina. Andando ad agire sull'anello più penalizzato della catena energetica, questo intervento è quello che presenta i più efficaci margini di miglioramento. Il rendimento globale nello sfruttamento del combustibile in una macchina operatrice è un poco lusinghiero 18% medio, che sconta un 30% iniziale nel motore endotermico, che a sua volta all'interno della propria mappa di funzionamento presenta variazioni di efficienza anche di un fattore due.

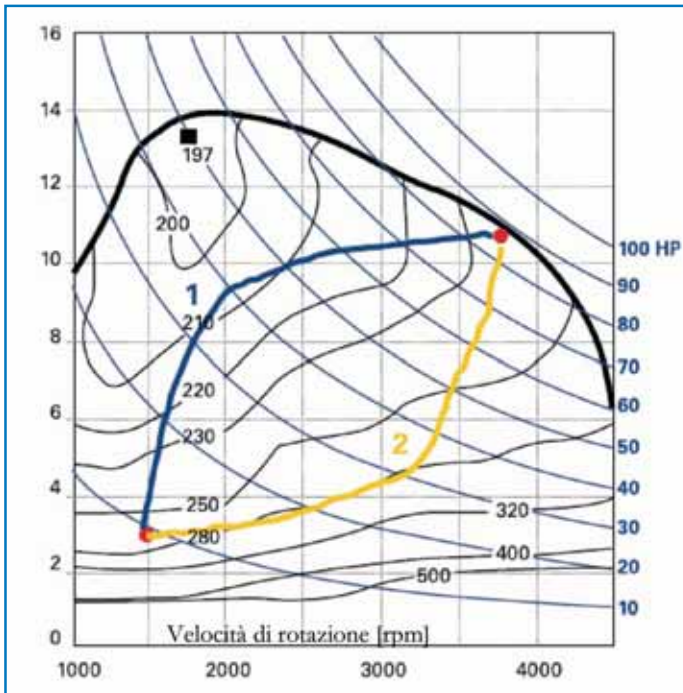


Fig. 1: Mappatura e curve di consumo specifico di un tipico motore endotermico di impiego non stradale in due diverse strategie fra i punti di "low idle" e "high power"

È evidente dunque che, a parte l'ovvia considerazione che un motore più efficiente offre migliori garanzie in generale, anche la capacità, attraverso le caratteristiche della trasmissione e trasformazione della stessa, di condizionare nel corso della dinamica l'evoluzione temporale del punto di funzionamento, può condizionare fortemente i consumi energetici complessivi di una macchina. Nella mappatura di lavoro di un motore endotermico è evidente come nello spostamento fra gli stessi due punti di lavoro estremi, cosiddetti "low idle" e "high power" traiettorie diverse abbiano associati consumi significativamente diversi.

Proprio i consumi specifici saranno uno degli elementi di maggiore pressione legislativa nel prossimo futuro. Già ora in alcuni paesi asiatici negli lavori oggetto di appalti pubblici è possibile usare solo macchine che abbiano un consumo specifico certificato inferiore ad una soglia predeterminata, mentre già si sta lavorando a livello internazionale per generare le metodologie di prova sulla base delle quali definire i livelli di consumo energetico delle

macchine operatrici in modo da definire criteri analoghi a quelli già utilizzati per altri EUP (Energy Using Products).

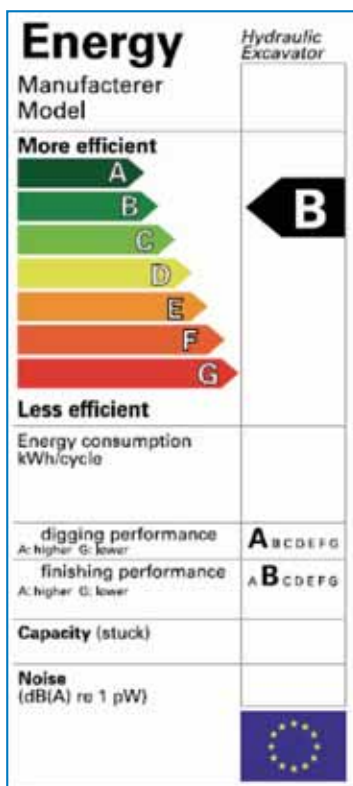


Fig. 2: Ipotesi di una possibile etichetta energetica per un escavatore idraulico

L'equivoco fondamentale da superare nella reale percezione dei margini di miglioramento in termini di efficienza energetica, è quello riferibile alla metodologia di valutazione del rendimento per macchine che compiano cicli di lavoro complessi, fortemente variabili e a volte non ripetitivi. In questi casi la valutazione del rendimento, come rapporto fra energia spesa e utilizzata, cambia significativamente se si valuta il rendimento istantaneo, di ciclo, medio o sull'intera sessione operativa. Il concetto diviene ancora più interessante se si passa alla valutazione del valore economico del lavoro svolto, introducendo nell'equazione





la valutazione oggettiva della produttività. Proprio su questi metodi di valutazione si sono scontati i più clamorosi equivoci degli ultimi decenni, in cui a lungo le trasmissioni di tipo meccanico nelle macchine operatrici sono state considerate l'unica alternativa percorribile per via della loro elevata efficienza, considerata superiore al 90% nella valutazione della trasmissione fra albero di ingresso e di uscita.

Trasmissioni meno efficienti (dalle idrostatiche, alle *power split* idromeccaniche a ricircolo di potenza, alle *CVT*) sono sempre state trascurate, nonostante la loro maggiore flessibilità a seguito della semplice considerazione che, per esempio, una semplice trasmissione idrostatica composta da una pompa ed un motore, che nel migliore dei casi possono giungere vicino al 90% ciascuno, hanno rendimenti combinati che nel migliore dei casi possono giungere all'80%. Solo arrivando a una considerazione più attenta del rendimento la capacità di consentire un migliore e più efficace sfruttamento del motore primo ha migliorato la percezione e favorito il loro impiego in misura sempre maggiore nelle macchine operatrici, rendendo immediatamente percepibile il vantaggio globale, anche a fronte di una apparente penalizzazione, derivante dal loro impiego.

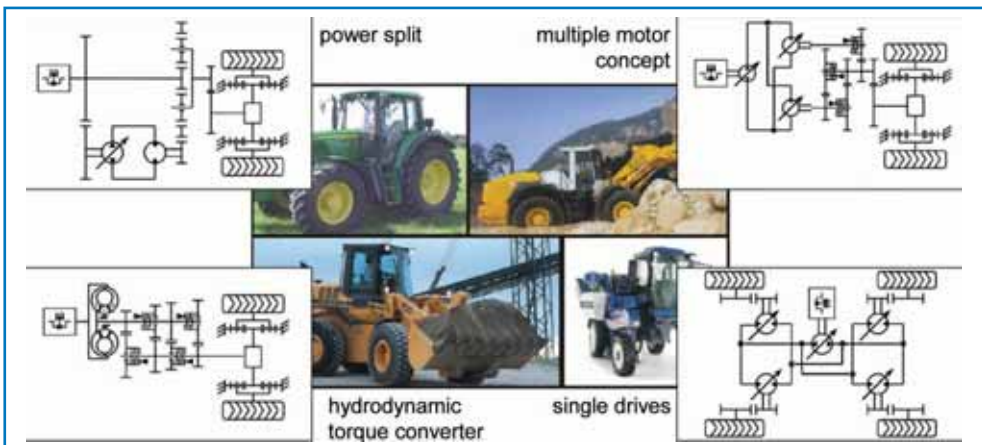


Fig. 3: Possibilità di introduzione di trasmissioni non tradizionali nel settore delle macchine mobili non stradali. (Fonte: RTW Aachen, Hubertus Murrenhof)

**Simulazione integrata**

Il trend evidenziato è sicuramente destinato a confermarsi e a divenire ancora più importante integrando nella valutazione energetica tutti i sottosistemi di trasmissione della potenza e la loro gestione, giungendo a una progettazione, forzosamente di carattere quasi completamente virtuale, che ricerchi il funzionamento ottimale in termini globali, tenendo conto che l'assemblaggio di componenti, ciascuno dei quali risulti ottimizzato singolarmente, in generale non porta all'ottenimento del funzionamento ottimale del sistema completo.

Loop per Virtual Product Development con simulazione integrata multifisica (Fonte: CNH Design Analysis and Simulation Competence Centre, Gennaro Monacelli).

Lo scenario richiede un utilizzo integrato e concorrente di tutte le tecniche di progettazione e simulazione disponibili, in differenti domini fisici, dallo strutturale al termico al fluido al funzionale, per perseguire l'obiettivo di una qualificazione virtuale del progetto prima di iniziare la sua fase di realizzazione pratica. Benché non ancora interamente attuato in questo settore, il ciclo di prototipazione interamente virtuale dispone di tutti gli strumenti necessari per la sua realizzazione e la sua efficace introduzione nelle realtà aziendali sarà una delle sfide del prossimo decennio.

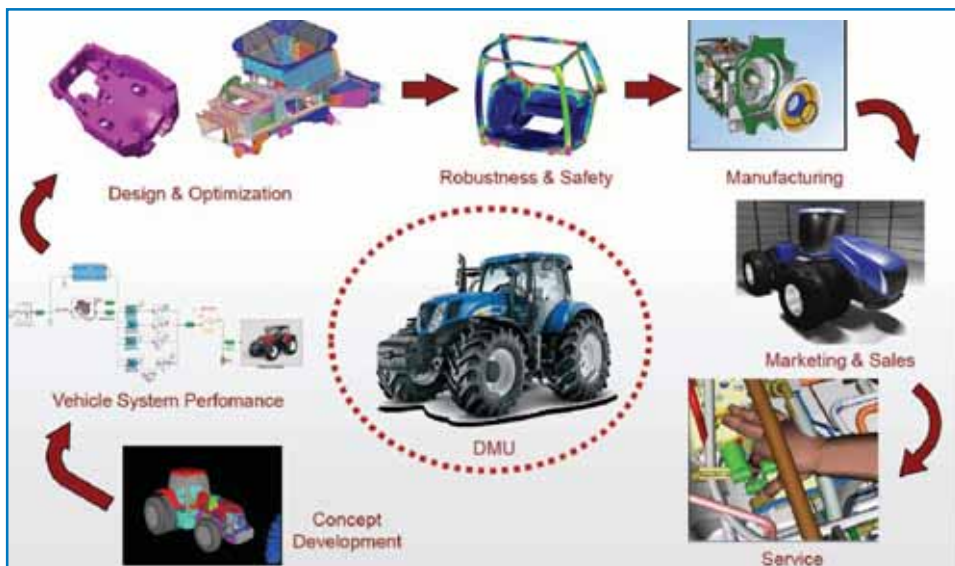


Fig. 4: Loop per Virtual Product Development con simulazione integrata multifisica (Fonte: CNH Design Analysis and Simulation Competence Centre, Gennaro Monacelli)



## Impatto ambientale e riciclabilità

In termini di impatto ambientale e riciclabilità, la massima enfasi dovrà essere riservata all'accurata valutazione dell'intero ciclo di vita dei prodotti: dalla progettazione alla dismissione, tenendo conto che già ora l'obiettivo dichiarato, anche se non ancora recepito dalla legislazione, è quello di imporre comunque una percentuale di riciclabilità delle macchine pari al 95% in peso, sulla base di una accurata descrizione di componenti e tecnologie adottate.

Tenendo conto che al momento attuale mancano tecnologie affidabili e consolidate per il riciclaggio di importanti parti della macchina, quali i tubi flessibili, alcune componentistiche idrauliche fra cui i filtri e diversi altri elementi, che richiedono comunque un dispendioso (in termini economici ed energetici) preconditionamento prima del riciclo o del riutilizzo, vi sono ampi margini di manovra nel settore. La pressione legislativa in questo ambito è destinata a creare i prerequisiti per un diverso criterio di valutazione e selezione dei materiali per la componentistica, favorendo anche la penetrazione dei materiali non metallici avanzati nel settore delle macchine operatrici.

La spinta verso la riduzione di elementi inquinanti nell'atmosfera da parte dei motori primi è un elemento fortemente condizionante la progettazione dell'intera macchina, ma altrettanto lo sarà la valutazione della cosiddetta "*carbon footprint*" dell'intero ciclo di vita che è destinata a cambiare in modo significativo alcuni fattori dell'equazione che attualmente guida le decisioni in fase progettuale, facendo riguadagnare competitività a soluzioni che, ora, sono accantonate sostanzialmente per ragioni economiche.

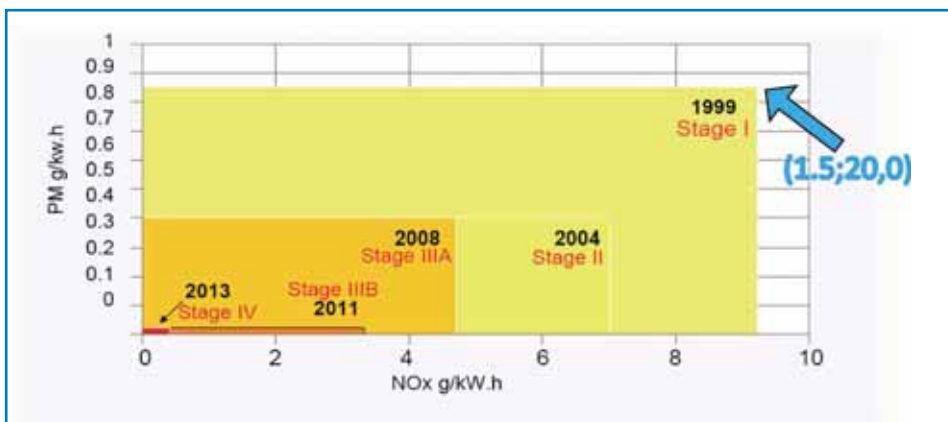


Fig. 5: Evoluzione dei limiti di emissioni per motori endotermici di impiego non stradale

La necessità di ridurre le emissioni di agenti inquinanti da parte dei motori termici ha già da tempo innescato una spirale di richieste sempre più stringenti da parte dei progettisti, in ragione di quello che è il principale vincolo della macchina operatrice mobile: la disponibilità di una sorgente di potenza limitata e di uno spazio ridotto per l'alloggiamento della componentistica. Il *downrating* dei motori e la penalizzazione dello scambio termico spingono verso temperature di funzionamento dell'impianto idraulico sempre maggiori, promuovendo l'impiego di nuovi materiali e una maggiore attenzione verso fenomeni dissipativi nella gestione dei fluidi spesso trascurati. I sistemi di post-processamento dei gas di scarico impongono nuovi vincoli al lay-out delle macchine, e l'effetto non è solo legato alla fase produttiva o alla gestione della manutenzione, ma ha significative ricadute sulla progettazione e sulla funzionalità dei sistemi a bordo macchina.

### Sicurezza d'impiego

La valutazione della sicurezza d'impiego, con tecniche più evolute di quelle riconducibili semplicemente al rispetto di regole costruttive vincolanti, è sicuramente un ulteriore elemento trainante dell'evoluzione tecnologica prevedibile. Partendo dal presupposto che, per una serie di ragioni pratiche e contingenti, ancora per molto tempo sarà necessario prevedere l'operatore a bordo delle macchine, la valutazione del livello di sicurezza funzionale della macchina nel suo complesso, porta all'introduzione di concetti e metodologie che, benché consolidate in altri settori ad elevato rischio, non sono propriamente parte del patrimonio culturale del settore delle macchine operatrici mobili.

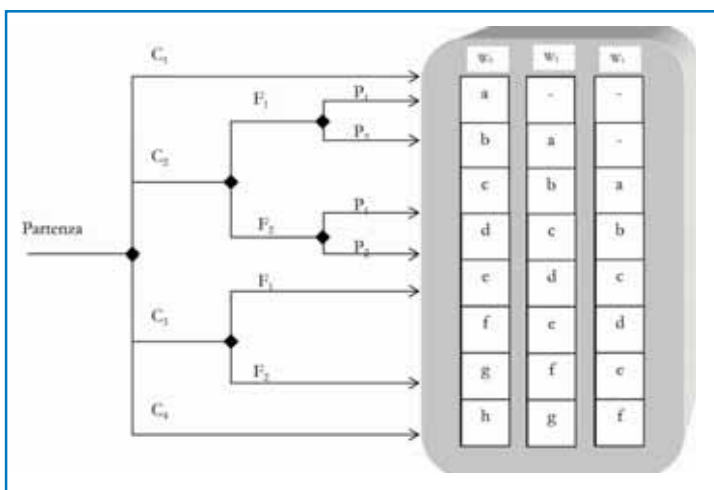


Fig. 6: Rappresentazione schematica del criterio di determinazione del SIL (Safety Integrity Level) secondo IEC 61508



In questo senso saranno necessari sforzi ingenti per generare nel settore specifico il know-how necessario per l'applicazione efficace delle tecniche di analisi, valutazione e gestione del rischio che già oggi le normative di sicurezza pubblicate richiedono, tra queste compaiono: ISO 12100, ISO 14121, IEC 61508, ISO 15998, ISO 13849 e EN 941 solo per citarne alcune. Conoscenza dei sistemi, database dei componenti, valori e tabelle affidabili per MTTF ed MTBF (dati quantitativi di rappresentazione dell'affidabilità) dei componenti sono elementi che non appartengono al DNA del settore delle macchine agricole e movimento terra, ma dovranno entrarvi a pieno titolo se si vorrà che gli effetti dei vincoli normativi sulla sicurezza di impiego delle macchine siano reali e non uno sterile esercizio di stile.

## Automazione

L'automazione è di per sé uno dei più forti elementi di traino dello sviluppo tecnologico nel settore delle macchine operatrici, per l'effetto di diversi fattori concomitanti: dall'impulso verso nuovi settori applicativi alle possibilità offerte di aumento della produttività alle opportunità offerte dalla mitigazione dell'influenza della capacità dell'operatore nell'esecuzione di alcune manovre complesse o particolarmente critiche. I driver in questo caso sono di natura operativa, laddove l'automazione rende possibile una lavorazione con grado di precisione difficilmente ottenibile da un operatore umano privo di assistenza, o di natura sociale, laddove si possano sfruttare operazioni automatiche a tutela o dell'operatore o dell'ambiente di lavoro o ancora si possano raggiungere obiettivi di efficienza produttiva in termini quanto più possibile indipendenti dal fattore umano. In tutti i casi la pressione è verso una mitigazione del fattore umano nella definizione delle variabili operative della macchina con l'obiettivo di ridurre i costi sociali delle opere connesse all'impiego delle macchine.

## Scenari evolutivi

Chi si aspetta di vedere rivoluzioni morfologiche o tipologiche nelle macchine del prossimo ventennio resterà probabilmente deluso. La specializzazione funzionale delle macchine è, infatti, ormai molto spinta e l'adattamento alle operazioni specifiche è elevato: è quindi poco credibile che in un ventennio si possano verificare stravolgimenti morfologici, a meno che non cambino - in modo sostanziale - le condizioni al contorno (ambiente o scopo), come nel caso di missioni spaziali o di realizzazione di macchine modulari, facilmente assemblabili come unità di peso, dimensioni e geometrie gestibili in termini di trasporto e di manutenzione.

Il primo aspetto che viene spontaneo richiamare in tema di scenari futuribili è quello della realizzazione di sistemi di lavoro o macchine autonomi, eventualmente operanti in un

ambiente cooperativo con scambio continuo dei dati relativi ai parametri di lavoro. Nel 1999, nel corso di una Tavola Rotonda organizzata dalla *Society of Automotive Engineers (SAE)*, veniva indicato il 2010 come l'anno in cui vi sarebbe stata la disponibilità commerciale dei primi sistemi autonomi nel settore delle macchine agricole e movimento terra.



Fig. 7: Macchina agricola a guida autonoma (Fonte John Deere)

Ad oggi possiamo dire che, nonostante le difficoltà economiche del settore, macchine a guida autonoma sono, anche se non molto diffuse, disponibili. Il principale ostacolo alla loro ulteriore penetrazione sul mercato non è di natura tecnologica e forse nemmeno di natura economica, ma legato alla loro sicurezza d'impiego in ambienti in cui vi sia condivisione



dell'ambito operativo con l'uomo. Proprio in materia di sicurezza dei sistemi di controllo programmabili e della loro integrità funzionale si vede un significativo indicatore nell'intensa attività normativa, che in alcuni casi guida, ed in altri condiziona, la ricerca.

In ambito UE, la piattaforma europea per le costruzioni ha elaborato una visione delle tecnologie per il 2030, in cui si evidenziano bene questi temi. In essa si dà rilievo alla necessità di realizzare sistemi di lavoro completamente autonomi, con l'obiettivo di togliere gli esseri umani dalle zone di costruzione. L'obiettivo è di ridurre il costo sociale delle attività, ancora oggi ingente ed apparentemente poco sensibile agli interventi finora attuati.



Fig. 8: Il sistema di realtà virtuale per l'operatore (Fonte: New Holland Construction Equipment)

Quello che caratterizzerà lo sviluppo della prossima generazione di macchine sarà quindi probabilmente il passaggio dalla automazione sempre più spinta alla "autonomazione", intesa



come capacità di svolgere missioni complesse in totale autonomia (solo eventualmente supervisionata in remoto), adattando il proprio modus operandi alle mutevoli condizioni ambientali in modo adattativo secondo logiche flessibili.



Fig. 9: Sensorizzazione per il controllo di scavo di un escavatore

L'obiettivo ambizioso delineato dovrà adeguarsi a una evoluzione globale che coinvolgerà anche altri aspetti, fra i quali sicuramente la disponibilità di nuovi materiali, o l'uso innovativo di materiali esistenti, avranno un ruolo fondamentale. In particolare i materiali polimerici evoluti, grazie alle loro sempre migliori caratteristiche meccaniche e, soprattutto, alla capacità di incorporare diverse caratteristiche, fra cui una sensoristica evoluta e integrata in grado di fornire la base a sistemi di controllo intelligente ad architettura distribuita: in tali sistemi ogni componente controlla il proprio stato, la propria funzione e la propria integrità comunicando con il sistema centrale e mettendo a disposizione le proprie possibilità di adattamento per la realizzazione di strategie globali di più alto livello.

In un certo modo è quello che avviene quando con l'allenamento continuo riusciamo ad addestrare il nostro cervello a svolgere azioni in modo automatico, mantenendo però la capacità di recuperare il controllo al momento opportuno.





Polimeri e compositi nanostrutturati saranno la base di alcuni di questi componenti più evoluti, ma già ora alcuni nanomateriali stanno mostrando interessanti caratteristiche applicative, tra le quali la possibilità di applicare in modo più efficace riporti di materiali antiusura, antiattrito o anticorrosione su elementi quali gli steli degli attuatori in cui finora la cromatura è stata l'unica tecnologia economicamente e tecnologicamente applicabile su larga scala. La protezione tramite ricopertura ceramica con plasma spray a oltre 1.500°C è applicata da oltre un ventennio, ma le possibilità offerte dall'uso di nanopolveri sembrano aprire nuove prospettive.

La combinazione di elettronica distribuita, materiali innovativi nuovi sistemi di attuazione e possibilmente recupero energetico locale, rende possibile ed immaginabile uno scenario in cui il componente stesso, inteso come elemento in grado di realizzare una azione funzionale, diviene a sua volta sensore, diretto o indiretto, di quantità fisiche e elemento generatore dell'energia di cui necessita, e successivamente diviene anche un nodo di un sistema di gestione delle macchine a logica distribuita in grado di attuare strategie di più alto livello.

### Le logiche programmabili

L'utilizzo di elettronica a logica programmabile è indubbiamente un aspetto irrinunciabile di una oleodinamica moderna ma, come ogni progresso, si accompagna anche con alcuni nuovi problemi, tra cui la necessità di gestire con particolare attenzione, e con strumenti e approcci per molti versi innovativi, il problema della sicurezza in esercizio. Quest'aspetto sarà poi tanto più pressante quanto maggiore sarà la potenza gestita dal sistema. Un attento dosaggio della sofisticazione idromeccanica e di quella elettromeccanica di comando e controllo offre prospettive straordinarie, consentendo di ottenere la massima efficacia delle strategie di gestione globali, mantenendo un'architettura idraulica comunque in grado di garantire la sicurezza operativa anche in presenza di malfunzionamenti. Una funzionalità di questo tipo sarebbe difficile da ottenere in uno scenario basato su una sola tecnologia.

Le architetture di controllo si evolvono, il *load sensing* diventa adattativo, le funzioni di metering delle valvole tra *meter-in* e *meter-out* divengono indipendenti, le trasmissioni idrostatiche e i gruppi di alimentazione e lubrificazione dialogano con il motore primo per ottenere strategie efficienti e rispondere alle esigenze di efficienza energetica, emissioni acustiche e gassose dei motori, e alle richieste di produttività delle macchine. Tutto questo in uno scenario complesso in cui i muscoli oleodinamici si integrano con il sistema nervoso elettronico.

## Materiali non metallici evoluti come elementi strutturali di macchine

Materiali polimerici evoluti già consentono di superare molti vincoli del passato, non ultimo quello dell'impiego in strutture di protezione per l'operatore di macchine, tradizionalmente e normativamente vincolate all'uso di materiali metallici. È stata mostrata la realizzabilità di una struttura di protezione in grado di superare efficacemente un test FOPS di livello I, con materiali il cui comportamento strutturale sia qualificato in termini di resistenza alle basse temperature, all'invecchiamento e all'aggressione di agenti esterni. In questo modo si unisce la possibilità di utilizzare un materiale più leggero, con migliori caratteristiche meccaniche di assorbimento degli urti all'imposizione di minori vincoli al design e all'ergonomia della postazione di lavoro.

Il più immediato ostacolo all'introduzione generalizzata di questi materiali come elementi strutturali, con eventuali implicazioni di sicurezza, sulle macchine operatrici, è legato alla loro stabilità nel tempo in relazione alle estremamente gravose condizioni ambientali di impiego delle macchine operatrici. Esposizione alla luce, cicli termici, attacchi batterici ed acidi sono solo alcuni degli elementi da qualificare, in un contesto in cui la vita utile di una macchina può essere ben superiore ai venti anni. Nel settore delle Macchine Movimento Terra, l'Istituto IMAMOTER del C.N.R. è attualmente alla guida del Gruppo di Lavoro internazionale che sta elaborando le metodologie di prova per la qualificazione dei materiali metallici ai fini dell'impiego in strutture di protezione, creando quindi anche il contesto per consentire la possibilità di impiego pratico di una soluzione che ha già mostrato la propria idoneità.

### *Le emissioni acustiche*

Anche in questo caso la pressione legislativa è il vero motore verso l'evoluzione delle macchine nella direzione di un sempre minore impatto ambientale in termini di emissione acustica. A partire dalla prima Direttiva Europea in materia (2000/14/EC), che ha per molti versi modificato radicalmente l'approccio alla valutazione del rumore emesso nell'ambiente dalle macchine estendendo alcuni approcci settoriali di Direttive precedenti, si sono avuti progressivamente livelli di emissione sonora sempre minori dalle macchine, con benefici effetti sugli ambienti di lavoro ma anche con significative ricadute sulla progettazione, quale per esempio un rilevante effetto reciproco sul motore primo derivante dai limiti congiunti di rumore ed emissioni.



Fig. 10: Tecnica binaurale: registrazioni dei due segnali sonori al posto operatore con l'ausilio di una testa artificiale

La progressiva riduzione del ruolo del motore endotermico quale generatore di rumore porta in evidenza sorgenti e modalità di propagazione finora mascherate dalla caratteristica emissiva di quest'ultimo; è appena il caso di citare la componentistica oleodinamica o i fenomeni vibroacustici innescati dalle caratteristiche meccaniche di organi strutturali o di raccordo nelle macchine. Ma tutto sommato, pur nella loro importanza, gli aspetti citati sono da considerare una evoluzione naturale della tecnica degli ultimi anni, mentre diverso è il caso della attenzione che può e deve essere prestata non solo al valore assoluto del rumore emesso dalle macchine (pur ammettendo di trovare consenso sulla quantificazione dei suoi effetti quale agente fisico), ma anche e soprattutto alla sua qualità. È questo l'ambito di una disciplina ancora poco valorizzata in ambito industriale, ma di straordinario potenziale: la psicoacustica. Nella valutazione psicoacustica, gli effetti *soggettivi*<sup>1</sup> di percezione del rumore divengono prevalenti su quelli di pura quantificazione del valore della sua variabile descrittiva (il livello equivalente pesato). Stessi livelli di esposizione possono causare disturbi o disagi significativamente diversi e anche il danno fisico cumulativo può essere correlato alla qualità del rumore, oltre che al suo livello; rumore di diverso *colore* può essere diversamente correlato alla propensione di un operatore a commettere errori di manovra in situazioni di forte stress o di emergenza.

<sup>1</sup> In questo caso l'aggettivo non va inteso in contrapposizione a oggettivo, ma come caratteristico del soggetto umano che percepisce lo stimolo sonoro.

### *Uno sguardo più lontano*

Come in tutte le visioni di prospettiva, non si può non tentare di spingere lo sguardo lontano, osservando come le possibilità offerte offrano una visione di un obiettivo a lunghissimo termine che funga da elemento aggregante delle attività quotidiane, e questo alla luce delle possibilità elencate, e anche di alcune non elencate per ragioni di spazio, consente di prefigurare un futuro in cui una macchina interamente progettata in modo virtuale operi comandata da un operatore remoto che, in una postazione di comando dotata di sistemi visione a realtà aumentata, sia soggetto agli stimoli in feedback provenienti dalla macchina stessa, completamente sensorizzata da una rete di componenti autoalimentati.



*Fig. 11:* Komatsu 930E-AT, dumper articolato da miniera a guida autonoma (con possibilità di operatore a bordo...sempre che ne abbia il tempo).



Questa macchina sarà poi parte di un gruppo cooperativo di macchine, alcune delle quali completamente autonome, per svolgere lavoro coordinati complessi, sia in cantiere sia in agricoltura. L'operatore a sua volta sarà stato addestrato all'uso della macchina in una sistema virtuale simulato, in grado di ricreare anche l'ambiente acustico di lavoro, e la macchina stessa abiliterà le proprie funzionalità in modo via via più spinto anche in funzione al grado di precisione e di abilità mostrato dall'operatore nell'esecuzione di alcune manovre predefinite. Se poi questa macchina possa anche essere utilizzata per realizzare insediamenti ed infrastrutture al di fuori del nostro pianeta lo lasciamo all'immaginazione di chi legge. Non è uno scenario irrealista, tutti gli elementi per comporlo sono a disposizione, si tratta di creare le condizioni che ne rendano possibile lo sviluppo.

## Il settore della robotica industriale

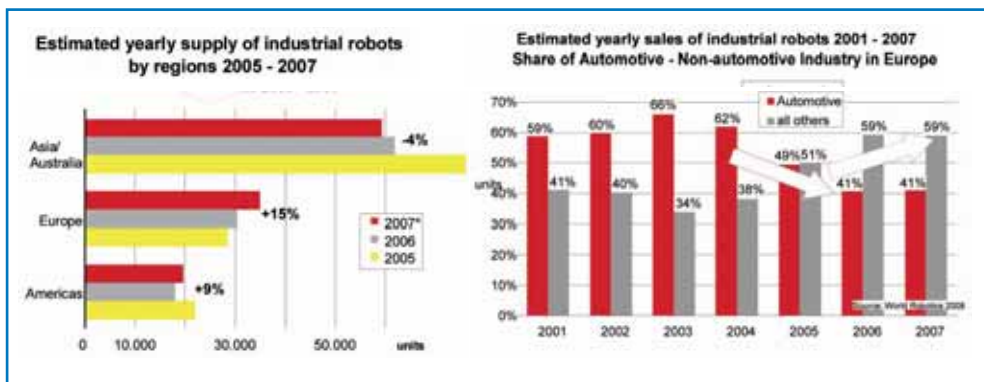
### Introduzione

Il Manifatturiero costituisce la colonna dorsale dell'economia Europea, generando un valore aggiunto pari a circa 1630 miliardi di euro e coinvolgendo circa 1.2 milioni di imprese [Eurostat2009].

Il 99 % di queste imprese sono PMI e occupano circa i due terzi di tutti gli impiegati nel settore Manifatturiero. Molte di queste PMI producono beni di alta qualità e sono caratterizzate - come elemento competitivo chiave - dalla capacità di conoscere in modo molto preciso i bisogni dei loro clienti e di reagire immediatamente ai cambiamenti nella propensione di acquisto dei clienti stessi; in altre parole tali PMI sono in grado di agire con altissima flessibilità e reattività in mercati altamente volatili caratterizzati da prodotti ad alto valore aggiunto. La competenza della forza lavoro rappresenta pertanto spesso la più importante risorsa capitale.

L'industria robotica europea ha un fatturato di 4 miliardi di € e, considerando anche le periferiche di sistema, le fasi di ingegnerizzazione, set-up, programmazione, manutenzione etc, le prime 250 aziende europee raggiungono un fatturato di 16 miliardi di € con un tasso di crescita annuo del 16%.

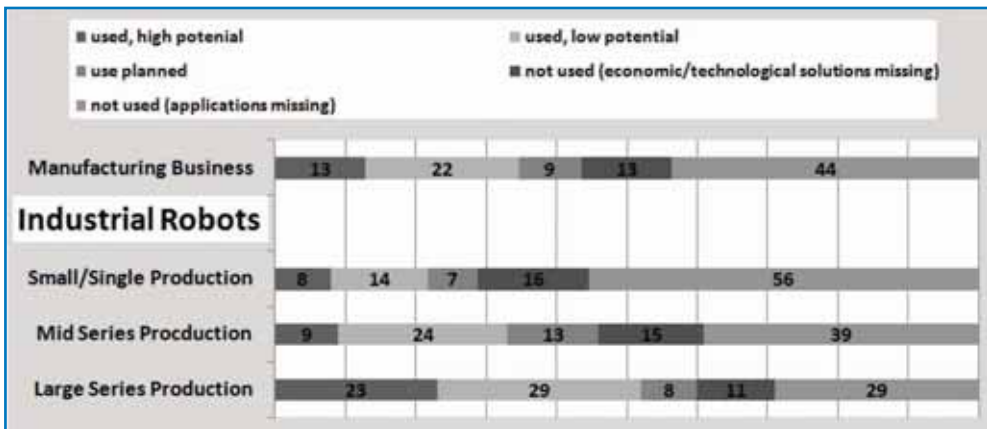
Ci sono 135.000 aziende d'automazione in Europa e l'industria della robotica occupa direttamente circa 55.000 dipendenti [UNECE2009]





Benché la robotica possa essere molto utile nelle PMI grazie alla flessibilità - in termini di movimenti e programmabilità - propria dei robot industriali è un dato di fatto che ad oggi i robot industriali siano stati principalmente sviluppati per essere impiegati nelle grandi imprese.

Soltanto il 22% di tutti i processi manifatturieri per la produzione in piccole serie sono robotizzati (vedi figura). Ciò è dovuto da un lato alle tecnologie disponibili, che non sono in grado di gestire in maniera efficiente ed efficace frequenti variazioni ai prodotti e ai processi di lavorazione, ridotti tempi di consegna e ramp up, piccole serie e dall'altro ad un insufficiente livello di dimestichezza con le tecnologie robotiche della forza lavoro.



Il limite principale alla pervasiva diffusione dei robot nelle PMI consiste nel fatto che ad oggi i robot industriali incorporano ancora al più la conoscenza del task nominale che dovrebbero eseguire. Tale conoscenza è al più arricchita tramite l'utilizzo di appropriate informazioni sensoriali così come esplicitamente programmato dall'operatore umano (che si suppone abbia la conoscenza circa la necessità e la ragionevolezza di un particolare movimento). Il paradigma esistente implica che tutte le incertezze di prodotto, processo, materiale, ambiente, strumenti e informazioni vengano eliminate prima di implementare con successo un sistema robotizzato. I costi e i tempi elevati di questa operazione producono un basso rapporto costo/beneficio generando così una forte barriera all'adozione di automazioni robotizzate nelle PMI.

La robotica industriale ha quindi ad oggi trovato implementazioni di successo soprattutto là dove si richiede una deterministica ripetibilità del compito programmato e ciò è tipico

di ambienti produttivi fortemente strutturati e caratterizzati da interazioni uomo-robot prevalentemente statiche e passive (i.e. industria automobilistica).

L'implementazione di capacità sensoriali e percettive più avanzate combinato con la richiesta di un comportamento robusto a fronte di cambiamenti non previsti implica ad oggi - ossia utilizzando le soluzioni flessibili attualmente disponibili - un'estensiva attività di ingegnerizzazione e di integrazione di sistema. Tale attività per una PMI non è né desiderabile (le PMI normalmente non posseggono in casa le necessarie competenze ingegneristiche per implementare i cambiamenti richiesti giorno-per-giorno e quindi diventerebbero troppo dipendenti da competenze esterne) né sostenibile (per ragioni di competitività).

L'ambiente shop floor meno/parzialmente strutturato tipico di una PMI richiede il tuning continuo e relativamente dettagliato di una varietà (a volte non predicibile) di parametri operativi. Malgrado esistano strumenti che possano consentire ad un operatore di effettuare siffatti cambiamenti in relazione alle rapide e, in pratica, frequenti mutazioni delle condizioni operative (e ciò già rappresenta un significativo miglioramento rispetto ai tradizionali rigidi sistemi di automazione) è necessario sviluppare una nuova generazione di robot industriali che siano in grado di eseguire correttamente il proprio compito all'interno di ampi intervalli di incertezza operativa e con significativi gap di conoscenza.

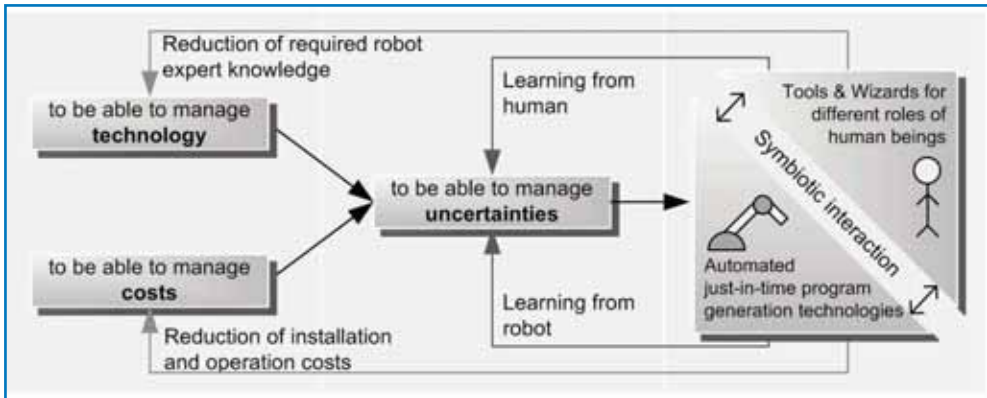
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robots operating in 'modelled', 'structured' and 'constrained' environments             <ul style="list-style-type: none"> <li>• industrial robots</li> <li>• 'programmed' service robots</li> </ul> </li> <li>• Human-machine interactions that are rather static / passive             <ul style="list-style-type: none"> <li>• unable to adapt to human behaviours and to empower humans in their interactions</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robots, machines and systems exhibiting advanced behaviour             <ul style="list-style-type: none"> <li>• operating with gaps in knowledge</li> <li>• operating in open-ended env.s</li> <li>• operating in dynamic / frequently changing environments</li> </ul> </li> <li>• Systems that analyse and understand multimedia and multimodal digital information             <ul style="list-style-type: none"> <li>• all senses, gestures, natural language – 'human-in-the-loop'</li> <li>• humans and robots sharing workspace in a safe way</li> </ul> </li> </ul>
---	--

Di conseguenza, alcune capacità cognitive devono essere incorporate nel sistema robotico, pur consentendo, ogni qual volta si renda necessario, l'intervento umano, per minimizzare i rischi e massimizzare la flessibilità.





Come nuovo paradigma, si prospetta pertanto un *sistema produttivo innovativo*, in cui *operatori e sistemi robotici lavorano insieme in modo simbiotico*, in tutte le fasi del ciclo di vita del robot, usando informazioni, modalità di interazione ed altre risorse per produrre per clienti interni o esterni, *gestendo insieme le incertezze che caratterizzano i sistemi produttivi delle PMI*.

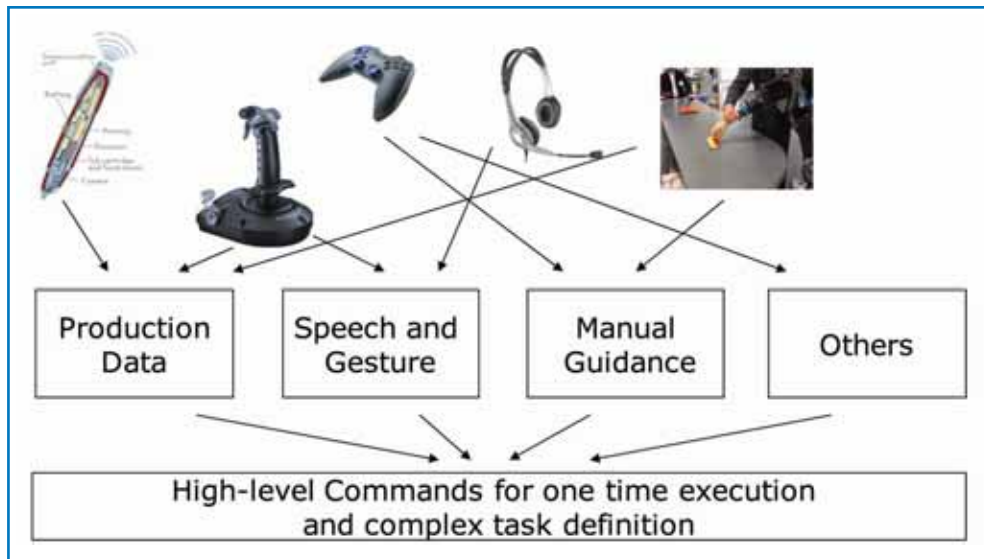


## Scenari evolutivi

### Scenario 1: Il Robot in Grado di Comprendere Istruzioni "Umane"

Ad oggi la programmazione di un robot industriale si basa sulla definizione in modo esplicito delle coordinate, dei comandi di movimento e dei parametri di processo. Lo sforzo di programmazione è spesso molto significativo ed accresce drasticamente i costi lungo il ciclo di vita di una tipica cella. In assenza di personale altamente qualificato, compiti relativamente semplici possono richiedere una media di 40 ore di programmazione là dove la programmazione potrebbe/dovrebbe essere tanto semplice quanto chiedere ad un collega di eseguire un determinato task. Per questo motivo le modalità di programmazione dei robot industriali debbono evolvere verso paradigmi che facciano riferimento all'utilizzo di interfacce intuitive e multimodali e preferibilmente a canali di comunicazione "umani" quali ad esempio il linguaggio e i gesti. Tale evoluzione deve essere accompagnata dallo sviluppo di strumenti e metodologie in grado di implementare l'identificazione e la localizzazione automatica del pezzo da lavorare, la generazione automatica e/o l'adattamento altrettanto automatico dei programmi e dei parametri di processo.

*Dispositivi adatti ad essere utilizzati a livello Shop-floor per l'Interazione Intuitiva con il Robot*



Il robot deve essere in grado di comprendere le modalità di comunicazione ed interazione “umane” quali ad esempio linguaggio e gesti e deve consentire all’operatore di stare il più vicino possibile all’area di lavoro. Dispositivi di input comunemente utilizzati nei mercati di massa (home computing, grafica e intrattenimento) debbono poter essere utilizzati anche per l’interazione con robot industriali. Questi device infatti sono estremamente economici e di facile utilizzo, perché anche l’utente non esperto è ormai abituato ad interagire con essi in maniera piuttosto intuitiva. Inoltre, sono ormai mature diverse tecnologie per la comunicazione wireless anche in contesti industriali, in grado di garantire ottime performance in termini di connettività a costi ragionevolmente contenuti. L’obiettivo principale delle attività di ricerca in questo ambito consiste nello sviluppo e nella valutazione di diverse metodologie e strumenti che possano soddisfare gli standard di sicurezza (esistenti e che saranno introdotti a seguito di revisione della normativa) propri dell’automazione industriale e al contempo garantire un’interazione intuitiva tra l’operatore e il robot industriale.

*Definizione Intuitiva del Task e del Moto senza ricorrere a una Programmazione Esplicita*

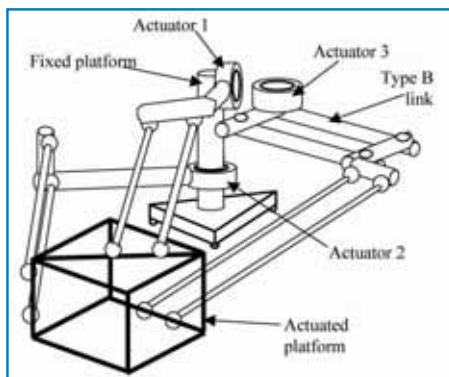
Partendo dalla combinazione dei dispositivi e delle metodologie precedentemente descritte è necessario sviluppare paradigmi di programmazione intuitiva che possano utilizzare modalità di istruzione naturali. Molti paradigmi - come per esempio la "Programmazione per Dimostrazione" (PpD) - esistono da tempo ma non sono mai stati efficacemente integrati a livello shop-floor. Le attività di ricerca in questo ambito si focalizzano sulle principali questioni ancora aperte e cioè l'affidabilità e l'efficienza dei dialoghi uomo-macchina in un contesto industriale. L'obiettivo principale consiste nello sviluppo di archetipi di programmazione che consentano di evitare la programmazione esplicita (cioè la scrittura di un programma nel codice nativo del robot) nel 95% dei task di automazione tipici di una PMI. Ad esempio, dovranno essere sviluppati metodi che consentano all'operatore di definire in modo interattivo le proprietà del pezzo da lavorare e della cella, sviluppando opportuni algoritmi per l'estrazione di modelli basati sul riconoscimento automatico di feature geometriche - effettuato mediante un'opportuna sensorizzazione dell'area di lavoro. Inoltre debbono essere sviluppati ed integrati nei sistemi di controllo industriali opportuni algoritmi per la motion compliance e per il controllo dell'interazione con l'ambiente, al fine di consentire un'accurata e agevole guida manuale del robot sia per la definizione del movimento che per lo sviluppo intuitivo di task centrati sul pezzo da lavorare (per esempio contornatura automatica di profili non noti a priori per eseguire processi tecnologici di sbavatura, lucidatura etc. etc.).

## Scenario 2: La condivisione sicura dello spazio di lavoro tra Robot ed Operatore

Attualmente l'area di lavoro dei manipolatori industriali è delimitata da protezioni che debbono garantire la sicurezza dell'operatore proteggendolo dai rischi introdotti dal movimento del robot sia esso in condizioni operative normali o in condizioni di malfunzionamento causate da errori di programmazione e/o della strategia di controllo. Per le PMI - che tipicamente sono caratterizzate da produzioni in piccolo lotti molto variabili - queste condizioni operative impongono seri problemi sia in termini di costi di installazione che in termini di mancanza di interazione e tuning durante la produzioni. Robot intrinsecamente sicuri così come paradigmi per la cooperazione sicura tra operatore e robot in spazi di lavoro condivisi e soprattutto in attività che implicano la cooperazione fisica costituiranno certamente il punto di svolta per gli scenari produttivi del futuro. Alcune attività di ricerca preliminari all'identificazione di sistemi robotizzati sicuri hanno principalmente riguardato aspetti di sicurezza connessi a specifici componenti del robot. È ad oggi consolidato che per avere una cella robotizzata intrinsecamente sicura è necessario avere strutture meccaniche sicure, strategie di percezione autonoma dell'operatore, algoritmi e sistemi di controllo intrinsecamente sicuri e soprattutto layout di cella in grado di garantire all'operatore confort e sicurezza. Là dove ciò non sia fisicamente possibile è necessario sviluppare un approccio complementare basato sull'implementazione di strategie di funzionamento/movimento basate sul controllo attivo ed affidabile dei movimenti dell'operatore.

Ovviamente attività di natura tecnico/scientifica non possono prescindere in questo specifico ambito da attività di standardizzazione normativa riguardanti l'interazione sicura uomo-robot (ISO 10218 e 10219).

*Robot caratterizzati da strutture meccaniche intrinsecamente sicure e a basso costo*





Oggi, la combinazione di massa, velocità e forze necessarie per tipici task produttivi non consente l'implementazione dell'interazione uomo-robot con costi e prestazioni accettabili (anche e soprattutto in termini di sicurezza). Per aumentare la sicurezza dell'interazione uomo-robot, e di conseguenza innalzare il livello di accettazione dei robot da parte degli addetti delle PMI, uno dei principali passi consiste nella riduzione delle masse in movimento mantenendo però un livello di performance comparabile ed eventualmente riducendo i costi dei manipolatori industriali. Importanti attività di ricerca sono state condotte nel recente passato con l'obiettivo di trarre sia il criterio della bassa inerzia che delle elevate performance dinamiche. Purtroppo ad oggi gli esempi di robot industriali che integrano i risultati di tali attività di ricerca sono ancora limitati a pochi casi di successo. Le attività di ricerca correnti e quelle future debbono pertanto focalizzare l'attenzione su nuovi materiali, processi produttivi e strutture cinematiche per una nuova generazione di robot caratterizzati da alte prestazioni dinamiche, basse inerzie e costi ridotti. Robot che possano definirsi intrinsecamente sicuri rispetto alle leggi della dinamica sono possibili e il conseguimento dell'obiettivo è facilmente misurabile (riduzione delle masse in movimento di un fattore 5-10 rispetto ai robot industriali attualmente in uso a parità di performance in termini di volume di lavoro, rigidità, accuratezza, accelerazione, velocità, carico pagante a polso robot etc.). Un beneficio addizionale di una siffatta nuova generazione di robot industriali è rappresentato dalla riduzione della potenza assorbita che si traduce, per diretta implicazione fisica, in consumi energetici ridotti e in costi più bassi. I manipolatori a struttura cinematica parallela (PKM) rappresentano un paradigma chiave per una nuova generazione di robot industriali intrinsecamente sicuri ma al contempo produttivi e a basso costo. Ovviamente, ci sono applicazioni che richiedono e richiederanno ancora le caratteristiche proprie delle macchine a controllo numerico (macchine CNC) e macchine speciali per la così detta hard-automation. Analogamente ci sono applicazioni in cui la manipolabilità (per esempio per la lavorazione di parti interne) è più importante dell'elevata prestazione dinamica e altre in cui un'interazione cedevole con l'operatore è più importante dell'aspetto meramente economico; tali applicazioni continuano a giustificare l'utilizzo di strutture seriali ma spingono a ripensarne l'architettura al fine di trarre l'obiettivo di un rapporto circa 1:1 tra peso del manipolatore e carico pagante. Le attività di ricerca e sviluppo dovranno pertanto muoversi lungo le direttrici dianzi illustrate.

*Il Robot Sicuro e Produttivo senza Barriere*

Sensori allo stato dell'arte (per esempio laser scanner) possono delimitare il volume di lavoro del robot per mezzo di "pareti virtuali". Normalmente un semplice segnale binario triggera l'arresto di un movimento quando un oggetto passa attraverso la "parete virtuale". Ciò garantisce la sicurezza ma non la produttività. Nelle applicazioni del futuro quando un operatore entra all'interno del volume di lavoro del robot, i movimenti debbono essere adattati passando da una produttiva alta velocità ad un movimento sicuro, lento e che asseconi i movimenti dell'operatore. Ciò pone dei requisiti molto severi in termini di affidabilità sulla percezione e tracciabilità dei movimenti dell'operatore all'interno dell'area di lavoro: avanzate e sofisticate metodologie di acquisizione e interpretazione del movimento sono necessarie così come utilizzo di sensori "off-the-shelf" e a basso costo per garantire la sostenibilità economica delle applicazioni sviluppate. Inoltre adattare il movimento di un robot industriale alle azioni dell'operatore è cruciale non solo per ragioni di sicurezza ma anche per accrescere la produttività durante compiti che implicano la cooperazione fisica (per esempio la PpD) o per produzioni caratterizzate da piccoli lotti. La generazione della traiettoria dipende pertanto da misure di sicurezza quali la distanza attuale o predetta dell'operatore, dai limiti di forza e degli impatti della struttura del robot sull'operatore in caso di contatto fisico. L'informazione fornita dai sensori deve essere integrata all'interno del sistema di controllo del manipolatore e implementata in termini di algoritmi di controllo e strategie di pianificazione della traiettoria adattativi.



### Scenario 3: Sistema Robotizzato Integrato Installabile in 3 Giorni

Le attività tipiche della procedura di set-up di un sistema robotizzato completo includono l'installazione dell'hardware, la realizzazione della programmazione e la definizione e settaggio di tutti i parametri. Molte attività debbono essere rieseguite per ogni specifico sistema robotizzato (come la calibrazione), perché mancano metodi o rappresentazioni che ne consentano il riutilizzo. Inoltre, dal momento che molto tempo e risorse sono generalmente spesi su attività non pianificate (come la ricerca degli errori e la diagnostica a livello di sistema), la fase di ramp-up può essere molto lunga e costosa. Inoltre, le celle robotizzate debbono poter essere facilmente riconfigurate quando ci sono variazioni nei volumi o nella tipologia dei pezzi prodotti. L'obiettivo deve essere quello di creare metodologie di progettazione di celle robotizzate che di fatto risultino in "tempi di riconfigurazione nulli" quando sorge la necessità di adattare o riconfigurare la cella a seguito di varianti di prodotto e in tempi di installazione pari a meno di "tre giorni" (in alternativa alle settimane oggi correntemente impiegate). Diversi concetti di celle autoconfigurantesi sono state suggerite in passato con poco successo, principalmente a causa degli alti costi dei componenti modulari, della mancanza di compatibilità rispetto ai componenti forniti da terze parti, ai limiti dell'intelligenza intrinseca dei robot per poter trattare con prodotti variabili in termini di dimensioni geometriche/localizzazione/lavorazioni e a causa di carenze nell'integrazione di strumenti di configurazione e pianificazione all'interno dei sistemi CAD comunemente utilizzati.

#### *Meccanismi ed Architetture per il "Plug-and-Produce"*

Per rendere possibile il "plug and produce" in assenza dell'intervento di un operatore è necessario definire e standardizzare protocolli ed interfacce software che consentano la configurazione automatica di tutti i componenti caratterizzanti il set-up della specifica cella. Gripper, utensili, sensori, dispositivi per il trasferimento dei pezzi e per l'alimentazione devono essere automaticamente interfacciati alla cella, inizializzati ed attivati. È necessario che a livello europeo e Mondiale siano definiti degli standard per queste interfacce e per meccanismi di tipo "plug and produce". Per ridurre i costi derivanti dall'utilizzo di unità di calcolo addizionali - per esempio per l'integrazione di specifici sensori e per l'elaborazione dei segnali da essi acquisiti - debbono essere definite delle interfacce aperte verso alcuni componenti chiave quali ad esempio il controllore del robot (solo in questo modo tra l'altro è pensabile l'implementazione di strategie che consentano di modificare in real-time e in modo sicuro la traiettoria del robot). I meccanismi software necessari a supportare una siffatta radicalmente accresciuta flessibilità sono molto diversi da quelli comunemente

utilizzati nella pratica che ancora si basa su implementazioni "hard-coded" monolitiche e fragili.

*Generazione Automatica del Robot Task a partire da dati di Prodotto/Processo*

I programmi e le informazioni di processo dovranno essere generati automaticamente a partire dai dati CAD in aggiunta agli schemi di programmazione intuitiva dianzi presentati. Le informazioni fornite dall'operatore e quelle generate automaticamente dai dati CAD debbono inoltre essere combinati opportunamente tra loro e convertiti in un programma che possa essere eseguito dal manipolatore. I movimenti generati da dati CAD nominali debbono essere adattati in base alle caratteristiche del pezzo effettivamente in lavorazione e ai requisiti di processo. Per conseguire una reale adattabilità del manipolatore è pertanto necessario sviluppare metodologie e strumenti per poter adattare e ottimizzare le traiettorie e i dati di processo. Le prime metodologie sviluppate sono disponibili ma richiedono una migliore integrazione nei sistemi di programmazione disponibili e nelle strategie di controllo del moto sensor-based. Innanzitutto sono necessarie metodologie e strumenti per la calibrazione rapida, semplice ed intuitiva dei dati CAD rispetto all'effettivo layout della cella ossia metodologie e strumenti che garantiscano la piena coerenza tra la rappresentazione off-line e la realtà on line.





## 4

## L'intelligenza artificiale e le sue prospettive nel settore civile, industriale e sociale

Arcangelo Distante

### Sistemi intelligenti

I cosiddetti *Sistemi Intelligenti (Agenti Intelligenti)* rappresentano la frontiera tuttora più avanzata e innovativa della ricerca in campo informatico ed elettronico, in grado di influenzare direttamente la qualità della vita, la competitività e le modalità di produzione delle imprese, di monitorare e valutare l'impatto ambientale, di rendere più efficienti le attività di servizio e di gestione delle amministrazioni pubbliche, locali e nazionali. Lo studio di un *sistema intelligente*, indipendentemente dal campo d'impiego, è stato schematizzato in tre componenti essenziali: la prima interagisce con l'ambiente per l'acquisizione dei dati del dominio di interesse, utilizzando sensori adeguati (Sensing and Imaging); la seconda analizza ed interpreta i dati rilevati dalla prima componente utilizzando anche tecniche di apprendimento per costruire/aggiornare rappresentazioni adeguate della realtà anche complessa nella quale il sistema opera (Computer Vision and Pattern Recognition); e la terza sceglie le azioni più appropriate per raggiungere gli obiettivi assegnati al sistema (Decision Making using Soft-Computing Models) interagendo con le prime due componenti e con gli operatori umani nel caso di soluzioni applicative basate su paradigmi cooperativi uomo-macchina.

La disponibilità di nuovi sensori, di nuove metodologie di image processing e pattern recognition, insieme ai paradigmi di apprendimento automatico di features (caratteristiche significative estratte dalla scena nel dominio specifico) sono alla base per lo sviluppo di macchine intelligenti di visione innovative, come richiesto negli ultimi tempi da diverse strutture industriali, nel campo del controllo di qualità dei manufatti a monte ed a valle del ciclo di lavorazione, e con la caratteristica di non essere invasivi.

In sostanza la ricerca mondiale del settore è impegnata a superare i sistemi tradizionali, che sono sistemi chiusi con una architettura che non consente una diretta interazione con l'ambiente (viene usualmente richiesto l'intervento di un operatore umano esperto). I



*sistemi intelligenti* tentano di eseguire con successo un insieme di compiti in un ambiente dinamico e complesso.

Un **sistema intelligente** attraverso i suoi sottosistemi multisensoriali può *percepire* le caratteristiche dell'ambiente in cui è immerso e può **agire** (navigare) autonomamente in tale ambiente mediante i suoi attuatori. Un sistema si considera **intelligente** quando è capace di **migliorare** nel tempo le sue prestazioni ossia di diventare più abile nell'eseguire i suoi compiti con l'**esperienza** ed ha la capacità di adattarsi in modo efficace a modifiche impreviste dell'ambiente operativo.

Se molto è stato fatto per lo sviluppo delle prime due componenti (Sensori e Riconoscimento di oggetti), diverse problematiche di ricerca sono ancora aperte ed oggetto di avanzamento della ricerca per la realizzazione di sistemi capaci di eseguire comportamenti autonomi complessi che riguardano la terza componente, ossia lo studio di moduli adeguati per la scelta ottimale delle azioni, come dalle interazioni delle tre componenti tra loro (feedback), il sistema converge ad una soluzione accettabile in tempi ragionevoli. Lo studio e sviluppo di sistemi intelligenti complessi ha comportato la nascita di nuove opportunità scientifiche e linee di ricerca interdisciplinari dell'*informatica* (elaborazione dell'informazione), della *fisica* (ottica ed interazione luce-materia), della *cibernetica* (modelli computazionali neurali), dell'*ingegneria elettrica ed elettronica* (sensori, attuatori e controllo) e *meccanica*, dell'*intelligenza artificiale*, della *elaborazione digitale dei segnali e delle immagini*, *robotica ed automazione*, e *ricerca operativa*.

L'Istituto ha considerato strategico lo sviluppo di "Tecnologie Abilitanti", finalizzate alla realizzazione e alla sperimentazione di specifici *Sistemi Autonomi (Sistemi Intelligenti)*, includendo sia quelli in grado di operare nel mondo fisico (per es.: un veicolo mobile oppure un robot, che si muove nell'ambiente domestico, o dedicato al controllo e alla sicurezza di una cella robotizzata come del territorio) che quelli software rappresentati da un insieme di programmi eseguibili su uno o più processori dedicati (o sistemi embedded), tra loro interconnessi e chiamati *Agenti Software*, come per esempio gli agenti dedicati alla ricerca automatica di informazioni da banche dati complesse, o all'analisi di sequenze di immagini multispettrali e multitemporali per il controllo della qualità dei prodotti o per la sicurezza in ambienti a rischio (aree pubbliche, aeroporti, stazioni,...) oppure dati di mutazioni geniche, profili di espressioni geniche (DNA microarray) e proteiche con il principale obiettivo, per questi ultimi dati, di determinare marker specifici per le patologie tumorali in esame.

Lo studio di Sistemi Intelligenti è stato stimolato in particolare dalle limitazioni dei sistemi

tradizionali che possono *non operare correttamente* quando la conoscenza (dati, regole e modelli) non è esatta oppure è parziale oppure è incerta, quando l'ambiente si modifica ed il sistema si trova in situazioni non previste prima e con una pianificazione non più adeguata, ed infine, soprattutto, quando i dati sensoriali acquisiti sono incompleti e non precisi, con l'impossibilità di predire l'errore associato alle singole misure.

Una sfida della ricerca dell'Istituto (tuttora in accordo con l'orientamento della ricerca mondiale) per lo sviluppo di sistemi intelligenti è quella di trovare le euristiche adeguate (non necessariamente ottimali) e farle apprendere automaticamente, al fine di associare in modo ottimale i dati sensoriali di ingresso alle possibili strategie risolutive dei problemi, di cui non sia nota a priori la soluzione ottimale che va ricercata tra quelle disponibili nello spazio delle soluzioni possibili. L'uso di diversi metodi (statistici, fuzzy, neurali, evolutivi, rinforzo,...) eventualmente combinati può permettere di realizzare approcci differenziati di apprendimento, sperimentando in tal modo una diversità di sistemi intelligenti.

L'altro aspetto strategico delle ricerche ha riguardato anche il compromesso tra costi e prestazioni dei sistemi intelligenti. La strategia adottata dall'Istituto è stata quella di studiare e sviluppare prodotti che risolvano problemi concreti utilizzando sensori di costo il più basso possibile ma dotando il sistema di valore aggiunto basato su software sofisticato, che include moduli di filtraggio, di apprendimento automatico e di decision making i più adeguati possibili per le specifiche applicazioni. Una volta trovata la modellistica innovativa adeguata al determinato caso di studio diventa strategico lo studio del possibile trasferimento tecnologico in collaborazione con i partner industriali.

L'Istituto studia e sviluppa per vari settori applicativi diverse soluzioni di Agenti Intelligenti:

- **Entità Fisiche:** Macchine di Ispezione non distruttivo (NDT), Sistemi di Visione, Veicoli Mobili Autonomi, Interfacce Tattili, Interfacce Evolute, Azionamenti Elettrici e Convertitori Elettronici, Celle Robotizzate
- **Entità Software:** Monitoraggio Processi e Sicurezza, Ricostruzione 3D, Classificazione dei Difetti, Controllo di Qualità, TeleSorveglianza, Interferometria, Modelli EMC ed Energy Saving, Architetture di Controllo Autonome, Monitoraggio Ambientale, Stabilità del Suolo, Rischio di Frane, Analisi di Biosequenze, Microarray.

Si evidenzia come questa linea di ricerca dei "Sistemi Intelligenti" è trasversale alle linee di ricerca di seguito descritte che riguardano settori applicativi specifici.



## **Visione artificiale, robotica ed automatica**

Questa Linea Strategica è rivolta allo studio e sperimentazione di Macchine di Visione in contesti industriali, per l'automazione delle lavorazioni ed il controllo di qualità, o dedicate alla telesorveglianza e sicurezza, per la protezione di beni, la prevenzione di azioni ostili ed il controllo degli accessi. Costituiscono aspetti di interesse lo sviluppo di tecniche di navigazione reattiva di piattaforme robotizzate in ambienti industriali e civili, a servizio della persona, oltre che di apprendimento automatico ed incrementale della realtà fisica, integrando sensori di diversa tipologia. Completano le tematiche della Linea Strategica la modellazione 3D, la realtà virtuale e le tele-operazioni.

## **Sistemi e modelli per l'estrazione dell'informazione da segnali e immagini per il monitoraggio ambientale**

Questa Linea Strategica ha come obiettivo l'utilizzo dei dati di osservazione della Terra dallo spazio, sia nelle bande del visibile che in quelle del vicino infrarosso, dell'infrarosso termico e nella regione delle microonde, al fine di migliorare le capacità di monitoraggio dello stato degli ecosistemi e per l'assimilazione in modelli di previsione di eventi calamitosi (quali, ad esempio: previsione di eventi franosi, previsione di inondazioni, previsione di stati critici di colture agricole, previsione di diffusione di inquinanti marini, previsione di stati di eutrofizzazione di acque costiere). Ha realizzato anche strumentazione di supporto e calibrazione, per rilievi *in situ*.

## **Conversione intelligente dell'energia negli azionamenti elettrici e nella generazione elettrica da fonti rinnovabili**

L'attività è incentrata sullo studio della conversione di energia meccanica/elettrica tramite convertitori elettronici di potenza (DC/DC, DC/AC a due e a tre livelli) e relativi sistemi di controllo per applicazioni nei settori automotive, generazione elettrica da fonti rinnovabili e Power Quality, azionamenti in corrente alternata sensorless ad alte prestazioni con controllo intelligente per applicazioni industriali e relativi sistemi e metodologie per la compatibilità elettromagnetica in laboratorio e in situ.

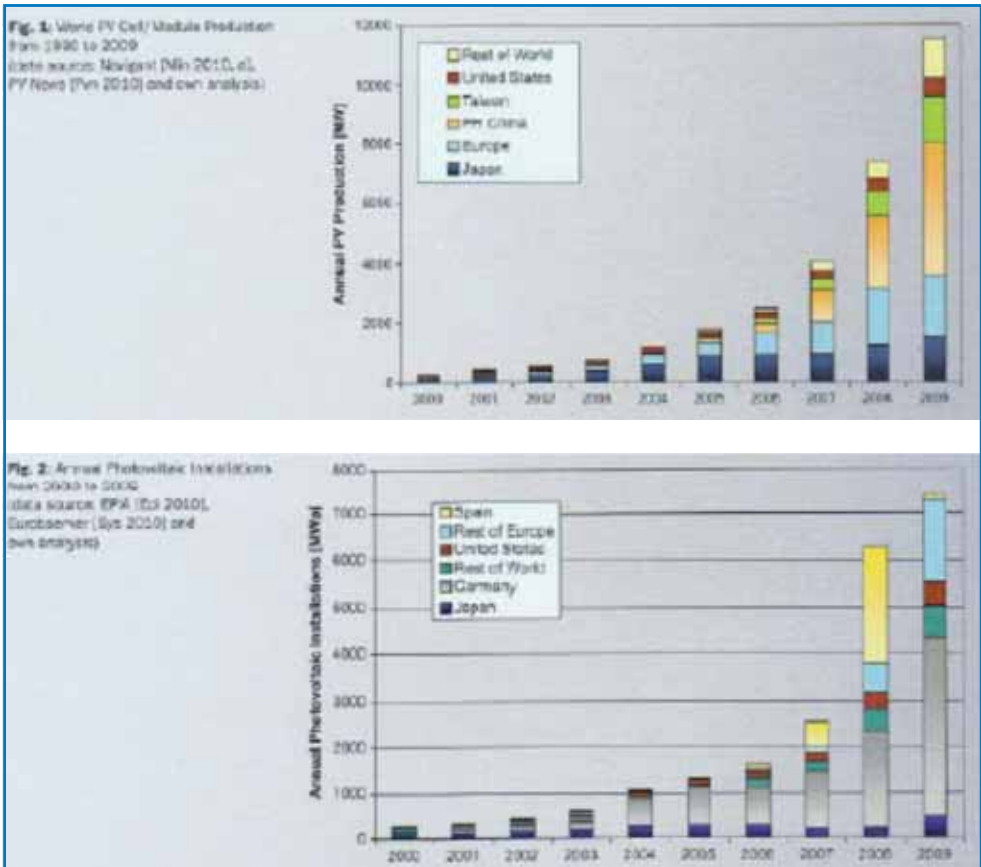
L'obiettivo generale è quello di utilizzare tecniche di intelligenza artificiale per ottimizzare le prestazioni in termini di rendimento, affidabilità, prestazioni dinamiche e compatibilità elettromagnetica dei circuiti elettronici di potenza.



## **Evoluzione dei materiali per applicazioni avanzate nel settore della microproduzione di energia e nel risparmio energetico**

Salvatore Iannotta

I “Materiali per l’Energia” svolgono un ruolo rilevantissimo nelle tecnologie per la generazione, la trasmissione, la distribuzione, il consumo e l’accumulo (storage). Riguardano essenzialmente le energie rinnovabili quali il solare termico ed il fotovoltaico che sono domini che richiedono in modo particolare nuovi materiali e processi in modo da estendere il limitato novero di materiali effettivamente in uso. Sono campi che richiedono approcci fortemente innovativi nella sintesi e caratterizzazione che vanno di pari passo con la necessità di proseguire gli studi su nanostrutture basate sul Si così come su materiali necessari per tutti i componenti delle celle solari (ad esempio trattamenti antiriflesso, contatti metallici, interfacce e substrati). Sono inoltre di grande rilievo lo sviluppo di strategie intelligenti e topologie alternative dell’elettronica di potenza per la produzione di moduli fotovoltaici.



Produzione mondiale di Celle/moduli dal 1990 al 2009 (in alto) e Installazioni Annuale dal 2000 al 2009 (in basso) [da PVR]

## Nuovi materiali e processi per il fotovoltaico

Nel campo del fotovoltaico solare, il numero di materiali utilizzati è limitato ad alcuni elementi quali il Si (in forma di wafer e di film sottili), GaAs e suoi derivati, CdTe, alcune calcopiriti ( $\text{CuInGa}(\text{SSe})_2$ ) ed alcuni coloranti e composti organici. Già negli anni '70, sulla base di calcoli teorici di struttura a bande, erano stati identificati una gran varietà di materiali composti quali possibili candidati per celle solari. Tuttavia la sintesi, caratterizzazione e studio sistematici di questi potenziali materiali non è ancora stata fatta finora. Ciò è dovuto in gran parte al fatto che studi di aspetti di ricerca fondamentale sono spesso trascurati in quanto il loro orizzonte temporale va ben oltre quello breve delle necessità dell'industria.

La sintesi e caratterizzazione di nuovi materiali richiede una rilevante quantità di tempo e non è garantito poi che i nuovi materiali possano poi essere prodotti in modo economicamente competitivo. Questi fattori aumentano il rischio ma è necessaria la consapevolezza che è ancora più elevato il rischio che si incorra in potenziali limiti nel PV nel futuro dovuti alla difficoltà di reperire a costi economici i materiali comunemente utilizzati. Come già detto l'impatto delle nanotecnologie potrà essere molto rilevante in quanto, in linea di principio, potrebbero rendere possibile la cattura e conversione dell'intero spettro solare grazie a fenomeni quantistici quali la generazione di eccitoni multipli (MEG), o l'uso di materiali a banda intermedia (IB) oppure attraverso il controllo delle proprietà di assorbimento delle celle determinato dall'appropriato dimensionamento di strutture nanometriche inserite nell'area attiva del dispositivo. Sebbene esperimenti di prova concettuale di alcuni di questi effetti siano già stati realizzati, la loro implementazione in tecnologie mature di larga scala richiede investigazioni scientifiche estensive e sviluppo tecnologico rilevante.

Inoltre, sebbene nel passato l'attenzione maggiore sia stata dedicata alla parte attiva della cella (quella in cui sono assorbiti i fotoni e vengono generate le coppie elettrone-buca), i nuovi concetti dei dispositivi fotovoltaici (PV) evidenziano il ruolo critico di tutte le parti che formano una cella: i ricoprimenti antiriflesso, i TCO (ossidi conduttivi trasparenti), contatti metallici, interfacce e substrati.

Su tutti questi temi, IMEM in collaborazione con diversi altri Istituti CNR e centri di ricerca universitari italiani e stranieri è fortemente impegnato considerando strategico un approccio a "catena corta" in cui la ricerca più di medio termine e quella già più vicina all'impatto industriale, soprattutto in questo settore, potrà dare risultati importanti e di notevole impatto.

### Le domande dell'industria fotovoltaica

L'industria PV ha dimostrato una ottima capacità di ridurre i costi/installato per Wp, soprattutto in tempi recentissimi con l'avvento di nuovi processi e materiali competitivi, con





un rapporto di apprendimento di circa il 20%. È però di importanza fondamentale rendersi conto che gli incrementi di efficienza contribuiscono alle riduzioni di costi non solo al livello dei moduli, ambito nel quale una gran parte della ricerca viene realizzata, ma anche sul bilancio a livello di sistema. L'implementazione su scala ancora più larga di moduli PV richiederà anche "moduli intelligenti" per minimizzare le perdite attribuite a ombreggiamento parziale e fluttuazioni di potenza.

I sistemi PV collegati alla rete (grid-connected) saranno assoggettati a requisiti ancora più stringenti per garantire servizi ancillari per supportare l'elettricità di rete quando è necessario immettere potenza di riserva e reattiva (per il sostegno del voltaggio). Quando l'elettricità di rete deve avere a che fare con bilanci positivi e negativi, diventa forte la necessità di conservare la produzione di picco per rinforzare temporaneamente la fornitura al bisogno. Da qui nasce un ruolo molto importante che dovrà essere giocato sul piano dell'immagazzinamento dell'energia che permette di mantenere al massimo la conversione mentre la potenza in uscita può essere immagazzinata per un utilizzo successivo.

### Materiali per l'immagazzinamento di energia, elemento strategico

Tale funzione di immagazzinamento può essere centralizzata o distribuita, sembra interessante l'approccio di un micro-immagazzinamento al livello di moduli in congiunzione con i convertitori DC/DC. A tale ruolo potrebbero supplire supercapacitori di nuova generazione a basso voltaggio e costruiti con film sottili innovativi in un approccio simile a quello delle batterie.

In parallelo la questione dell'immagazzinamento dell'energia è una questione fondamentale in cui i materiali svolgono un ruolo critico per sviluppi futuri. Lo stoccaggio di energia assicurata dalle batterie al Li richiede strategie per migliorarne aspetti determinanti quali sicurezza e tossicità, densità di energia, la progettazione delle batterie nonché la limitatezza della disponibilità del materiale in natura. Strategie per affrontare questi temi si vanno concentrando sull'utilizzo ed incorporazione di nuove forme di carbonio (nano), di leghe e di strutture avanzate di Si così come di ossidi a base di Ni-Mn-Co per i catodi nonché nello sviluppo di elettroliti innovativi a base polimerica. Sembra oramai acquisito che la scala e strutturazione nanometrica dei materiali avrà un forte impatto sulle batterie del futuro. Soluzioni di medio termine potrebbero includere batterie al Li-solfuro e al Li-ossigeno mentre su tempi più lunghi si possono intravedere soluzioni basate su batterie allo Zn-aria o batterie organiche. Dal punto di vista dei supercapacitori si intravedono prospettive basate su elettrodi innovativi e materiali elettrolitici che permettano un voltaggio più elevato ed una concezione ibrida che utilizzi batterie e materiali per capacitori.

## I materiali nella prospettiva delle "Fuel Cells", delle biomasse e del termoelettrico

Le celle a combustibile ("fuel cells") basate su membrane a scambio protonico (PEFCs), comprese le celle a metano, sono i tipi di celle maggiormente diffuse. In questo contesto le sfide maggiori dal punto di vista dei materiali riguardano lo sviluppo di nuove e più economiche membrane dotate di maggiore conducibilità e per le quali si sviluppi una migliore comprensione dei criteri di stabilità.

Dal punto di vista dei catalizzatori, in questi sistemi il principale requisito è la sostituzione del Pt con materiali più economici e, possibilmente più attivi e stabili, per esempio leghe e superfici nano strutturate e di materiali di supporto a base di Pt. Rimane al fondo anche la necessità di una migliore comprensione nella stessa attività catalitica. Per quanto riguarda l'utilizzo di PEFC in auto a fuel cells, esistono le problematiche relative allo sviluppo di serbatoi per idrogeno, resistenti alla corrosione, meccanicamente stabili etc.

Le sfide nel settore dei materiali per le celle a combustibile basate su ossidi solidi riguardano la durabilità e la riduzione della loro dimensione e temperature di lavoro per aumentarne la portabilità. Appare come necessario il fondersi delle tecnologie SOFC e delle ceramiche ad alta temperatura con le tecnologie MEMS (micro-electromechanical systems) dell'industria del Si.

Ci sono importanti sfide per i materiali anche nel contesto della conversione di energia da biomasse che riguardano in particolare la necessità di mantenere l'iniziale alta attività catalitica anche nei flussi di gas caldi che sono altamente contaminanti ed a temperature molto elevate, e che resistano anche ai forti effetti abrasivi quando utilizzati come materiali base. L'obiettivo finale è un compromesso tra economicità del materiale, la sua facilità di processabilità con la corrodibilità. L'utilizzo di appropriati trattamenti/ricoprimenti sembra essere l'approccio vincente in questo contesto.

Per quanto riguarda i dispositivi termoelettrici, essi hanno attualmente un mercato molto limitato ma si può intravedere un futuro rilevante se si svilupperanno materiali migliori quali ossidi metallici o composti a gabbia (cage compounds).

Non meno grandi sono le sfide nel campo dell'energia nucleare in cui temi di grandi rilievo riguardano: i materiali per componenti per sistemi avanzati per la fissione/fusione, materiali per componenti per le unità nel reattore termico, materiali per il combustibile e le matrici del combustibile e target per la trasmutazione, nonché materiali per lo stoccaggio ed eliminazione delle scorie. Le ricerche si concentrano sulla necessità di materiali con maggiore stabilità o migliori prestazioni meccaniche e si concentrano su metalli, carburi, nitruri, ossidi utilizzati come leghe, soluzioni solide o composti. Una questione davvero critica è la possibilità/capacità di caratterizzazione dei materiali in un ambiente vicino a quello di lavoro utilizzando ed innovando anche sulle tecniche.



## Il trasporto di energia

La trasmissione dell'energia è un altro dei temi fondamentali che, sullo sviluppo di materiali innovativi, in particolare superconduttori, potrà trovare soluzioni innovative ai problemi energetici ed all'integrazione di fonti diverse ed utilizzi a distanza. Lo sviluppo dei superconduttori, sebbene attraverso una fase di sviluppo limitata, potrà beneficiare da nuove strategie che sono in fase di recente sviluppo sui film di materiali superconduttori ad alta Tc.

Infine, è in fase di nuovo sviluppo il campo che si pone l'obiettivo di poter utilizzare l'anidride carbonica CO<sub>2</sub>, uno dei più rilevanti gas serra, quale possibile futuro carburante. Ciò sarà possibile se verranno sviluppati materiali catalizzatori per il riciclaggio redox di CO<sub>2</sub>.

## Il nostro impegno

Alcuni Istituti del DSP, come risulta evidente anche da questo libro, svolgono un ruolo importante nel contesto italiano ed europeo in tutti questi settori e, anche grazie alla collaborazione con altri dipartimenti quali DET e DMD, stanno producendo lo sviluppo di strategie innovative che, partendo dall'innovazione nei materiali e processi, senza perdere di vista la praticabilità produttiva e l'impatto industriale, prefigurano l'integrazione dei sistemi e del loro utilizzo. In questo contesto si inquadrano i progetti in corso finanziati dal Programma "Industria 2015" nell'ambito del quale, grazie alla stretta collaborazione con interlocutori di primaria grandezza a livello nazionale, si stanno sviluppando strategie per il "Building Integration" e l'"Integrated design", in cui la produzione e l'uso intelligente dell'energia sono elementi portanti laddove i materiali innovativi, a partire dai film sottili multifunzionali, rappresentano tecnologie abilitanti che ne aprono la fattibilità e la praticabilità.



# INTELLI SI





## Istituto di acustica e sensoristica "Orso Mario Corbino" - IDASC

Claudio Rafanelli

Sede	Area della Ricerca di "Roma Tor Vergata" via del Fosso del Cavaliere, 100 - 00133 Roma tel. +39 06 45488482 - fax +39 06 45488061 e-mail: segreteria@idasc.cnr.it
Sede di Brescia	SENSOR Laboratory via Valotti 9, 25133 - Brescia tel. +39 030 3715677 - Fax +39 030 3715678 e-mail: segreteria.bs@idasc.cnr.it
Direttore Responsabile Brescia	Claudio Rafanelli Giorgio Sberveglieri
Il Corbino sul WEB: <a href="http://www.idasc.cnr.it">www.idasc.cnr.it</a>	

### Cenni storici

L'attuale *Istituto di Acustica e Sensoristica "Orso Mario Corbino"* è l'erede dell'*Istituto Nazionale di Elettro-Acustica* (INEA) fondato il 10 agosto 1936 con decreto firmato da Guglielmo Marconi, allora Presidente dell'Ente. La costituzione dell'Istituto fu voluta dal senatore Orso Mario Corbino direttore del *Regio Istituto di Fisica* a Roma, mentore dei "ragazzi di via Panisperna". Egli fu il primo direttore dell'INEA e come sede fu scelta il prestigioso edificio di via Panisperna. Purtroppo Corbino morì solo pochi mesi dopo, il 23 Gennaio 1937.



Orso Mario Corbino (1876 - 1937)



Istituto di Fisica, Roma, via Panisperna

Con mirabile intuito, le linee di ricerca dell'Istituto furono definite indirizzando le attività allo studio degli *ultrasuoni*, dell'*acustica musicale*, dell'*acustica ambientale* e della *tecnologia dei trasduttori*, linee tuttora valide ed attuali. Tali ricerche fanno parte ancora del patrimonio culturale dell'Istituto.

Nel 1949 l'istituto cambiò nome in *Istituto Nazionale di Ultracustica* (INUA) e l'attività proseguì con gli studi sulla propagazione degli ultrasuoni nei solidi e nei liquidi.

Nel 1968 prese il nome di *Istituto di Acustica*, e la sede fu trasferita presso i locali della Sede Centrale del nostro Ente a piazzale Aldo Moro.

#### Sedi dell'Istituto di Acustica



CNR – Sede Centrale



via Cassia - La Giustiniana

Area delle Ricerche di  
"Tor Vergata"

Più tardi la sede fu spostata alla periferia settentrionale della città, in località *La Giustiniana*, ove rimase sino al 1997, anno del suo trasferimento nell'Area della Ricerca CNR di "Roma - Tor Vergata".

Nel 2002, a seguito della riforma dell'Ente e dell'uscita di parte del personale, l'Istituto fu ristrutturato e ha proseguito le sue attività come "*Ex Istituto Sperimentale di Acustica 'Orso Mario Corbino'*".







Importanti sono le ricerche nell'Acustica Subacquea, cioè le applicazioni nell'ambiente marino, essendo per esso il principale mezzo d'indagine. In quest'ambito è stato realizzato il Centro di Taratura SIT N° 194; esso è il primo esempio di centro accreditato all'interno del CNR e di modello per ulteriori ed affini iniziative nell'ambito degli Enti di ricerca. L'erogazione di servizi a terzi scaturisce dall'accREDITAMENTO che è in grado di garantire imparzialità e condizionamenti, prerogative tipiche del servizio pubblico. In quest'ambito si tengono anche Corsi di formazione per operatori di sistemi acustici subacquei.

Trova applicazione anche la ricerca di base con studi sulle prospezioni acustiche ad alta risoluzione e bassissima profondità; ed è studiata anche la fisica delle sorgenti acustiche dovute ad implosione di bolla.

La sensoristica ha nel Corbino una lunga tradizione e importanti sono gli studi di nuovi dispositivi utilizzando propagazione BAW, SAW, STW e p-SAW per la realizzazione di sensori e matrici di sensori da impiegarsi in elettronica e *signal processing*. Linee di ricerca si interessano anche di filtri acusto-ottici basati su celle di Bragg con interazione collineare o non-collineare che possono trovare impiego in spettroradiometri di nuova concezione.

Nell'Istituto sono messe a punto anche nuove tecniche di microfabbricazione dei dispositivi e crescita, mediante *sputtering* e PLD, di materiali piezoelettrici (AlN, ZnO, GaN) con diverse orientazioni cristallografiche e su diversi substrati (C, Si, SiC).

Le linee guida fissate all'inizio, come detto, fanno ancora parte del patrimonio dell'Istituto, e per l'Acustica Ambientale si svolgono studi sulla caratterizzazione del rumore ambientale sia al chiuso sia in ambienti di vita esterni, fig. 2, per il recupero del benessere della collettività, e la qualificazione acustica di ambienti interni per una fruizione specifica.

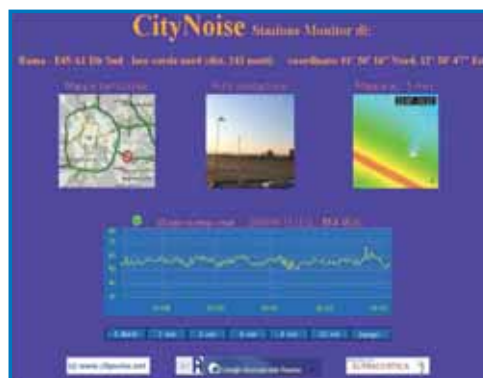


Fig.2: Esempio di analisi dei rumore ambientale in situazione urbana

Inoltre si svolgono studi sulla dosimetria vibro-acustica per l'esposizione di operatori all'interno di veicoli e macchine operatrici o derivante dall'uso di utensili.

Lo studio delle onde elastiche applicato ai Beni Culturali trova ampio spazio con ricerche sulle tecniche non invasive per la rivelazione e la mappatura dei distacchi nei dipinti ad affresco, e delle strutture murarie in genere. Gli studi sono volti alla realizzazione di strumentazione specifica per l'alta sensibilità dei sensori sia per le peculiari caratteristiche delle applicazioni. In quest'ambito si sono prodotti due Brevetti internazionali.

La multidisciplinarietà dell'Istituto consente lo svolgimento di ricerche di carattere archeologico mediante tecniche iperspettrali con strumentazione sia da aereo sia da satellite.

Campi importanti dell'acustica sono gli studi sul suono e gli strumenti musicali, per cui interessanti sono gli studi sviluppati per la valutazione oggettiva non invasiva di strumenti dell'antica liuteria, o per la ottimizzazione di altoparlanti per l'alta fedeltà.

L'acustica applicata alla geofisica non può che svolgersi con un approccio interdisciplinare. In quest'ambito si sono svolte, e si svolgono, ricerche per la comprensione di fenomeni propri dell'ambiente e del territorio sia naturali, sia causati dall'uomo. Proprio la dimensione a larga scala di questi studi e le collaborazioni con istituzioni di ricerca nazionali ed internazionali, ha consentito il dare vita all'iniziativa italo argentina

denominata ICES (*International Center for Earth Sciences*) che con l'INOGS (Istituto Nazionale di Oceanografia Sperimentale) di Trieste, l'Osservatorio Sismologico dell'Università di Messina e di recente l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) di Roma per la parte italiana e la CNEA (*Comisión Nacional de Energía Atómica*) di Buenos Aires per la parte Argentina, Scopo dell'ICES è lo sviluppo di sensoristica dedicata allo studio ed alla comprensione dei fenomeni all'interno della crosta terrestre, dei vulcani e sul clima in ambiente remoto. La sede italiana dell'ICES è al Corbino e la sede Argentina è la città della scienza Malargüe (Provincia di Mendoza), fig. 3.

Nell'ICES sono importanti gli studi sulle Emissioni Acustiche Passive (AE) utilizzate per le analisi dei fenomeni che avvengono nella crosta terrestre. Le metodologie applicate sono utili anche per le indagini su materiali innovativi, quelli multistrato a fibre di carbonio, sempre più utilizzate nell'industria moderna anche aerospaziale. Le analisi iperspettrali svolte in questi ambiti trovano applicazione per fini di carattere ambientale; gli studi sono indirizzati anche ad applicazioni per la Protezione Civile.



Fig.3: La sede dell' ICES in Argentina



Come detto, con la ristrutturazione del 2010 è entrato a far parte del *Corbino* il *Laboratorio SENSOR* di Brescia, prima e per adesso unica sede CNR in quella città, che trae origine dal *Gas Sensor Lab* (GSL) attivo presso l'Università di Brescia sin dal 1987.

La missione di SENSOR a livello internazionale è indirizzata alla progettazione e sviluppo di materiali e processi per dispositivi e sistemi nanotecnologici. SENSOR è ampiamente riconosciuto come uno dei laboratori più influenti ed attivi su scala mondiale nel campo dei sensori di gas a base di ossidi metallici semiconduttori e nella preparazione di ossidi quasi-monodimensionali come materiali funzionali. Nel campo dei sensori chimici è attivo nei seguenti settori prioritari: Information and Communication Technology (ICT), Nanomedicina, Agroalimentare e Sicurezza.

In ambito nazionale, SENSOR è risultato, nel triennio 2005 – 2007, il secondo laboratorio tra i venti dell'Istituto Nazionale di Fisica della Materia (INFN) sia in termini di produttività scientifica rispetto al finanziamento che di rapporto fra finanziamenti esterni ed interni.

Nel quinquennio 2005-2010 SENSOR ha pubblicato 140 articoli su riviste internazionali con sistema di *peer review*, 3 capitoli di libro, ed è stato capace di attrarre finanziamenti pubblici nazionali ed europei -nell'ambito dei programmi quadro- pari a sette volte il proprio finanziamento ordinario (comprensivo del personale). I ricercatori dipendenti ed associati a SENSOR hanno tenuto, nel quinquennio in oggetto, 35 relazioni su invito a conferenze nazionali ed internazionali, tra cui 4 *plenary lecture* e 2 *key note lecture*. A testimonianza del riconosciuto valore internazionale, SENSOR ha pubblicato nel 2010 un articolo di *review* su invito sulla rivista *Materials Today*, una delle più prestigiose riviste internazionali dedicate ai nanomateriali (E. Comini & G. Sberveglieri *Materials Today* (2010)).

SENSOR è attivamente impegnato nella divulgazione dei propri risultati e nel consolidamento della propria leadership a livello internazionale mediante l'organizzazione di workshop, convegni e simposi. Nel Luglio 2006, SENSOR ha organizzato a Brescia l'11<sup>th</sup> International Meeting on Chemical Sensors, IMCS, la più importante conferenza internazionale sui sensori chimici, alla quale hanno partecipato più di 500 persone. Nel 2009 SENSOR ha organizzato a Brescia ISOEN, International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, 250 partecipanti, la più autorevole conferenza internazionale su naso elettronico e olfatto artificiale. Tra gli altri eventi organizzati da SENSOR sono da citare: Simposio *Nanostructured Materials and Hybrid Composites for Gas Sensors and Biomedical Applications* della conferenza MRS (Material Research Society) Spring meeting 2006 S. Francisco; Tutorial intitolato *Nanophased Metal-Oxide Semiconductor for sensing applications* organizzato dall'MRS in concomitanza al congresso MRS Spring Meeting 2006; Simposio V *Functional materials for chemical and biochemical sensors* Material Research Society Spring meeting 2007 S. Francisco California 9 13 Aprile 2007; Simposio S *Functional organic and inorganic materials for micro and nano bio-sensing systems* E-MRS Spring Meeting 2007, Strasburgo, 28 Maggio-1 Giugno

2007; Technical Program Committee della conferenza internazionale 6th IEEE SENSORS CONFERENCE 2007, Atlanta, Georgia, USA from October 28 to 31, 2007; International Programme Committee for the workshop WS-22: *Gas and Radiation Sensors: Properties, Characterisation of Thin Films Based Sensors*, Salamanca, Spain, July 7-9, 2008; Technical Program Committee della conferenza internazionale 7th IEEE SENSORS CONFERENCE 2008, Lecce, Italy October 26 to 29, 2008. Organizer del Simposio K *Functional Materials and Nanostructures for Chemical and Biochemical Sensing* Material Research Society Spring meeting 2010 S.Francisco California 5-9 Aprile 2010, fig. 4; Simposio V *Functional materials for chemical and biochemical sensors*, nell'ambito del Material Research Society (MRS) Spring Meeting 2008, S. Francisco, California, il Simposio O *Functional organic and inorganic materials for micro and nano bio-sensing systems*, nell'ambito dell' European Material Research Society (E-MRS) Spring Meeting 2008, 29 May-1 June, Strasbourg, France; Technical Program Committee della conferenza internazionale Eurosensors XXIII, September 6 - 9, 2009 Lausanne, Switzerland Membro del Technical Program Committee della conferenza internazionale Eurosensors 2010 Linz (Austria) 5-8 September; il Simposio *Functional oxide nanostructures*, nell'ambito del Material Research Society (MRS) Fall Meeting 2011, Boston, Massachusetts; International Advisory Committee dell' *International Conference on Advances in Condensed & Nano Materials* Department of Physics, Panjab University, Chandigarh, India 23–26 February 2011.

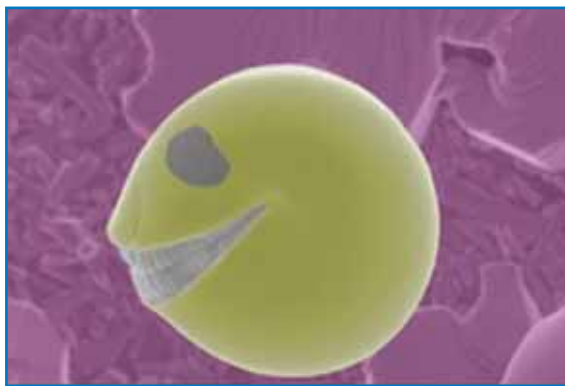


Fig. 4: Immagine al microscopio elettronico di uncluster di ossido di rame prodotto presso SENSORche ha vinto il primo premio alla competizione 2010 MRS Spring Meeting "Science as Art"



Da sottolineare l'attività editoriale, che vede attivamente impegnati i membri di SENSOR. Da citare: *Nanostructured materials and hybrid composites for gas sensors and biomedical application* Material Research Society, Symposium Proceedings, Volume 915, Copyright 2006 by Material Research Society; Special Issue di *Sensor Letters*" Volume 6, Number 4, August 2008; EMRS, Spring meeting *Solid State Gas Sensing* Springer 2009, XX, 280 p. 180 illus., Hardcover ISBN: 978-0-387-09664-3, <http://www.springer.com/978-0-387-09664-3>.

Contemporaneamente SENSOR svolge una consolidata attività di trasferimento tecnologico e di ricerca industriale (è detentore di 7 brevetti) attraverso progetti finanziati da varie istituzioni, tra cui Regione Lombardia, Fondazione Cariplo, Ministero dell'Economia e delle Finanze (MEF), e progetti finanziati direttamente da aziende.

Nel campo dell'energia, il *Corbino* di Brescia è all'avanguardia nella ricerca di nanotecnologie, da applicarsi in celle solari di terza generazione, ricerca finanziata attraverso Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale, Progetti Regionali (Fondazione CARIPLO), Progetti bilaterali internazionali. Presso il Laboratorio SENSOR si sviluppano fotoanodi innovativi nanostrutturati e sensitizzanti inorganici (quantum dot) per lo sviluppo di celle solari di tipo eccitonico di ultima generazione, che si pongono come un'alternativa concreta e con grandi vantaggi rispetto alle celle solari di prima e seconda generazione, quali costo estremamente ridotto, altissima compatibilità ambientale, dimostrata stabilità nel tempo per applicabilità industriale. La competenza sviluppata presso SENSOR è attualmente in fase di trasferimento all'industria attraverso progetti congiunti di collaborazione e sviluppo, e progetti regionali.

Inoltre le strutture quasi 1D sono applicate nel settore della "nanowire electronics", in particolare nei sensori a singolo nanofilo, emettitori di elettroni e sorgenti di gas ionizzati.

L'eredità che ci proviene dal passato è stata il motivo per consentire la nascita dell'Associazione Italiana di Acustica, AIA, che sin dalla sua fondazione, ha sede in Istituto. L'Associazione, con circa 360 soci, è animatrice di numerosi convegni per la promozione dello studio dell'acustica e dei problemi ad essa inerenti nel campo scientifico, tecnico, normativo, industriale, sociale, professionale e didattico.

Proprio per l'interdisciplinarietà dell'Acustica, essa richiede un approccio e competenze innovative indispensabili per supportare e stimolare gli studi e le ricerche. Per questo motivo è lunga e consolidata la collaborazione con istituti universitari e di enti di ricerca in Italia ed all'estero. Un elenco completo esula dai limiti di questa trattazione, ma si può ritrovare nel sito WEB dell'Istituto.

Le collaborazioni sono rivolte non solo alla ricerca di base ma anche allo sviluppo di sensori per l'innovazione industriale e tecnologica. È per questi motivi che il *Corbino* trova il pieno inserimento nel Dipartimento CNR Sistemi di Produzione.

## Le attrezzature

L'attività di ricerca così ampia si può ottenere solo con attrezzature complesse. Qui di seguito sono riportate le principali strumentazioni ed impianti presenti in Istituto sia a Roma sia a Brescia:

- 1) Laboratorio per Acustica Subacquea accreditato Centro SIT #194, fig. 5, per la calibrazione degli idrofoni con standard ISO/IEC 17025, Certificato 5 – 300 kHz. Esso è il primo esempio di centro accreditato all'interno del CNR e di modello per ulteriori ed affini iniziative nell'ambito degli Enti di ricerca. L'erogazione di servizi a terzi che scaturisce dall'accREDITAMENTO è in grado di garantire imparzialità e evitare condizionamenti, prerogative tipiche del servizio pubblico;



*Fig. 5: Centro SIT #194*

- 2) Camera trattata per prove di ascolto e misure di suono, con adiacente sala regia, fig. 6;
- 3) Coppia di Camera riverberanti adiacenti  $m^3$  530 circa, per test di parametri acustici di materiali strutture e sorgenti;



*Fig. 6: Strumentazione per prove di ascolto e misure di suono in camera trattata.*



- 4) Laboratorio per l'audiometria tonale liminare;
- 5) Camere pulite, da classe 100 a classe 100.000 (dotate di attrezzature come: evaporatori, sputtering, mask-aligner, microscopi ottici, etching, ecc.), fig. 7;
- 6) n° 3 Spettrofotometri Brewer MKIV, fig. 8;



Fig. 7: Strumentazione ed impianti per la microelettronica e la sensoristica



Fig. 8: Spettrofotometri Brewer MKIV nei siti polari di Ny Ålesund (79° N, sx) e Belgrano (79° S, dx)

- 7) Laboratorio per test su sensori;
- 8) Due forni tubolari ad alta temperatura in atmosfera controllata per la preparazione di ossidi metallici per evaporazione di polveri massive di ossidi metallici, un forno tubolare per la preparazione di nanofili per ossidazione termica a partire da film metallici, un evaporatore termico per la preparazione di nanofili di ossidi metallici mediante evaporazione in condizioni di atmosfera controllata, fig. 9;



Fig. 9: Impianti automatizzati per la produzione di materiali nanostrutturati presso SENSOR. Forno tubolare per la crescita di nanocristalli; impianto di magnetron sputtering; maschera di controllo di processo.



- 9) Impianti di magnetron sputtering per la deposizione di film sottili metallici, semiconduttori ed isolanti, cui sono associate una serie di attrezzature per la preparativa dei campioni;
- 10) Linea di *Schlenk* operante in atmosfera inerte e in vuoto per sintesi in chimica bagnata;
- 11) Sistema di anodizzazione elettrochimica per la preparazione di strutture nanoporose e nano tubi, fig. 9;
- 12) Microscopio elettronico in Scansione ad alta risoluzione per imaging morfologico e composizionale, spettrometria EDX, nano manipolatori per misure elettriche in-situ, litografia elettronica, fig. 10;

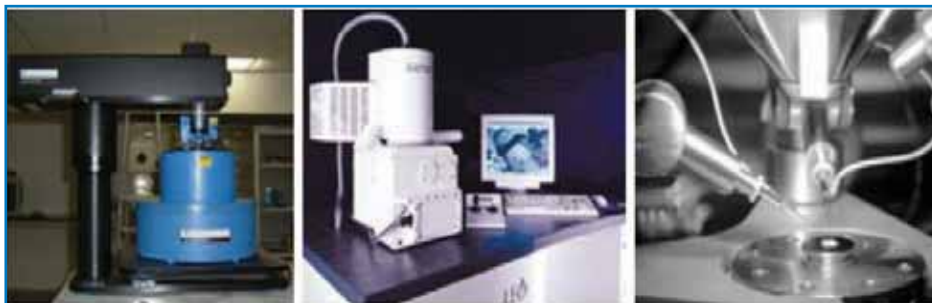


Fig. 10: Microscopio a scansione di sonda e microscopio elettronico a scansione con sorgente ad emissione di campo, equipaggiato con nanomanipolatori

- 13) Spettroscopie ottiche: spettrofotometro operante nell'intervallo spettrale UV-Vis (900-200 nm) e spettrofluorimetro per misure di assorbimento ed emissione in fluorescenza (800-200 nm); spettrometro infrarosso (7000-400  $\text{cm}^{-1}$ ) a trasformata di Fourier con possibilità di preparare in vuoto e munito di due rivelatori, di cui un detector MCT raffreddato ad azoto liquido;
- 14) Banco ottico per la misura della fotoluminescenza di semiconduttori ad alta gap in presenza delle miscele di gas desiderate. Misura di *photocurrent spectroscopy*, *surface photovoltage* ed efficienza spettrale di fotoconversione;
- 15) Un microscopio a scansione di sonda (SPM), alloggiato in una glove-box ad umidità controllata, in grado di lavorare nelle modalità base STM (STM, spettroscopia I-V) ed AFM (*contact*, *non-contact*, *intermittent contact modes*, *Lateral Force Microscopy*, *Phase*





*Imaging, spettroscopia F-d, Kelvin Probe Force Microscopy*). *Tools* di nanomanipolazione e nanolitografia sono implementati sul microscopio;

- 16) N° 3 camere di test per la caratterizzazione funzionale dei sensori nei confronti di miscele gassose certificate ed in condizioni di umidità e temperatura controllate;
- 17) Sistema olfattivo artificiale basato su *array* di sei sensori a base di film sottili e nanofili di ossidi metallici, dotato di autocampionatori per campionamento di spazio di testa in modalità statica e dinamica, fig. 11;



Fig. 11: Microsaldatrice, case con sensore, camera di test per sensori chemoresistivi e set up per sensori di gas ottici.

- 18) Sistema di caratterizzazione elettrica di biosensori in liquido.
- 19) Simulatore solare e spettroscopia d'impedenza per la caratterizzazione funzionale di celle solari, fig. 12;

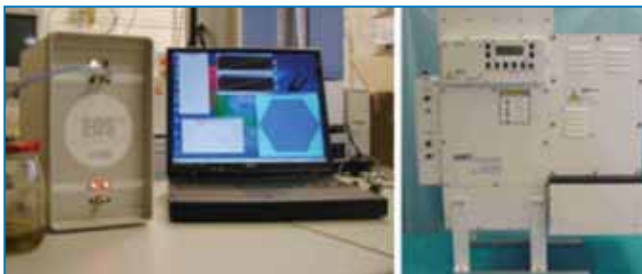


Fig. 12: Naso elettronico con array di sei sensori di ossidi metallici semiconduttori preparati presso SENSOR e simulatore solare per il test di celle fotovoltaiche di terza generazione.

## Alcuni risultati rilevanti

Molti sono i risultati che il Corbino ha ottenuto nella sua lunga storia, qui si riportano alcuni di questi ottenuti di recente. Rimandando alla bibliografia che si può trovare nel sito WEB dell'Istituto.

Tramite le tecniche di acustica subacquea ad alta risoluzione si sono svolti studi sulla ricostruzione dei fondali della Laguna di Venezia ma anche di parti monumentali della città come l'Arsenale, contribuendo allo studio del suo risanamento.

Rientrano nelle scienze dell'acustica subacquea anche gli studi degli ultrasuoni in Medicina ed importanti sono le collaborazioni con l'Università di Roma "Sapienza" per la *gene therapy* e la bioacustica in generale, fig. 13.



Fig. 13: Applicazioni dell'acustica in medicina

Le attività svolte in Istituto nel campo della tutela dei Beni Culturali sia autonomamente che in collaborazione con istituti italiani e stranieri e con le Sovrintendenze ai Beni Monumentali hanno permesso di sviluppare molte ricerche. Qui si ricordano quelle che hanno portato alla realizzazione di un dispositivo per l'analisi dei distacchi di affreschi e delle ceramiche dai rispettivi supporti. La validità del metodo ha portato alla formalizzazione di 2 brevetti di cui l'Istituto è proprietario, fig. 14 sx .



Altri studi sono stati portati avanti sul degrado di monumenti quali l'Anfiteatro Flavio o tratti delle Mura Aureliane a Roma, fig, 14 dx. Dove si sono studiate la genesi delle croste nere (*black carbon*) e le cause ambientali del distacco di parti murarie anche di notevoli dimensioni.

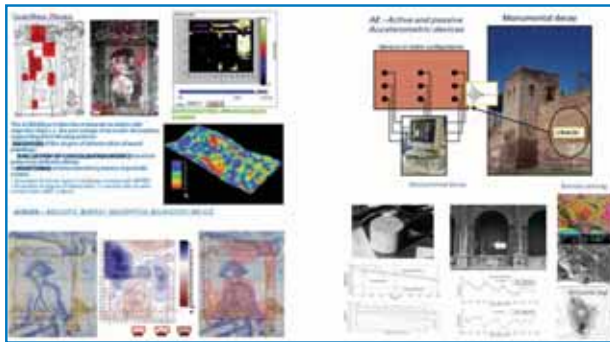


Fig. 14: L'acustica per i Beni Culturali

Le ricerche sulla sensoristica sviluppate dal gruppo del *Corbino* di Roma sui dispositivi elettro-opto-acustici ha portato allo sviluppo di un sensore di pressione SAW importante per le verifiche a terra della strumentazione avionica, fig. 15



Fig. 15: Sensore di pressione sviluppato in Istituto

Nell'ambito, poi, di una collaborazione con la *Russian Academy of Sciences* (Istituto di Radioingegneria ed Elettronica) sono stati realizzati prototipi di dispositivi SAW & pSAW (risonatori e linee di ritardo) operanti nella banda di frequenze dei GHz e caratterizzati da elevate prestazioni.

Importanti risultati sono stati ottenuti nelle applicazioni acusto-ottiche con la realizzazione di Acousto-optic Tunable Filter (ATOF) per il filtraggio di gas pericolosi, figg. 16-17; o quello dei sensori chimici basati su TFBAR.



Fig. 16: Filtro acusto-ottico sviluppato in istituto



Fig. 17: Tecnologie SAW sviluppate in istituto

L'attività nella sensoristica del Laboratorio SENSOR ha portato ad utilizzare con successo strutture quasi 1D principalmente in cinque diverse applicazioni: sensori di gas conduttometrici a stato solido, sensori di gas ottici, transistor per biosensori di DNA a trasduzione elettrica, celle solari di terza generazione, nuovi materiali termoelettrici.

Nel 2002 SENSOR ha proposto per primo al mondo l'applicazione di nanofili a cristallo singolo quali sensori di gas ad alta stabilità e sensibilità. L'articolo (E. Comini et al. Appl. Phys. Lett. 81 (2002) 1869-1871) ha ricevuto ad oggi 600 citazioni.

Nel 2005 SENSOR ha proposto per la prima volta un sensore di gas ottico basato sulla diminuzione reversibile dello spettro di fotoluminescenza di nanobelt di SnO<sub>2</sub> quando esposti a tracce di NO<sub>2</sub> (G. Faglia et al. Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 011923).

Nel 2006 SENSOR ha ottenuto la copertina della rivista Applied Physics Letters dimostrando che con la tecnologia di gas sensing mediante nanofili è possibile raggiungere livelli di sensibilità confrontabili con i migliori sensori a film spesso o film sottile, fig. 18.



Fig. 18: Copertina della rivista Applied Physics Letters, ottenuta dalla collaborazione tra il Laboratorio SENSOR ed Il Georgia Institute of Technology (Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 203101) e lift-off ad alta temperatura sponsorizzato dall'IoP attraverso il sito nanotechweb.org

Nel 2007 SENSOR ha ottenuto la sintesi di eterogiunzioni di ossidi a singolo cristallo. Il risultato (A. Vomiero *et al.* Nano Lett 7 (2007) 3553-3558) é stato ritenuto tra le ricerche scientifiche più significative del CNR ed inserito nel volume CNR Highlights 2008-2009, fig. 19.

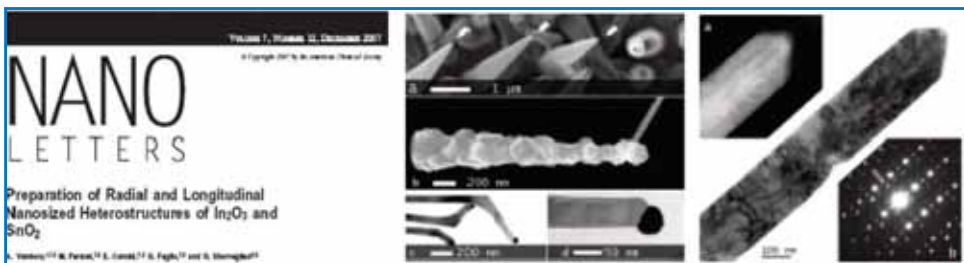


Fig. 19: Eterostrutture radiali e longitudinali di ossidi metallici semiconduttori sintetizzate presso SENSOR

Nel 2010 SENSOR ha pubblicato la messa a punto di un sistema innovativo di lift-off selettivo che permette il patterning di substrati per l'integrazione di matasse di nanofili di ossidi metallici semiconduttori in sensori di gas (A.Vomiero et al. - Nanotechnology 21 (2010) 145502). Il risultato é stato selezionato tra gli hot topic dall'Institute of Physics (IoP Publishing, UK), che ne ha dato diffusione mediante il sito web <http://nanotechweb.org/cws/article/lab/42724>.

Recenti applicazioni di successo del naso elettronico EOS835 comprendono il monitoraggio ambientale, la sicurezza, la diagnostica medica e il controllo degli alimenti. Un aspetto fondamentale del naso elettronico è l'analisi dei dati o l'apprendimento statistico. Negli anni passati sono stati pubblicati nuovi risultati sull'analisi dei cluster, sulla selezione delle variabili e sulla classificazione supervisionata tramite *random forest e support vector machine*.

In fine, in questa breve descrizione dell'Istituto Corbino, si ricordano i risultati delle ricerche condotte in ambito ICES, nel settore dell'acustica in geofisica.

In fig. 20 sono indicati i siti in cui sono stati installati sensori AE per il monitoraggio sia del Vesuvio sia dei movimenti tettonici in varie parti del mondo.

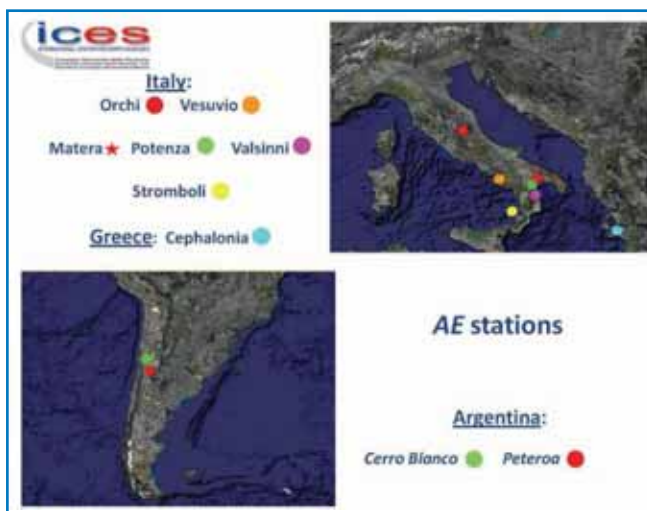


Fig. 20: Acustica geofisica – localizzazione delle stazioni di AE – Acoustic Emission



Come esempio si riportano due risultati, fig. 21, sulla correlazione tra le AE e l'andamento della marea nel sito di Cefalonia (Grecia), fig. 21 sx, e le AE misurate ad Orchi e Valsinni nei mesi precedenti il terremoto avvenuto a L'Aquila il 06.04.09, fig. 21 dx. Ovviamente si tratta di studi complessi che sono tuttora in corso, ma i risultati indicano la possibilità di sviluppi positivi nell'analisi di questi fenomeni.

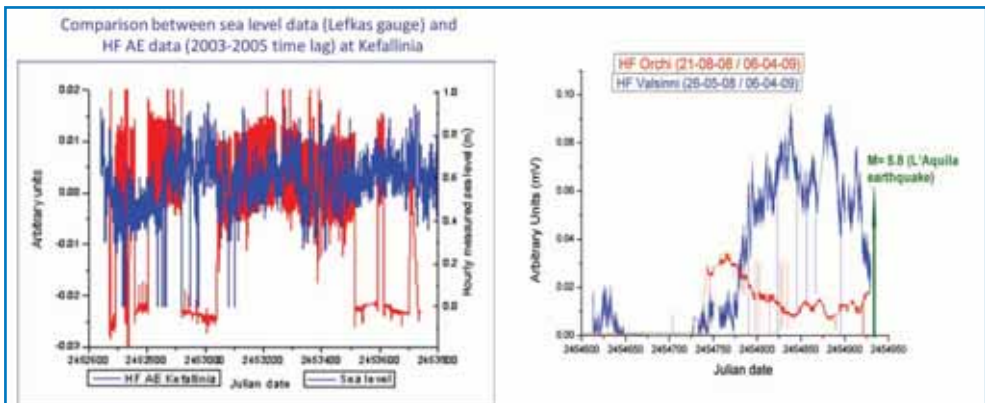


Fig. 21: Studi delle AE: (sx) andamento con la marea a Cefalonia, Grecia. (dx) Correlazione con il terremoto a L'Aquila 2009

## Collaborazioni & Bibliografia

Per le numerose collaborazioni che l'Istituto ha attive con istituzioni italiane ed straniere e per la vasta bibliografia pubblicata nell'ambito dell'attività di ricerca si veda il sito WEB dell'istituto: [www.idasc.cnr.it](http://www.idasc.cnr.it).





## Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra – IMAMOTER

Roberto Paoluzzi

### Cenni storici

Le radici



Fig. 1: Macchina agricola a vapore, fine '800





Le origini dell'Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra risalgono ai primi anni '50 del secolo scorso, quando vide la luce il Centro Nazionale Meccanico Agricolo, destinato a divenire, nel 1979, l'Istituto per la Meccanizzazione Agricola con sede a Torino. La componente legata alle macchine movimento terra e ai veicoli fuoristrada risale invece alla nascita del Centro Studi CESMA nel 1963, trasformato poi nel Centro Studi CEMOTER nel 1970, ospitato presso il Politecnico di Torino. Il CEMOTER venne trasformato in Istituto del Consiglio Nazionale delle Ricerche con sede a Ferrara nel 1981, grazie a un'iniziativa congiunta del CNR, dell'Ente Regionale per la Valorizzazione Economica del Territorio (ERVET) della Regione Emilia Romagna, del Comune di Ferrara e dell'Associazione dei Costruttori di Macchine Movimento Terra UNACOMA-COMAMOTER in rappresentanza di un pool di aziende associate.

La natura duale dell'Istituto si riconcilia nella vocazione rivolta a comparti fortemente orientati verso prodotti finali che, nonostante la varietà del panorama delle macchine agricole e movimento terra, possono a buon diritto vantare antenati comuni.

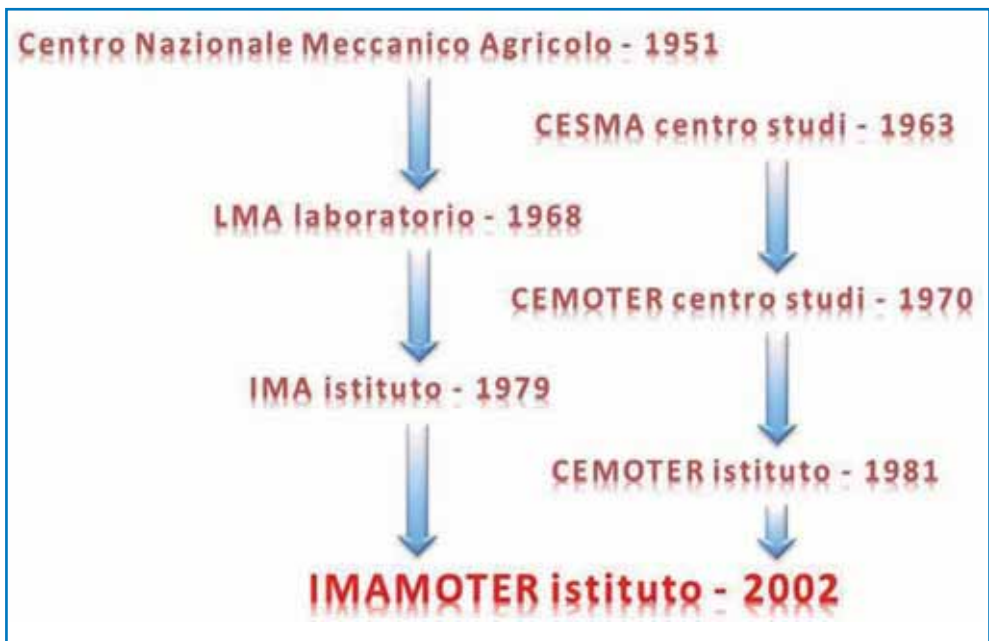


Fig. 2: La storia della nascita dell'Istituto IMAMOTER



## La creazione dell'Istituto

Il riconoscimento di una matrice comune, almeno dal punto di vista ingegneristico, tra le macchine agricole da un lato e le macchine movimento terra dall'altro, è stato, nell'ambito di un profondo processo di riorganizzazione della struttura dell'Ente, alla base della creazione dell'attuale Istituto nel 2002, con sede a Ferrara e un'Unità Staccata (ora Unità Operativa di Supporto) a Torino.

Il nuovo Istituto accorpato completa e integra le competenze maturate da quelli da cui ha tratto origine, rafforzandone la connotazione ingegneristica, senza tuttavia dimenticare come nell'attività agricola non sia ammesso disgiungere l'azione meccanizzata dalla pratica agronomica perché entrambe concorrono alla filiera che parte dal terreno e giunge al prodotto

destinato all'uso alimentare o industriale.

Il percorso che ha portato alla creazione dell'Istituto nella sua forma attuale ha anche vissuto momenti di esposizione a stimoli diversi e di numerose forme di interazione con realtà straniere; fra le più interessanti vale la pena di ricordare quella con il professor Gregory Bekker, padre della quasi totalità dei veicoli impegnati nell'esplorazione lunare, che ha lasciato negli anni '80 molte pagine manoscritte a testimonianza della sua collaborazione con l'Istituto.

## La struttura attuale

Le attività dell'Istituto sono inserite in uno scenario di relazioni consolidate che, oltre a controparti più tradizionali quali Università e altri Enti pubblici, comprendono in modo significativo il mondo produttivo. In particolare i seguenti aspetti appaiono degni di nota:

1. i settori industriali di riferimento delle macchine movimento terra e delle macchine agricole, per i quali l'Italia vanta posizioni mondiali di tutto rispetto: tra il secondo e il terzo posto nella produzione delle macchine movimento terra, fra il primo e il secondo posto in quella delle macchine agricole;
2. ai settori di riferimento si sono aggiunti, in conseguenza del fatto che la macchina mobile è un prodotto che per natura integra tecnologie eterogenee e richiede competenze multidisciplinari, altri settori, fra i quali vale la pena segnalare, per la rilevanza dimensionale e il rilievo progettuale, il settore delle apparecchiature



oleodinamiche - nel quale il nostro paese occupa il quarto posto al mondo (e il secondo in Europa) per produzione, con una particolare vocazione alle applicazioni "mobili" - e quello dell'elettronica digitale che, quanto a impieghi e prospettive di sviluppo, ha goduto negli ultimi anni di un crescente impulso espansivo;

3. ai settori industriali, con cui sono in essere rapporti organizzati - anche attraverso le rispettive Associazioni di categoria - si aggiungono altri settori coinvolti parzialmente in relazione a specifiche competenze: tra questi sono da ricordare la scienza dei materiali, l'acustica, la protezione idrogeologica e le energie rinnovabili.

L'interesse nazionale a mantenere un elevato livello di competitività dei settori industriali di riferimento è anche motivato dal fatto che essi vantano tassi di esportazione che superano il 60% e in alcuni casi il 90%.

Un risvolto non secondario dell'insieme delle relazioni esterne dell'Istituto è la rilevante capacità di autofinanziamento proprio in relazione al comparto industriale di riferimento, nei confronti del quale si possono vantare rapporti consolidati, temporalmente continui e a rilevante contenuto tecnologico. Quanto contesto si applica a entrambe le articolazioni territoriali dell'Istituto, sebbene non manchino le sfumature di propensione: verso l'internazionalizzazione nella sede di Ferrara e il paradigma sperimentale nell'unità di Torino.

Le relazioni con gli ambienti esterni, in particolare con il mondo produttivo, hanno portato nel tempo a concretare e rafforzare ruoli significativi dell'Istituto in relazione ai processi di innovazione e miglioramento dei prodotti, intesi in modo da includere tematiche particolarmente critiche quali la sicurezza, l'ergonomia e la rispondenza a vincoli legislativi sempre più stringenti.

## La mission

Nella sua formulazione sintetica, la *mission* dell'Istituto è: " *essere una risorsa di eccellenza per l'avanzamento, la promozione e la divulgazione delle conoscenze utili alla progettazione, alla produzione e all'impiego delle Macchine Agricole e Movimento Terra. L'IMAMOTER vuole contribuire allo sviluppo sociale del Paese e alla competitività dei comparti industriali interessati*".

L'enunciato richiama i tre elementi fondamentali che caratterizzano l'operatività dell'Istituto, sempre tesa a scoprirne la combinazione ottimale:

1. la volontà di promuovere ricerche in grado di migliorare la progettazione, la produzione e l'uso delle macchine, attraverso l'impiego delle tecnologie di punta, anche mutate da settori diversi con un chiaro obiettivo sul settore finale di impiego;
2. il coinvolgimento nello sviluppo sociale del Paese, intervenendo in snodi di rilevanza sociale primaria, tra i quali vale la pena citare la sicurezza d'impiego, la protezione

dagli agenti fisici (quali rumore e vibrazioni) nonché la riduzione dell'impatto ambientale delle opere legate all'agricoltura e alla cantieristica in genere;

3. la forte e radicata volontà di promuovere le attività in un contesto quanto più possibile legato alle realtà produttive, collocando la produzione scientifico-tecnica in una fase della evoluzione temporale dei prodotti molto vicino a quella dell'industrializzazione, agendo così da cerniera culturale fra lo sviluppo di tecnologie abilitanti avanzate e produzione industriale.

Nel complesso si delinea così l'obiettivo di creare un bagaglio di competenze avanzate e in continuo aggiornamento, da rendere disponibili e fruibili per il progresso del settore di riferimento e del suo indotto industriale, diffondendole al contempo nella comunità scientifico-tecnica nazionale e internazionale, senza trascurare il ruolo di servizio sociale che alcune attività in materia di sicurezza, salute e ambiente debbono svolgere.

Il paradigma della ricerca nella sequenza *fare-saper fare-far sapere* viene dunque coniugata sia nei confronti della comunità scientifica e dell'Università ma anche e soprattutto nei confronti delle realtà industriali nazionali che, anche attraverso le associazioni di categoria, sono da considerare interlocutori privilegiati. Il supporto alla pubblica amministrazione avviene invece negli ambiti a maggiore rilevanza sociale, dove la leva economica non garantirebbe la sostenibilità al sistema privato e gli interventi necessitano comunque di un elevato grado di competenza specialistica e di dotazioni infrastrutturali di assoluto rilievo. È questo il caso della valutazione della sicurezza delle strutture di protezione delle macchine in caso di ribaltamento, della sicurezza dei sistemi meccanici ed elettronici, dell'esposizione alle emissioni acustiche e alle vibrazioni. In tutte queste aree l'Istituto si propone come interlocutore privilegiato della pubblica amministrazione per il raggiungimento di obiettivi di rilevanza sociale.

Con un taglio più didascalico, i documenti istitutivi dell'Istituto identificano la missione dal punto di vista pratico in otto campi di attività:

1. innovazione di componenti e sistemi a fluido;
2. robotica non strutturata e mecatronica;
3. analisi numerica e sperimentale di strutture e campi fluidi;
4. monitoraggio e controllo della emissione acustica di sorgenti complesse;
5. analisi e riduzione di vibrazioni e rumore strutturale;
6. progettazione di macchine e loro sottosistemi;
7. meccanizzazione delle colture e suo impatto ambientale;
8. certificazione, standardizzazione e prove di macchine agricole e movimento terra.



## Le Attrezzature

### La sede di Ferrara

La sede di Ferrara si trova entro un'area cintata di circa 2 ettari sulla quale sorgono una palazzina per uffici e alcuni servizi generali di 500 m<sup>2</sup> circa e un capannone per attività



*Fig. 4:* Vista aerea della sede IMAMOTER di Ferrara

sperimentali e altri servizi generali di 1000 m<sup>2</sup> circa. Nel capannone è presente una macchina di prova in grado di applicare carichi su due assi ortogonali fino a 2 MN. Essa è utilizzata principalmente per test distruttivi su strutture di protezione dell'operatore di macchine, per movimento terra (o per altre strutture in generale). La macchina di carico, per dimensioni e per capacità di spinta è tra le più grandi al mondo e sicuramente unica

nel panorama nazionale. Il suo impiego attuale, prevalentemente nella verifica distruttiva di strutture di protezione, non ne preclude comunque l'estendibilità a settori affini, quali l'ingegneria civile o la cantieristica.



*Fig. 5: Macchina di carico biassiale per prove ROPS presso la sede di Ferrara*

Dal Dicembre 2008, a seguito di una relativamente lunga fase progettuale, è attiva una Convenzione con l'Università di Ferrara che garantisce la disponibilità di una grande camera anecoica (620 m<sup>3</sup> in configurazione completamente anecoica e 800 m<sup>3</sup> in configurazione semi-anecoica) posta presso la Facoltà di Ingegneria alla cui progettazione e costruzione ha contribuito finanziariamente il CNR. Dimensioni, caratteristiche e progettazione della camera la rendono idonea alla prova su oggetti di varie dimensioni, fino a macchine in configurazione operativa.





Nella sede di Ferrara sono inoltre disponibili altre infrastrutture - meno rilevanti dimensionalmente ma altrettanto rilevanti operativamente - che spaziano dai cluster di calcolo numerico dedicato fino ai banchi prova per la componentistica oleodinamica (con una potenza complessiva installata superiore ai 400 kW).

La crescente interconnessione fra oleodinamica/meccanica ed elettronica ha portato alla realizzazione di attrezzature in grado di interfacciare strumentazione pesante per la meccanica e l'oleodinamica con laboratori leggeri per l'elettronica, realizzando isole per il test di sistemi del tipo "*hardware-in-the-loop*" oppure "*software-in-the-bench*", in particolare per la verifica dei sistemi di controllo elettronico e la visualizzazioni di elementi destinati all'impiego su macchine.

Come già accennato, la sede di Ferrara è peculiare nella nascita come partnership pubblico-privato. Questa genesi in grande vicinanza con il comparto industriale di riferimento ha



Fig. 6: Camera Anecoica presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara

sempre caratterizzato l'Istituto che si è saputo proporre come efficace partner del mondo produttivo. Con la progressiva contrazione della fonte di finanziamento pubblico questa vocazione iniziale si è trasformata in una necessità strutturale, mutando il ruolo delle attività di trasferimento tecnologico da reattivo ad attivo e facendo in modo che al progressivo contrarsi del finanziamento ordinario si sia accompagnato un altrettanto sensibile aumento della capacità di attrazione di finanziamenti diretti dal mondo industriale.

La mutazione di prospettiva non è stata solo strumentale, ma anche paradigmatica ai fini delle strategie dell'Istituto. La necessità di offrire tecnologie ed interventi di immediato e reale interesse industriale, ha portato a sfruttare un elevato portfolio di competenze maturato in presenza di condizioni più favorevoli alla promozione degli sviluppi di base. È questo il caso di attività di fluidodinamica computazionale in oleodinamica o di simulazione integrata multidisciplinare e di analisi con tecniche intensimetriche delle emissioni acustiche che, pur essendo di trascurabile interesse industriale nel momento in cui sono state sviluppate, sono ora la principale tematica di collaborazione con le industrie.

### **L'Unità di Supporto di Torino**

L'unità di supporto di Torino incarna storicamente le componenti agricole dell'Istituto, in termini agronomici e di meccanizzazione. Attualmente risulta di fatto presente la sola componente della meccanizzazione agricola, essendo la componente agronomica limitata alla gestione di alcune coltivazioni sperimentali con ricadute di tipo marginale in termini di attività scientifica, anche se rilevanti ai fini dell'impiego delle risorse, ma nella prospettiva di una sempre maggior valorizzazione delle tematiche legate all'impatto ambientale delle attività agro-zootecniche e della conservazione idrogeologica del territorio delle attività agricole.





*Fig. 7:* Vista aere delle piste di prova e dei laboratori IMAMOTER presso Candiolo (TO)

Nell'insediamento di Candiolo i tre anelli scoperti di 1000 m di sviluppo con tre pavimentazioni diverse, e la pista a risalti ISO (per la sollecitazione vibrazionale di macchine) sono integrati da un laboratorio attrezzato per prove prestazionali e di strutture di protezione sulle macchine agricole.



*Fig. 8:* Attrezzature per prove ROPS su macchine agricole presso Candiolo

Questo laboratorio è una delle tre stazioni sperimentali riconosciute in Italia dall'OCSE per le prove prestazionali delle trattrici agricole; le dotazioni infrastrutturali sono di assoluto rilievo e in alcuni casi uniche sul territorio nazionale. L'attività è fortemente orientata verso l'offerta di servizi all'industria e la conduzione di attività sperimentali.

In materia di valutazione degli agenti fisici sull'operatore, i laboratori di Torino sono



attrezzati per valutare le vibrazioni trasmesse al corpo umano e le caratteristiche di trasmissibilità dei sedili, su di un banco prova dedicato rispondente ai criteri descritti nelle normative internazionali di riferimento ed in grado di applicare sollecitazioni ad elevata dinamica.

L'azienda agricola sperimentale di Vezzolano, con i suoi 27 ettari, oltre a essere una localizzazione unica per le verifiche di sicurezza di macchine agricole in ambiente collinare, si presta a impieghi diversificati, tra cui le tecniche di coltivazione e cura della vite, il recupero di specie tradizionali di

piante tipiche e officinali. Le attività collegate sono principalmente a carattere sperimentale e sono rivolte alla sicurezza di macchine e attrezzature agricole nel senso più ampio del termine, nonché alla formazione di operatori di macchine e personale ispettivo delle pubbliche amministrazioni.

In una significativa fase di sviluppo delle macchine agricole (in particolare le trattrici e le loro attrezzature) caratterizzato dal massiccio coinvolgimento dell'elettronica, la sicurezza del lavoro e la qualificazione delle prestazioni stanno ottenendo un riconoscimento sempre più ampio a tutti i livelli. Il sistema agricolo nazionale (strettamente legato alla meccanizzazione) si colloca per parte sua in un contesto orientato al miglioramento della qualità della produzione che coinvolge direttamente o indirettamente il tema della agricoltura di precisione e delle applicazioni che a essa sono riconducibili.

Contribuiscono al valore aggiunto dell'agricoltura la razionalizzazione dei sistemi di produzione allo scopo di fornire - specie in aree collinari e montane - produzioni di qualità, tutela dell'ambiente e del territorio e disponibilità di fonti energetiche rinnovabili (tutti problemi da affrontare in forma interdisciplinare).

Tutte queste attività trovano ideale collocazione nel contesto dell'azienda agricola



sperimentale di Vezzolano, condotta dal personale dell'Istituto, e nella Tenuta Cannona, Centro Sperimentale Vitivinicolo della Regione Piemonte ([www.tenutacannona.it](http://www.tenutacannona.it)), in provincia di Alessandria, all'operatività della quale l'Istituto collabora.



*Fig. 10: L'Azienda agricola sperimentale di Vezzolano (AT)*

## Alcuni risultati significativi

### Valvola ad attuazione diretta ad elevate prestazioni

Una delle attività dell'Istituto in campo di sistemi elettronici ha visto la nascita di una nuova classe di prodotti ad elevate prestazioni in collaborazione con il gruppo Brevini, con sede a Reggio Emilia, che ha tra le proprie aziende ARON S.p.A., leader nel campo dell'oleodinamica mobile e nel campo delle applicazioni per oleodinamica industriale, dove le prestazioni richieste ai sistemi di attuazione elettro-idraulici sono più elevate di quanto non sia richiesto nel campo delle applicazioni mobili. L'obiettivo era l'ideazione di un prodotto che fosse in grado di competere con i prodotti "best in class" grazie alla applicazione di una metodologia di pilotaggio delle bobine di attuazione non comune nel mondo delle applicazioni oleodinamiche, ma utilizzata nel controllo dei motori elettrici, la configurazione "Asymmetrical Half Bridge" che garantisce maggiori prestazioni a spese di una maggiore difficoltà di controllo.

L'idea di progetto fu concordata con l'azienda con una condivisione delle specifiche tecniche e con una suddivisione dei compiti che rendesse efficiente e rapido lo sviluppo del prodotto: alla azienda il compito di progettare e prototipare la valvola ad attuazione diretta, ad una azienda esterna il compito di progettare e prototipare la scheda di controllo, sulla base delle specifiche tecniche fornite, a Magnet-Schultz il compito di adattare le bobine di controllo alle esigenze del prodotto e all'Istituto IMAMOTER il compito di studiare la dinamica della valvola e dei sistemi di attuazione e di progettare i sistemi di controllo della stessa, in grado di controllare correttamente la posizione del cassetto della valvola in tutte le condizioni di funzionamento. Il tutto garantendo le prestazioni attese, che la rendessero competitiva e se possibile superiore alle concorrenti, pur con minori costi produttivi. L'Istituto inoltre ha inoltre dovuto progettare, testare e realizzare il software di interfaccia in ambiente PC che permette il setup e la configurazione di tutti i parametri di controllo del sistema, al fine di adattarlo a diverse applicazioni.



Fig. 11: Prototipo di valvola ed elettronica di controllo "fast switching"

Il gruppo di ricerca in sistemi elettronici dell'Istituto ha realizzato un sistema di controllo che applica efficacemente la tecnica "*Peak & Hold*" ideata da IMAMOTER e pubblicata nel 2005, in cui un sistema complesso di più controlli innestati sia in *feed forward* che in *feedback* assicurano elevate prestazioni di controllo della valvola in tutte e tre le sue possibili configurazioni:

1. in solo controllo di corrente alle bobine proporzionali di attuazione;
2. in controllo di posizione del cassetto mediante sensore LVDT ad esso solidale;
3. In controllo di posizione dell'attuatore finale.

Le elevate prestazioni del sistema di controllo, in grado di eseguire un intero ciclo di controllo in poco più di 100 microsecondi, grazie all'utilizzo di un DSP, non sono risultate la sola chiave vincente del progetto, ma lo è stato anche il programma di calibrazione e data logging su rete CAN, che permette la regolazione dei parametri di controllo in *real time* sul prodotto e ne permette la visualizzazione su oscilloscopi a monitor e registrazione dei dati per una post elaborazione.



Fig. 12: Interfaccia di programmazione per valvola “fast switching”

L'applicazione di controlli in stile *automotive*, basati sul modello matematico e a mappe del sistema controllato, la sua sovrapposizione con sistemi di controllo tradizionali in *feedback* che garantiscono stabilità e facilità di regolazione in tutte le condizioni di lavoro e la aggiunta di controlli non tradizionali di ideazione originale per l'incremento delle prestazioni dinamiche del sistema, hanno permesso la realizzazione di un prodotto di punta, che va a coprire tutte le applicazioni dove la necessità di prestazioni e di elevata precisione di attuazione richiedono normalmente l'utilizzo di servovalvole, molto più costose del prodotto realizzato. La difficoltà di controllo è stata superata sia grazie alla flessibilità dei controlli parametrici progettati, sia grazie alla facilità di *tuning* risultante dall'utilizzo del programma di interfaccia su rete CAN a 1 Mbit/s, che ha permesso l'osservazione di tutti i fenomeni di interesse. Le prestazioni sono tali da permettere la apertura della valvola in controllo in meno di 6 ms e la sua chiusura in tempi identici.



## Prototipo di valvola oleodinamica a flusso assiale e metering angolare (VAPA)

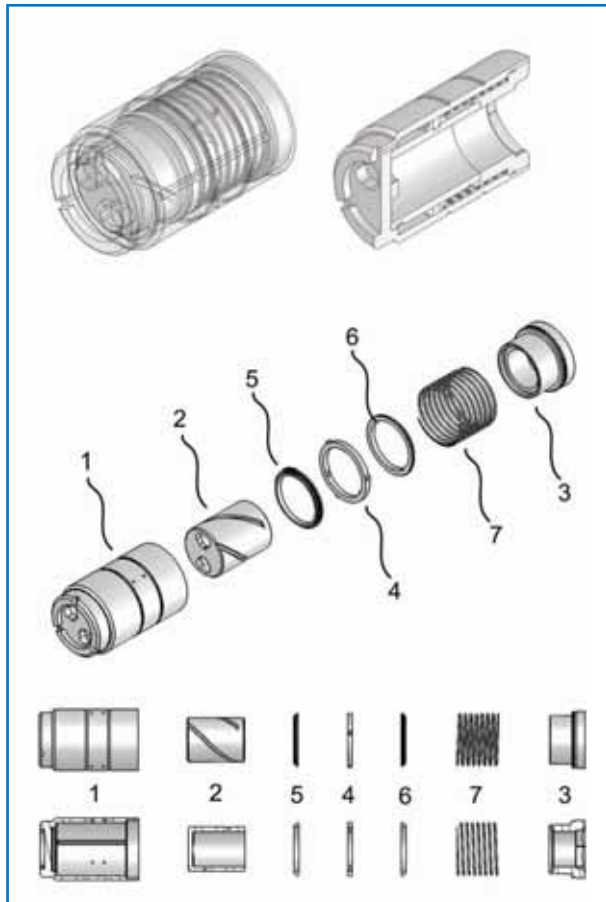


Fig. 13: Schema costruttivo ed esploso della valvola VAPA

La quasi totalità delle applicazioni idrauliche, almeno per quanto riguarda la regolazione della potenza, si può ricondurre ad un insieme di dispositivi atti a modulare l'area di comunicazione tra due volumi a diversa pressione. Questi "elementi primi" della componentistica idraulica



sono soggetti, al pari di tutte le valvole, ad una irregolarità di funzionamento dovuta alle forze derivanti dalla variazione della quantità di moto del fluido (Forze di Flusso); nel tentativo di sviluppare una valvola pilotata affetta nel minor modo possibile da questo disturbo, si è giunti alla concezione e brevetto di un dispositivo dal design innovativo, che mostra anche ulteriori interessanti peculiarità.

Una valvola a due bocche e due pilotaggi può, a seconda di come si collegano le camere di pilotaggio, svolgere le più svariate funzioni in un circuito idraulico; una possibile applicazione può essere quella in cui la valvola sia utilizzata come compensatore locale *Downstream* in un distributore proporzionale multi-sezione dotato di logica *Load Sensing Antisaturazione*.

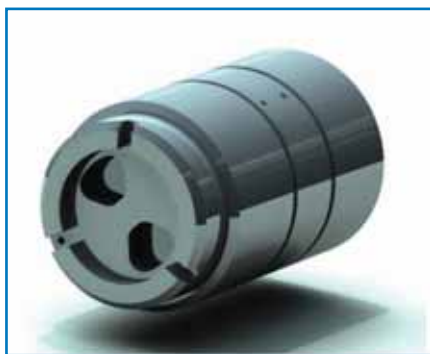


Fig. 14: Rendering della valvola

In questa applicazione, la valvola, denominata VAPA, sostituisce gli elementi comunemente noti come compensatori locali (generalmente valvole a cassetto pilotate), integrando la funzione di selezione del segnale maggiore (svolta da una valvola selettiva dedicata). Per questo utilizzo, la valvola si compone di sette elementi; con riferimento alle figura precedente, si ha un componente statorico o cartuccia 1, un componente rotorico o rotore 2, un dado di chiusura 3, un riduttore di moto 4, due distanziali 5 e 6, ed una molla 7.

La cartuccia 1 è di forma cilindrica tubolare la cui cavità è chiusa ad un'estremità da un setto in cui sono ricavate due luci sagomate, al fine di consentire l'attraversamento del fluido operatore attraverso superfici ben definite; inoltre sulla superficie interna sagomata di detta estremità è ricavato un invito, per alloggiare e centrare il rotore. Sulla superficie interna del mantello della cartuccia sono presenti tre cave rettilinee, parallele all'asse della cartuccia, necessarie per accoppiare prismaticamente il riduttore di moto 4 alla cartuccia.





La valvola, rispetto ai componenti esistenti in commercio, presenta alcuni vantaggi significativi quali la pratica insensibilità ai valori di pressione e portata di lavoro per l'assenza delle componenti assiali delle forze di flusso stazionarie ed una estrema compattezza che consente, a parità di portata e di perdita di carico di attraversamento, di dimezzare gli ingombri rispetto ad una valvola tradizionale.

### Sensore innovativo MEMS per misure di intensità acustica

I sensori correntemente usati per le misure standard dell'intensità acustica sono costituiti da una o più coppie di trasduttori di pressione acustica di alta qualità, nominalmente identici, tramite i quali - oltre al segnale di pressione - è possibile ricostruire con appropriate procedure di analisi anche i 3 segnali componenti la grandezza vettoriale di velocità di vibrazione dell'aria. L'accuratezza della ricostruzione dei segnali di velocità ottenuta con questa tecnica intensimetrica (detta  $p-p$ ) è soggetta tuttavia a due inevitabili fonti di errore: la prima - sistematica - determinata dalla distanza finita alla quale si collocano i due trasduttori di pressione utilizzati nella configurazione di sonda, e la seconda - casuale - dovuta alla natura stessa del campo sonoro da misurare. A partire dagli anni 80 sono stati effettuati diversi tentativi per ottenere sensori in grado di misurare direttamente il segnale di velocità acustica, finché alla fine del secolo scorso si è affermato il principio di trasduzione elettro-acustica basato sull'anemometria a doppio filo caldo. Questo nuovo tipo di sensore velocimetrico-acustico è attualmente prodotto e commercializzato da un'unica ditta olandese che ne detiene l'esclusiva mondiale.



Fig. 15: Sonda iper-intensimetrica per la misura del tempo di riverberazione

Il sensore prodotto con tecnologia MEMS è costituito da due fili di platino ultra sottili (diametro < 10-5 m) che funzionano come resistenze agendo da sensori di temperatura quando vengono riscaldate dal passaggio di corrente elettrica. Dato che un incremento di temperatura causa un incremento di resistenza, in assenza di vibrazione aerea, entrambi i fili raggiungeranno l'equilibrio termostatico alla stessa temperatura operativa (di solito compresa tra i 200 e 400 °C) trasferendo calore all'aria circostante. Quando invece è presente una vibrazione dell'aria (suono) nella direzione ortogonale all'asse dei fili, la perturbazione acustica altera la distribuzione di temperatura attorno ai fili in modo asimmetrico, dando luogo ad un fenomeno di trasduzione termo-resistiva. La differenza di resistenza risultante tra i due fili fornisce un segnale proporzionale alla velocità di vibrazione dell'aria in un vasto range di frequenze (0 Hz – 20 kHz) con la tipica direzionalità a figura di otto e per un'enorme gamma dinamica compresa tra 135 e -10 dB.

Questo sensore termo-velocimetrico acustico viene assemblato con un ordinario microfono a elettrete allo scopo di ottenere la sonda intensimetrica  $p-v$  che è attualmente in commercio.

Le sonde  $p-v$  una volta ben calibrate sono completamente esenti dagli errori di misura tipici delle sonde  $p-p$  cui si è più sopra accennato, soprattutto in condizioni di campo fortemente reattivo.

Recenti studi condotti in collaborazione tra Imamoter e Dipartimento di Fisica dell'Università di Ferrara, con il quale esiste una Convenzione dedicata alla conduzione di un laboratorio dedicato guidato dal Dr. Domenico Stanzial, hanno dimostrato che le sonde  $p-v$  sopra descritte sono utilizzabili per l'intensimetria nel *range* di frequenza fino a circa 9 kHz. È stata infatti elaborata una originale metodologia di calibrazione che è in grado di fornire il filtro di taratura proprio di ogni sonda, con una sola operazione di misura efficace per tutta la banda acustica passante.

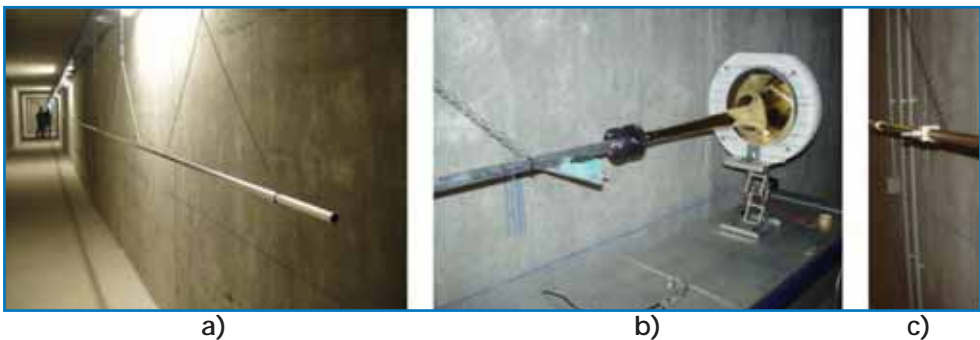


Fig. 16: Dettagli del laboratorio: a) Guida d'onda di 84 m, b) Sorgente per la generazione del campo di riferimento per la taratura, c) Attacco per le sonde in taratura



Oltre alle classiche applicazioni dell'intensimetria acustica per la misura della potenza di sorgenti complesse e per il controllo del rumore sono state sviluppate applicazioni per l'utilizzo ottimale delle sonde  $p-v$  anche in altri settori dell'acustica applicata: dalle tecniche di registrazione e analisi energetica del suono, alla misura dell'impedenza e dell'assorbimento acustico, alla misura del tempo di riverberazione degli ambienti, all'audiometria del condotto uditivo esterno.

Le sonde  $p-v$  basate su tecnologia MEMS rappresentano lo stato dell'arte dei sensori necessari al futuro sviluppo dell'acustica applicata in ogni settore produttivo, anche se al momento gli elevati costi di realizzazione e commercializzazione ne ostacolano la diffusione.

### Metodologia di analisi dei consumi nei cicli di lavoro delle macchine

A seguito del sempre maggiore interesse verso una riduzione dei consumi delle macchine, anche in vista dell'introduzione di vincoli legislativi alla loro efficienza energetica, ha assunto negli ultimi anni un rilievo via via crescente la necessità di caratterizzare in modo omogeneo e confrontabile il consumo specifico delle macchine operatrici, sia agricole sia movimento terra. A fronte dell'estrema eterogeneità d'impiego delle macchine e della difficoltà nell'uniformare le modalità di interazione con il terreno, si è assistito negli ultimi anni ad un intenso lavoro di ricerca e sperimentazione prenormativa per il raggiungimento di criteri omogenei, condivisi e scientificamente corretti, di valutazione delle prestazioni delle macchine in ambiti quanto più possibile rappresentativi delle condizioni reali di impiego, ma allo stesso tempo utilizzabili ai fini di caratterizzazioni generalizzabili.

L'Istituto si è attivamente distinto in questo caso sia nella partecipazione ai gruppi di lavoro internazionali di normazione nel settore, sia collaborando con aziende nell'individuazione delle metodologie di analisi più idonee.

Il punto di partenza del lavoro è stata la valutazione critica dei contenuti di un documento normativo di origine giapponese, JCMAS H20, descrivente una metodologia di prova di scavo simulata per un escavatore. L'analisi critica sia dal punto di vista metodologico, sia scientifico, ha portato all'individuazione di alcune necessità di miglioramento della procedura e di alcune opportunità di approfondimento della tecnica di analisi dei dati in modo da integrare i contributi che ciascuna componente della catena di trasmissione della potenza, dal motore primo al terreno, è in grado di offrire, in modo da valutarne il potenziale nell'ottica del miglioramento dell'efficienza globale.



*Fig. 17:* Escavatore idraulico strumentato per prove di consumo

L'attività ha comportato la strumentazione completa (in termini di pressione, portata, spostamenti lineari ed angolari e consumi di carburante) di una coppia di macchine di massa operativa lorda pari a 5000 kg azionati con sistemi idraulici di diversa tipologia.

L'analisi e la decomposizione delle fasi del ciclo di lavoro hanno consentito di evidenziare il contributo che l'architettura circuitale è in grado di offrire all'efficienza energetica globale consentendo, anche in termini predittivi tramite modelli di simulazione accoppiata, di valutare in ambiente virtuale tramite composizione modulare, i prevedibili valori dell'efficienza e della produttività della macchina in diversi contesti.

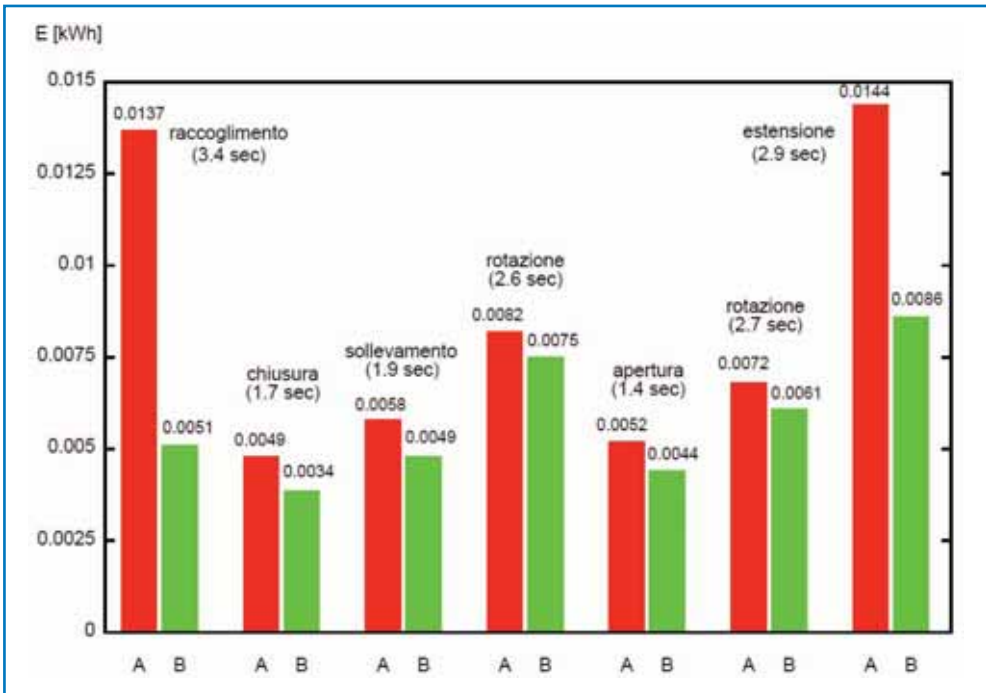


Fig. 18: Analisi comparativa del dispendio energetico nelle differenti fasi di un ciclo di lavoro

Le analisi individuate e la metodologia sviluppata sono ora oggetto di una proposta normativa in fase di valutazione da parte del gruppo di lavoro ISO (International Standard Organization) incaricato dell'elaborazione della proposta di norma sulla valutazione dell'efficienza energetica delle macchine movimento terra.

Un aspetto ulteriore valutato nel corso dell'attività è stata la possibilità di sostituire l'onerosa ed invasiva opera di sensorizzazione della macchina, con tecniche di analisi di sequenze filmate elaborate mediante analisi delle immagini in modo da estrarre dati relativi a posizione, velocità e portate del mezzo in sperimentazione. I risultati dell'analisi hanno mostrato che, in opportuni contesti, una analisi di sequenze filmate può fornire dati sovrapponibili a quelli ricavabili mediante strumentazione dedicata ed idonei alla valutazione globale dell'efficienza energetica della macchina ad una frazione del costo di una sensorizzazione completa e con incrementata flessibilità d'impiego.

## Valutazione dell’impatto delle tecniche di coltivazione sull’erosione superficiale dei suoli

L’erosione del suolo è uno dei principali processi di grado del suolo da esaminare per ridurre il degrado del territorio anche nelle aree agricole. L’attività agricola deve essere ecologicamente compatibile ed in grado di conservare inalterate nel tempo, attraverso un’attenta e ragionevole gestione del territorio, la fertilità dei suoli e la produttività delle colture.



*Fig. 19:* Esempio di erosione per rill in una parcella sperimentale coltivata a rittocchino

Alle nostre latitudini e nei terreni coltivati in zone collinari, il processo di degradazione più evidente è sicuramente dovuto all’erosione delle acque di ruscellamento di origine meteorica, con asportazione di suolo dipendente sia dalla fase di trasporto che di deposito. Questo fenomeno provoca profonde alterazioni degli strati più superficiali del suolo.



Tra le varie forme di erosione idrica è possibile distinguere: erosione per *interrill* o "non incanalata", dovuta all'impatto della pioggia con il suolo e al deflusso laminare, ed erosione per *rill* o "incanalata", relativa al deflusso idrico superficiale concentrato in una serie di rivoli (Figura 19).

L'asportazione di suolo mediante erosione, oltre a ridurne la fertilità, contribuisce all'inquinamento dei corpi idrici superficiali a causa del dilavamento di principi nutritivi, sostanza organica e prodotti chimici contenuti nei fitofarmaci utilizzati in agricoltura.

Una sperimentazione avviata nel 2000 presso la Tenuta Cannona, Centro Sperimentale Vitivinicolo della Regione Piemonte, ha consentito di accumulare una serie storica decennale di misure relative al deflusso superficiale ed all'asportazione di suolo in parcelle di vigneto con sistemazione a rittochino e diversa gestione dell'interfilare: lavorazione profonda, lavorazione superficiale e inerbimento controllato (Figura 20).



Fig. 20: Parcelle sperimentali coltivate a rittochino: interfilare con lavorazione superficiale a fresatura (sinistra) e con inerbimento controllato (destra)



Recentemente oltre alle tradizionali misurazioni di deflusso e asportazione di suolo e della caratterizzazione fisico-idrologica del terreno, sono state predisposte nuove metodologie semplici, speditive e al tempo stesso affidabili per la valutazione del rischio di erosione e compattamento del suolo. Sono state inoltre introdotte misure destinate a determinare la quantità di sostanza organica persa dal suolo ed il contenuto in principi attivi chimici contenuti nei fitofarmaci nell'acqua di deflusso.

Il sistema di contabilizzazione delle acque di deflusso dalle parcelle sperimentali è stato automatizzato (Figura 21-a) in modo da poter registrare in un archivio digitale consultabile e visualizzabile in remoto i dati rilevati, consentendo inoltre il confronto diretto con gli eventi piovosi.

Sono stati installati sul sito sperimentale dei dispositivi denominati "splash cup" per la determinazione dell'erosione dovuta al solo impatto delle gocce di pioggia sul suolo (Figura 21-b), necessari per l'analisi dell'efficienza della copertura vegetale sull'erosività della pioggia.



*Fig. 21:* Centralina e pannello fotovoltaico per l'alimentazione del sistema di automazione delle misure di deflusso (a) e splash cup posizionata in una delle parcelle sperimentali a rittochino (b)





La sperimentazione dimostra come l'inerbimento dell'interfilare, sebbene non abbia avuto un effetto determinante nella riduzione del deflusso, abbia assunto però un ruolo fondamentale nel limitare l'erosione e pertanto la degradazione del suolo. La massima esportazione di suolo è stata riscontrata nella parcella con interfilare lavorato in modo superficiale.

I dati relativi alla serie decennale di osservazioni a disposizione sono stati inseriti in un modello empirico di valutazione dell'erosione denominato Morgan-Morgan-Finney. Questo modello simula il movimento di acqua e sedimenti sulla superficie del bacino idrografico considerato, tenendo conto delle caratteristiche topografiche e climatiche, del suolo e della copertura vegetale, consentendo di prevedere su base annuale le perdite di suolo.

Il modello è risultato avere una performance soddisfacente per quanto riguarda la stima media dell'erosione, in particolare per le parcelle lavorate, mentre il deflusso è risultato essere sovrastimato per le parcelle con lavorazione dell'interfilare e sottostimato per la parcella inerbita.

In generale i valori di erosione ottenuti dal modello sono significativamente differenti tra la parcella con inerbimento e le parcelle lavorate, a conferma dell'efficacia del modello nel considerare il ruolo assunto dalla vegetazione nel processo di erosione.

Oltre ai risultati precedenti, che rappresentano una piccola selezione dell'attività negli ultimi anni, sembra significativo individuare più che risultati singoli, un insieme di tecnologie e capacità che hanno la caratteristica di un maggiore potenziale o di una più semplice trasferibilità industriale, in linea con la missione istituzionale dell'Istituto. Fra di esse si possono individuare:

1. Progettazione e realizzazione di schede elettroniche in tecnologia SMD (Surface Mounting Device) con microprocessore e dei relativi sistemi di comunicazione;
2. Sviluppo di sistemi di controllo digitali per componenti meccatronici eventualmente interfacciabili con le reti di bordo (principalmente CANbus ed ISObus);
3. Modellazione numerica dinamica non lineare di componenti meccatronici e sistemi complessi di trasmissione e gestione della potenza;
4. Modellazione numerica di strutture e campi fluidi con prototipazione virtuale ed impiego di materiali non tradizionali;
5. Progettazione e allestimento di apparati sperimentali dedicati, in particolare in ambito oleodinamico e vibroacustico;
6. Processi di qualificazione di componenti e macchine rispetto a quadri normativi di riferimento, con particolare riguardo alla efficienza energetica, alla salvaguardia dell'operatore e al rispetto dei vincoli di sostenibilità ambientale.



## Istituto dei Materiali per l'Elettronica e Magnetismo - IMEM

Salvatore Iannotta

L'Istituto dei Materiali per l'Elettronica e Magnetismo (IMEM), del Consiglio Nazionale delle Ricerche, con sede principale a Parma, fa parte della rete di Istituti del CNR, dedicati alla ricerca nel campo della Scienza e Tecnologia dei Materiali.

L'attuale struttura di IMEM è la risultante dell'unificazione dei precedenti:

- Istituto MASPEC (Parma);
- Centro per la Fisica delle Superfici e Basse Temperature (Genova);
- l'Unità GNSM di Parma.

Recentemente l'IMEM si è arricchita dell'adesione di una nuova Unità di Ricerca con sede a Trento. Tale UR si avvale di una consolidata esperienza nelle metodologie di deposizione sotto vuoto e nello studio di materiali, delle superfici ed interfacce finalizzati ai settori della sensoristica, dell'elettronica/optoelettronica organica e biomedica. Le consistenti collaborazioni di lunga data e la complementarietà scientifica hanno permesso un pieno e positivo inserimento nella programmazione dell'Istituto ed in particolare dello sviluppo più efficace degli studi di impatto sulla biomedica e bioelettronica su cui si intende investire.

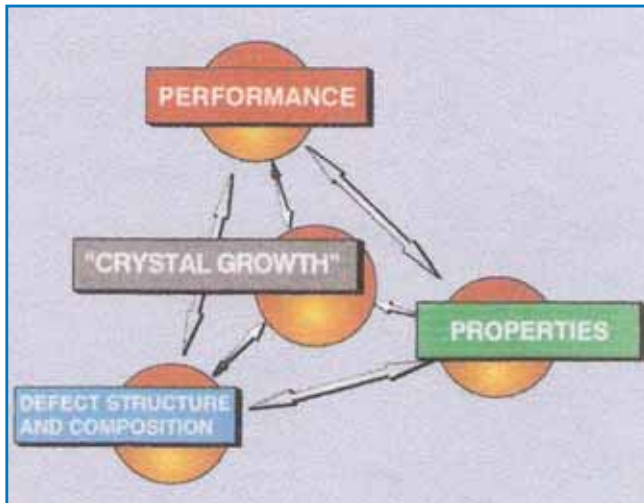
Attualmente l'Istituto si avvale di circa 70 unità di personale di staff del CNR con i quali collaborano numerosi "associati", in genere professori Universitari e personale precedentemente afferente a IMEM, attualmente in quiescenza, cui si affiancano ora ricercatori della Fondazione Bruno Kessler di Trento ed un folto gruppo di giovani ricercatori che svolgono il loro piano di formazione nelle varie sedi IMEM.

L'attuale missione dell'Istituto, articolata in numerosi progetti di ricerca, distribuiti nelle varie sedi, pur proiettata sulle nuove frontiere delle nanoscienze e nanotecnologie e dei materiali, gerarchicamente organizzati e multifunzionali, rimane coerente fruttuosamente con le idee fondanti dei primi gruppi di ricerca, costituiti nel 1970, all'avvio delle attività dell'Istituto "Materiali Speciali per l'Elettronica e Magnetismo", (MASPEC), che sostanzialmente



consistevano nello sviluppo di materiali innovativi di interesse per applicazioni in elettronica a stato solido, con specifico approfondimento dei processi di produzione dei materiali, dello studio delle proprietà strutturali e la loro correlazione alle proprietà fisiche e funzionali risultanti.

Lo schema della **Figura 1**, preso da moderni trattati che riguardano la scienza dei materiali, riassume la “filosofia” dell’attività di ricerca degli inizi di MASPEC e la programmazione attuale di IMEM.



*Fig. 1:* Schema della correlazione fra caratteristiche strutturali, proprietà fisiche e performance dei dispositivi: l’insieme di queste caratteristiche sono a loro volta in stretta dipendenza dai processi di cristallizzazione del materiale. Questo fondamento ha caratterizzato la “filosofia” delle ricerche condotte in MASPEC/IMEM

Visto in retrospettiva, l’intuizione nel 1969-70, del Prof. Roberto Fieschi e di alcuni validi collaboratori dell’Istituto di Fisica dell’Università di Parma, di promuovere, nell’ambito del CNR, attività di ricerca coordinate in un solo istituto in cui confluivano conoscenze di chimica, fisica e ingegneria sono considerate a tutt’oggi “pionieristiche” e mantengono inalterata la grande capacità di produrre ricerca di punta ed innovazione.

Parimenti sin dall’avvio dell’allora MASPEC, l’Istituto si è caratterizzato costantemente dal finalizzare le ricerche a risultati che stimolassero interessi nelle aziende nazionali

(principalmente nel settore dell'elettronica, dell'energia, della produzione di materiali): esplorando così ciò che, in seguito, è stato chiamato "trasferimento tecnologico". Si è così sviluppata una lunga tradizione di interazione con gli ambienti della produzione che rende attualmente i ricercatori di IMEM predisposti naturalmente alla collaborazione con l'industria manifatturiera, con benefici sostanziali sia nella acquisizione di risorse, fondamentali per garantire le attività di ricerca, sia nello sviluppo progettuale, che (a tutti i livelli, regionale, nazionale ed europeo) richiede oggi una forte e precisa finalizzazione.

Più in generale, nello sviluppo dell'Istituto, si veda lo schema della **Figura 2**, si è considerato che gli aspetti di "innovazione" e "applicazione" dovessero essere sviluppati in modo parallelo, traendo vantaggio nel primo caso (ricerca di base) dalla intensa collaborazione intrattenuta con gruppi di ricerca universitari (principalmente GNSM e poi INFEM, Politecnici di Milano e Torino, Università di Parma, ...) e con Centri di ricerca nazionali di primaria importanza (Istituto Donegani, CISE, CSELT, ...) e nel secondo caso (ricerca finalizzata) sviluppando cooperazioni direttamente con aziende (Montedison, Enichem, Nuova SANIM, Alenia, ... e più recentemente Europa Metalli, Edison, Pirelli, MEMC, ...) e attivando progetti nei piani finalizzati nazionali del CNR e del MIUR ed in quelli regionali per l'innovazione.

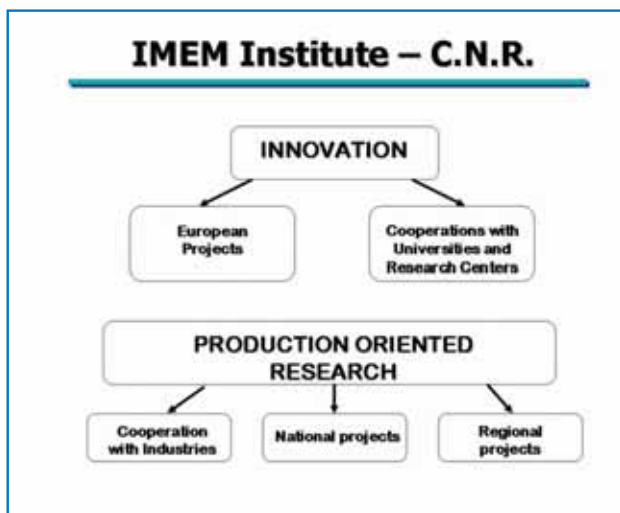


Fig. 2: Schema degli ambiti di sviluppo della ricerca di base e finalizzata



Nei quaranta anni di vita l'Istituto ha avuto varie sedi.

L'embrione delle attività si sviluppò presso l'Università di Parma dove il primo staff di personale CNR (4 tecnici e 4 ricercatori) fu cordialmente ospitato in alcuni laboratori dell'Istituto di Fisica. Comunque fin dall'inizio si pianificò di avere una sede autonoma e questo si realizzò alla fine del 1971.

La prima sede del MASPEC, come accadde per molti istituti del CNR dell'epoca, è stato un edificio, precedentemente dedicato ad attività industriale, riadattato con le specifiche richieste.



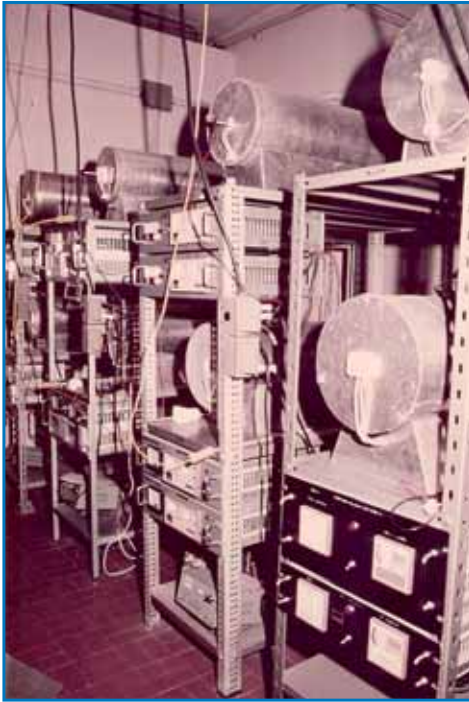
Fig. 3: Planimetria della prima sede di MASPEC (1971 – 1979)

Nella planimetria, riportata in **Figura 3**, si riscontrano i primi nuclei di attività che, con i successivi sviluppi, hanno caratterizzato la “vita” del MASPEC: il laboratorio di misure magnetiche (fu uno dei primi investimenti rilevanti), le sale con i forni di crescita di cristalli, i laboratori di diffrazione di raggi X, il laboratorio per la caratterizzazione dei semiconduttori, i laboratori di analisi chimica composizionale. E poi l'officina meccanica e dil “servizio” di elettronica. In effetti in quegli anni, nei laboratori di ricerca, era in uso costruire “in casa” le apparecchiature di laboratorio, per due principali motivi: a) le disponibilità finanziarie erano

limitate; b) la costruzione di una apparecchiatura consentiva di conferire allo strumento caratteristiche di specificità, spesso oltre i limiti della strumentazione commerciale. Per questo motivo l'officina (Figura 4) e il servizio di elettronica sono stati considerati per decenni un supporto fondamentale per le ricerche del MASPEC. A questo si deve l'immediata operatività agli inizi degli anni settanta di una serie di specifici forni per crescita di monocristalli da fase vapore e dal fuso (Figure 5A e 5B), poi proseguita con la realizzazione "in house" dei primi reattori epitassiali per processi CVD (Figura 6), del banco di condensatori del primo apparato di campi magnetici pulsati (Figura 7) e poi culminata alla fine degli anni '70 con la costruzione di un primo prototipo di una apparecchiatura per deposizione di film da fasci molecolari, a quel tempo considerata una strumentazione di avanguardia nella ingegnerizzazione dei materiali.



Fig. 4: L'officina meccanica attiva presso MASPEC negli anni '70



*Fig. 5A:* Forni orizzontali a 2/3 zone utilizzati nelle crescite da fase vapore di monocristalli di materiali semiconduttori (II-VI, III-VI, I-III<sub>2</sub>, VI<sub>4</sub>,...), nei primi anni '70



*Fig. 5A:* Forni di tipo Bridgman verticali , costruiti al MASPEC per la crescita di cristalli di PbTe e PbSnTe





*Fig. 6:* Reattore epitassiale, realizzato al MASPEC per la deposizione da fase vapore (metodo degli idruri) di film di strutture a base di GaAs e InP



*Fig. 7:* Banco di condensatori del primo apparato di campi magnetici pulsati utilizzato presso l'Istituto MASPEC





Quel periodo fu di fondamentale importanza per la costruzione delle basi culturali sulle quali si svilupparono le attività successive. L'ambiente era molto giovane, motivato e caratterizzato da un fiducioso ottimismo: il Paese era reduce da un buon periodo economico, il CNR investiva significativamente in nuovo personale ricercatore/tecnico e MASPEC progrediva.

In particolare in quegli anni si avvertiva la certezza che il lavoro profuso sarebbe andato a beneficio di ulteriori sviluppi futuri, che i risultati ottenuti sarebbero stati alla base di nuovi potenziamenti dell'attività: in altre parole vi era la consapevolezza che l'Istituto viveva in continuo progresso.

La serenità dell'ambiente accompagnata spesso dall'entusiasmo per le realizzazioni in corso, contribuivano anche al "clima di amicizia" che si era sviluppato fra il personale dell'Istituto, e ciò era testimoniato da occasioni di piacevole convivenza anche fuori dall'attività lavorativa, quali le numerose occasioni conviviali, cui partecipavano anche le famiglie degli impiegati del MASPEC, e le attività sportive-ricreative che il personale promuoveva (Figura 8) e a cui partecipavano anche colleghi dell'Università locali e colleghi ricercatori di altri istituti di varie parti d'Italia, come avviene ancora oggi, per esempio in occasione della gara ciclo-turistica, denominata "Memorial MASPEC"; organizzata ogni anno a primavera dal Velo Club MASPEC (Figura 9).



*Fig. 8:* Una rappresentativa del MASPEC, anni '70, nelle competizioni calcistiche



Fig. 9: Un team ciclistico di IMEM, anni 2000

L'attività dell'Istituto, negli anni '70, si giovò dei sostanziali contributi di ricercatori che raggiunsero in quel periodo la piena maturità scientifica e notorietà internazionale: Giancarlo Asti, Carlo Ghezzi, Carlo Paorici e Vincenzo Fano, che ebbero in seguito alte responsabilità nella gestione dell'Istituto e nella guida di importanti progetti di ricerca, prima di acquisire rilevanti posizioni nell'Università.

E' significativo che questi colleghi, abbiano coltivato successivamente collaborazioni scientifiche con quelli che sono stati i "loro" gruppi di ricerca dell'Istituto, e tuttora, seppure in quiescenza, mantengano rapporti di cordialità e affetto con il personale IMEM.

A seguito del potenziamento delle attività di ricerca e all'incremento del personale (30-35 unità) si rese necessaria una nuova sede, che seppure di proprietà privata, fu costruita e finalizzata per l'uso specifico di MASPEC (Figura 10). In verità all'inizio (1980), quella sede "sembrava un paradiso": ampi spazi, ampia dotazione di servizi (ad esempio fu disponibile la "prima" vera sala biblioteca-riunioni, Figura 11), rispetto delle norme di sicurezza, servizi di guardiania, pulizia, controllo medico del personale, ecc. Fu un passaggio "epocale": da una sede "big pizzeria like" (come ebbe a descrivere, seppure con apprezzamento, l'insigne Prof. Emanuel Kaldis, dell'ETH di Zurigo), ad un laboratorio adeguato ai tempi.



*Fig. 10:* La seconda sede del MASPEC (estensione di ~ 1600 mq)

*Fig. 11:* Sala biblioteca-riunioni del MASPEC nella sede di via Chiavari



Questo periodo coincise con la maturazione delle competenze di MASPEC che sono state in seguito estese a molte famiglie di materiali semiconduttori composti. In particolare si avviarono le attività di crescita di composti semiconduttori III-V, con la tecnica Czochralski e le crescite epitassiali con tecniche MBE e VPE. Ugualmente, nel settore del “magnetismo” si passò dalle classiche leghe metalliche e ferriti a composti a base di terre rare, e in seguito alla famiglia dei “manganiti”. Sulla base delle esperienze pregresse, risultò, poi, naturale entrare in nuovi settori quali “i superconduttori ad alta temperatura critica”, nel quale MASPEC ebbe un ruolo leader con forte visibilità internazionale. La **tabella 1** riassume l’insieme delle classi di materiali, sui quali furono orientate le ricerche dell’Istituto negli anni ’90.

**Tabella 1** – Classi di materiali oggetto delle ricerche in MASPEC negli anni '90.

**SEMICONDUCTORS**

III-V	GaAs, InP, GaAlAs, InGaAs, GaSb, GaN, ...
II-VI	CdTe, CdZnTe
MOX	SnO <sub>2</sub> , ZnO, In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

**MAGNETIC MATERIALS**

RE-TM compounds (RE-Fe, RE-Co, ...)
Films, metallic multilayers (Co, Co/Cu, Ag-Ni-Ag, ...)
Manganites (La-R-Mn-O) and double Manganites (AA' <sub>3</sub> Mn <sub>4</sub> O <sub>12</sub> )

**SUPERCONDUCTORS**

HTS Cuprates (YBCO, BiSCO, LaCuO)
MgCNi <sub>3</sub>

**FERROELECTRICS**

Titanates	Pb(Zr,Ti)O <sub>3</sub> (PZT), SrBi <sub>2</sub> Ta <sub>2</sub> O <sub>9</sub> , SrTiO <sub>3</sub> , ZrTiO <sub>4</sub> (ZT)
-----------	--

**ORGANIC COMPOUNDS**

Urea derivatives	NMU (CH <sub>3</sub> NHCONH <sub>2</sub> )
Aminoacids/salts	LALAP
Urotropine	HMT

**NEW MATERIALS**

Magneli Phases	(V,Ti) <sub>n</sub> O <sub>2n-1</sub>
Sulfides	AuVS <sub>2</sub> , BaVS <sub>3</sub>
Hybrid (organic/inorganic) compounds (A <sub>2</sub> MX <sub>4</sub> ; A+=ammine; MX <sub>4</sub> <sup>-</sup> = metal halide)	

Da sempre caratterizzante dell'Istituto è la competenza allo stato dell'arte internazionale nelle metodologie di preparazione dei materiali, che a partire dalla crescita cristallina del materiale bulk, si estende ai film sottili per finire, negli anni recenti, alla crescita di strutture nanocristalline di molte classi di materiali. La **tabella 2** riassume l'insieme delle metodologie, sviluppato nel settore, e tuttora disponibile.



**Tabella 2** – Elenco di metodologie/processi sviluppati nell'Istituto MASPEC negli anni '70-2000.

### SINGLE CRYSTALS

From the melt:	Czochralski (LEC), Bridgman
Vapour Phase:	Chemical vapour transport (CVT), Sublimation
Solution:	High temperature (flux), Low temperature (aqueous-alcoholic), Hydrothermal growth

### FILMS

Molecular beam epitaxy (MBE)
Metallorganic chemical vapour deposition (MOCVD)
Liquid phase epitaxy (LPE)
Sputtering
Sol-gel
Laser ablation
Thermal ablation/co-evaporation

### NANO CRYSTALS

MBE
Sputtering
Thermal ablation
CVD

### POLYCRYSTALS

Ceramic
High pressure solid-state synthesis
Sol-gel, metal organic decomposition
Mechanical alloying

### ALLOYS, AMORPHOUS and MICROCRYSTALLINE MATERIAL

Arc-, Induction-melting, Melt-spinning
--

Di pari passo sono state progressivamente sviluppate le competenze nelle tecniche e metodi di caratterizzazione e si è intrapreso il percorso (installazione di sistemi di deposizione sottovuoto, di apparati per fotolitografia, di reattive ion etching, ecc.) che ha già consentito all'Istituto di produrre prototipi di dispositivi, realizzati sui propri materiali, si veda **tabella 3**.

**Tabella 3** – Elenco delle principali tecniche di caratterizzazione dei materiali disponibili in IMEM.

<p><b>STRUCTURAL AND MICROANALITICAL</b>                  High resolution X-ray diffraction                  X-Ray topography                  X-ray Powder diffraction in monochromatic mode                  X-Ray standing wave technique                  Transmission Electron Microscopy (3 Å)                  Scanning Electron Microscopy                  Electron Beam Induced Current (EBIC)                  Scanning Cathodoluminescence (300-5K)                  X-Ray microanalysis                  Preferential chemical etching</p> <p><b>ELECTRICAL</b>                  Capacitance measurements, electrochemical profiler                  Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS)                  Admittance spectroscopy                  Thermally stimulated capacitance                  Hall Effect                  Resistivity Measurements (300-4,2 K)</p>	<p><b>OPTICAL</b>                  Photoluminescence (0.5-2 mm)                  IR Spectroscopy (0.5-2 mm)</p> <p><b>CHEMICAL</b>                  Differential Thermal Analysis                  Electrochemical Techniques                  UV-VIS, AAS Spectroscopy</p> <p><b>MAGNETIC</b>                  Magnetometry (VSM, AGFM, SQUID)                  Anisotropy measurement                  Thermo-magnetic analysis                  Magnetic susceptibility                  Measurement of high pulsed fields (30-60 T)                  Singular point detection technique (SPD)                  Transverse susceptibility</p>
<p style="text-align: center;"><b>TECHNOLOGIES</b></p> <p>Vacuum deposition systems                  Photolithography (ohmic contact, Schottky barriers, Hall bars, mesa structure, ...)                  Reactive Ion Etching (RIE)</p>	

Le ricerche, supportate da progetti nazionali ed europei e da una vasta rete di collaborazione con gruppi di ricerca di aziende raggiunsero risultati di rilevanza internazionale (**tabelle 4A e 4B**), che hanno consolidato la posizione di MASPEC nello scenario internazionale.



**Tabella 4A – Tabella 4B** Sommario dei risultati rilevanti delle ricerche condotte in MASPEC nei primi trent'anni di attività.

#### MAIN FUNDAMENTAL RESULTS

* Magnetic anisotropy measurement (SPD) in polycrystalline materials (1975)
* First direct observation of first-order magnetization processes in single-crystal Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B (1985)
* Phenomenological model for discontinuous magnetisation processes in multisublattice systems (FOMP theory) (1987)
* MBE growth of advanced epitaxial structures such as AlGaAs/GaAs quantum wells, superlattices and modulation doped structures (1987)
* Integral cathodoluminescence method for defect investigation in III-V bulk crystals and hetero structures (1985)
* X-Ray diffuse scattering measurement for studying III-V alloy order-disorder (1985)
* High resolution SEM-EBIC method for dopant concentration determination in bulk GaAs (1987)
* A new method for transverse susceptibility ( $\chi_{\perp}$ ) (1987)
* Phase diagram of YBCO (1989)

#### MAIN TECHNOLOGICAL ACHIEVEMENTS

* High mobility GaAs/GaAlAs hetero-structures (85)
* Procedure for dislocation reduction in n-type GaAs crystals, via Silicon doping (83)
* System for automatized LEC crystal growth (84)
* Sol-gel processes for improved pigments {magnetic recording (85) and superconductivity applications (87)}
* MBE growth of advanced epitaxial structures such as AlGaAs/GaAs quantum wells, superlattices and modulation doped structures (1987)
* Growth of large (1 cm <sup>2</sup> ) YBCO crystals (88)
* InGaAs/GaAs strained structures (0.98 mm) VCSELs pump EDF As (92)
* Growth of metal (In, Sn, Zn) oxide nanowire by an original process based on thermal evaporation and controlled deposition (2002)
* MBE growth of quantum dot nanostructures based on InAs/GaAs and InGaAs/GaAs (1994)
* Realisation of coils and technologies for the production of High Pulsed Fields (up to 50 T) (1998)

E' stato a questo punto che il CNR ha considerato opportuno dotare l'Istituto di una sede adeguata agli sviluppi raggiunti e predisposta a divenire, nella sua rete interna, un punto di riferimento nel settore della Scienza e Tecnologia dei Materiali.

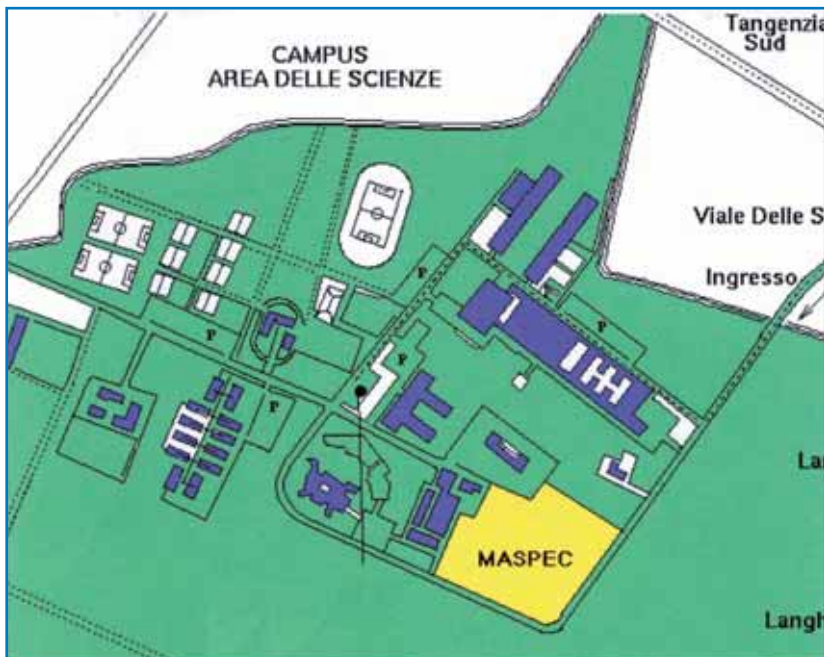


Fig. 12: Mappa del Campus Universitario con la localizzazione del suolo riservato al CNR

Trovato un accordo con la locale Università, fu accordato al MASPEC un ampio terreno (Figura 12) all'interno del Campus Universitario, sul quale il CNR edificò alla fine degli anni '90 (Figure 13A e 13B), l'attuale sede che dispone di una superficie utile di 6.000 mq.





*Fig. 13A:* L'attuale edificio IMEM, durante l'edificazione



*Fig. 13B:* Il progetto della attuale sede di IMEM

In data 24-25 ottobre 2000 si tenne l'inaugurazione ufficiale della nuova sede, che veniva a coincidere con la celebrazione del "primo trentennio" di attività dell'Istituto. Come riportavano le cronache cittadine dell'epoca (Figura 14), la cerimonia fu dedicata all'approfondimento delle tematiche di ricerca attive in MASPEC, con relazioni di alcuni giovani ricercatori dell'Istituto e con l'intervento di autorevoli scienziati nazionali ed internazionali del settore. Naturalmente intervennero anche i massimi responsabili del CNR, autorità cittadine (Figure 15A e 15B) e praticamente tutti colori che in diverse epoche, nelle varie sedi: Istituto, CNR, Università, avevano contribuito allo sviluppo dell'Istituto.



Fig. 14: Pagina del quotidiano "La Gazzetta di Parma", dedicata all'inaugurazione della nuova sede del MASPEC (2000)



A



B

*Fig. 15A - Fig. 15B:* Immagini di autorità del CNR, autorità cittadine ed eminenti Professori universitari intervenuti all'inaugurazione della sede del MASPEC (ottobre 2000)

Di seguito si riporta l'intervento del Prof. E. Kaldis (ETH, Zurigo), che concluse il convegno con una significativa analisi del percorso svolto dal MASPEC e le possibili prospettive.

--- .....

**' CLOSING REMARKS : 30 YEARS MASPEC**

Emanuel Kaldis

i.R. Laboratorium fur Festkorperphysik ETH  
CH-8093 Zurich, SWITZERLAND

Ladies and Gentlemen,

We had a successful scientific meeting today, giving us the opportunity to hear a series of interesting lectures both from MASPEC and abroad. The general impression is that the scientific management of MASPEC has selected very carefully the subjects of research and development. They lie in some of the most interesting fields of today's high technology and materials science. For these good ideas, not only the scientists of MASPEC and its management must be congratulated, but also the responsible commissions of CNR, that finally had to judge and approve the funding over the last 30 years.

For the young scientists who come to MASPEC today, the picture may be simple :

A well equipped institute is there, most fields of research are very modern, the contacts to many other institutions are existing, and the mechanisms of funding are working, so that one can concentrate in his own work and do as good research as possible.

At the time I first came to MASPEC, at the beginning of the 80's, the situation was different. In contrast to the palace we are convening today, the laboratory was not much larger than a big pizzeria and the young scientists - e.g. my first friends here Carlo Paorici and Lucio Zanotti and their colleagues - were working very hard to find their way in the complex world of materials and to make this institute survive.

The risk and the pressure to succeed was very strong.

The situation was even more difficult 10 years earlier, in 1970, when Professor Fieschi decided, with the understanding and support of the CNR, to start an institute of materials research in the field of the solid state physics.

It was not at all clear at that time if this was the correct way to follow. Let me remind to the youngest among us the early post-war



situation in solid state physics :

After long years of discussions about the electrical properties of copper oxides, and the possible existence of semiconductors, Bill Pfann at the Bell Laboratories discovered the “zone melting” and enabled with his work the final proof that Germanium and Silicon were semiconductors. As a result of it, the discovery of the Transistor by Shokley and his colleagues took place.

Where ?

Of course there, where the pure materia was available i.e. in the Bell Laboratories. With that, the Bell system opened for the USA an unprecedented and still continuing very strong hegemony in the field of electronic materials. What happened in Europe ?

Only the Siemens laboratory in Erlangen, the group under Welker, could soon write history in materials, by discovering that the III-V compounds .. were semiconductors and opening the stage for the coming decades of their applications to all possible electronic devices. The centre stage, however, also of the III-V research, became very soon USA, with many industrial laboratories like Bell, IBM, RCA, Hewlett-Packard, Texas Instruments etc. etc. leading an avalanche of semiconductor research and development.

Europe was not able to support and develop this research but in a rather marginal way, at least at the beginning. And in the USA, the serious research was done in the industrial laboratories.

The alternative, which was exercised in 70% of the academic solid state physics institutes all over the world :

You make your research by begging materials from the industry or from colleagues who have a few technicians “cooking” materials. With this of course a small academic group may survive, but very few breakthroughs can occur.

In this background, the decision in Italy in 1970 to found an independent scientific Institute, subsidized by the government for the research in electronic materials, was pioneering and no one could predict at that time if this experiment would succeed. We must, therefore, congratulate the founder Prof. Fieschi, the CNR, and the past and present directors for the obvious success of MASPEC.

MASPEC has reached with the hard work of its scientists and technicians, and the good management of its directors a very good national level. At

the start, it was the first group in Italy to begin systematically work in crystal growth, and the only producer for years of GaAs bulk crystals in the country. A large series of binary and ternary compounds have been crystallized from the vapour phase in this laboratory, and two space experiments in vapour growth are in preparation now for the international space station. Here was constructed the first MBE in Italy, and important MBE work is still going on, on high international level. One of the first phase diagrams of HTc superconductors was constructed in MASPEC already at the beginning of the HTc era. Following the general policy of the CNR, as the years went by the trends for industrially important materials and the collaboration with the national industry have been appreciably developed, and play now a central role in the program of MASPEC. This is something very important for both sides. The industry does not have time and funds for systematic in-depth materials research and the research laboratory needs the collaboration to help orient its research towards goals important for applications. Also, for the research laboratory the verification of the quality of its materials by the industry is very important. Further, the know-how of MASPEC can be offered to new industries and help them start. And last but not least, the young students and scientists of MASPEC become very well equipped for their future work in the industry.

At the beginning of the millennium also some long and well established ideas in the field of solid state physics are changing. Inspired from the picture of semiconductors, the materials research was trying over the past decades to reach, as far as possible, the ideally homogeneous material. The evolving picture of the HTc superconductors is teaching us the opposite. HTc superconductors are intrinsically non-homogeneous. The separation of charge and spin ordered in the form of stripes is a priori non-homogeneous. The goal of the materials research is now how to facilitate the formation of these inhomogeneities in atomic scale.

What can we wish to MASPEC for its future ?

In view of the large number of laboratories, all over the world, working in materials research, it is very difficult to reach a prominent position in international scale, particularly with the limited funding which European research institutes have, compared to those in USA or Japan .

One could, therefore, wish that in the coming decades MASPEC should try



to become even more known internationally, in developing expertise to a high international standard. Facilitating this development is an increased collaboration with some of the best laboratories. The present director has already taken a good measure in this direction. Using the law for bringing back well known Italian scientists from abroad, he brought Massimo Marezio former Bell Labs and CNRS-Grenoble to MASPEC. He has been working here the last 4.5 years and it was his suggestion which brought the high pressure synthesis in MASPEC, a very important scientific topic both for the HTc-superconductors and materials research in general. His activity made also MASPEC the leader of the European network of excellence on superconductivity SCENET and the European network for power applications of superconductivity. One could hope that several such engagements with scientists from abroad, to come and work here, will take place in the near future. It is then important that both their praise and criticism is accepted. Of course, also the opposite would be very good : to send young MASPEC scientists to some of the best laboratories abroad.

In this connection, some Italian materials scientists are sometimes very humble. I call that the Italian Post Service syndrome. That something like that exists, I discovered by chance. Once I had to send a manuscript to an Italian friend before a given deadline. Due to an unexpected load of work I was not able to do it in time and I sent it with delay. The reaction was unexpected for me. Instead of blaming me for the delay, the colleague blamed the Italian post. He was absolutely convinced that the Post delayed the manuscript. My own experience with the Italian post was the opposite. It never took more than 2-3 days to Zurich, of course only when there was not ... a strike.

In analogy, I would expect some of the Italian materials scientists to become more optimistic and expect that there is no reason why their scientific work may not be sometimes much better than that of their western colleagues, and this independently ... of the strikes.

Thank you for your attention.

Parma Monday 23-10-00

---





*Fig. 16:* Il moderno apparato per la deposizione epitassiale per MBE



*Fig. 17:* Laboratorio di fotolitografia





Nella nuova sede furono disponibili “camere bianche”, richieste dalle lavorazioni con fasci molecolari, condotte con la moderna apparecchiatura (Figura 16) e dai processi litografici (Figura 17). Ugualmente si è predisposto uno speciale reparto per i processi di deposizione di film da metallo-organici, che richiede particolari misure di sicurezza e smaltimento dei fluidi (Figura 18). Così pure hanno trovato adeguata collocazione le strumentazioni per misure magnetiche e “campi intensi” (Figura 19).

*Fig. 18:* Uno dei quattro reattori, operativi in IMEM, per la deposizione di film da CVD



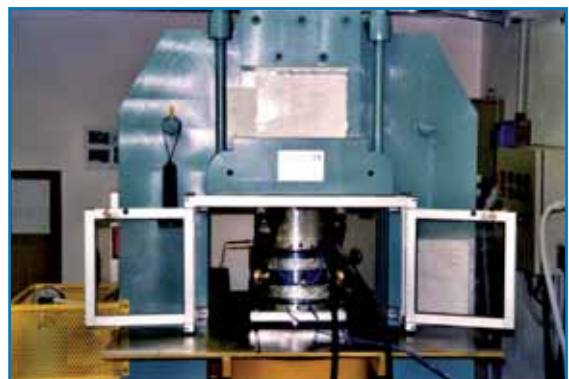
*Fig. 19:* Strumentazione per misure termomagnetiche.

Nel seguito le attività di Istituto hanno trovato nuovi sviluppi. Ne sono esempi:

- i processi di sintesi dei materiali ad elevata pressione e/o temperatura (Figure 20A e 20B);
- la definizione dei procedimenti di deposizioni di film con la moderna tecnica PED (Figure 21A, 21B, 21C, 21D), dapprima impiegati per film di superconduttori e attualmente per deposizione su larga scala di film per impiego nel settore fotovoltaico;
- la messa a punto di procedimenti CVD per la crescita di ossidi metallici nanostrutturati (fili, colonne, tetrapods, ...) con tecniche che richiamano le esperienze condotte in MASPEC negli anni '70;
- la crescita di cristalli organici di alta perfezione strutturale di varie famiglie, per impiego in ottica;
- i processi di deposizione via sputtering di leghe metalliche, anche in dimensioni submicroniche;
- i procedimenti innovativi di sintesi di materiali ibridi organici-inorganici.



A

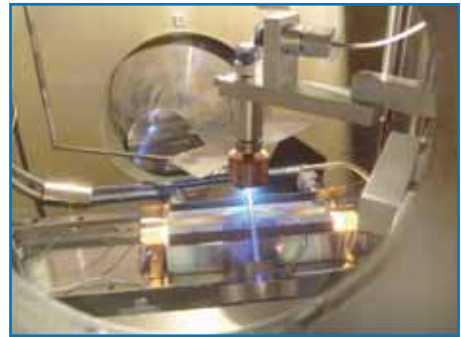


B

Fig. 20A - Fig. 20B: La pressa per 2000 atm impiegata nella sintesi di nuovi materiali (ossidi/leghe metalliche)



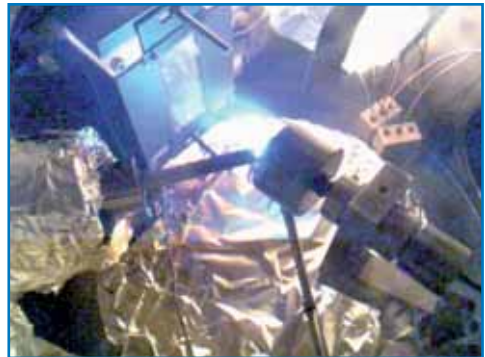
A



B



C



D

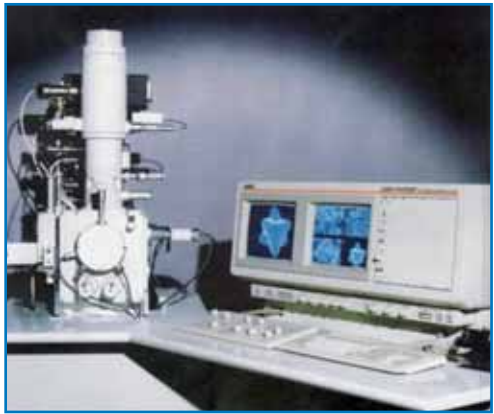
*Figg. 21 A , B ,C ,D:* Strumentazione per deposizioni di film mediante tecnica PED (Pulsed Electron Deposition).

- A) Sistema “reel to reel” per deposizione di nastri flessibili superconduttori a base YBCO (HTS-Coated Conductors)
- C) Recente evoluzione del sistema PED per la produzione su larga scaladi materiali per celle solari
- B-D) Immagini riprese durante le deposizioni

Contemporaneamente all'avvio di varie attività orientate alle moderne nanotecnologie, si è rafforzata la strumentazione dedicata alla diagnostica strutturale e morfologica: ne sono una evidenza la **Figure 22A, 22B, 22C, 22D** che riportano alcune strumentazioni impiegate nell'analisi di microscopia elettronica.



A) JEOL 2200FS FE-STEM, (Field Emission Analytical Scanning Transmission Electron Microscope)



B) JEOL 6400F FE-SEM, (Field Emission Scanning Electron Microscope)



C) D3100 NANOMAN Scanning Probe Microscope (SPM) Digital Instruments (Veeco)



D) Sistema combinato di Catodoluminescenza raffreddata all'Elio liquido, EBIC ed Elettroluminescenza per indagini ottiche alla nanoscala ed elettriche al Microscopio Elettronico a Scansione

*Fig. 22A, Fig. 22B, Fig. 22C, Fig. 22D.*

Alcune apparecchiature di microscopia elettronica in dotazione all'Istituto



IMEM con l'UOS di Genova ed ora con l'ingresso recente della sede di Trento (Figure 23A, 23B) si è arricchito di competenze sinergiche e di rilievo che ne completano il profilo di moderno centro di ricerche sui materiali innovativi. Le notevoli competenze di caratterizzazione fisico-chimica delle superfici congiunte a metodi di crescita innovativi quali la Supersonic Molecular Beam Deposition (SuMBE/SUMBD) hanno aperto nuove prospettive soprattutto nelle funzionalizzazioni/sensibilizzazioni di superficie e nanostrutture.



A

*Fig. 23A, Fig. 23B: Laboratori della sede di Trento*

B



Le attuali iniziative di ricerca si proiettano su tre direttrici principali: le prime due fanno riferimento ai materiali e tecnologie per l'energia e per la sensoristica orientando poi le attività, anche grazie alle collaborazioni in corso, all'integrazione verso i dispositivi ed i sistemi. In questo contesto la capacità dimostrata con Industria 2015 di coordinare le attività di ricerca di uno dei più consistenti progetti (PED4PV) nel settore Progetto di Innovazione Industriale per l'Efficienza energetica, testimonia la capacità di IMEM di proporsi con credibilità e competenza in questo contesto. In questa stessa direzione vanno anche le iniziative di carattere imprenditoriale che sono in fase di lancio sia nel settore energia che in quello sensoristico.

Per quanto riguarda l'Energia le principali attività si concentrano: sul fotovoltaico da film sottile realizzato con tecnologie e processi innovativi di deposizione brevettate da IMEM e dai suoi ricercatori, sulla cogenerazione e sulle prospettive aperte da nuovi approcci per il fotovoltaico di nuova generazione tra cui materiali e nanostrutture realizzate su misura per l'"intermediate band" e celle sensitizzate multiexcitoniche.

Per quanto riguarda la sensoristica, oltre agli sviluppi innovativi nella rivelazione spettroscopica di raggi X e gamma e alle relative numerose applicazioni tecnologiche nella sicurezza, medicina etc., si realizzano nanostrutture innovative e multifunzionali per la sensoristica gas. Approcci molto innovativi riguardano poi lo sviluppo di sensori elettrochimici a base organica per la sensoristica di interesse biomedico.

L'integrazione in ambiente microfluidico delle diverse tipologie di sensori che stiamo sviluppando si profila come un salto di qualità che ci permetterà di aggredire applicazioni di rilievo in campo bio-medico, ambientale di controllo di processi industriali etc.

Tra le nuove prospettive su cui abbiamo elaborato programmi di ricerca in fase di sviluppo, originali e molto promettenti, va menzionato lo sviluppo ed applicazione di nano particelle e nanosistemi multi-funzionali per applicazioni nella terapia dei tumori. Il nostro approccio include nanoparticelle magnetiche (superparamagnetiche e ferromagnetiche) sia per applicazioni di ipertermia ed imaging sia, opportunamente funzionalizzate e guidate magneticamente, per il rilascio controllato e localizzato di farmaci. Speciali nanostrutture multifunzionali ibride a base di nanowires di SiC, nanoparticelle magnetiche e molecole organiche vengono sviluppate con l'obiettivo di combinare l'imaging (MRI) con effetti di trattamento da ipertermia e di terapia fotodinamica attivata da raggi X. Il SiC è per noi un materiale strategico in applicazioni di elettronica bio-medica applicata alla protesica. Le nostre capacità di produrre il materiale e di funzionalizzarlo sono alla base di questi approcci innovativi.

La storia ormai più che quarantennale di IMEM nella preparazione e studio di una grande varietà di materiali è un punto di forza che ci permette di continuare ad innovare ed affrontare le nuove sfide tecnologiche utilizzando al meglio le grandi potenzialità che offrono le "rivoluzioni" in corso dei materiali nanostrutturati, dei materiali e sistemi ibridi, della loro integrazione in gerarchie alle diverse lunghezze di scala.



*Fig. 24: Visita del Presidente della Fondazione Cariparma, Prof. Gabbi, al microscopio elettronico in trasmissione di ultima generazione da loro interamente donato all'IMEM (dalla Gazzetta di Parma del 18/06/2008)*



## Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione - ISSIA

Arcangelo Distante

### Cenni Storici

L'Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione (ISSIA) nasce nel 2002 con l'intento di consolidare le preesistenti competenze fortemente interdisciplinari e complementari in settori dell'informatica, della fisica, e delle tecnologie elettriche ed elettroniche dei ricercatori afferenti all'Istituto per l'Elaborazione dei Segnali e delle Immagini (IESI di Bari), all'Istituto per l'Automazione Navale (IAN di Genova) ed al Centro di Studi sulla Affidabilità Sicurezza e Diagnostica dei Sistemi Elettrici di Potenza (CERISEP di Palermo).

L'Istituto IESI nasceva nel 1982 con lo scopo di consolidare e creare nuove opportunità scientifiche per linee di ricerca interdisciplinari della fisica, dell'informatica e della cibernetica nel campo dell'Elaborazione numerica di Segnali ed Immagini. Tale settore, risultato trasversale per diverse discipline delle scienze (fotogrammetria, biomedicina, fisica delle particelle, astronomia ecc.), rivoluzionava le modalità di analisi dei segnali e delle immagini descrivendo i fenomeni fisici associati non solo attraverso un approccio qualitativo. Le prime ricerche dello IESI hanno quindi riguardato lo studio di metodologie e tecniche connesse alla acquisizione ed elaborazione digitale di segnali e immagini in settori come il Telerilevamento la biomedicina e l'automazione industriale.

In particolare, negli anni '80 lo IESI ha svolto un ruolo pionieristico sia nello sviluppo di nuove metodologie per il trattamento di dati multispettrali, multitemporali e multipiattaforma, finalizzato all'analisi di dati per l'osservazione della Terra, che nella definizione delle problematiche riguardanti la visione computazionale, per gli aspetti più generali del riconoscimento e ricostruzione 3D degli oggetti osservati e in particolare in applicazioni della robotica, visione artificiale e della biomedicina.

L'Istituto IAN nasce nel 1970 per svolgere studi finalizzati alla gestione sicura, efficiente





ed economica di natanti. La ricerca era indirizzata su temi specialistici o settoriali della navigazione (Identificazione di modelli dinamici di navi, Sistemi anticollisione, Autopiloti digitali adattivi, Ottimizzazione punto nave automatico con nuovi sistemi di radiolocalizzazione, ecc.), della simulazione (Manovra navale, Affidabilità di un impianto di propulsione, Terminali per container) delle applicazioni navali di sistemi distribuiti a microprocessore (gestione integrata dati nave), della gestione operativa (per nave; in termini di monitoraggio, diagnostica) e della telesupervisione natanti (con telecomunicazioni dati via satellite MARISAT, INMARSAT). Queste ricerche hanno portato all'avanzamento delle ricerche nei settori: della robotica, per la realizzazione di veicoli sottomarini, navigazione guida e controllo di veicoli, la fusione sensoriale, la manipolazione sottomarina; del monitoraggio ambientale, per lo sviluppo di stazioni non presidiate in mare aperto, integrazione e presentazione di dati caratterizzanti l'ambiente marino, tecnologie acustiche, sviluppo e impiego di strumentazione elettronica per l'oceanografia operativa; dell'elaborazione dei segnali ed immagini, per la realizzazione di sistemi di acquisizione dati ad alta dinamica, telecomunicazioni, filtraggio adattivo, impiego di strumentazione speciale per applicazioni spaziali.

Il Centro CERISEP (Centro di Ricerche sui Sistemi Elettrici di Potenza) nasce nel 1989 orientato alle ricerche nell'ambito degli azionamenti elettrici, con particolare riguardo alla Caratterizzazione, Identificazione, Controllo, Diagnostica e realizzazioni prototipali di azionamenti elettrici con motori rotanti e lineari; e nell'ambito della Compatibilità Elettromagnetica (EMC), con particolare riguardo alla compatibilità elettromagnetica radiata e condotta di dispositivi elettrici ed elettronici, alle interazioni fra campi elettromagnetici e sistemi biologici oltre che all'inquinamento elettromagnetico.

Negli ambiti suddetti sono stati sviluppati algoritmi vettoriali, prima, e neurali, poi, per il controllo di motori rotanti e lineari, azionamenti elettrici sensorless, nuove architetture di convertitori elettronici di potenza per gli azionamenti elettrici e per la gestione distribuita di energia elettrica da fonti rinnovabili, modelli matematici delle sorgenti di disturbo elettromagnetico e dei processi di accoppiamento con i sistemi suscettori, ecc.

Dopo il riordino del CNR, l'ISSIA ha consolidato le attività di ricerca, con richieste sempre crescenti orientate allo sviluppo dei cosiddetti *Sistemi Intelligenti*, innovativi e utili per migliorare la qualità della vita, la competitività e le modalità di produzione delle imprese, il monitoraggio dell'ambiente, la fruibilità dei beni culturali, l'efficienza delle amministrazioni pubbliche (gestione di territorio, trasporti, salute, conservazione dei beni culturali, ... ).

## Missione dell'Istituto

Negli anni più recenti sono state considerate strategiche le attività di avanzamento della conoscenza e di trasferimento tecnologico legate prevalentemente alle seguenti linee tematiche:

**Macrotema\_1:** Robotica finalizzata allo sviluppo di macchine intelligenti, in grado di percepire e agire autonomamente in ambienti reali poco strutturati e caratterizzati da incertezza.

**Macrotema\_2:** Automazione per l'incremento di prestazioni, qualità e produttività, sicurezza di sistemi complessi.

**Macrotema\_3:** Elaborazione di segnali e immagini nell'ambito di sistemi integrati hardware e software per l'acquisizione ed il trattamento di informazioni multispettrali, multitemporali e multiplatforma.

**Macrotema\_4:** Sistemi di misura e di supporto alle decisioni basati su tecniche di soft-computing per applicazioni complesse.

Le attività che hanno caratterizzato ciascun Macrotema, sono riferibili agli obiettivi di seguito esplicitati nelle Linee Strategiche dell'Istituto: **Sistemi intelligenti; Visione artificiale, Robotica e Automatica; Sistemi e modelli per l'estrazione dell'informazione da segnali ed immagini per il monitoraggio ambientale; Conversione intelligente dell'energia negli azionamenti elettrici e nella generazione elettrica da fonti rinnovabili.**

## Ricaduta delle ricerche dell'Istituto

*In sostanza, la peculiarità scientifica dell'ISSIA si caratterizza nello studio e sviluppo di sistemi e agenti intelligenti complessi sulla base, prevalentemente, delle tecnologie informatiche ed elettroniche, della modellistica fisica, delle metodologie computazionali, con ricadute concrete verso l'industria e la pubblica amministrazione (territorio, ambiente, trasporti, salute, e beni culturali).*

Negli ultimi anni è noto che il budget dell'Ente è stato appena sufficiente a finanziare il funzionamento della rete scientifica e non ha potuto supportare direttamente le attività di ricerca. Nonostante ciò l'Istituto ha pianificato le proprie attività di ricerca ponendo particolare attenzione agli aspetti di:



1. Avanzamento della conoscenza nella ricerca di base nei quattro settori tematici dell'Istituto (Robotica, Automatica, Elaborazioni Segnali ed Immagini, Intelligenza Artificiale);
2. Trasferimento delle conoscenze verso la ricerca orientata, per lo sviluppo di tecnologie abilitanti strategiche a carattere multisetoriale;
3. Trasferimento tecnologico nel settore industriale e della pubblica amministrazione, attraverso progetti di ricerca con finanziamenti esterni (nazionali ed internazionali), coordinati anche con altri Istituti, al fine di aumentarne le capacità di trasformazione delle conoscenze e tecnologie in prodotti, processi e servizi a maggiore valore aggiunto.

La limitata disponibilità finanziaria di fondi FFO (Fondi di Funzionamento Ordinario) per supportare direttamente le attività di ricerca di base, obiettivo del punto 1, non ha impedito all'Istituto di svolgere dignitosamente tale attività, come evidenziato dalle pubblicazioni su riviste internazionali. Considerata la strategicità della ricerca di base, si ritiene che questo trend positivo debba continuare. Tuttavia, l'Istituto è stato e sarà sempre più fortemente coinvolto nei punti 2 e 3 che richiedono anche una notevole attività di marketing scientifico. A tale riguardo, dall'analisi delle attività pregresse e considerata la strategicità del settore dell'*Information Technology* ed in particolare la necessità di sviluppare sistemi intelligenti hardware e software, si ritiene che l'Istituto dovrà consolidare ulteriormente tale impegno di trasferimento delle competenze e delle tecnologie.

Si ritiene opportuno evidenziare, considerato il ruolo dell'Ente e le notevoli richieste di innovazione, che i prodotti scientifici dell'Istituto saranno sempre più articolati in termini di prototipi industriali, dimostratori hardware/software, studi di fattibilità, brevetti, in aggiunta alle pubblicazioni scientifiche. Questa più ampia articolazione delle tipologie di prodotti scientifici deve trovare corrispondenza in una valutazione della produttività più adeguata e articolata, che superi l'attenzione pressoché esclusiva alle pubblicazioni scientifiche.

## Le Attrezzature

Le principali risorse strumentali in dotazione all'Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione del CNR sono riassunte e raggruppate per laboratorio.

### Laboratorio di robotica marina

#### **Prototipo di battello autonomo di superficie senza equipaggio (USV) Charlie,**

- Unmanned Surface Vehicle in grado di lavorare in acque ristrette ed aree costiere per la raccolta di campioni per lo studio dell'interfaccia aria-mare ed il monitoraggio costiero e portuale. Catamarano. Lunghezza m. 2.40, larghezza m. 1.70. Velocità massima: 2 m/s. Auto-heading, auto-speed, way-point navigation, path-following.
- Campi di applicazione: Monitoraggio costiero e portuale per studi e caratterizzazioni ambientali e/o sicurezza.

#### **Prototipo di robot sottomarino filoguidato (ROV) Romeo,**

- Remotely Operated Vehicle in grado di lavorare fino a 500 m di profondità per la raccolta di immagini e campioni della colonna d'acqua e sul fondale. Peso in aria: circa 400 Kg, lunghezza: 1.1 m, larghezza 0.9 m, altezza 0.9 m. Auto-heading, auto-depth, auto-altitude, way-point navigation, path-following.
- Campi di applicazione Scienze marine in Mediterraneo ed in regioni remote (es. aree polari).

#### **Autogrù,**

- Marca: Mitsubishi, modello Canter.
- Descrizione: Portata massima: 35 q. Sollevamento gru massimo: 500 Kg.
- Campi di applicazione: Movimentazione robot marini e strumentazione.

#### **Boa meteo-oceanografica d'altura ODAS Italia 1,**

- La boa meteo-oceanografica ODAS Italia 1 è stata sviluppata dal CNR negli anni '70 con la iniziale motivazione di fornire periodicamente alcune informazioni meteorologiche che potessero essere utili alla sicurezza della navigazione marittima nell'alto Tirreno e nel golfo Ligure-Provenzale.



- Le funzioni della boa, grazie alla sua elevata stabilità, all'autonomia energetica considerevole ed alla notevole affidabilità raggiunta dalle apparecchiature di bordo, sono aumentate sino a farne un punto di raccolta continua di parametri meteorologici, di misura delle precipitazioni, di registrazione del moto ondoso e della corrente marina.

Le sue dimensioni, che ne fanno una "piccola isola" in mare aperto, hanno permesso anche di effettuare studi sugli organismi che su di essa si installano, mostrando una abbondanza di specie non facilmente rilevabile altrimenti.

Il sistema di acquisizione e trasmissione di bordo è in grado di gestire le apparecchiature di misura cambiando autonomamente il tipo di campionamento in funzione di alcuni parametri ambientali che vengono sorvegliati in continuo, o proteggendosi automaticamente, nel caso in cui le risorse energetiche si riducano, avvicinandosi ai limiti di sicurezza, riducendo quindi la frequenza dei collegamenti con la stazione di terra e, in casi estremi, riducendo al minimo il set di parametri misurati, per poi riprendere la piena operatività al ripristino della situazione normale.

Le misure acquisite dalla strumentazione a bordo della boa vengono inviate a terra ogni giorno durante alcune fasce temporali per mezzo di un collegamento telefonico oppure possono essere richieste direttamente dal centro di controllo

- Campi di applicazione: oceanografia operativa; meteorologia marina; acustica marina; automazione navale.

### **Gommone motorizzato,**

- Gommone motorizzato Evinrude 8 CV.
- Campi di applicazione: Supporto sperimentazione a mare del catamarano senza equipaggio.

### **Laser-Triangulation Optical-Correlation sensor,**

- Sistema visivo monoculare integrato con quattro laser di colore rosso per la stima del moto di veicoli sottomarini in prossimità del fondale. Precisione maggiore di 0.5 cm/s in condizioni operative. Distanza di funzionamento: 0.6-1.4 m.
- Campi di applicazione: Supporto all'utilizzo di ROV in applicazioni bentiche. Scienze marine: studio delle comunità bentiche.

### **Camera iperbarica per strumentazione,**

- Pressione massima: 50 atmosfere. Diametro 0.35 m, Altezza: 1.2 m.

- Campi di applicazione: Test iperbarici componentistica e strumentazione.

### **Prototipo di ricevitore impiegante amplificatori logaritmici e scanner analogici,**

- Ricevitore impiegante amplificatori logaritmici e scanner analogici comandati da porte usb tramite sequenze di istruzioni generate da compilatori ad hoc in linguaggio matlab.
- Campi di applicazione: indagini non invasive di siti di interesse minerario, archeologico e/o ambientale.

### **Prototipo di trasmettitore a tempificazione programmabile e fase alternata comandata di microprocessore,**

- Componente del sistema TDEM per la generazione di impulsi per la prospezione elettromagnetica del sottosuolo.
- Campi di applicazione: indagini non invasive di siti di interesse minerario, archeologico e/o ambientale.

### **Laboratorio Interferenze Elettromagnetiche Condotte e Power Quality,**

- Modello prototipo ISSIA.
- Analisi delle perturbazioni elettromagnetiche condotte e relative tecniche di minimizzazione di tali disturbi con strumentazione per le misura fino a 30 MHz di grandezze elettriche e di campi elettromagnetici.
- Campi di applicazione:
  - a) filtri attivi automotive per l'impiego su azionamenti elettrici per autoveicoli al fine di minimizzare le correnti parassite di modo comune che si richiudono sul telaio dell'autoveicolo e possono essere causa di malfunzionamenti di altre apparecchiature.
  - b) Filtri attivi per azionamenti elettrici finalizzati all'aumento della durata dei cuscinetti che sono logorati dalle correnti parassite prodotte dallo stesso azionamento.

### **Laboratorio Power Electronics,**

- Descrizione:
  - n.1 prototipo di inverter multilivello tipo NPC (Neutral Point Clamped) di potenza 4 kW.



- n. 4 inverter trifase di potenza nominale 7.5 kW.
- n.1 Filtro attivo di potenza tipo shunt per la compensazione delle armoniche di corrente di carichi non lineari.
- Campi di applicazione: Azionamenti elettrici; Generazione distribuita da fonti rinnovabili; Filtri attivi e power qualità; Automotive.

### **Laboratorio RES (Renewable Energy System),**

- Modello prototipo ISSIA.
- Descrizione:
  - n.1 sistema di generazione distribuita da fonte rinnovabile monofase con inverter di potenza nominale 7 kW.
  - n.1 sistema di generazione distribuita da fonte rinnovabile trifase con inverter di potenza nominale 7.5 kW.
  - Emulatore di array di pannelli fotovoltaici con convertitore DC-DC.
  - Emulatore di turbina eolica con motore a magneti permanenti da 3 kW e generatore ad induzione.
  - Emulatore di Fuel Cell con convertitore DC-DC.
- Campi di applicazione: Generazione distribuita da fonti rinnovabili.

### **Laboratorio di Azionamenti elettrici ed elettronica di potenza,**

- Modello prototipo ISSIA.
- Laboratorio azionamenti elettrici a velocità variabile costituito da:
  - n.2 motore asincrono trifase alimentato da un inverter trifase di potenza nominale 7,5 kW accoppiato ad un motore sincrono a magneti permanenti trifase alimentato da inverter trifase(carico controllato).
  - motore asincrono trifase alimentato da inverter a tre livelli tipo NPC (Neutral Point Clamped) accoppiato ad un motore a corrente continua alimentato da convertitore AC-DC(carico controllato).
  - Motori asincroni trifase a 42V per applicazioni in ambiente automotive.
- Campi di applicazione: Azionamenti per la trazione ferroviaria e su gomma; Servoazionamenti per la robotica; Automazione industriale; Automotive.

### **Laboratorio interferenze elettromagnetiche radiate,**

#### Camera semianecoica elettromagnetica

- Marca Siemens-Matsushita, modello Siemens.

- Camera semianecoica elettromagnetica di dimensioni 9x6x5 m corredata di apparecchiature per misure di campi elettromagnetici da 30 MHz a 18 GHz.
- Campi di applicazione: Compatibilità elettromagnetica strumentale radiata e condotta.

#### Cella GTEM

- Marca SCHAFFNER, modello GTEM 750.
- Apparecchiatura per la generazione di campi elettromagnetici a onde piane nel range di frequenza da 10 kHz a 18 GHz.
- Campi di applicazione: Sistema per la taratura di sensori di campo elettrico. Prove di immunità elettromagnetica radiata su oggetti di piccola dimensione.

#### **Laboratorio di Robotica e Visione Artificiale,**

##### Interfaccia aptica CyberGlove + CyberGrasp + Cybe

- Marca: Immersion.
- Esoscheletro per la restituzione aptica sull'intera mano.
- Campi di applicazione: Simulazione aptica in diversi settori (studi di ergonomia, progettazione, sviluppo di interfacce evolute per l'addestramento, teleoperazione).
- Software: Virtual Hand SDK.

##### Interfacce aptiche per interazione a singolo punto

- Marca: Sensable, modelli Desktop e Omni.
- Interfacce aptiche con stilo per l'interazione tattile a singolo punto di contatto.
- Campi di applicazione: Ricerca e sviluppo su sistemi di interazione aptica fruibile attraverso singoli punti di contatto (progettazione, simulazione, didattica).

##### Manipolatore antropomorfo

- Marca: Staubli, modello RX 60.
- Manipolatore antropomorfo a 6 gradi di libertà.

Campi di applicazione: Ricerca e sviluppo su metodologie e tecniche di manipolazione in celle robotizzate, Esecuzione controllata di movimenti ripetuti per il test funzionale delle interazioni aptiche





### Omnislice

- Ricostruzione 3D ominidirezionale.
- Campi di applicazione: Ricostruzione 3d di infrastrutture stradali e ferroviarie; ispezione di condotte.

### Piattaforma di acquisizione e calcolo ad alte prestazioni

- Prototipo.
- Piattaforma di acquisizione e calcolo ad alte prestazioni.

Questa piattaforma consente di testare sensori di acquisizione video ad alto frame rate, tipici dei controlli di qualità industriali e di applicazioni in ambiti particolari e specialistici, come il monitoraggio di eventi sportivi. Tale piattaforma permette di valutare le capacità di acquisizione di telecamere ad alta risoluzione temporale, ma al tempo stesso consente di testare algoritmi ad alte prestazioni per l'elaborazione di tali immagini, sia in tempo reale che offline, oltre che la capacità delle macchine di calcolo di gestire l'elevato flusso dati in termini di storage.

Nel dettaglio tale piattaforma si compone di:

- telecamere industriali ad alto frame rate (200-500 fps);
- hardware di supporto a tali telecamere (schede di acquisizione video, unità di storage dedicate);
- server di calcolo ad alte prestazioni;
- architetture di calcolo basate su GPU NVIDIA in configurazione SLI; Compilatori Intel con estensione OpenMP; Compilatori Visual Studio 2005, Visual Studio 2008, Labview, librerie intel IPP, Sopera LT, schede di acquisizione per telecamere LVDS, CameraLink, Gethernet.

### Piattaforma multiagente di videosorveglianza

- Questa piattaforma viene utilizzata per testare e valutare sia le componenti hardware di acquisizione che gli algoritmi. Si basa su un'infrastruttura abbastanza elastica e dinamica che consente di installare agevolmente nuovo hardware e nuove soluzioni algoritmiche, al fine di valutarne l'impatto e l'efficienza in applicazioni di videosorveglianza. Inoltre è facilmente interfacciabile con i robot presenti in istituto.

Tale infrastruttura è composta da:

- telecamere IP sia monocromatiche che a colori, a differenti risoluzioni spaziali (fino a 5 MegaPixel) e temporali;
- telecamere Genie Giga Ethernet;

- telecamere Pan-Tilt-Zoom a cupola (Dome);
- telecamere termiche IP;
- software di gestione per il controllo delle telecamere e per il test degli algoritmi (Careye©)

Robot mobile multisensoriale per ambienti indoor

- Prototipo.
- Robot mobile multisensoriale per la sorveglianza di ambienti indoor costituito da una base mobile PeopleBot della ActiveMedia Robotics, equipaggiata con sensore laser SICK, telecamera multiview LadyBug2 della PointGreyResearch, sistema RFID della SICK e unità di calcolo aggiuntiva per l'elaborazione delle immagini e dei dati RFID. Il robot é equipaggiato di un'architettura software di controllo multitask innovativa sviluppata presso l'ISSIA e di un modulo di analisi delle immagini, sempre sviluppato dall'ISSIA, per applicazioni di sorveglianza.
- Campi di applicazione: Sorveglianza di ambienti indoor. Sperimentazione di algoritmi multisensoriali per la rilevazione, il riconoscimento e il tracking di persone ed il monitoraggio di ambienti.

Robot mobile multisensoriale per ambienti outdoor

- Prototipo.
- Robot mobile multisensoriale per la localizzazione e mapping da sensori ottici in ambienti outdoor costituito da una base mobile Pioneer P3AT della ActiveMedia Robotics, equipaggiata con telecamera stereo BumbleBee della PointGreyResearch e unità di calcolo aggiuntiva per l'elaborazione delle immagini. Il robot é equipaggiato di un'architettura software di controllo multitask innovativa sviluppata presso l'ISSIA e di un modulo software, sempre sviluppato dall'ISSIA, basato su dati rilevati da sensori ottici per il calcolo del moto e per lo svolgimento delle funzioni di localizzazione e mapping.
- Campi di applicazione: Sperimentazione di algoritmi multisensoriali per la localizzazione, il mapping, la ricostruzione 3D, la navigazione autonoma in ambienti outdoor finalizzata al monitoraggio di ambienti esterni, alla sorveglianza, al trasporto ed alla mobilità.

Arena di Mini-Robot

- Prototipo.



- Flotta di 6 mini-robot E-PUCK. Questi sono robot di piccole dimensioni (7cm di diametro per 5cm di altezza) e sono dotati di: 8 sensori di prossimità a infrarosso, una telecamera a colori, 3 microfoni, 1 altoparlante e accelerometri 3D. Ogni robot può comunicare con una workstation attraverso comunicazione Bluetooth.
- Campi di Applicazione: Sperimentazione su scala di algoritmi di cooperazione fra robot nel contesto della sorveglianza e il monitoraggio di ambienti.

#### Sensore per la Ricostruzione 3D TOF

- Marca Acuity Automation, modello AccuRange40000.
- Sensore basato sulla stima della distanza sul principio del tempo di volo (TOF) di un raggio laser. La scansione della scena è effettuata attraverso uno specchio rotante.
- Campi di applicazione: Ricostruzione 3d di infrastrutture. Ispezione di condotte.

#### Sistemi di calcolo multiprocessore

- Sistema Multiprocessore ad alte prestazioni (HPC) composto da 64 nodi di calcolo, un nodo di front-end ed un nodo dedicato allo storage. Ogni nodo di calcolo, serie BL2x220c G6 2P risulta equipaggiato con due processori X5550 da 2.66 GHz, 24 GB di ram tipo DIMM3 1333MHz, un hard disk sata da 250 GB, una scheda Infiniband serie HP 4X QDR IB CX2, due porte di rete ethernet 1000 Mb/s ed un'ulteriore porta ethernet 10/100 Mb/s dedicata al software di management. Il sistema operativo installato è risultato essere "Centos x86 64 bit con kernel linux 2.6.18-194.el5".
- Sistema Multiprocessore HP, modello ProLiant DL 145, in architettura Beowulf, basato su 16 nodi duali Opteron a 2,6 GHz, interconnessi da una doppia LAN Giga Ethernet: una per la connessione in rete ed alle utenze remote; l'altra per la distribuzione dei dati e la comunicazione inter-nodo. Software O.S. Red Hat Enterprise LINUX.
- Campi di applicazione: Tutte le attività delle commesse, essenzialmente basate sul calcolo.

#### Stazione di acquisizione di immagini a colori calibrate

- La stazione è stata progettata e realizzata nell'ambito del progetto di studio di sistemi non distruttivi di analisi di prodotti agro-alimentari. Assembla una telecamera ad alta risoluzione a colori 3CCD Jai CV-M9Ge equipaggiata con un'ottica Linos MeVis 12

mm. La stazione permette di utilizzare per l'illuminazione delle lampade alogene (con caratteristiche spettrali e cono d'illuminazione variabile) ed un illuminatore dome con luce bianca a led utilizzabile per ridurre l'auto-ombreggiatura degli oggetti della scena. La stazione include un colorimetro X-Rite VS450, equipaggiato con uno stativo da tavolo VS450-800, utilizzabile per le misure di colore sia direttamente sugli oggetti che sulle color-chart utilizzate per la calibrazione della stazione. Il colorimetro è equipaggiato del software iQC della X-Rite.

- Campi di applicazione: Misure assolute di colore senza contatto (colorimetro). Acquisizione di immagini a colori calibrate ad alta risoluzione.
- Controllo di qualità, valutazione di parametri morfologici per i prodotti agroalimentari, per il pellame.
- Software X-Rite iQC Standard.

#### Stazione di acquisizione di segnali multispettrali

- La stazione è equipaggiata per l'acquisizione di segnali multispettrali. Dispone di due minispettrometri Hamamatsu (C10083CAH per acquisire segnali nel range 320-900 nm con la risoluzione di 1 nm e C9913GC per acquisire segnali nel range 900-1700 con una risoluzione di 7 nm); di un illuminatore Hamamatsu L10290 in grado di convogliare su fibre ottica la radiazione proveniente da due sorgenti, una al deuterio ed una alogena, per coprire un range di emissione da 200 a oltre 1200 nm; di lampade alogene; di uno spettrografo ImSpector della Specim associato ad una telecamera Genie M1400 con sensore 2/3", in grado di acquisire in contemporanea gli spettri relativi ai singoli pixel di una linea della scena.

Campi di applicazione: la stazione può essere utilizzata per eseguire misure multispettrali di assorbimento o riflessione con la risoluzione spaziale dipendente dal sensore utilizzato tra quelli in dotazione. Sono state svolte sperimentazioni su prodotti agroalimentari per lo studio della correlazione del comportamento rispetto alla radiazione elettromagnetica nel visibile e nel vicino infrarosso con alcune caratteristiche interne del prodotto.



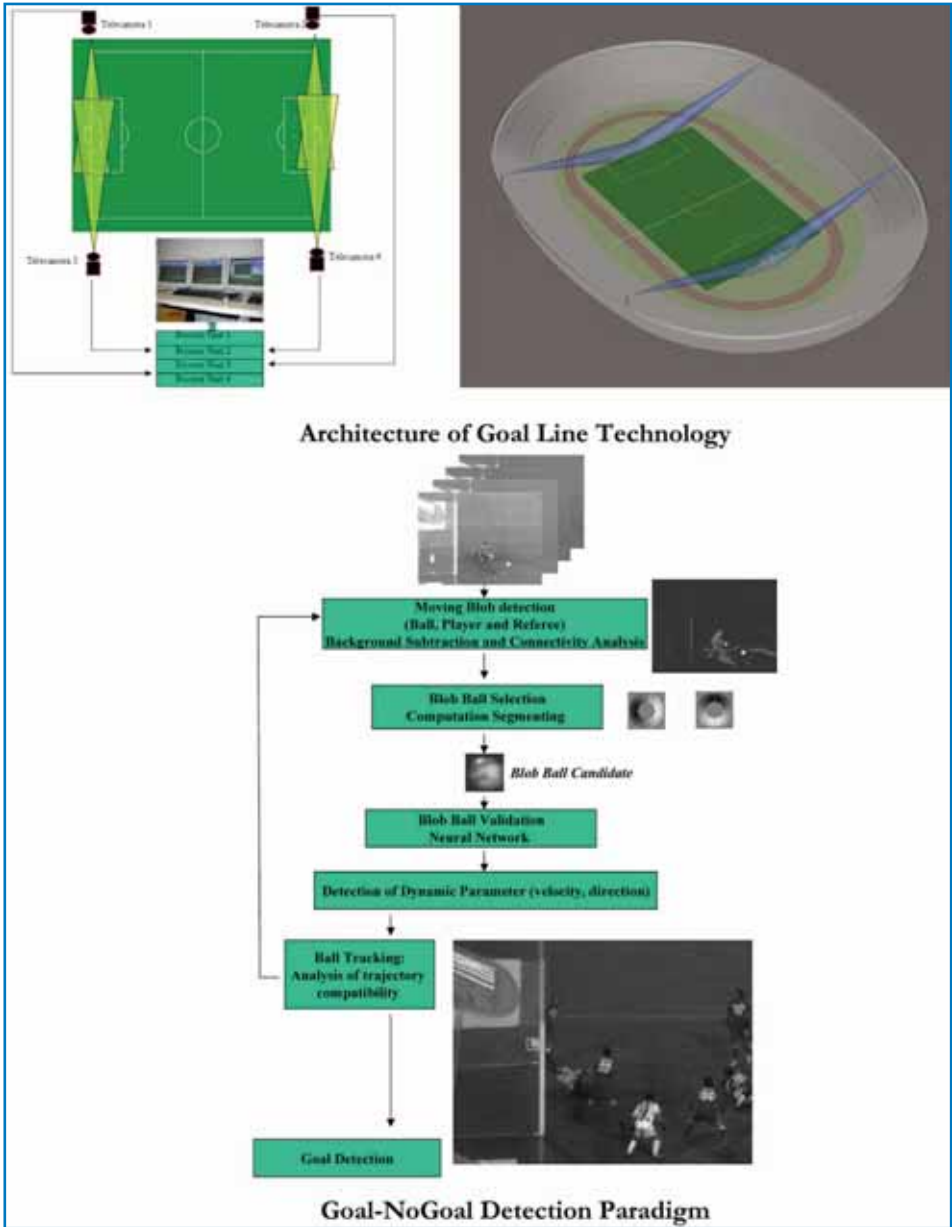
## Risultati Rilevanti

Nel seguito sono elencati i risultati significativi dell'Istituto relativi alle commesse e linee di attività afferenti al dipartimento sistemi di produzione. Sono riportati i risultati che in genere richiedono l'uso combinato e sinergico di tecnologie avanzate hardware e software. Dal punto di vista hardware hanno richiesto l'adozione di tecnologie specialistiche quali: strumenti e tecniche per l'acquisizione e la restituzione di segnali e di immagini, per la rilevazione di identità, posizione, assetto, movimento di entità nella scena (incluso gli agenti umani), sistemi robotici fissi e mobili, telecamere, anche multiple, fisse e mobili (su veicolo mobile e/o PTZ). Dal punto di vista software hanno richiesto lo sviluppo di metodologie di elaborazione, analisi e caratterizzazione di segnali ed immagini; di estrazione di caratteristiche significative; di interpretazione della scena; di costruzione, manipolazione e restituzione di modelli tridimensionali; di simulazione geometrica e fisica di contesti virtuali; di apprendimento; di supporto alle decisioni; di interazione evoluta uomo-macchina; di rilevazione di eventi; di analisi ad elevata efficienza di sequenze anche ad alta risoluzione temporale; di integrazione e fusione di informazioni provenienti da rilevazioni multi-vista della scena.

1. **Prototipo Goal Line Technology (GLT).** Il sistema si propone di risolvere il problema della rilevazione automatica degli eventi Goal/NoGoal nel gioco del calcio e della loro istantanea segnalazione all'arbitro o ai suoi assistenti. La metodologia utilizzata per risolvere questo specifico problema rientra nel problema generale di riconoscimento automatico di un oggetto 3D e la stima della posizione spaziale durante il movimento dell'oggetto (il pallone in questo caso) rispetto ad un punto di riferimento (la porta e la sua linea bianca orizzontale di delimitazione del campo di gioco). Il sistema non è invasivo per le strutture del campo e per la palla, non richiede l'interruzione del gioco o la modifica delle sue regole. Il sistema fa uso di 4 macchine di visione intelligenti dotate di telecamere digitali nel visibile ad alta risoluzione temporale (200 immagini/sec.). Le telecamere sono posizionate nello stadio ai lati opposti di ciascuna porta con gli assi ottici complanari con il piano interno della porta e convergenti verso il punto centrale della linea di porta. L'unità di base di calcolo di ciascuna macchina è un server (PC based) adeguatamente configurato per l'acquisizione e la memorizzazione digitale delle immagini, per la rilevazione automatica dell'evento goal "fantasma" (grazie ad algoritmi di riconoscimento, inseguimento e localizzazione 3D della palla) e per la gestione remota delle telecamere e la loro calibrazione (Pan, Tilt, Zoom, Iris). Le macchine di visione sono sincronizzate, collegate in rete locale (rete protetta) e comunicano in broadcast con la consolle del sistema (PC based) che imposta le modalità operative delle macchine di visione,

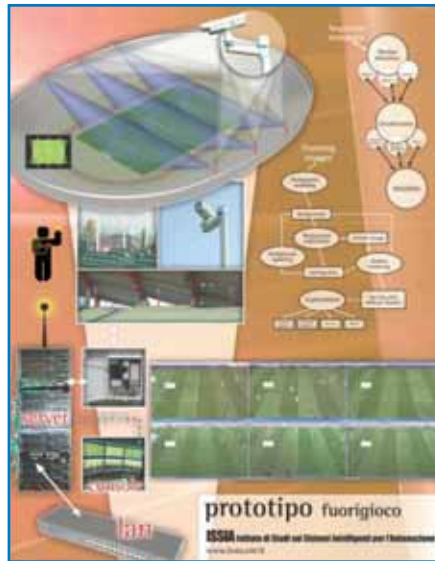
elabora le informazioni prodotte da ciascuna coppia di macchine di visione e rileva l'evento goal (goal detection) ed inoltre segnala l'evento Goal/NoGoal al giudice di gara e/o agli assistenti. Il prototipo GLT è installato ed operativo nello stadio Friuli di Udine finanziato dalla FIGC (Federazione Italiana Giuoco Calcio), Udinese Calcio Spa e Freud Pozzo Spa. Questa tecnologia CNR-ISSIA è stata approvata dalla FIFA (Fédération Internationale de Football Association) per la sperimentazione definitiva pianificata per gennaio 2011 e per la possibile certificazione allo scopo di utilizzarla su scala mondiale. L'evoluzione tecnologica del sistema prototipale in termini di tipologia (risoluzione spaziale e temporale), posizionamento e numero di telecamere, sin dalle prime sperimentazioni è riportato nella tabella seguente.

2002	<p>-Eight High Temporal Resolution Cameras <i>(two coupled cameras for each side of each goal post)</i> Frame Rate: 262 frame/sec. Image Resolution: 536 x 316 GreyLevel Images</p> <p>-Six High Temporal Resolution Cameras <i>(for each goal post, two cameras aligned with the goal posts, ad a camera placed behind them)</i> Frame Rate: 262 frame/sec. Image Resolution: 536 x 316 GreyLevel Images</p>	<p>Patent SYSTEM AND METHOD FOR THE MEASUREMENT OF THE RELATIVE POSITION OF AN OBJECT WITH RESPECT TO A POINT OF REFERENCE</p> <p>WO 2002/061684 A2</p>
2006	<p>Four High Temporal Resolution Cameras Frame Rate: 200 frame/sec. Image Resolution: 640 x 480 GreyLevel Images</p>	<p>Patent METHOD AND SYSTEM FOR THE AUTOMATIC DETECTION OF EVENTS IN SPORT FIELD</p> <p>WO 2007/099502</p>
2010	<p>Four High Temporal Resolution Cameras Frame Rate: 500 frame/sec. Image Resolution: 1280 x 1024 Color Images</p>	



2. **Prototipo OFFSIDE.** Il sistema innovativo sviluppato (in corso il brevetto internazionale) risolve, in tempo reale, il problema della rilevazione automatica dell'evento fuorigioco (Offside) nel gioco del calcio segnalando tale evento alla terna arbitrale. Il sistema si basa su 6 macchine intelligenti di visione sincronizzate che osservano dalle tribune opposte il campo di gioco complessivo. Le metodologie utilizzate si basano sugli algoritmi di visione computazionale, di analisi del movimento e di apprendimento automatico così riassunte:
- a) Rilevazione automatica delle parti (giocatori, terna arbitrale, pallone) in movimento nella scena;
  - b) rilevazione ed identificazione del pallone e determinazione della dinamica (momento in cui il pallone viene colpito) connessa all'interazione pallone-giocatore (tiro o passaggio tra giocatori);
  - c) determinazione della posizione di tutti i giocatori sul campo di gioco nell'istante in cui avviene il passaggio del pallone tra giocatori e verifica contestuale se il giocatore che riceve il pallone si trovava nella configurazione dell'evento fuorigioco;
  - d) valutazione del fuorigioco passivo e attivo in accordo alle norme FIFA, da parte del supervisore (coordinatore delle attività delle 6 macchine di visione), sulla base delle informazioni (posizione dei giocatori, cinematica del pallone - velocità e direzione di moto) provenienti dalle macchine di visione. Il prototipo Offside è installato ed operativo nello stadio Friuli di Udine finanziato dalla FIGC (Federazione Italiana Giuoco Calcio), Udinese Calcio Spa e Freud Pozzo Spa.





Schema di insieme del prototipo OFFSIDE.



Sinistra: Console del prototipo OFFSIDE installato nello stadio Friuli di Udine;  
Destra: vista virtuale dell'intero campo di gioco nel quale sono proiettate le posizioni dei giocatori e tracciato il loro movimento e quello del pallone.



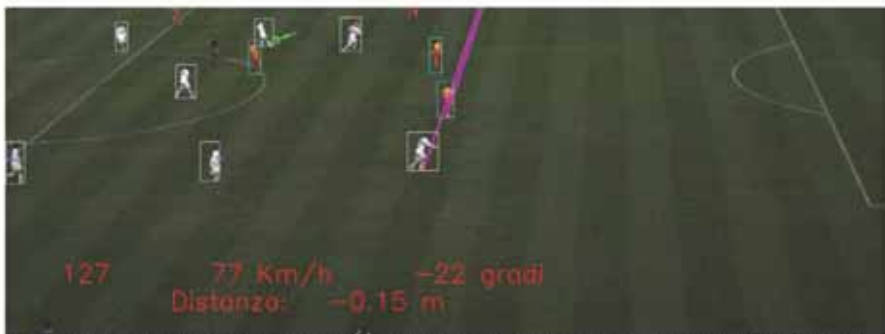
Global view of the field of game observed from the 6 TVcameras from opposite sides; The system has automatically determined the position of all the players in the field of game and identifies the player that makes the launch of the ball.



Partial View of the field of game at the time that the player kicks out the ball; The players are in line and therefore not offside must be reported.



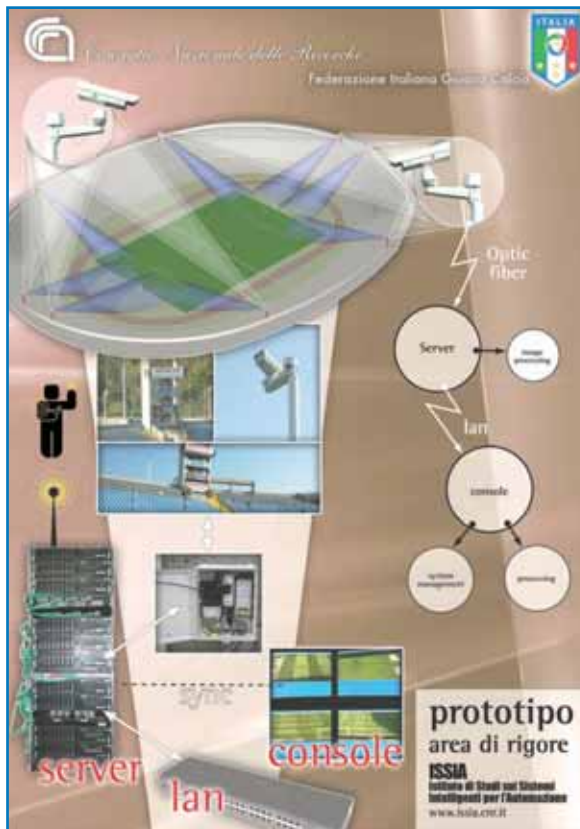
The limited field of view of the Assistant and the speed of the dynamics of the event lead it to an erroneous perception of the scene pointing out an offside non-existent.



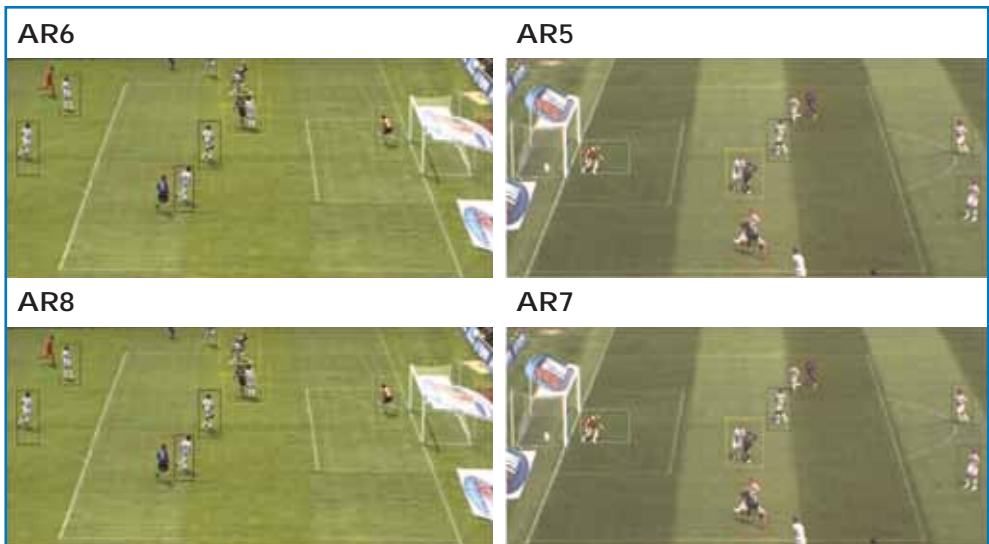
Partial Screenshot of the monitor at the time of the launch of the ball. The system automatically estimates speed and direction of the ball and the distance between the players



3. **MEGAR Prototipo.** Il sistema MEGAR (Monitoraggio degli eventi di gioco nell'area di rigore) rileva in tempo reale alcuni eventi significativi che si svolgono nell'area di rigore e nelle zone limitrofe. Tali eventi sono: a) Assegnazione Rigore; b) Posizione dei giocatori durante esecuzione del rigore; c) Posizione del portiere durante l'esecuzione del rigore; d) Monitoraggio postura nell'area di rigore. Il prototipo MEGAR è installato ed operativo nello stadio Friuli di Udine finanziato dalla FIGC.



Schema di insieme del prototipo MEGAR.



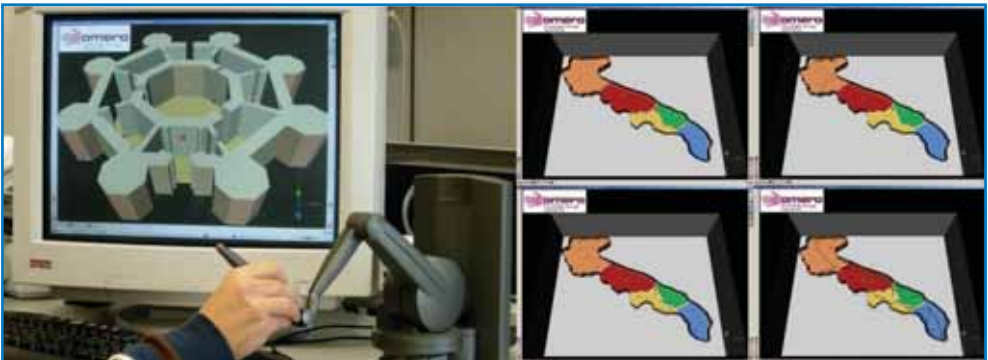
Vista globale del dell'area di rigore osservata da 4 telecamere di cui 2 posizionate dietro la porta e 2 sui lati opposti. Il sistema rileva automaticamente la posizione di tutti i giocatori nel campo di vista delle telecamere ed identifica il giocatore che calcia il Pallone.



Le console multi-monitor dei tre prototipi Goal Line Technology – GLT, OFFSIDE e MEGAR.



4. **Prototipo OMERO.** OMERO è un sistema multimodale che permette l'esplorazione di scene virtuali usando il tatto, oltre alla vista e all'udito. Tra le sue applicazioni più interessanti è molto importante la possibilità di permettere ai disabili visivi l'accesso alla realtà virtuale. Ambienti virtuali costruiti in modo opportuno possono essere usati proficuamente per migliorare la conoscenza del patrimonio culturale, delle risorse turistiche, dei territori ricchi di contenuti storici e culturali, di concetti di matematica, geometria, biologia, fisica. Il sistema è stato sperimentato in modo estensivo, con la cooperazione dell'Unione Italiana Ciechi, su modelli del Castello Svevo di Bari, di Castel del Monte e della regione Puglia. Sono in corso di sviluppo alcune applicazioni didattiche.



Sulla sinistra un'immagine del sistema multimodale Omero (marchio depositato) sviluppata per la restituzione visiva, uditiva e tattile (attraverso l'interfaccia aptica impugnata dall'utente) di modelli 3D: il modello rappresenta Castel del Monte, un esempio di sito di interesse storico-artistico. A destra un esempio di viste multiple di un modello complesso della regione Puglia, realizzate per favorirne l'esplorazione e la comprensione da parte di utenti con disabilità visive.

**Prototipo ASSISI.** È stato sviluppato un sistema geograficamente distribuito per la ricomposizione virtuale assistita di frammenti lavorando sulla vela del S. Matteo, affrescata da Cimabue nella basilica Superiore di S. Francesco in Assisi e frammentata in più di 140.000 pezzi nel corso del terremoto avvenuto nel 1997. Il sistema permette a più operatori di cooperare al medesimo progetto di ricomposizione senza recarsi fisicamente ad Assisi. Il sistema riproduce un laboratorio virtuale che rende possibile lavorare usando lo stesso procedimento usato nel laboratorio fisico senza toccare

i frammenti. Lavorare virtualmente rende possibili diversi aiuti alla ricomposizione che sarebbero impossibili nella realtà. Inoltre un motore di ricerca basato sul contenuto delle immagini semplifica la selezione dei frammenti di maggiore interesse nell'imponente collezione di quelli disponibili. Il sistema è stato sviluppato e provato con la cooperazione dell'Istituto Centrale del Restauro ed è stato giudicato un aiuto utile nell'affrontare il problema ricorrente e generale di ricomporre frammenti.



Sulla sinistra la stazione multischermo sviluppata per il riassetto virtuale assistito di frammenti. Sulla destra l'architettura geograficamente distribuita del sistema che permette di cooperare allo stesso progetto di restauro da più sedi senza recarsi nel cantiere dove sono i frammenti reali.

#### 5. Sistema Intelligente di Sorveglianza di siti archeologici (Tombarolo).

L'Italia è ricca di siti archeologici ipogei che vengono assediati da tombaroli alla ricerca di oggetti di valore. A tal fine è stato sviluppato un sistema di sorveglianza basato su telecamere per rilevare e riconoscere atti di trafugamento e allertare chi di competenza. Il sistema acquisisce le immagini che vengono inviate ad una unità centrale di elaborazione. Utilizzando diversi moduli algoritmici, il sistema intelligente rileva le persone nella scena e analizza le loro attività. Se vengono riconosciute azioni illegali tipiche dei tombaroli, come testare il terreno con delle aste o scavare, il sistema invia un allarme.





Sensore di assetto e di visione per la determinazione di attività umane illegali (tombarolo).

- Romeo Remotely Operated Vehicle.** Il ROV Romeo è un veicolo sottomarino filoguidato in grado di trasportare dispositivi scientifici e tecnologici per lo studio dell'habitat bentico. Tra gli esempi applicativi ricordiamo i progetti Antarctic benthic Shuttle (2004) e Echofish (2005) finanziati dal Programma Nazionale di Ricerche in Antartide. Nel primo, il veicolo ha rilasciato e recuperato una camera bentica sul fondale marino al di sotto del pack ghiacciato, mentre nel secondo Romeo ha raccolto immagini video, fotografie e dati per la caratterizzazione dell'habitat.



7. **Charlie Unmanned Surface Vehicle.** Il catamarano autonomo Charlie è stato originariamente progettato, sviluppato ed utilizzato per il campionamento del microstrato superficiale marino e la raccolta di dati sull'interfaccia aria-mare in Antartide nel 2004. In seguito, è stato modificato per supportare attività di ricerca robotica sui veicoli autonomi orientata a valutare la possibilità di applicare questa tecnologia alla sorveglianza ed al monitoraggio costiero e portuale.



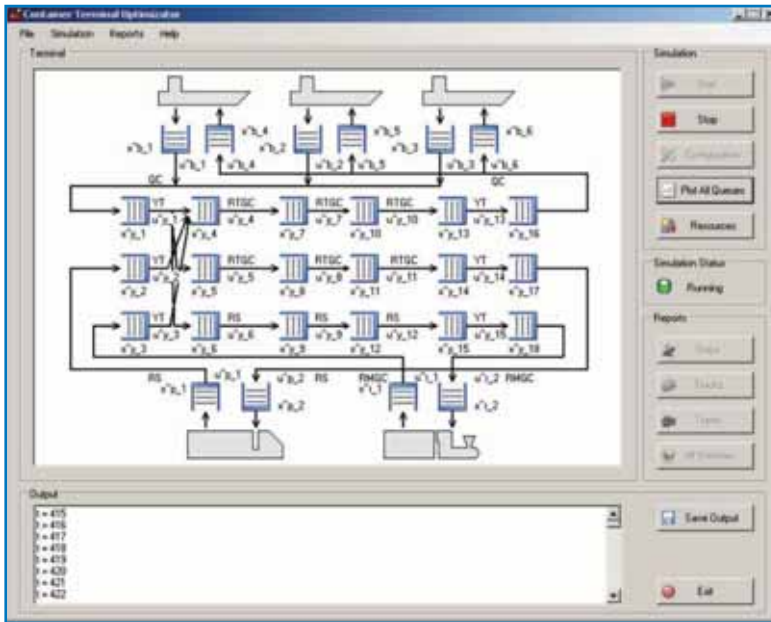




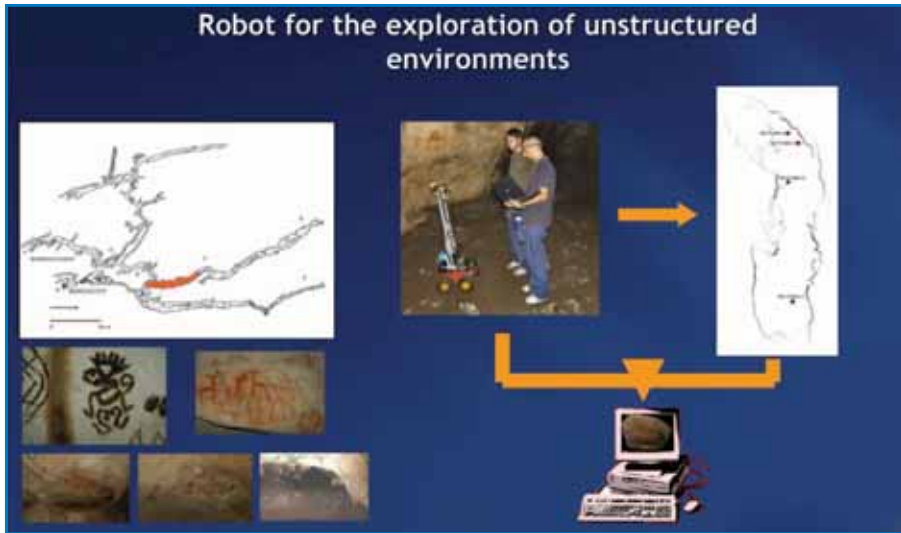
8. **ALANIS Unmanned Surface Vehicle.** Il veicolo autonomo di superficie ALANIS (Aluminium Autonomous Navigator for Intelligent Sampling) è orientato al monitoraggio delle aree costiere anche attraverso la messa a mare ed il recupero automatizzati di strumentazione scientifica quali sonde multi-parametriche e videocamere motorizzate. ALANIS ha consentito la realizzazione di un kit di conversione per trasformare un gommone tradizionale in un battello automatizzato a controllo remoto. Il veicolo è stato commissionato dal Parco Scientifico e Tecnologico della Liguria nel 2007.



9. **Decision Support System for Maritime Terminals.** Tool DSS per l'ottimizzazione del flusso di containers in terminali portuali, dotato di interfaccia grafica. Il sistema è in grado di calcolare dinamicamente direttive ottime da impartire alle macchine per la movimentazione all'interno del terminale (quay cranes, straddle carriers, ecc.) in modo da minimizzare i tempi di attesa dei vettori e i relativi costi per tutti gli attori. Può essere utilizzato (i) in tempo reale per l'allocazione ottima delle risorse e (ii) offline, per l'analisi e la pianificazione del terminale. In tale modo è possibile studiare a priori l'effetto, in termini di costi e di efficienza, di aggiungere o rimuovere risorse (ad es., gru, banchine, binari, ecc.).



10. **Robot per l'esplorazione di ambienti non strutturati (caso di studio: Grotta dei Cervi a Porto Badisco):** È stata sviluppata una piattaforma robotica mobile per l'esplorazione di ambienti non strutturati come per esempio siti archeologici non accessibili al pubblico. Il sistema robotico multisensoriale è in grado di navigare nell'ambiente e di acquisire dati visivi e laser, e di inviare informazioni ad una stazione remota. Una sessione sperimentale del sistema sviluppato è stata eseguita nella Grotta dei Cervi sita a Porto Badisco (Br). Tale sito è di grande rilevanza storica e artistica poiché conserva sulle sue pareti pitture risalenti all'era neolitica. Inoltre la grotta è accessibile solo da addetti ai lavori per la preservazione della stessa e per evitare danneggiamenti. Utilizzando il robot mobile è stato possibile esplorare una zona della grotta costruendone la mappa bidimensionale e ricostruendo modelli tridimensionali di alcune aree di particolare interesse.



Robot per l'esplorazione di ambienti non strutturati: ricostruzione di mappe 2D e 3D dell'ambiente (caso di Studio: Grotta dei Cervi a Porto Badisco).

- 11. Sistema di Sorveglianza Multisensoriale.** La sorveglianza di grandi aree, sia interne che esterne, richiede l'uso di opportuni sistemi multisensoriali che siano il giusto compromesso fra costi e affidabilità. Sensori inerziali sono stati utilizzati e assemblati per monitorare oggetti in movimento e intrusioni all'interno delle aree controllate. Questi sensori, nel caso in cui vengano rimossi dalle loro posizioni iniziali, inviano un allarme ad una unità di elaborazione centrale e allertano un sistema intelligente di telecamere per un'analisi più dettagliata di ciò che sta accadendo, riconoscendo i comportamenti umani ed eventuali attività illegali.



Veicoli mobili per la sorveglianza, l'esplorazione e il mapping di ambienti; Sistema intelligente per il monitoraggio dell'attenzione visiva di chi è alla guida.

12. **Micro-Robot per l'ispezione di zone di difficile accesso.** Al fine di sviluppare tecniche che migliorino l'affidabilità dell'ispezione di materiali compositi, è stata sviluppata una piattaforma robotica *ad hoc* per effettuare una ispezione di parti critiche come le box multispar di stabilizzatori orizzontali di aerei. Non esistono robot commerciali adatti a questo tipo di task. Di conseguenza un micro-robot è stato progettato appositamente per rispettare i vincoli (per es. dimensioni e sensori di bordo) che tale tipo di ispezione impone. Tale piattaforma è in grado di localizzarsi rispetto alla posizione del difetto e di analizzare in dettaglio le parti difettate utilizzando sensori a ultrasuono (Sviluppato per Alenia Aeronatica).



### Safety in Manufacturing Process

#### Mobile Robot for MultiSpar Box Inspection



**Research Topics:**

- Low-level communication and control functions
- Modeling of on-board sensors and actuators
- High-level functions:
  - Localization and navigation algorithms
  - Advanced inspection functions
  - User interfaces

- ✓ Inspection of critical parts
- ✓ Inspection of zones of difficult access
- ✓ Process Automation

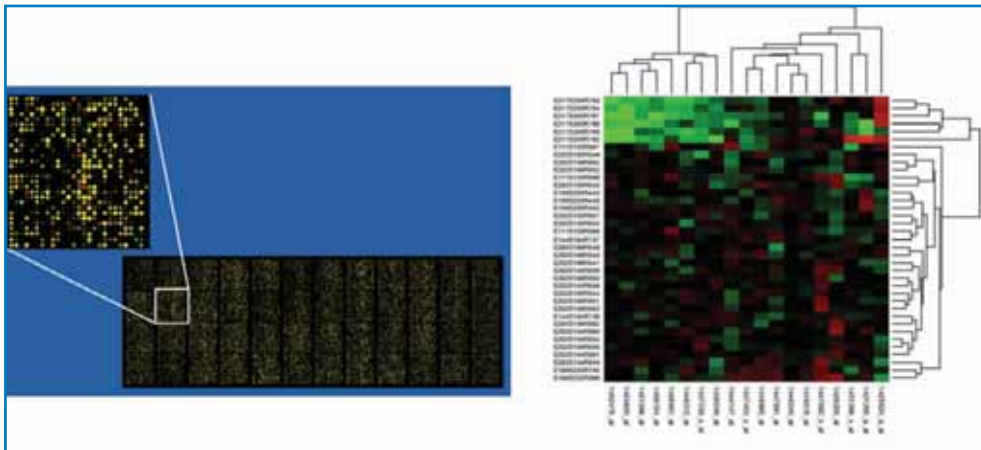


**MultiSpar Box**



Micro-Robot per l'ispezione di parti critiche di difficile accesso.

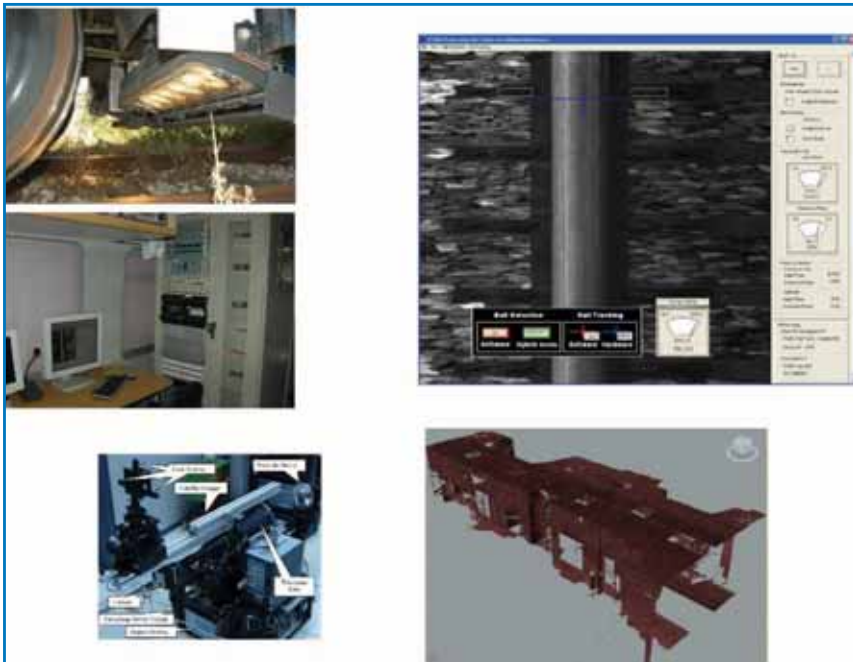
**13. Gene List Analysis with Prediction Accuracy (GLAPA).** Sono stati realizzati modelli computazionali per l'analisi statistica di dati di genomica, proteomica e polimorfismi, generati da sistemi ad alto rendimento, per lo studio delle basi genetiche di patologie complesse e multifattoriali. Le metodiche sviluppate sono in grado di determinare singoli marcatori come anche gruppi di geni cooperanti in pathway e processi biologici associati alle patologie analizzate e di quantificarne il livello di significatività statistica. Inoltre, sono state messe a punto metodiche per l'individuazione di indicatori biologici predittivi dell'insorgenza e sviluppo delle patologie esaminate. Tali modelli tra cui Gene List Analysis with Prediction Accuracy (GLAPA) and RS-SNP sono attualmente utilizzati per lo studio di neoplasie dell'apparato gastro-intestinale, della progressione del tumore del colon e dello studio di malattie rare come il morbo di Crohn.



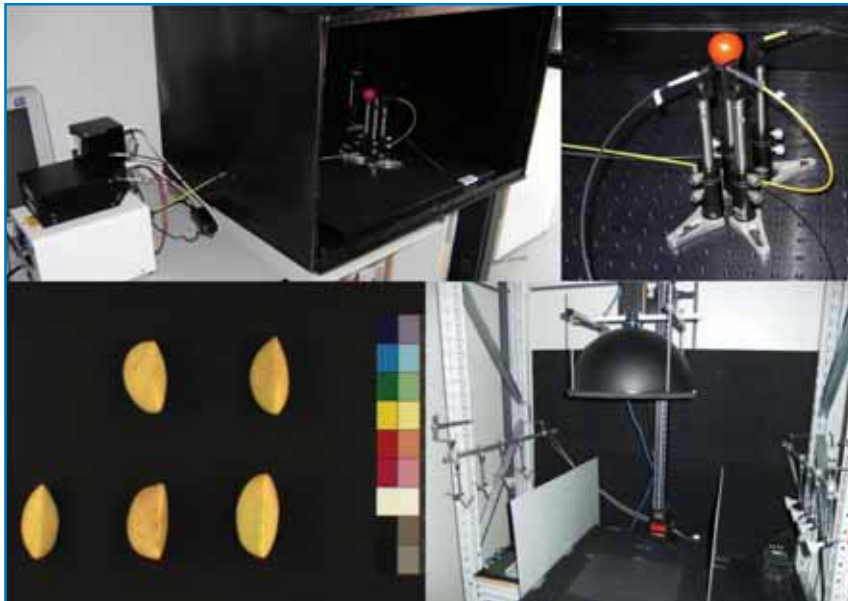
La figura a sinistra mostra i livelli di espressione dei geni in un tessuto acquisiti attraverso uno scanner ottico. Con tale approccio è possibile ottenere simultaneamente i livelli di espressione di decine di migliaia di geni. La figura a destra indica le risposte geniche utili per la classificazione di gruppi di soggetti sani ed affetti della patologia in esame.

**14. Sistema di Monitoraggio Infrastrutture ferroviarie.** Tale attività è una delle attività strategiche di ricerca dell'istituto. Lo scopo è quello di studiare, progettare e realizzare prototipi di sistemi intelligenti, da installare su treni diagnostici, per rilevare e classificare automaticamente anomalie dell'infrastruttura. Molti dei risultati ottenuti hanno avuto ricadute industriali, come le soluzioni installate sul treno "Archimede" delle RFI, per il monitoraggio delle linee ferroviarie italiane, realizzato dalla MerMec S.p.a. (Monopoli (BA)). Le soluzioni studiate ed in corso di evoluzione, permettono di ispezionare: binari, linea aerea, pietrisco, fermi di attacco, traversine, ecc. con una risoluzione di 1 mm ad una velocità di marcia di 200 km/h. L'attività corrente, sta investigando sulla possibilità di realizzare un sistema di ricostruzione 3D omnidirezionale (360°) che permetterebbe un'analisi più dettagliata e con una prospettiva non ancora analizzata dell'infrastruttura, attraverso l'interpretazione di dati tridimensionali.





- 15. Sistema di analisi multispettrale per l'industria agroalimentare** Tale attività, condotta in collaborazione con l'Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari del CNR, sta studiando la possibilità di utilizzare immagini a colori calibrate e segnali multi spettrali per la valutazione non distruttiva dello stato di prodotti agroalimentari. L'esigenza nasce dalla crescente necessità di inserire nella filiera alimentare delle metodologie che permettano di valutare sull'intera produzione il livello di qualità, funzionale a permetterne le migliori scelte di conservazione e trasporto e le migliori collocazioni di vendita rispondendo alle precise esigenze merceologiche dei diversi segmenti e tipologie di mercato. L'attività ha permesso di mettere a punto due stazioni destinate ad acquisire rispettivamente segnali multi spettrali in riflessione e trasmissione e immagini a colori calibrate. La collaborazione, tuttora in corso, ha già individuato alcune tipologie di analisi di immagini che promettono di consentire la valutazione del livello di vendibilità e di edibilità di prodotti di IV gamma.



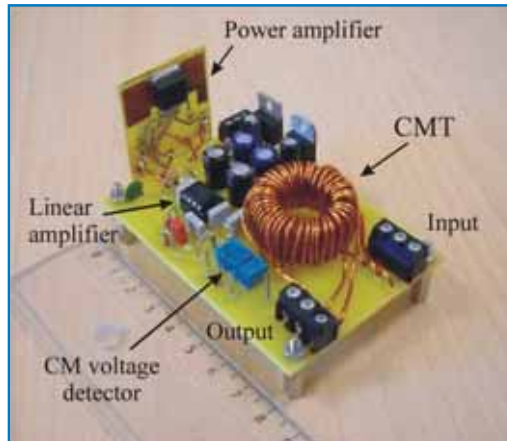
In alto la stazione per l'acquisizione di segnali multispettrali attraverso due minispettrometri che insieme coprono l'intervallo da 300 a 1700 nm. In basso un'immagine di prodotti agroalimentari di IV gamma acquisita con la stazione per immagini a colori calibrate mostrata sulla destra con telecamera 3CCD ad alta risoluzione ed illuminazione alogena o a led con diffusore per ridurre l'auto-ombreggiatura.

**16. Filtri Attivi EMI.** L'uso massiccio dell'elettronica di potenza negli azionamenti elettrici ha come conseguenza un incremento delle emissioni elettromagnetiche (EMI, ElectroMagnetic Interference) e una riduzione dell'affidabilità dell'azionamento specie nell'impiego di convertitori PWM (Pulse Width Modulation) che commutano ad alta frequenza. Per far fronte a tali problematiche L'ISSIA-CNR, UOS di Palermo ha sviluppato diverse tecniche di attenuazione delle EMI in azionamenti basate sull'utilizzo di circuiti di compensazione attiva. Sono stati messi a punto diversi prototipi di filtri attivi EMI, per la cancellazione della tensione di modo comune all'uscita di inverter PWM, basati sia schemi di tipo feed-forward sia di tipo feedback. Nel primo si anticipa l'azione del disturbo costruendone uno da iniettare, uguale ma di segno opposto; questa soluzione è utile per azionamenti industriali alimentati da rete elettrica. Nel secondo il disturbo è minimizzato tramite un circuito con





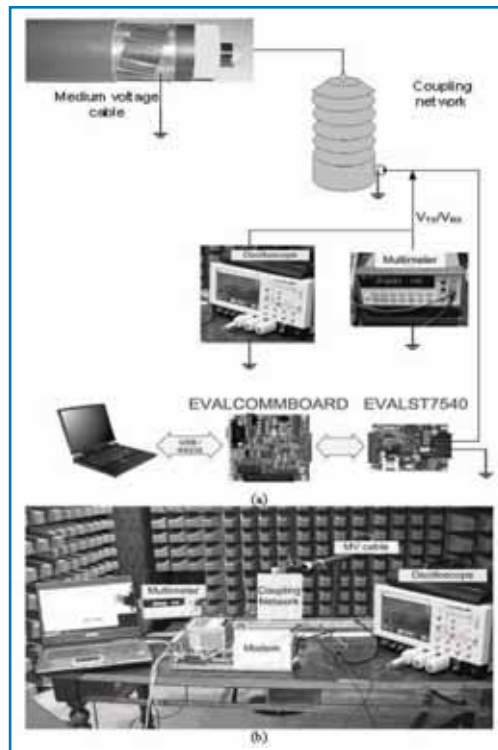
retroazione; questa soluzione si può implementare in azionamenti alimentati a bassa tensione e per applicazioni automotive ed è caratterizzata da circuiti estremamente compatti, come mostrato nella seguente figura.



- 17. Sistemi di generazione elettrica da fonti rinnovabili.** L'utilizzo di fonti rinnovabili e non inquinanti per la generazione di energia elettrica richiede la conversione della stessa energia prodotta affinché possa essere adeguatamente sfruttata dall'utenza o dal carico. L'ottimizzazione del processo di conversione si consegue attraverso opportuni circuiti e tecniche di controllo. L'ISSIA-CNR, UOS di Palermo ha sviluppato e implementato sperimentalmente emulatori di sorgenti rinnovabili (generatori eolici, fotovoltaici, Fuel Cell) per la sperimentazione in laboratorio. Sono stati inoltre messi a punto sistemi per il condizionamento della potenza (convertitori DC/DC e DC/AC) per il collegamento della sorgente rinnovabile al carico o alla rete monofase e trifase. Dei sistemi descritti sono state sviluppate tecniche di controllo con algoritmi innovativi e tecniche di massimizzazione della potenza generata (MPPT Maximum Power Point Tracking), basate sia su algoritmi del tipo Perturb & Observe (P&O) che su reti neurali artificiali. In figura è mostrato un particolare del sistema di generazione eolica in cui un motore a magneti permanenti (PMSM) è utilizzato per emulare la caratteristica meccanica della turbina eolica, una macchina asincrona è utilizzata come generatore; l'MPPT è ottenuta con la rete neurale Growing Neural Gas (GNG).



- 18. Sistema di comunicazione su cavi di Media Tensione in tecnologia Power Line Communication per la gestione intelligente delle reti elettriche in presenza di sorgenti di generazione distribuita.** Nell'ambito di questa ricerca si è proceduto nello studio e caratterizzazione degli elementi costituenti il canale di trasmissione nei sistemi di media tensione. In particolare sono stati analizzati i cavi di media tensione, i trasformatori MT/bt ed i sistemi di accoppiamento. Si è inoltre progettato e sviluppato un nuovo sistema di accoppiamento a basso costo per l'iniezione di segnali sulle linee di media tensione. Sono state infine condotte campagne di misura su una rete reale di media tensione nell'isola di Favignana verificando le prestazioni del sistema realizzato. E' stato quindi realizzato un modello circuitale sviluppato in ambiente Simulink per la simulazione di una rete di media tensione completa di tutti i suoi componenti ed in grado di valutare le prestazioni dei sistemi PLC. Infine, si veda la figura, si è realizzato un prototipo di rete di accoppiamento per l'iniezione di segnali nelle linee MT di basso costo intrinseco e di facile installazione in collaborazione con l'Università degli Studi di Palermo – Dipartimento Ingegneria Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni (DIEET) e con ST Microelectronics – Agrate (MI).



Rappresentazione schematica (a) e immagine (b) del banco di prova per la caratterizzazione di un sistema di accoppiamento e di trasmissione di segnali su linee di Media Tensione sfruttando la tecnologia Power Line Communication.



## **Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici - ISTECC**

Alida Bellosi

### **Cenni Storici**

L'Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici - ISTECC-CNR, nasce nel 1965 a Faenza, definita, per tradizione culturale, Città delle Ceramiche. Il suo nome, nella versione francese Faïence, ha infatti qualificato nei secoli un prodotto artistico unico e di prestigio.

Faenza, culla della tradizione d'arte ceramica, vuole anche testimoniare il proprio primato nel campo della cultura scientifica, della ricerca, della tecnologia e dell'innovazione. Obiettivo è coniugare Arte e Scienza, nel contesto della memoria storica che caratterizza la città.

Il richiamo a Torricelli è di obbligo, perché a questo scienziato si lega l'origine dell'ISTECC, è doveroso un tributo a una grande mente strettamente legata alla città di Faenza, le cui scoperte relative all'esistenza del vuoto e alla pressione atmosferica hanno segnato una svolta nelle conoscenze scientifiche dell'epoca moderna. Il filo che da Torricelli conduce all'ISTECC si snoda attraverso la grande esposizione torricelliana che ebbe luogo a Faenza nel 1908 per celebrare il trecentesimo anniversario della nascita del matematico. Questo evento, grazie alle donazioni degli espositori, per opera del primo e grande studioso di ceramiche antiche Gaetano Ballardini, segnò la nascita nel 1912 del Museo Internazionale delle Ceramiche, che ancora oggi si qualifica per la completezza delle collezioni ceramiche dal precolombiano ai nostri giorni come uno dei primi al mondo. Negli anni successivi lo stesso Ballardini fondò anche la Scuola d'Arte per la Ceramica, il più prestigioso ed antico istituto italiano di istruzione superiore, specificatamente dedicato alla scienza e tecnologia delle ceramiche artistiche ed industriali a base argillosa.

Proprio all'interno dell'Istituto Statale d'Arte per la Ceramica, nel 1965, ha origine la storia dell'attuale ISTECC, come dal Gruppo di Ricerca, sotto la direzione del fondatore, il Dr. Tonito Emiliani, al tempo anche Direttore dell'Istituto d'Arte. Nel 1970 il Dr. Emiliani condusse l'espansione del Gruppo di Ricerca a Centro di Ricerca. Nel 1975 il Centro di Ricerca fu ampliato a Laboratorio cui fu assegnata una sede propria, parte di quella attuale. Nel 1980 il Laboratorio fu trasformato in Istituto, denominato Istituto di Ricerche Tecnologiche per



la Ceramica - IRTEC, nome che è rimasto fino al completamento della recente riforma del CNR, all'inizio del 2002.

Nel 2002 l'Istituto, a seguito di riforma del CNR, è diventato "Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici"- ISTECC e ha acquisito una Unità distaccata a Torino, presso l'Area di Ricerca del CNR, dedicata alla Lavorazione dei Materiali.

Sulla base delle esigenze iniziali, l'Istituto fu indirizzato allo studio dei ceramici tradizionali. Nel proprio processo di crescita, recependo il modificarsi degli interessi scientifici a livello internazionale e, tenuto conto della situazione nazionale, ha destinato sempre crescenti risorse al settore dei ceramici avanzati.

Nel 2005, a seguito della riforma e strutturazione dipartimentale del CNR, l'ISTECC afferisce al Dipartimento "Sistemi di Produzione", e partecipa con propri gruppi di ricerca ai Dipartimenti: "Patrimonio Culturale", "Medicina" ed "Energia e Trasporti".

### La missione attuale dell'ISTECC

Attualmente, l'ISTECC si configura come l'unica struttura di ricerca del CNR e la più grande struttura italiana operante nel paese con programmazione poliennale specificamente indirizzata allo studio globale dei materiali ceramici.

Le attività dell'Istituto, coerentemente alla missione del CNR, riguardano attività di ricerca, iniziative di sostegno alla formazione, alla valorizzazione e disseminazione dei risultati.

Il Personale consta di 40 dipendenti di ruolo CNR e altre 15-20 unità di personale temporaneo a vario titolo: assegnisti, contrattisti, ospiti stranieri, dottorandi, studenti in tesi.

Le attività di ricerca sono indirizzate all'innovazione di materiali e processi in risposta alle emergenti esigenze del comparto industriale, scientifico e culturale, per i vari settori applicativi. Gli argomenti spaziano dallo studio di base e caratterizzazione di materie prime e di materiali, allo sviluppo ed innovazione di processi di produzione.

Scopo degli studi è il controllo di proprietà e prestazioni di dispositivi ceramici tramite il controllo del processo e l'ingegnerizzazione dei materiali per specifiche applicazioni nei settori dei:

- ceramici avanzati (applicazioni strutturali, ingegneristiche, elettriche/elettroniche, optoelettroniche, energetiche, aerospaziali, difesa, biomedicali),
- ceramici tradizionali (piastrelle, laterizi, sanitari, refrattari, smalti e pigmenti),
- beni culturali (archeometria, conservazione e restauro).

Le competenze acquisite sui processi trovano la loro massima espressione nella produzione di forme prototipali, obbiettivi di progetti di ricerca applicata e sviluppo

industriale (a titolo esemplificativo: componenti per l'aerospazio e la meccanica, dispositivi per la generazione e l'accumulo di energia, sensoristica ed attuatori, sistemi con funzioni ottiche ed elettromagnetiche, protesi strutturali e biorassorbibili, etc.).

## **Le attività presso CNR-ISTEK, Faenza**

È proprio di ISTEK affrontare lo studio dei materiali associando alle conoscenze di base quelle tecnologiche per lo sviluppo di materiali, quindi dalle materie prime alle applicazioni, includendo le caratterizzazioni microstrutturali, chimico-fisiche, funzionali, termo-meccaniche. Le fasi di sviluppo processi e caratterizzazioni di materie prime, semilavorati o prodotti finiti sono di seguiti sintetizzati:

- scienza di base dei materiali,
- sintesi e caratterizzazione di polveri e relativo trattamento di macinazione e miscelazione,
- sviluppo e caratterizzazione di semilavorati e di materiali porosi o densi,
- tecnologie di processo (formatura e sinterizzazione) per la realizzazione di architetture e tessiture complesse, quali per es.: porosità a gradiente, multistrato multi-composizionali e materiali e compositi (compositi particolati o con fibre e whiskers) compositi metallo-ceramica e ceramica-fasi organiche,
- processi di trattamenti superficiali per funzionalizzazione delle superfici attraverso processi chimici o fisici,
- tecnologie per realizzare giunzioni tra materiali dissimili,
- tecniche di rivestimento o riporto per serigrafia, sol gel, sputtering,
- analisi delle caratteristiche microstrutturali di superficie e di bulk,
- analisi delle proprietà meccaniche: tenacità alla frattura, durezza, resistenza meccanica,
- studio delle proprietà tribologiche,
- misura di proprietà elettriche,
- valutazione della resistenza in ambienti corrosivi, ossidanti, alte temperature, etc.



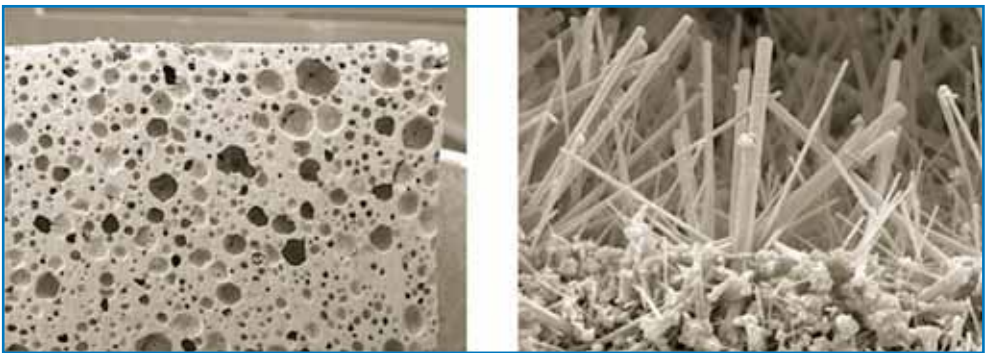
## Materiali oggetto di studio e finalità applicative

I principali materiali oggetto di studio sono classificabili nelle seguenti categorie:

Bioceramici biorassorbibili: materiali e compositi organico-inorganico per applicazioni nella chirurgia rigenerativa. La componente ceramica è a base di idrossiapatite. I materiali sono in grado di regolare la crescita delle trabecole ossee nella porosità e gradualmente nel tempo di scomparire mentre l'osso si forma e cresce.

Bioceramici inerti: ceramici e compositi di nuova generazione (a base di allumina, zirconia, nitrato di silicio) per protesi strutturali soggette a carichi meccanici ed usura, fissature per parti ossee e dello scheletro. Tecnologie per la produzione di forme molto complesse ed elevate caratteristiche di tolleranze dimensionali e proprietà superficiali specifiche. Funzionalizzazione delle superfici mediante biovetri o trattamenti chimici e fisici.

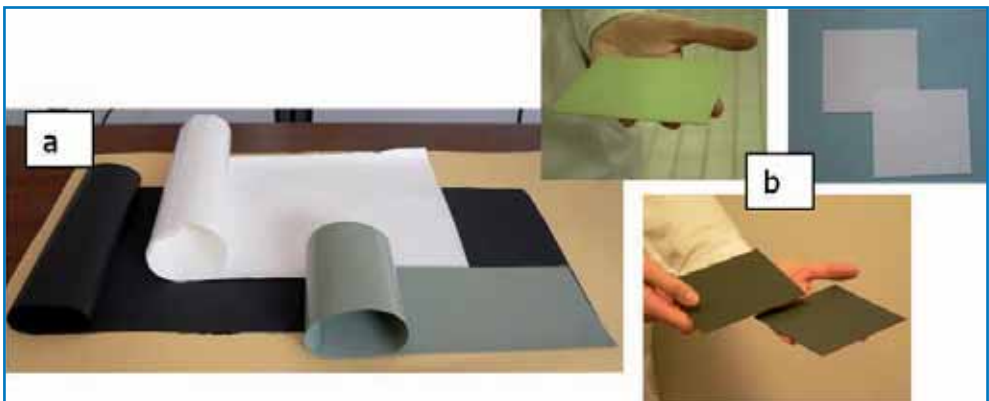
Ceramici strutturali con avanzate proprietà tribologiche e antiusura in ogni tipo di condizione ambientale (liquidi corrosivi e non, carichi meccanici, atmosfere corrosive e non) etc. Materiali: ossidi (allumina, zirconia, magnesia e relativi compositi), nitrato di silicio, nitrato di alluminio, carburo di silicio, nitrato di titanio, carburo di titanio, etc. Sviluppo di architetture complesse, dense, a gradiente o porose (Fig. 1).



*Fig. 1:* Struttura porosa ottenuta da schiume o spugne come impiego nella filtrazione di liquidi, di gas, di metalli fusi; le proprietà e le prestazioni dipendono dal materiale ceramico scelto. Con le tecniche più innovative si possono strutturare le pareti interne dei pori in modo molto complesso, come nella fotografia di destra, in funzione dei requisiti che le applicazioni richiedono.

Ceramici ultrarefrattari (con punti di fusione da 3000 a 4000°C) per applicazioni industriali, aerospazio, propulsione, nuovi sistemi energetici ad assorbimento solare, etc. Materiali: boruri e carburi di zirconio, afnio, tantalio e relativi composti con carburo di silicio in particelle o fibre corte.

Ceramici per applicazioni energetiche: celle fotovoltaiche a base di ossido di titanio nanometrico, celle SOFC, assorbitori di radiazione solare. (Un esempio di componenti ceramici per celle ad ossido solido è raffigurato in Fig. 2.)



*Fig. 2:* L'aggiunta di componenti organici alle polveri ceramiche permette l'ottenimento di nastri flessibili (a) che possono essere tagliati con i comuni utensili da taglio e (dopo trattamento termico) permettono di ottenere substrati di grande area e piccolo spessore. In b) sono presentati un anodo, dei catodi e degli elettroliti per celle a combustibile ad ossido solido, i dispositivi che permettono di convertire l'energia chimica di un combustibile e un comburente in energia elettrica (Progetti in collaborazione con il Ministero per lo Sviluppo Economico e con Pirelli Labs).

Ceramici "intelligenti" per sensori, attuatori, dispositivi ecografici, antivibrazione, etc. Materiali: ceramici piezoelettrici. (Esempi di sensori e trasduttori in Fig. 3.)



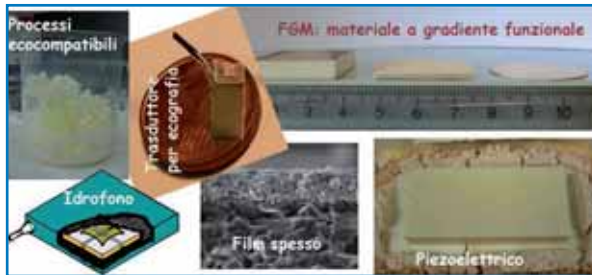


Fig. 3: Materiali e componenti piezoelettrici vengono prodotti per applicazioni come sensori (idrofono), trasduttori (sonda per ecografia), attuatori, dalla sintesi delle polveri (Azione COST 539) alla realizzazione del dispositivo. Sono stati sviluppati materiali porosi e a gradiente di porosità per semplificare i processi e vengono diversificate le composizioni per avere materiali più ecocompatibili (Progetto Europeo POLECER). L'ottimizzazione dei processi attraverso la caratterizzazione reologica delle sospensioni, ad esempio per produrre film spessi, è stata oggetto del progetto europeo ADOPTIC.

Sensori nanostrutturati per controllo ambientale e dell'abitacolo delle auto (Fig. 4).

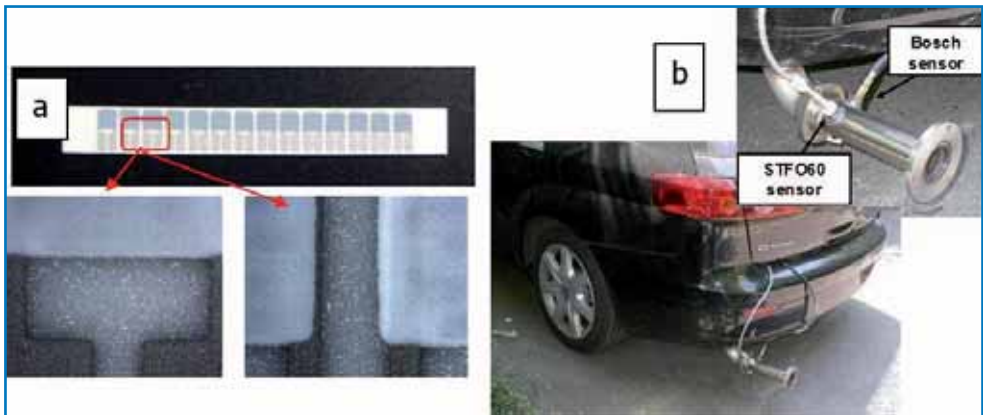
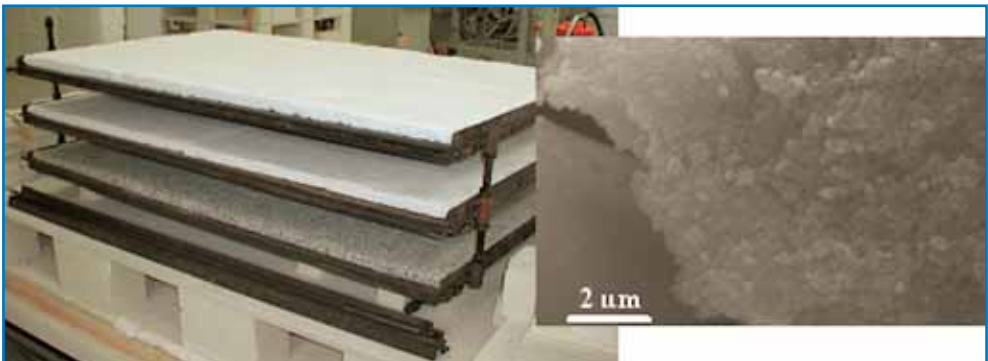


Fig. 4: Sensori di gas per vano motore (a). Il controllo della miscela di combustione è un parametro chiave per l'ottenimento di motori a scoppio ad alta efficienza. Sensori prodotti per serigrafia con polveri nanometriche permettono la realizzazione di dispositivi altamente sensibili. In b) il sensore realizzato viene provato in condizioni reali e confrontato con una sonda commerciale Bosch. (Progetto in collaborazione con Centro Ricerche FIAT).

Ceramici chimicamente legati, che possono essere prodotti senza i trattamenti termici ad elevate temperature, utili anche nel caso in cui sia necessario assemblare parti metalliche con ceramici. La rilevanza di questi processi sta nel consolidamento senza consumo di energia in quanto non sono necessari i trattamenti termici di sinterizzazione ad elevata temperatura, con conseguente risparmio energetico e rispetto dell' ambiente. In Fig. 5 un esempio di pannelli di grandi dimensioni in composito ultraleggero.



*Fig. 5:* Pannelli in materiale ultraleggero composito a base di ceramico legato per via chimica di tipo geopolimerico, ovvero senza sinterizzazione ad elevata temperatura: il ceramico, sotto forma di nano precipitati geopolimerici (nell'ingrandimento particolare della microstruttura) formati durante la reazione chimica, funge da collante per le fibre. Questi materiali, che sono di estremo interesse per il basso consumo energetico relativo alla loro produzione e per l'impiego come coibentanti termici ed antifucoco, sono stati oggetto di studio per aziende varie tra cui il CSM (Centro Sviluppo Materiali).

Sviluppo di processi per trattamenti funzionalizzanti delle superfici (piastrelle) per scopi fotovoltaici, autopulenti, antimacchia, antibatterico, per conferire caratteristiche idrofiliche o idrofobiche, etc.

Materiali innovativi per l'edilizia ed usi industriali (alcuni esempi in Fig. 6).

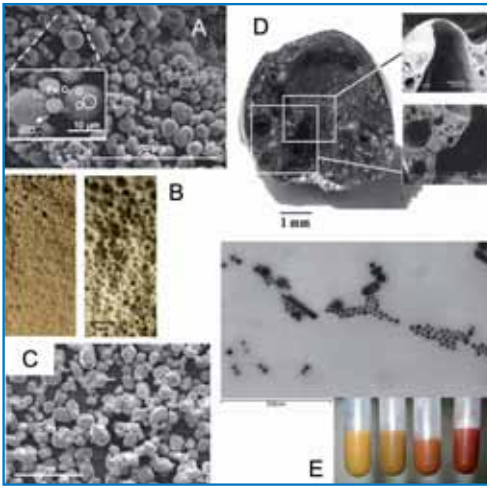
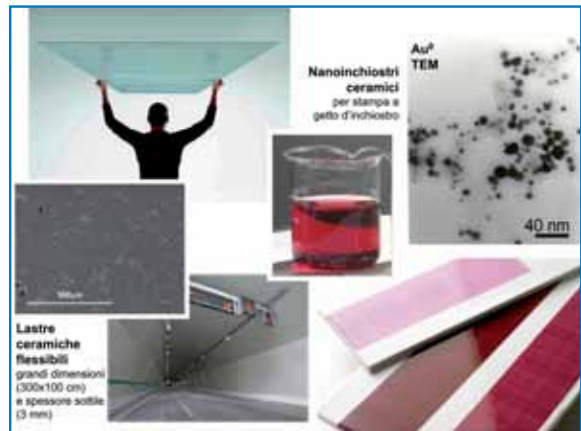


Fig. 6: Nuovi processi per la produzione di materiali innovativi per l'edilizia e gli usi industriali: pigmenti ceramici occlusi mediante eterocoagulazione-atomizzazione (A), piastrelle a bassa densità per impieghi come isolanti (B), nuovi pigmenti ceramici (C), aggregati leggeri da zeoliti e residui industriali (D), nanoparticelle metalliche, leghe e sistemi core-shell (E).

Ceramizzazione dei tessuti attraverso processi di impregnazione da nanosols per rendere i tessuti autopulenti, antimacchia, antibatterici.

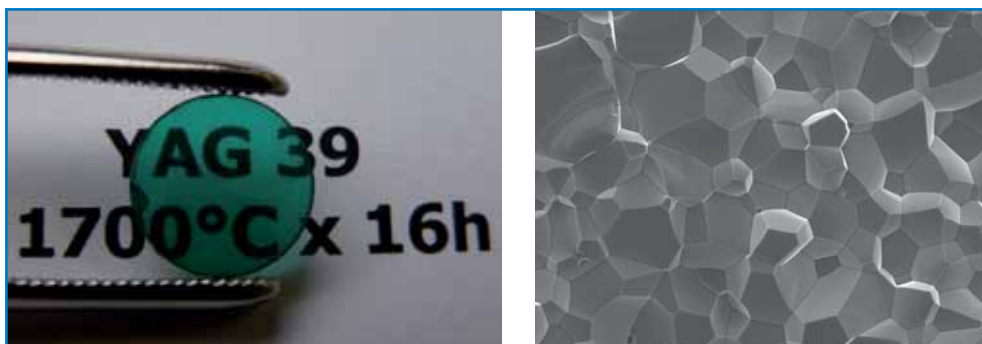
Sintesi di nanoparticelle di metalli nobili (a base di oro, argento, rame) per processi di catalisi nelle reazioni di idrogenazione e ossidazione, per impieghi negli inchiostri per stampante (per superfici ceramiche, tessuti, plastica, vetro, etc.) (Fig. 7).

Fig. 7: Esempi di sviluppo, in stretta collaborazione con l'industria, di prodotti e processi quali sospensioni nanometriche di pigmenti ceramici idonee per l'applicazione mediante stampa a getto d'inchiostro oppure lastre ceramiche di grandi dimensioni e spessore di appena 3 mm, dotate di sufficiente flessibilità per l'applicazione a rivestimento di gallerie.



Produzione di nanopolveri ad effetto catalitico a partire da processi chimici innovativi, con elevato controllo delle proprietà e delle funzioni.

Sviluppo di ceramici trasparenti per applicazioni laser, per finestre elettromagnetiche selettive (altamente protettive e resistenti all'impatto). Materiali: AION, Magnesio spinello, YAG (Fig. 8).



*Fig. 8:* Le potenzialità dei materiali ceramici trasparenti come sorgenti di radiazioni laser, specialmente di alta potenza, sono assai interessanti. Buoni risultati sono già conseguiti dall'ISTEC nell'ambito del Progetto Europeo di cooperazione "NOVIGLAS", con la produzione di materiale ceramico trasparente a base di YAG (alluminato di ittrio) drogato con neodimio come elemento attivo: nella foto a sinistra un disco trasparente e a destra un esempio di microstruttura fotografata al microscopio elettronico a scansione. La ricerca si estenderà ad altre composizioni (Yb:YAG), in particolare nell'ambito del progetto europeo HiPER (2008-2020) relativo alla fusione nucleare.

Sintesi di nanopigmenti ceramici (nanopolveri o sospensioni) per una varietà di applicazioni.

## Attrezzature

La capacità di ricerca e sviluppo dell'ISTEC è resa possibile da laboratori attrezzati con apparecchiature di processo e con strumentazione per il controllo della microstruttura e delle proprietà termo-meccaniche e chimico-fisiche dei prodotti. Le principali dotazioni di laboratorio vengono elencate con riferimento al loro impiego:



**Sintesi e trattamento di polveri:** mulini per polveri e colloidi, micronizzatori, frantoi a mascelle, attritore, essiccatore a spruzzo, giragiare, miscelatori, sonda ad ultrasuoni, liofilizzatore, stufe, evaporatore rotante, etc.

**Tecnologie di formatura:** estrusore a freddo, stampaggio ad iniezione a bassa pressione, sistemi di colaggio su stampi di gesso, colaggio in stampi sotto pressione, banco di colatura su nastro, presse lineari, pressa isostatica a freddo, trafilè.

**Tecnologie di rivestimento:** elettroforesi, sputtering, serigrafia.

**Trattamenti termici:** forni in aria a varie temperature (1000, 1300, 1700, 1800°C), forno in atmosfera inerte 2000°C, forno sotto pressione di gas inerte 2200°C e 10 MPa, pressa a caldo sotto vuoto 1900°C 30 MPa, forno di sinterizzazione sotto alto vuoto 1800°C.

**Caratterizzazione microstrutturale, morfologica e chimica:** microscopi ottici e stereoscopici, microscopio elettronico a scansione con microsonda a dispersione di energia, diffrattometri RX con camera a bassa e ad alta temperatura, spettrofotometro ad assorbimento atomico, spettrometro ICP-AES, sedimentografi, porosimetro, misuratori di superficie specifica.

**Termoanalisi:** microscopio riscaldante, analisi termica ponderale e termica differenziale (1600°C), analisi dilatometrica (1600°C).

**Reologia e studio sistemi dispersi:** viscosimetro, reometro a torsione, apparecchiatura per la misura della mobilità elettroforetica, acusto-sizer.

**Proprietà meccaniche e tribologiche:** macchine universali per la misura della resistenza alla flessione e alla compressione sia a temperatura ambiente che ad alta temperatura (fino a 1500°C), macchine per la misura della fatica statica ad alta temperatura (fino a 1500°C), apparati per la valutazione della tenacità alla frattura e per la misura del modulo di Young dinamico attraverso l'identificazione della frequenza di risonanza, micro e macro-durometri, nanoindenter, tribometro per la valutazione della resistenza ad usura, apparato per la determinazione della resistenza all'urto termico.

**Proprietà elettriche:** impedenza, resistenza superficiale e di volume, polarizzatore per materiali piezoelettrici.

## Alcuni risultati rilevanti

Le peculiarità che consentono all'ISTECC di assumere ruoli di protagonista nei progetti integrati co-finanziati derivano dalla sua unicità nel panorama della ricerca italiana, quella del "manufacturing" di componenti ceramici: sviluppare processi di sintesi e produzione e fornire prototipi e componenti funzionali agli obiettivi finali dei progetti stessi.

Lo scenario di riferimento delineato privilegia, al momento, i seguenti settori:

- energia (dalla produzione e recupero di energia ai trasporti ed aerospazio),
- ambiente (controllo delle emissioni, processi e materiali "verdi"),
- nuovi materiali da costruzione (dai materiali ultraleggeri ed ultra-isolanti alle piastrelle funzionalizzate, a componenti che rispondono alle più recenti normative sul risparmio energetico in edilizia, etc.),
- salute (biomateriali, biotecnologie, difesa),
- beni culturali: prodotti innovativi per la conservazione e restauro del patrimonio ceramico, lapideo e architettonico.

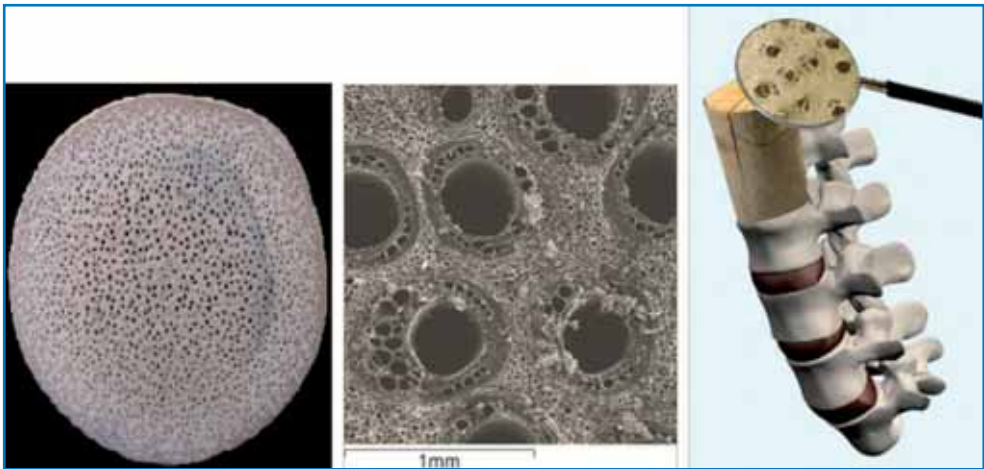
In tutti questi settori si stanno sperimentando, nell'ultimo periodo, potenzialità e prospettive di nano-tecnologie applicate ai materiali ceramici ed ibridi, tecnologie d'avanguardia e flessibili, particolarmente per il controllo dei processi a livello di nanostrutture. Alcuni esempi: sintesi nanopolveri, processi per produrre nanostrutture da metodi di "chimica dolce", ceramizzazione dei tessuti, sistemi di produzione veloci di forme complesse per nicchie di mercato crescenti, nuove tecnologie di sinterizzazione e di lavorazione dei materiali, sintesi di prodotti con nuovi requisiti funzionali, nei campi di applicazioni ottiche ed elettromagnetiche, controllo delle superfici su esigenze dettate dall'applicazione. Particolarmente attraenti per la loro modernità sono i processi innovativi di sintesi "*morphosynthesis*" e "*template-oriented-synthesis*" che seguono le nuove correnti del "*Learning from Nature*".

### Risultati di eccellenza conseguiti (alcuni esempi recenti):

- Attività sui biomateriali, che vedono l'Istituto leader di tre cordate europee NMP in corso del FP-6 ed FP-7 e di 1 FIRB Nazionale, oltre ai ruoli di partner in altri progetti.
- Nel 2009 i risultati di un progetto dell'ISTECC "Processi di bio-ceramizzazione da legno" (Fig. 9) sono stati inseriti dalla rivista TIME tra le 50 scoperte più importanti del mondo. Questo ha aperto le porte ad un'ampia attenzione da parte dei media



(oltre a trasmissioni RAI, articoli sui principali quotidiani, tra cui La Stampa, Il Messaggero, Corriere della Sera, sulla stampa Britannica e diverse trasmissioni della BBC, Discovery Channel, Australia Broadcasting, South Africa News).



*Fig. 9:* Sinistra: Sezione di legno di rattan utilizzato per ottenere sostituti ossei biomorfici dalla struttura gerarchicamente organizzata.  
Centro: Dettaglio di legno di rattan dopo ceramizzazione. Si noti il perfetto mantenimento della microstruttura originale del legno di partenza.  
Destra: Esempio di applicazione del materiale sviluppato.

- Attività su compositi innovativi ultrarefrattari, come barriere termiche per applicazioni aerospaziali, che hanno guadagnato un particolare apprezzamento da parte della comunità internazionale del settore (sono stati oggetto di "curiosità" anche su quotidiani locali e nazionali) ed hanno attirato l'attenzione della NASA e dell'US-Air Force. Una delegazione ISTEC è stata invitata presso le sedi NASA a Cleveland ed AirForce a Dayton, sono attivi contratti con Air Force Office of Scientific Research (AFOSR) e sono in corso accordi per un progetto comune di lungo termine. I risultati più originali concernono la produzione di materiali con proprietà superiori rispetto allo stato dell'arte e il controllo del processo attraverso l'analisi della microstruttura (Fig. 10).



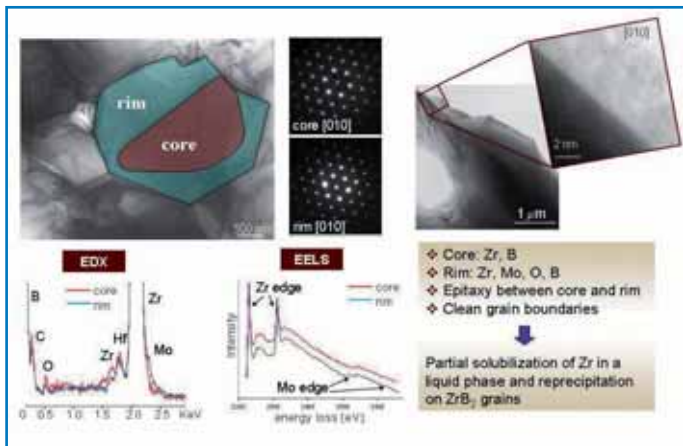


Fig. 10: Esempio della microstruttura di soluzioni solide nella struttura del boruro di zirconio, ottenuta con tecniche HREM, EELS, diffrazione elettronica. I risultati hanno consentito di definire i meccanismi di sinterizzazione ed il ruolo degli additivi per il controllo del processo.

- Attività sullo sviluppo di nanotecnologie per il trattamento antimacchia, antibatterico di superfici di tessuti: tale progetto è risultato primo al concorso "Start CUP-CNR-Sole 24 ore" nel 2010. Lo studio coinvolge sia la sintesi di varie tipologie di nano particelle funzionalizzanti nonché lo sviluppo di tecnologie per l'applicazione delle stesse ai materiali di interesse.
- Attività sullo sviluppo di ceramici trasparenti per impieghi come sorgente laser di potenza oppure come LED di nuova generazione; quest'ultimo progetto si è classificato secondo nel concorso su citato.
- Sviluppo di tessiture superficiali di piastrelle che conferiscono elevata idrofobicità. L'invenzione è oggetto di predisposizione di brevetto.





## L'evoluzione dell'ISTEC e la rete di relazioni

### ISTEC-sede di Faenza

Il processo di crescita dell'Istituto, stimolato negli anni dalla partecipazione a progetti nazionali ed internazionali e dal confronto con la comunità scientifica mondiale, ha rafforzato le competenze scientifiche e tecnologiche sulle varie classi dei materiali ceramici e relativi compositi. I risultati acquisiti e documentati sia su conoscenze di "frontiera" che su tecnologie ed applicazioni sono paragonabili con quelli delle Istituzioni più qualificate a livello mondiale.

Nel contempo, durante gli anni, usando ogni strumento disponibile, in accordo con le indicazioni e le iniziative dell'Ente, la struttura che ospita l'Istituto è stata ampliata. I laboratori sono stati dotati di impianti di processo e strumentazione analitica, sono state intensificati gli sforzi per promuovere alta formazione e capacità di ricerca dei giovani, offrendo loro contratti temporanei e stages all'estero. La disponibilità di giovani ricercatori precari ha sostenuto per anni le attività di laboratorio.

Questo percorso di crescita interna è stato accompagnato da iniziative promosse da ISTEC per creare un'aggregazione territoriale di istituzioni dedicate a ricerca, trasferimento tecnologico, formazione e cultura ceramica, che attuasse un'interazione continua tra i soggetti delle esistenti aree produttive locali e facesse confluire nuove infrastrutture in un luogo fisico ad elevata contiguità.

Le azioni, condivise e supportate da diverse amministrazioni interessate, hanno quindi fatto crescere in loco, nei pressi della sede dell'ISTEC:

#### 1) strutture dedicate a:

- ricerca e sviluppo in settori affini: i Laboratori di Ricerca dell'Enea, insediati a Faenza nel 1994 con il sostegno dell'ISTEC,
- trasferimento di tecnologie ed erogazione di servizi alle imprese: Agenzia Polo Ceramico-APC, società mista per il trasferimento dell'innovazione alle imprese ceramiche, costituita nel 1988 (come spin-off dell'ISTEC e con il sostegno degli Enti Locali tra cui Comune di Faenza, Provincia di Ravenna, Camera di Commercio di Ravenna, e dell'Industria locale) preposta alla diffusione dell'innovazione tecnologica e alla valorizzazione culturale ed economica della ceramica nelle sue componenti artistiche, artigianali, industriali e dei materiali ceramici avanzati in collaborazione con Centuria-RIT, Parco Tecnologico della Romagna,
- analisi e certificazione per le imprese nei settori dei materiali da costruzione: Laboratorio CertiMaC, fondato da ENEA e da ISTEC-CNR.

- 2) **iniziative di Spin-off:** Finceramica Faenza S.p.A. e IPECC S.c.r.l. *Italian Piezoelectric Ceramic Co.*
- 3) **iniziative di collaborazione e sostegno all'istruzione**, a tutti i livelli, compresa quella Universitaria e la formazione. La consapevolezza che ricerca e sviluppo non possono essere disgiunte dalla formazione ha stimolato accordi e sinergie che hanno portato l'ISTEC ad ospitare, nella propria sede, il Corso di Laurea "Chimica dei Materiali e Tecnologia Ceramica" della Facoltà di Chimica Industriale dell'Università di Bologna, a partire dall'a.a. 2001-2002.

Attività relative alla formazione hanno visto impegnato il personale in Corsi di formazione post-laurea sui Materiali Avanzati, e, per quattro anni, il MASTER sui Beni Culturali, oltre a seminari, tutoraggio studenti, tesi di laurea e dottorato in collaborazione con Università (nell'ultimo decennio una cinquantina di studenti hanno eseguito tesi sperimentali presso l'ISTEC).

Da questo ricco tessuto culturale e dall'esigenza di una maggiore integrazione fra i diversi attori, nasce l'opportunità di interfacciarsi con un tessuto industriale rivolto verso le nuove tecnologie attraverso uno strumento innovativo per lo sviluppo economico del territorio: il *Parco delle Arti e delle Scienze "Evangelista Torricelli" – Faventia*.

La Regione Emilia Romagna ha incluso la proposta di Faenza come sede di uno dei Parchi regionali dell'Innovazione del Piano Triennale 2005-2008, orientata allo sviluppo di infrastrutture innovative nei sistemi produttivi territoriali, al sostegno dell'insediamento di laboratori di ricerca e di nuove imprese derivanti dai risultati della ricerca. L'iniziativa regionale trovava già predisposto il progetto del Parco approvato dal Consiglio Comunale della città di Faenza nel gennaio 2005.

L'obiettivo generale del progetto è quello di creare un luogo virtuoso, che veda la concentrazione e l'integrazione di risorse strategiche per lo sviluppo del territorio: ricerca, formazione, servizi avanzati, imprese innovative, laboratori privati, con particolare riferimento alle nuove tecnologie e ai materiali innovativi. Il Progetto del Parco è il punto di arrivo di numerose azioni di promozione e sensibilizzazione protratte per molti anni a livello locale e non solo. Infatti in questo ambito era stato promosso e portato avanti uno studio di fattibilità per la costituzione di un "Parco Scientifico e Tecnologico sui Materiali Ceramici", programma UE "Innovation", coordinato dall'ISTEC, con la partecipazione di ENEA, APC e degli Enti Locali.

L'iniziativa principale attuata di recente riguarda *l'incubatore di impresa*, prima concreta azione del Parco Torricelli, che nasce con lo scopo di favorire la crescita delle imprese e della nuova imprenditorialità attraverso l'innovazione e lo sviluppo di sinergie con le altre realtà attive nel Parco. La struttura dell'incubatore è stata inaugurata nel 2009: un edificio moderno, realizzato con materiali e soluzioni ad alto contenuto tecnologico, articolato in tre moduli che ospitano, in oltre 2.300 mq, uffici, laboratori e locali per attività didattica e divulgativa. È qui che vengono offerti agli aspiranti imprenditori (attualmente sono ospitate sette aziende), tramite uno sforzo combinato



pubblico-privato, tutti gli elementi infrastrutturali e di expertise necessari per sviluppare nuove idee di business, nella prospettiva di uno sviluppo moderno e sostenibile.

La fotografia di Fig. 11 mostra la sede ISTEK di Faenza (sulla sinistra) adiacente a quello dell'Agencia Polo Cearnico (a destra), sul cui retro si estendono gli edifici dell'incubatore.



*Fig. 11:* Veduta aerea dell'area che comprende l'edificio dell'ISTEK ( a sinistra), l'edificio dell'Agencia Polo Cearnico (a destra) e, sul retro, i locali dell'incubatore. Le strutture costituiscono il nucleo centrale del progetto Parco delle Arti e delle Scienze Torricelli.

## Collaborazioni

A livello nazionale, ISTEK da sempre partecipa a programmi promossi dai Ministeri o dall'Ente: progetti finalizzati, progetti strategici, progetti RSTL, progetti finanziati da ASI, MIUR, MISE.

Ha condotto collaborazioni continuative con Enti vari: musei, tra cui Museo Internazionale della Ceramica di Faenza, Soprintendenze e Facoltà Umanistiche per lo studio dei ceramici e mosaici antichi; strutture medico/sanitarie per lo studio dei biomateriali; altri istituti CNR, in particolare quelli sui materiali; varie Università italiane; dipartimenti dell'ENEA.

Ha stipulato convenzioni con vari dipartimenti universitari distribuiti su tutto il territorio nazionale, e non solo, per favorire la presenza di studenti in tesi e l'associatura di docenti.

A livello regionale ISTECE ha partecipato alla rete regionale High-Mech con il laboratorio di alta tecnologia (MatMec), a progetti Spinner e PRRITT e alla fase di definizione del Tecnopolo "Medicina Rigenerativa" a Bologna, del Tecnopolo Faenza-Ravenna e del Distretto Industriale Ceramica a Sassuolo. ISTECE ha in preparazione la partecipazione al Tecnopolo "Ravenna e Faenza" che annovera laboratori quali Nautica, Energia, Restauro, Materiali Avanzati. È già in corso l'attività nell'ambito del Distretto Produttivo della Ceramica.

### **ISTECE - sede di Torino**

L'Unità distaccata a Torino, con sede presso l'Area di Ricerca del CNR, nonostante una recente forte riduzione del personale dovuta a pensionamenti, è molto attiva nei progetti finanziati dalla regione Piemonte, progetti Europei, nonché progetti ministeriali (FIRB). Il personale intrattiene ottimi rapporti con il territorio: collaborazioni poliennali consolidate con il Politecnico e l'Università di Torino, così come attività in comune continuative con i Parchi scientifici della Regione, contatti e collaborazioni con diverse aziende della regione e con strutture medico/sanitarie.

I progetti in corso riguardano in parte la lavorazione meccanica dei materiali, estesa anche ai materiali ceramici e alle microlavorazioni. Recentemente, sono cresciute anche le competenze su trattamenti e analisi delle superfici per applicazioni biomedicali nei progetti promossi e finanziati dal COREP della Regione Piemonte, su nanomateriali e rivestimenti per applicazioni biomedicali. Nella Regione Piemonte si sosterrà e potenzierà la collaborazione positiva nei progetti integrati e nell'ambito dei Parchi, particolarmente con Bio-Industry Park, in fase di avvio, con riferimento al Polo Innovazione Biotecnologie e Biomedicale, oltre al consolidamento nelle relazioni con Environmental Park.

### **ISTECE e il contesto internazionale**

Le collaborazioni internazionali (partecipazione a progetti Europei, programmi interministeriali, contratti di ricerca, programmi bilaterali, collaborazioni dirette) hanno avviato uno stretto confronto di ISTECE con numerosi Enti di Ricerca a livello mondiale, fin dai primi anni '80.

ISTECE è presente nello scenario europeo, collaborando in particolare con i partner dei progetti Europei (prevalentemente sui bioceramici, ceramici strutturali e processi).

Dal 2003 al 2007 è stato attivo, a Kyoto, il Laboratorio congiunto RIN (Research Institute on Nanoscience), tra ISTECE-CNR e KIT (Kyoto Institute of Technology), con il supporto finanziario



del MAE e del CNR. Successivamente il RIN ha generato una società di spin-off: Piezotech Japan.

Altre iniziative supportate dal Ministero degli Affari Esteri, su progetti di collaborazione e formazione professionale, sono state rivolte a Paesi in via di sviluppo: Vietnam, Indonesia, Brasile, Siria.

Attività di collaborazione attive e prolungate sono state favorite dagli accordi bilaterali del CNR (Cina, Slovacchia, Argentina, Romania, Spagna, Brasile, Portogallo, Turchia), o da accordi diretti con varie istituzioni (AFOSR-AIR FORCE, NASA, etc.) e varie Università Americane (Università Michigan, Missouri, Berkeley, Cleveland, Oak Ridge Nat. Lab), Istituti Giapponesi (NIRIM Tsukuba, NIRI Nagoya).

La visibilità di ISTECH sullo scenario internazionale ha beneficiato della presenza attiva in Associazioni culturali quali: la Società Ceramica Italiana, la Società Italiana di Reologia, la Società Ceramica Europea, l'International Ceramic Federation, la Società Europea Biomateriali. ISTECH ha contribuito alla riorganizzazione delle stesse Società in Gruppi di lavoro su Educazione, Ricerca, Industria, Editoria, etc. e ha curato l'organizzazione tecnico-scientifica di due congressi mondiali con oltre 1000 partecipanti (Fourth Euroceramics-1995 e l'International Ceramic Congress- Verona 2008 che è stato l'evento di maggior impatto a livello mondiale per il settore dei ceramici nel 2008 non solo a carattere scientifico, ma anche politico ed economico culminato nella realizzazione della ROAD MAP dei Materiali Ceramici), nonché una serie di eventi a livello nazionale ed europeo.

Per 13 anni ISTECH ha organizzato un congresso annuale "Ceramics, Cells and Tissues" dedicato ai Bioceramici e "La Giornata di Archeometria della Ceramica" nel campo dei Beni Culturali e, di concerto con ACIMAC (Associazione Nazionale dei Costruttori di Macchine e Attrezzature per Ceramica) nell'ambito della Fiera TECNARGILLA, due eventi: KERMAT, spazio espositivo e simposi dedicati alla Ricerca e alla Tecnologia in particolare sui materiali ceramici avanzati e le Giornate di Trasferimento Tecnologico (Ceramic TTDAY), rivolte alle PMI che desiderano offrire o ricevere tecnologie, strumenti e soluzioni per lo sviluppo dei loro prodotti, processi e servizi.

L'impegno nell'organizzazione dei convegni è stato associato spesso ad attività editoriali per la pubblicazione di atti o monografie specifiche e la divulgazione presso la stampa specializzata.



## Istituto per le Tecnologie della Costruzione - ITC

Roberto Vinci

### Cenni storici

La composizione attuale dell'Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC) è il risultato di un riuscito processo di aggregazione di alcuni pre-esistenti Istituti del CNR che si è attuato nel 2002 e si è completato nel 2005 con un'ulteriore integrazione di competenze.

Il riferimento comune assunto nella fase aggregativa è stato basato principalmente sulla condivisione preventiva di due direttive generatrici:

- da un lato il riconoscere l'importante settore dell'edilizia e della costruzione quale ambito di riferimento prioritario e comune;
- dall'altro il condividere il possesso di competenze ed affinità proprie di un approccio tecnologico e finalizzate ad attività di ricerca applicata, con tutte le implicazioni che tale scelta comporta.

Gli Istituti originari che sono confluiti a formare l'ITC possedevano singolarmente proprie significative "storie" e pregressi percorsi di crescita la cui iniziale distintività è stata, nel tempo, intelligentemente coniugata fino a raggiungere l'odierna, pressoché realizzata, complementarietà operativa di competenze e condivisione d'intenti che è oggi, obiettivamente, un punto di forza dell'ITC, ottenuto grazie al contributo di tutti coloro che sinergicamente operano nelle diverse realtà territoriali, avvalendosi di potenzialità assai più articolate, che singolarmente non avrebbero potuto realizzarsi localmente.

Quattro erano gli Istituti originari:

- ICITE, Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia, con sede principale a San Giuliano M.se (MI), fondato nel 1962, con una propria originaria unità staccata di Roma;



- ITEF, Istituto per la Tecnica del Freddo, con sede a Padova, fondato nel 1968;
- IRIS, Istituto per la Residenza e le Infrastrutture Sociali, con sede a Bari, fondato nel 1980;
- ITIM, Istituto per le Tecnologie Informatiche Multimediali, con sede a Milano, fondato nel 1993,

cui si è aggiunto, come detto:

- GNDT, Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, con sede a L'Aquila, creato nel 1992 ed afferente all'allora Comitato di Consulenza del CNR 07 "Ingegneria e Architettura".



*Fig.1:Flag ITC-CNR.*



*Fig.2:Le Sedi ITC-CNR.*

## La mission attuale

L'Istituto svolge, ai sensi del regolamento di organizzazione e funzionamento, attività di ricerca, di valorizzazione, di valutazione tecnica e certificazione, di trasferimento tecnologico e di formazione nei seguenti settori scientifici e relativamente alle seguenti tematiche:

1. Materiali nuovi o tradizionali, utilizzati in modo innovativo e nuove soluzioni tecnologiche.
2. Nuove metodologie e strumenti per la valutazione prestazionale dei componenti, dei sistemi e delle opere di costruzione.
3. Valutazione e miglioramento della fruizione, dell'accessibilità, della sicurezza e della qualità dell'ambiente costruito.
4. Metodologie e strumenti per la sostenibilità energetico-ambientale degli edifici.
5. Sicurezza sismica degli edifici e del patrimonio storico-architettonico: recupero e prevenzione.
6. Condizionamento dell'aria, riscaldamento, refrigerazione ed impianti tecnologici per la costruzione.
7. Metodi e tecnologie non convenzionali per il controllo dell'inquinamento ed il miglioramento dell'ambiente costruito.
8. Metodi e strumenti informatici innovativi, destinati a supportare le fasi di progettazione, esecuzione e gestione delle opere.
9. Sistemi di gestione e diffusione di informazione scientifica e tecnica per il settore.
10. Attività di ricerca e servizi ad alto contenuto scientifico e tecnologico con organismi e reti tecnico-scientifiche nazionali ed internazionali.





Attraverso le complementari competenze di cui dispone nelle diverse Sedi e la costante presenza nei più importanti ambiti scientifici ed istituzionali nazionali, europei ed internazionali<sup>1</sup>, ITC rappresenta un apprezzato riferimento per l'imprenditoria avanzata del proprio settore di riferimento e sviluppa, nel suo complesso, attività di ricerca e servizi ad alto contenuto scientifico e tecnologico svolti in stretta collaborazione con organismi e reti tecnico-scientifiche nazionali ed internazionali.

Qualche approfondimento, in merito al riportato contenuto dello Statuto, recentemente rivisto, appare doveroso per contestualizzare e rendere maggiormente comprensibile l'insieme delle molte "parole chiave" che sono state elencate per estratto puntuale. E' peraltro del tutto evidente che nessun significativo approfondimento è possibile, in questa sede, dati i limiti di spazio e l'ampiezza del campo d'azione, cui l'ITC è riuscito finora a tenere testa, seppure a costo di grandi sacrifici e grande determinazione dei singoli e della "squadra".

---

<sup>1</sup>

A livello nazionale:

- Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero delle Infrastrutture, Ministero dell'Interno, Ministero dell'Ambiente, Ministero dell'Università e della Ricerca,
- ENEA – Agenzia Nazionale Italiana per le nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente,
- Politecnici (MI, TO, BA e delle Marche) ed Università varie (GE, NA, BA, MI, TO, BS, TN, FI, AN, PD, VE, RM, CT, PA, RC, VE, ecc),
- UNI – Organismo di Normazione Italiano,
- Molte Amministrazioni Regionali (Lombardia, Molise, Marche, Lazio, Puglia, Veneto, Liguria, Emilia Romagna, Piemonte, Toscana, Abruzzi, Basilicata, Sicilia, ...) ed ITACA,
- Le Associazioni di categoria del settore dell'Edilizia e della Costruzione (ANCE, FINCO, AITEC, UNCSAAL, FEDERLEGNO, ASSOBTETON, ASSIMPREDIL, ...), FEDERCOSTRUZIONI così come CNA e Confartigianato,
- Accredia, Organismo Unico Italiano di accreditamento, rappresentanza CNR nel CD e cooptazione nel CdA,
- Le più importanti ed avanzate industrie ed imprese del settore Edilizio e della Costruzione.

A livello internazionale:

- CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction, presenza nel Board,
- ENBRI - European Network of Building Research Institutes, presenza nel Board,
- RILEM - The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures,
- EOTA - European Organization for Technical Approvals, presenza nel Board,
- UEAtc - Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction, presenza nel Board,
- EGOLF - European Group of Official Fire Laboratories,
- WFTAO - World Federation of Technical Assessment Organisations, presenza nel Board,
- IIF - Institut Internationale du Froid, presenza nel Board,
- CEN - Comité Européen de Normalisation,
- ISO - International Organization for Standardization,
- GNB/CPD – The Group of the Notified Bodies for the Construction Products Directive, rappresentanza Italiana nel Board.

È noto che il settore della Costruzione, ormai il più importante ambito imprenditoriale del Paese in termini economici e sociali, costitutivamente assai frammentato, si connota, non solo in Italia, in modo distintivo rispetto ad altri settori imprenditoriali e realizza il trasferimento dell'innovazione tecnologica anche attraverso forme di "interlocuzione" che appaiono (in altri settori) assimilabili a servizi. In effetti oneri (anche obbligatori Europei) di specificazione, valutazione e certificazione dei prodotti e dei processi, soprattutto di tipo innovativo e sperimentale, richiedono un livello di competenza multidisciplinare ed una dotazione strumentale certamente importante e talvolta addirittura unica in Italia, che va mantenuta continuamente aggiornata. Attività di questo genere, condotte all'interno di un ambiente di ricerca, posseggono inoltre un valore aggiunto assai apprezzato dalla grande e piccola imprenditoria di settore e costituiscono sia premessa formativa per il personale addetto e l'interlocuzione internazionale, soprattutto a livello di supporto scientifico allo sviluppo della normativa tecnica, sia occasione e stimolo per attività di affinamento e ricerca a livello scientifico e sperimentale, con il coinvolgimento interessato dell'industria più qualificata.

- 1 – La prima tematica citata sopra, racchiude e sintetizza l'indirizzo eminentemente tecnologico che è proprio dell'ITC (così come degli omologhi istituti di ricerca europei ed internazionali, con i quali collabora e compete nell'acquisizione di finanziamenti di ricerca) con specifico indirizzo al settore industriale ed imprenditoriale di riferimento, che è quello dell'Edilizia e delle Costruzioni. Settore che coniuga, in un continuum evolutivo lento ma costante, la distintiva competenza che emerge dalla tradizione, con l'innovazione di prodotto, di processo e, più recentemente, di sistema.

Il ruolo di un Istituto pubblico in tale contesto e nell'ambito del proprio dominio disciplinare è quello di attuare un'azione mirata per l'individuazione di soluzioni ai problemi basate sulla conoscenza, che deve forzatamente sviluppare e saper garantire un approccio multidisciplinare quale condizione non rinunciabile per realizzare un'efficace azione di supporto alla Ricerca e Sviluppo che contraddistingue, con caratteristiche e "linguaggi" assai diversi, sia la grande industria di settore (in grado di colloquiare meglio in termini di competenza scientifica legata all'innovazione), sia la PMI (che viceversa pone normalmente problemi e condizioni di crescita che non può direttamente gestire o che non riesce totalmente a governare).

Le azioni svolte ed i risultati ottenuti in quest'area, per taluni, propri limiti contrattuali posti dai finanziamenti privati sui quali principalmente si basa, in minima parte percentuale producono pubblicazioni di carattere scientifico, così come propriamente intese, ma realizzano viceversa in concreto – attraverso forme di trasferimento della



conoscenza di tipo diretto e di variegata natura – soluzioni tecnologiche in grado di intervenire direttamente sulla crescita del settore (singolarmente e nel suo insieme) con ritorni che hanno talvolta importanti ricadute economiche positive, singole e di comparto, di cui si ha continua evidenza e riscontro, senza peraltro che ciò realizzi ricadute pienamente riconosciute all'interno di un Ente che stenta a riconoscere (come viceversa avviene all'estero in realtà paragonabili) l'apporto che è proprio dell'area scientifico-tecnologica, rispetto ai classici indicatori che sono pienamente applicabili all'area scientifico-disciplinare.

- 2 – La seconda tematica è, analogamente alla precedente, un ambito ancora parzialmente misconosciuto nella sua caratteristica di costante evoluzione, in stretta collaborazione europea ed internazionale, ed assorbe importanti energie (anche economiche) per iniziative di frontiera e per realizzazioni/adequamenti strumentali talvolta con carattere di unicità a livello nazionale.

Lo sviluppo e l'innovazione in quest'area è infatti sempre il risultato di una concentrazione di competenze diverse che inizialmente si confronta a livello internazionale e successivamente collabora sul piano operativo, a tutela e supporto degli interessi imprenditoriali nazionali.

E' noto che, soprattutto nel caso di grandi apparecchiature (e con le dovute differenziazioni anche di procedure concordate) lo studio, la realizzazione, l'utilizzo e la manutenzione/aggiornamento si scontrano in questo periodo con vincoli economici e procedurali che non sono propriamente incoraggianti, tuttavia non è possibile abdicare ad azioni di sviluppo la cui redditività (è noto a priori) difficilmente si realizza, pena la rinuncia al fondamentale ruolo pubblico di supporto sperimentale che, in questo particolare settore, rappresenta la vera discriminante che permette di affrontare tematiche di ricerca applicata e di contribuire alle sfide di competitività che divengono sempre più agguerrite sul piano tecnico, oltre che sul solo piano commerciale.

- 3 – La terza tematica contiene nella sua titolazione una serie di parole chiave cui sono sottesi concetti di ampio respiro strategico ben noti all'interno del settore ed il cui impatto ha valenze trasversali che declinano la tecnologia con aspetti più propriamente sociali ed economici a livello di Sistema-Paese.

Essa costituisce base di interlocuzione importante sia con l'Università, sia con le Rappresentanze imprenditoriali della filiera, oltre che con le PPAA (sia centrali, che territoriali), date le valenze generali che le appartengono ed è normalmente in grado di rappresentare sia il livello terminale del trasferimento di conoscenza (ad es.

in ambito normativo), sia lo stimolo problematico per l'avvio concertato di azioni mirate di ricerca nei confronti di argomenti ritenuti in grado di offrire potenziali ricadute di crescita e/o regolazione del settore.

All'interno di questa tematica trova visibilità un ambito scientifico di indubbio interesse a livello mondiale che, all'interno dell'Istituto, corrisponde ad importanti investimenti strumentali effettuati nel recente passato e che, unitamente alla crescita di raffinate competenze, ha saputo divenire (ad es. con riferimento al tema della fotocatalisi nei prodotti da costruzione) il punto più avanzato della ricerca in questo Paese, con noti riconoscimenti esterni che continuativamente si riflettono in commesse di ricerca.

- 4 – La tematica della “sostenibilità”, applicata alle costruzioni ed all'ambiente costruito, costituisce realtà e priorità recente e ben conosciuta a livello mondiale la cui coniugazione vede il settore della costruzione particolarmente coinvolto. L'ITC, sulla base di datate competenze sperimentali e teoriche mirate nell'ambito degli utilizzi finali dell'energia (nella costruzione) ha nell'ultimo periodo meritatamente conquistato un ruolo di primo piano sia a livello nazionale (attraverso, ad esempio, la continua interlocuzione tecnico-scientifica con i Ministeri interessati e con il coordinamento delle Regioni, ITACA), sia a livello europeo (co-fondando ad esempio la SBAlliance) cooperando con i più grandi organismi di ricerca in questo settore e raggiungendo risultati utilizzati a livello mondiale. Le prospettive di sviluppo, inoltre, presentano due paralleli livelli di possibili ricadute:: da un lato, l'ambito più propriamente scientifico, teso all'approfondimento degli strumenti di valutazione ed alla difficile definizione di condizioni di reciprocità con approcci nazionali diversi, in grado di tutelare le specificità e gli interessi dell'imprenditoria Italiana in un confronto che non la veda soccombente; dall'altro, la semplificazione dei risultati scientifici e la predisposizione di riferimenti operabili che permettano la certificabilità e dunque supportino in termini di praticità procedurale la costante e sempre crescente sfida di competitività che l'Industria nazionale di settore si trova a dover affrontare, cercando di evitare che il recente processo federativo attuato nel nostro Paese non divenga un limite, invece che un vantaggio.
- 5 – La tematica della “Sicurezza sismica” degli edifici e del patrimonio storico-architettonico, interpretata in chiari termini di recupero e prevenzione ed attualmente ancora riferita ad altro Dipartimento, pur dando per scontato l'interesse scientifico e la complementarietà dell'argomento rispetto ai programmi ed alle attività dell'ITC, ha rappresentato di fatto un passo obbligato di modificazione del precedente atto



costitutivo in quanto si riferisce alle competenze possedute e sviluppate dalla Sede di L'Aquila che, a partire dall'ottobre 2005 (cfr Provvedimento DG prot. 0050967 del 13.10.2005) afferisce strutturalmente all'Istituto e che proprio recentemente (2009) e per una triste evenienza, ha avuto modo di vedere amplificata (e parzialmente riconosciuta) la propria attualità, oltre che le proprie distintive competenze e capacità operative che (per quello che può valere) hanno recentemente portato al più alto riconoscimento (medaglia d'oro di I classe) da parte della Protezione Civile, attribuita alla Presidenza del CNR.

- 6 – L'indirizzo tematico rappresentato nella sesta tematica enunciata, nel costituire ragione di continuità con un recente passato che aveva finalizzato la crescita delle competenze specialistiche e l'attività di sperimentazione tecnologica in campi applicativi diversi dalle costruzioni, ha tra l'altro in corso un interessante ed assai promettente processo di riconversione che, nel recepire il comune "campo d'azione" dell'Istituto, sta affrontando le medesime problematiche scientifiche sulle quali è basata la posseduta competenza con finalizzazioni d'utilizzo che approssimano le più raffinate tecniche legate alla "catena del freddo" e la frontiera innovativa rappresentata dall'applicazione delle nanotecnologie ai fluidi criogenici.
- 7 – La tipica duttilità del contributo di raffinate competenze informatiche, inizialmente confinata al solo, proprio ambito disciplinare, sta finalmente dando luogo ad una serie di rapporti con le diverse sedi e competenze dell'Istituto, impegnandosi in finalizzazioni tematiche ed operative che sono in grado di offrire un notevole valore aggiunto a talune tipologie di iniziative e programmi, aggiornando e rendendo disponibile per la fruizione informatica risultati di ricerca che, viceversa, potrebbero dimostrare taluni limiti di utilizzabilità e divulgazione.
- 8 – L'ottava tematica, che si esplica attraverso programmi di formazione tecnica avanzata (di carattere intermedio rispetto ai corsi universitari, ma con caratteristiche di utilità pratica assai più immediata) e complessi sistemi di informazione on-line (taluni costantemente aggiornati, con un dispendio di energie che difficilmente è rendicontabile, ma che è ampiamente ripagato dal gradimento del settore in termini di affidabilità ed autorevolezza) ha insiti al proprio interno ambiziosi orizzonti che sono peraltro condivisi a livello internazionale e che non possono prescindere, nel loro estrinsecarsi, da una posseduta e profonda conoscenza tecnologica e processuale del settore della Costruzione e dei "linguaggi" che gli sono propri, talvolta secondo difficili interpretazioni di carattere nazionale e che sono riferibili

al valore economico della circolazione di informazione tecnica verificata, affidabile ed univocamente rintracciabile attraverso sistemi di denominazione/codificazione complessi che sono oggetto di ricerche in corso di svolgimento..

- 9 – L'ultima tematica necessiterebbe di un'ampia premessa per poter essere correttamente interpretata nella sua necessaria presenza e fondamentale valenza all'interno di un Istituto di ricerca e non può parallelamente essere disgiunta da una profonda conoscenza del significato e della realtà che è propria del settore dell'Edilizia e delle Costruzioni, che è ormai predominante risorsa industriale di questo Paese. In questa sede ci si limita ad affermare la completa corrispondenza di questo approccio con tutte le maggiori, omologhe istituzioni mondiali di ricerca del settore.

## Le attrezzature

Il confronto con talune realtà europee ed internazionali vede l'ITC obbligato a competere in condizioni di evidente sotto-dimensionamento anche in termini di attrezzatura, mentre sul piano nazionale la realtà ed il livello di efficienza dell'insieme della dotazione strumentale a disposizione, pur non corrispondendo in percentuale di valore/investimento al "peso" di PIL della realtà imprenditoriale di riferimento, possiede caratteri di unicità sia in termini di completezza degli approcci multidisciplinari possibili, sia in termini di dimensionamento delle sperimentazioni e degli approcci tecnologici realizzabili.

Con talune eccezioni (cementi e metodiche di identificazione classiche) relative ai materiali costituenti, il parco strumentale dell'Istituto è in grado di sviluppare attività sperimentale ad ampio spettro disciplinare, a partire dai componenti edilizi, fino al livello di sistemi in scala reale, oltre che per la verifica in opera dei medesimi (installati).

Molte di tali complesse strumentazioni sono esse stesse il risultato di attività di ricerca interna ed in taluni casi hanno costituito riferimento ed indirizzo in sede europea e nazionale.

Va detto, a tale proposito, che il mantenimento del parco strumentale (e, purtroppo, sempre più limitatamente del suo rinnovo/aggiornamento) costituisce una reale priorità cui vengono devolute tutte le risorse esterne direttamente acquisite dall'Istituto che si utilizzano parallelamente anche per il reclutamento di giovani ricercatori e tecnici e per l'investimento in attività di formazione tesa alla crescita di competenza tecnico-scientifica, presupposto irrinunciabile per l'utilizzo adeguato del suddetto insieme di apparecchiature e delle misure che ne derivano, considerato l'elevato livello di sofisticatezza delle medesime.



*Fig.2:* Hot box: Camera termica con anello di guardia per la misura della trasmittanza termica.



*Fig. 3:* Apparecchiatura per la ricerca ed il controllo delle prestazioni di facciate esterne (aria, acqua e carico del vento).



*Fig. 4:* Single Burning Item (SBI): Apparecchiatura per la verifica della reazione al fuoco di prodotti da costruzione secondo le metodologie obbligatorie europee



*Fig. 6:* Apparecchiatura per sperimentazioni in laboratorio in assemblaggio reale di ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering).



*Fig. 5:* Camera per la verifica del potere fonoisolante



*Fig. 7:* Edificio sperimentale adattabile per progetti di ricerca complessi in regime reale.

### Alcuni risultati rilevanti

Il miglior risultato che l'Istituto può presentare è la propria reputazione, conquistata giorno per giorno, con il contributo di tutti e per la quale la testimonianza va chiesta direttamente al settore di riferimento, sia in ambito nazionale, che straniero.

Con tutti i limiti non favorevoli dei criteri definiti, poco sensibili alle peculiarità della ricerca tecnologica ed applicata, anche i risultati del recente processo di valutazione internazionale indipendente cui l'ITC è stato sottoposto insieme a tutti gli Istituti del CNR, sembrano riconoscerlo, con un posizionamento assai prossimo all'eccellenza, che è stato interpretato internamente come stimolo ad un sempre possibile miglioramento.

Considerato che l'attività dell'Istituto, secondo la prassi CNR, si sviluppa (e si rendiconta) per Commesse/Moduli ed in altra parte di questa pubblicazione viene già data testimonianza di





alcuni dei più recenti risultati raggiunti, non si è ritenuto utile fornire informazioni ridondanti, preferendosi rimandare a quanto già descritto così come, per le pubblicazioni tecnico-scientifiche, ai rapporti consuntivi annuali disponibili in rete nel sito web del CNR. Tuttavia appare per certi versi interessante concludere questa breve presentazione, accennando appena alle prospettive future dell'ITC che appaiono, per quanto è già concretamente "in cantiere", del tutto positive e promettenti sia nell'area di diretto coinvolgimento tematico e disciplinare, sia nell'area delle potenziali collaborazioni con altri Istituti del CNR che operano parallelamente in ambiti scientifici e tecnologici riferiti a settori imprenditoriali anche diversi da quello dell'Edilizia e delle Costruzioni, in una visione di "sfruttamento" delle rete CNR in grado di offrire sempre maggiore valore aggiunto alle singole iniziative ed ai puntuali coinvolgimenti.



## Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione - ITIA

Tullio Antonio Maria Tolio

### Cenni storici

L'Istituto, inizialmente denominato Centro Macchine Utensili (**CEMU**), viene fondato nel 1963 a Cinisello Balsamo (MI), quale Consorzio tra il Consiglio Nazionale delle Ricerche e l'Associazione Italiana per lo sviluppo della Ricerca nelle Macchine Utensili, con l'obiettivo di condurre attività di ricerca strategiche per la competitività dell'industria della meccanica strumentale. CEMU è un primo esempio di partenariato Pubblico Privato.

Sin dagli anni '60 il CNR ha operato attraverso:

- *i Progetti Finalizzati*, dal Progetto Finalizzato Tecnologie Meccaniche al Progetto Finalizzato Robotica,
- *i suoi Organi*, dal CEMU, all'ITIA, al Dipartimento Sistemi di Produzione per contribuire, attraverso la Visione Strategica e la Ricerca Scientifica per l'Innovazione Industriale, alla competitività e sostenibilità del settore Manifatturiero, con particolare focalizzazione sulle Macchine e i Sistemi di Produzione, settore di grande rilevanza economica, sociale ed ambientale per l'Europa e l'Italia.

In quest'ottica, nel 1968 il CEMU diventa Laboratorio CNR.

Le attività si incentravano principalmente sulla ricerca applicata sperimentale e la progettazione, sviluppo e costruzione di prototipi di dispositivi e gruppi funzionali delle macchine utensili, in collaborazione con università, associazioni di ricerca, aziende.

Le aree tematiche riguardavano principalmente:

- lubrificazione idrostatica – attrito
- oleodinamica
- servosistemi e controllo numerico
- elastostatica ed elastodinamica strutturale
- pneumatica e pneumostatica



Alcuni rilevanti risultati sviluppati in quegli anni includono ad esempio (Fig. 1) una pompa idromotore in un impianto pneumoidraulico di recupero dell'energia cinetica, un servosistema integrale per un tornio idraulico a velocità costante, un mandrino pneumostatico ultraveloce.

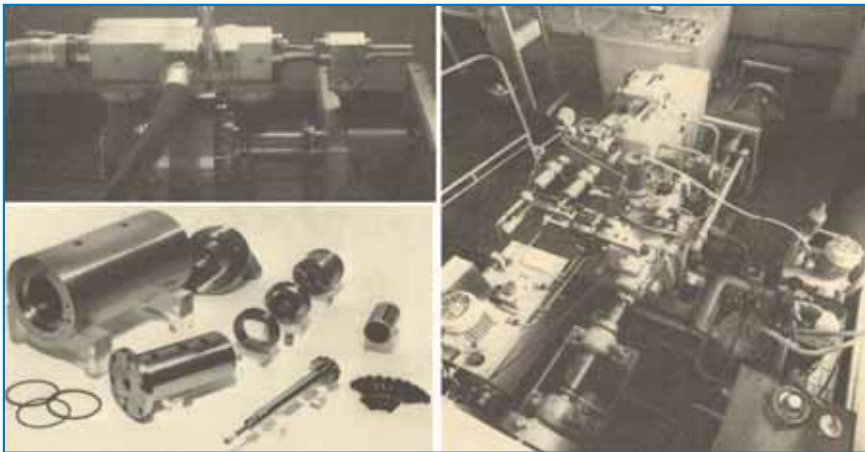


Fig. 1: Alcuni esempi dei risultati sviluppati da CEMU

Nel 1979 il CEMU diventa Istituto Sperimentale Macchine Utensili (**IMU**), del CNR, assumendo successivamente (1993) l'attuale denominazione di Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione (**ITIA**), che dal 2005 fa parte del nuovo Dipartimento di Sistemi di Produzione, composto da 7 Istituti e da più di 600 persone.

Nel 1986, l'ITIA si trasferisce nella nuova sede di via Ampere nella zona di Città Studi a Milano, con la missione strategica - fondata sulla lunga tradizione dell'Ente - di contribuire alla crescita della Competitività e Sostenibilità del Manifatturiero in Italia ed Europa, sostenendo l'innovazione industriale, basata sulla ricerca, per lo sviluppo di nuovi prodotti e processi ad alto valore aggiunto.

Nel 2009, l'ITIA insedia la propria sede presso l'Area di Ricerca di Milano, in Via Bassini, dove sono presenti altri 8 istituti CNR.

Le attività svolte e i risultati conseguiti, in relazione alla missione affidata, sono qui rappresentati considerando **due cicli consecutivi**, correlati dalla riforma del CNR del 1999: quello dello sviluppo dell'ITIA, essenzialmente, quale **Istituto di livello Europeo** (1986 – 2000) e quello del suo sviluppo quale **Sistema Rete** (2000 – 2010) .

## 1986 – 2000, dall'IMU all'ITIA: verso un Istituto Europeo

Per portare l'IMU, poi ITIA, a divenire un Istituto *di livello Europeo*, si è proceduto attraverso

- l'individuazione della nuova strategia di mercato
- lo sviluppo di nuove competenze
- la individuazione delle necessarie visioni strategiche
- l'ingresso nel contesto della ricerca europea e italiana: networks e finanziamenti.

Le attività dell'ITIA -volte al Manifatturiero, ai Beni Strumentali e alla "Impresa del futuro"- hanno portato a:

- ricerca Scientifica e Tecnologica, nei domini di cui alla Fig. 2, con fondi CNR e con contratti acquisiti nell'ambito dei programmi nazionali ed europei (EU e EUREKA), su progetti concepiti e lanciati dall'Istituto, per oltre 15 miliardi di lire;
- cooperazione per la ricerca e l'innovazione , con oltre 100 Imprese, italiane ed estere, in attività di ricerca nell'ambito di programmi europei e nazionali nonché di contratti industriali
- formazione per la ricerca e l'innovazione , attraverso la ricerca, che ha coinvolto a vario titolo 500 giovani
- concezione e gestione di programmi internazionali quali i Progetti Ombrello EUREKA FAMOS e EUREKA FACTORY
- osservatorio delle tecnologie (Monitech, poi EPP Lab): studi su modelli di riferimento per lo sviluppo del Manifatturiero, dei Beni Strumentali, "Impresa del futuro" e relativa organizzazione della ricerca e consulenza al Murst e Commissione Europea
- organizzazioni di Forum internazionali in collaborazione con UE, EUREKA, NSF, MURST.

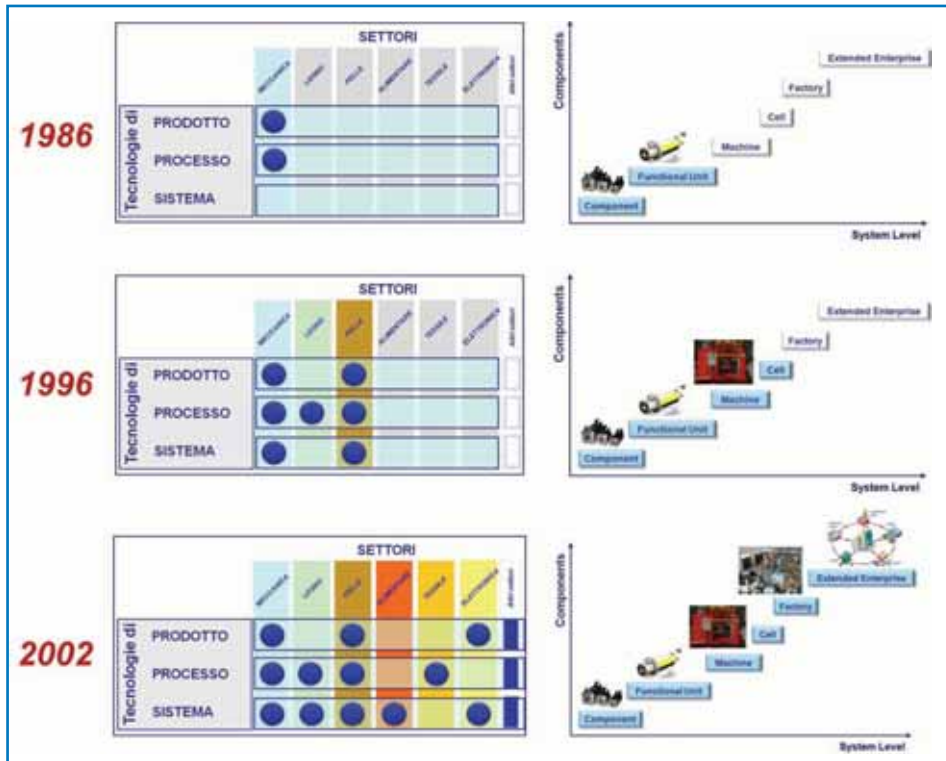


Fig. 2: Evoluzione dei domini di attività dell'Istituto: dai componenti, alle macchine, ai sistemi di produzione, all'impresa estesa

Le competenze sviluppate sono riportate nella figura 3.

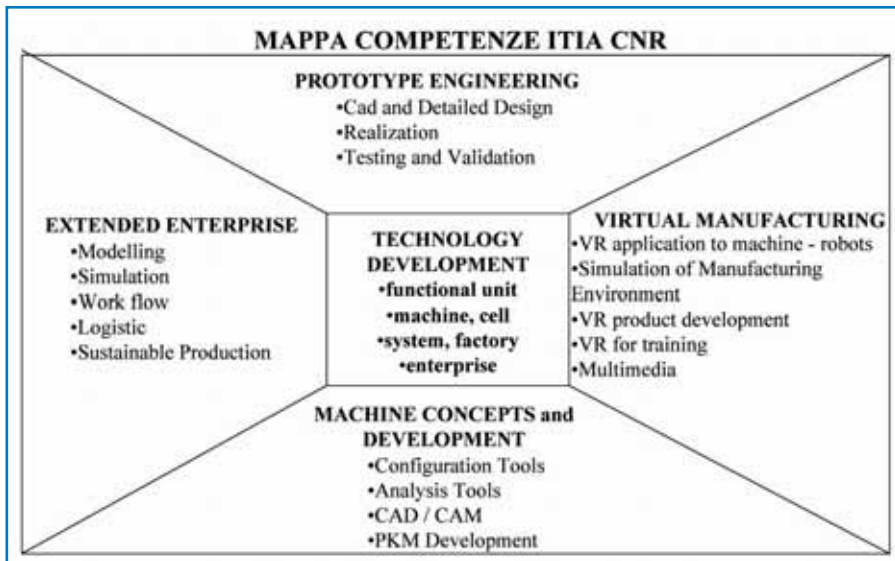


Fig. 3: Competenze ITIA (1999)

Tenuto conto di quanto precede e delle fonti di finanziamento utilizzate, l'evoluzione dell'Istituto, attraverso i vari livelli di intervento, può essere identificata con l'ampliamento e lo sviluppo:

- a livello tecnologico: dai componenti alle macchine, alle celle, ai sistemi
- a livello settoriale: dal settore meccanico, ai vari settori del manifatturiero, tradizionali ed avanzati
- a livello di progetti/programmi di RTD&I: con programmi regionali, nazionali, europei, internazionali
- a livello di collaborazioni: da territoriali, a nazionali, a europei, a internazionali



## 2000 - 2010, Verso il Sistema Rete, nella logica Manufature

Agli inizi degli anni 2000, ITIA ha collaborato, insieme ad altre organizzazioni di ricerca ed aziende europee designate dalla CE, alla concezione e lancio della Piattaforma Tecnologica Europea Manufature, relativa al *futuro del manifatturiero in Europa*, contribuendo prima alla stesura del "Working Document" edito per la 1ª Conferenza Manufature 2003 organizzata a Milano, e poi alla stesura sia della "Vision 2020" che della "Strategic Research Agenda".

L'Istituto, seguendo l'approccio della Piattaforma Manufature, di cui è stato uno dei promotori, ha svolto internamente uno studio strategico, che mostrava:

- l'esistenza di una *domanda industriale di R & ST per l'innovazione*, in potenziale crescita, per conferire competitività e sostenibilità al Manifatturiero,
- la necessità per il Paese, in un quadro europeo e globale, di *disporre di un forte "presidio" scientifico, tecnologico e culturale* -per l'innovazione strategica del contesto Manifatturiero Industriale- comparabile a quello di Paesi avanzati quale la Germania;
- il ruolo atteso dell'Istituto – in una logica *di impresa rete* - quale "motore" e "sostegno" all'innovazione per *realizzare* un un Manifatturiero Competitivo e sostenibile ad alto valore aggiunto, e la Fabbrica del Futuro
- l'azione attesa dell'Istituto - quale Impresa generatrice di Conoscenza - secondo una logica e una architettura di impresa-rete, caratterizzata da integrazioni permanenti e alleanze, anche temporanee, con altri attori di ricerca
- la necessità di costituire sezioni e iniziative distinte, in differenti collocazioni geografiche, per offrire e cogliere differenti opportunità in relazione al contesto

Questo studio ha configurato un Istituto integrato nel contesto internazionale e caratterizzato da un forte rapporto sinergico con Enti a esso complementari, un Istituto avente un "nucleo" dedicato alla duplice visione di sviluppo e di gestione della tecnologia, a cui facciano riferimento sezioni distaccate presso Imprese, sedi universitarie, organizzazioni, nonché sezioni costituite da preesistenti organi del CNR che, progressivamente, si integreranno in una logica tecnologico-settoriale.

Le attività portanti dell'Istituto sono state:

- Ricerca scientifica e sviluppo tecnologico:
- Formazione per la Ricerca e l'Innovazione Industriale
- Trasferimento tecnologico

- Osservatorio tecnologico
- Gestione di Programmi/Progetti di ricerca e formazione Internazionali
- Le attività di RTD&I hanno interessato varie macro-aree ed in particolare:
- Componenti, Macchine e Sistemi per lavorazioni, montaggi, misure
- Macchine a Cinematica Parallela (PKM)
- Ambienti Virtuali per la Produzione Industriale
- Evolving Extended Enterprise
- Strumenti e Metodologie di Progettazione di Macchine e Sistemi
- Strumenti e Metodologie di Gestione dei Sistemi di Produzione
- Processi di produzione e riciclaggio innovativi e sostenibili
- Tecnologie e materiali non convenzionali

Le configurazioni e competenze sviluppate dall'ITIA nelle aree dianzi descritte, sono state utilizzate principalmente, nei vari progetti di ricerca e formazione del PNR SPI (Programma Nazionale di Ricerca sui Sistemi di Produzione Innovativi) che hanno teso allo sviluppo di macchine e sistemi innovativi per il Manifatturiero.

Nello specifico i progetti SPI, dal valore per ITIA di circa 10 miliardi di lire, hanno riguardato:

- Metodologie innovative per la realizzazione di stazioni di lavorazioni meccaniche (SPI 1)
- Sistemi innovativi per la lavorazione ad alta efficienza (SPI 2)
- Stazioni di montaggio modulari (SPI 3)
- Strumentazione del processo industriale di generazione e produzione di forme (SPI 4)
- Sistema automatizzato flessibile e adattativo di saldatura (SPI 5)
- Sistema automatizzato e integrato per la produzione di calzature (SPI 6)
- Sistema integrato per la progettazione e produzione di prodotti in legno (SPI 7)
- Sistema modulare per lo stampaggio di prodotti in materiali plastici (SPI 8)
- Sistema infrastrutturale di supporto per ambienti produttivi caratterizzati dalla presenza di agenti autonomi (SPI 11)





I principali risultati scientifici e tecnologici conseguiti sono stati:

- 3 impianti pilota: per la produzione di calzature personalizzate, per la lavorazione di pannelli in legno, per processi flessibili di assemblaggio (fig. 4),
- sviluppo della nuova famiglia di robot a cinematica parallela (PKM), fig. 5 e fig. 6,
- nuovi prototipi di macchine ad altissime prestazioni



*Fig. 4:* Impianti pilota realizzati da ITIA nell'ambito dei progetti PNR-SPI

Attraverso i progetti SPI l'ITIA ha sviluppato tre dimostratori di impianti flessibili per prodotti orientati al consumatore nei settori delle calzature, dell'arredo e degli elettrodomestici.

Tali dimostratori hanno integrato innovazioni sui processi di design e produzione volti a garantire la produzione di prodotti personalizzati ed hanno costituito lo start up di una linea di ricerca e sviluppo dedicata al paradigma della mass customisation che ha successivamente generato progetti di riferimento a livello europeo, in particolare nel settore delle calzature, nell'ambito del V, VI e VII programma quadro, tutti coordinati dall'ITIA-CNR, quali Euroshoe, CEC made Shoe, Fit4U e CoreNet, come rappresentato dallo schema seguente.



Attraverso gli sviluppi citati, gli impianti pilota dell'ITIA-CNR, e nello specifico quello di Vigevano per la produzione di calzature su misura, sono divenuti *best practise* Europee per la innovazione di processo e di prodotto.

Le linee di ricerca e sviluppo così articolate hanno visto nascere anche la piattaforma Europea sulle calzature coordinata dall'ITIA-CNR, strettamente collegata alla piattaforma Manufature ed alle altre piattaforme Europee presenti nell'area dei Consumer Goods, generando così nuove sfide colte dall'ITIA CNR nell'ambito della innovazione dei sistemi di produzione di prodotti per il consumatore finale personalizzati, salubri ed ecosostenibili.

A partire dal 1998, tra le attività di ricerca portanti di ITIA, emergono la concezione, progettazione, produzione e validazione sperimentale di una nuova generazione di macchine e robot a cinematica parallela (PKM). L'esperienza, nata come progetto interno di CNR-ITIA, si è poi sviluppata grazie a commesse esterne per un finanziamento complessivo pari a 5.5 Miliardi di Lire, nell'ambito dei seguenti progetti:

- Progetto IV FP GROWTH BE97-4177 Robotool (Advanced Kinematics for Manufacturing Applications).



- Programma Nazionale di Ricerca sui Sistemi di Produzione Innovativi Tema 1: Metodologie innovative per la realizzazione di stazioni di lavorazione meccaniche.
- Programma Nazionale di Ricerca sui Sistemi di Produzione Innovativi Tema 3: Stazioni di montaggio modulari.
- Programma Nazionale di Ricerca sui Sistemi di Produzione Innovativi Tema 6: Sistema automatizzato ed integrato per la produzione di calzature.
- Eureka Factory E! 1522 "Manufacturing" (Self –Innovating Extended Factory for Electro-Mechanical Products).
- V FP GROWTH GRD1 – 2000 - 25761 EUROShoE (Development of the processes and implementation of management tools for the Extended User Oriented Shoe Enterprise).



Fig. 5: Evoluzione dei prototipi dei PKM sviluppati da ITIA

Le attività in questione hanno portato alla cooperazione – tuttora attiva - con importanti partner industriali quali: Innse Berardi – Gruppo Camozzi, Comau Powertrain, Jobs, McM, Prima Industrie, Siemens, Fidia, Gamfior, INA, Ce.S.I., Cobest, Geodedic, Gerardi, Masmec, Phase; ed hanno consentito ad CNR-ITIA di essere in costante contatto ed interazione con i principali gruppi di ricerca nazionali, europei ed internazionali come testimoniato dall'organizzazione della First European American Conference on Parallel Kinematic Machines (1998) svoltasi a Milano nel 1998, dal coinvolgimento nell'organizzazione del Year 2000 Parallel Kinematic Machines International Conference and Second European American Forum on PKM - 2000 Ann Arbor, MI, USA - e ai Chemnitzer Parallelkinematik-Seminar tenutisi a Chemnitz, Germania, con cadenza biennale fino al 2006.

E' inoltre importante sottolineare che molti degli studi teorici e dei prototipi di ricerca presentati durante il Forum si sono tradotti in implementazioni industriali di successo presentati nell'ambito delle principali fiere di robotica e macchine utensili mondiali (EMO – European MachineTool Show 1999, 2001 e 2003, IMTS - The International Manufacturing Technology Show 2000 e 2002) contribuendo a cambiare radicalmente il settore della manipolazione ad elevata dinamica.



Fig. 6: Macchina a cinematica parallela PKM Celerius progettata e sviluppata da ITIA nell'ambito del progetto PNR-SPI 1

I 6 prototipi industriali (coperti da due diversi brevetti) di macchine a cinematica parallela sono stati presentati presso stand CNR-ITIA durante la Esposizioni Internazionali BiMu 2000, la BiMu 2002, EMO 2003 e BiMec 2004 e trovano applicazione in settori industriali diversi che spaziano dall'assemblaggio di componenti elettromeccanici, all'esecuzione di alcune lavorazioni ancillari al processo di iniezione della suola su scarpa ed alla finitura e semifinitura di stampi.



In quest'ultimo decennio sono stati inoltre conseguiti risultati che interessano vari livelli e ambiti, in particolare:

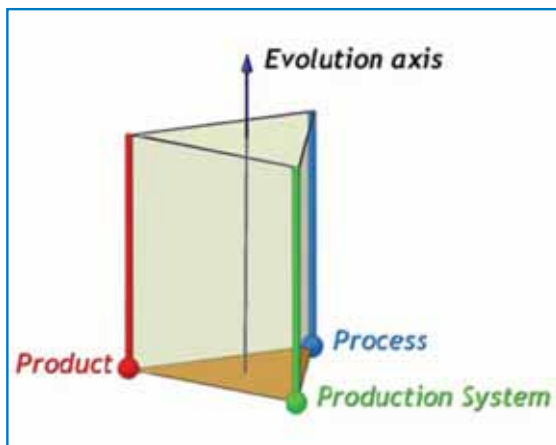
- *Organizzazione operativa*: costituzione delle Sezioni ITIA di Roma e Bari e del laboratorio di Design & Mass Customization di Vigevano
- *Iniziative internazionali*: costituzione ed implementazione della Piattaforma Europea Manifuture;
- *Studi strategici*: nuovo Paradigma per il Manifatturiero Competitivo e Sostenibile, contribuiti a vari Programma Quadro, alla Eureka Strategy, lancio della Piattaforma Europe " Footwear, Machinery and Systems ", contributo – attraverso il Progetto Rilevante Manufacturing affidato dal CNR – alla concezione del Dipartimento Sistemi di Produzione.

## La missione attuale

L'Istituto di Tecnologie Industriali ed Automazione nasce per rispondere alla necessità per il Paese, in un quadro Europeo e globale, di disporre di un "presidio" scientifico, tecnologico e culturale - per contribuire alla competitività e sostenibilità del manifatturiero - in sintonia con quelli di Paesi avanzati quali la Germania.

La Commissione Europea ha identificato le priorità di ricerca e innovazione dei prossimi anni, con il documento "EU 2020 Strategy", *le Grandi Sfide Sociali*, quali il clima e il bisogno di energia pulita, il trasporto sostenibile, la produzione e il consumo sostenibile, la salute, la sicurezza di cibo e acqua, ecc. L'obiettivo di scienziati e ricercatori sarà quello di identificare le risposte alle grandi sfide sociali in termini di tecnologie innovative per trasformarle in nuovi prodotti e servizi capaci di raggiungere il mercato e fare quella Innovazione Sociale che l'Europa auspica.

In questo contesto l'Istituto svolge attività di Ricerca Scientifica e Sviluppo Tecnologico finalizzate all'innovazione strategica nelle Imprese. Il focus delle attività è la co-evoluzione di Prodotti/Servizi, Processi e Sistemi di Produzione.



ITIA negli ultimi anni ha svolto attività di ricerca per la concezione, sviluppo e verifica sperimentale di nuove macchine, robot e sistemi di produzione - nei settori tradizionali (cuoio, legno, plastica), in quelli science based e specialized suppliers (beni strumentali, biomedicale) ed in quelli della produzione di massa (bianco e automotive).

Le attività di ricerca hanno interessato nello specifico: strumenti di progettazione, macchine operatrici e robot, sistemi di produzione e relativi servizi; microsistemi, sistemi di controllo, metodologie e strumenti virtuali di progettazione e simulazione 3D di prodotto, processo e impresa; strumenti di configurazione, simulazione ed ottimizzazione di processi logistici aziendali (Supply Chain Management); tecnologie e piattaforme per il controllo, la supervisione, il monitoraggio e l'integrazione dei processi produttivi (pianificazione e gestione della produzione) ed organizzativi aziendali.

Attualmente le attività di ricerca si focalizzano sull'innovazione all'interno dei cicli di vita di prodotto/servizio, processo e sistema di produzione in una visione integrata. Ciò ha portato ad esempio ad interessarsi di nuove tecnologie quali il MicroManufacturing.

Accanto a queste portanti di natura prevalentemente scientifica, l'Istituto ha inoltre agito - per l'innovazione industriale del contesto manifatturiero italiano ed europeo - su altre portanti di natura più strategica quali Studi di Foresight Tecnologico, Attività di Roadmapping e Nuovi modelli di business a supporto della Piattaforma Manufature Europea e Italiana e dell'associazione EFFRA (European Factory of the Future Research Association) che gestisce il Recovery Plan, definito dalla UE, sul tema "Factories of the Future".

ITIA, nella sua missione, ha identificato ulteriori nuovi settori industriali, come l'Agroalimentare e l'Aeronautico.



In quest'ultimo settore ad esempio l'Istituto, all'interno del progetto del 7 PQ "VFF - Virtual Factory Framework" di cui ITIA è coordinatore, opera in collaborazione con Alenia implementando uno scenario nel settore aeronautico. Lo scenario è incentrato sui processi della fabbrica Alenia di Grottaglie dove viene realizzata la parte centrale della fusoliera del nuovo Boeing 787 Dreamliner.

Per il progetto VFF si prevedono di realizzare i seguenti sistemi:

- Ambiente di supporto alla progettazione della fabbrica in ambiente virtuale. Il sistema servirà durante la fase di ampliamento dell'impianto produttivo e come interfaccia evoluta per la fruizione delle informazioni di fabbrica
- Ambiente di supporto al monitoraggio della fase finale di assemblaggio quasi completamente manuale. Il sistema in realtà aumentata sarà inoltre in grado di supportare gli operatori nei loro compiti.

Di recente – nell'ambito della strategia Europea di Ricerca volta allo sviluppo di un Manifatturiero competitivo e sostenibile ad Alto Valore Aggiunto K-based - l'iniziativa Manufature, le correlate European Technology Platforms e Piattaforma Europea Footwear hanno focalizzato l'attenzione sulla Customer Driven High Added Value Factory "as a product".

L'Istituto, tramite la best practice rappresentata dal suo impianto pilota di Vigevano ad elevata automazione per produzioni di prodotti customizzati, ha contribuito a definire il suddetto paradigma.

ITIA inoltre svolge, nei suoi laboratori di ricerca, attività di Alta Formazione per la Ricerca Industriale attraverso lo svolgimento di tesi e dottorati di ricerca incentrati sulle attività dei progetti di RTD&I nei quali ITIA è coinvolto.

## L'Istituto oggi

Nell'ambito del Dipartimento Sistemi di Produzione, l'Istituto ha la responsabilità del Progetto 1: Processi, Sistemi di produzione industriali, Prodotti High Tech e materiali avanzati.

Il progetto, in linea con la missione di ITIA e considerando la Fabbrica ad Alto Valore Aggiunto come un prodotto, ha analizzato i processi che, nella correlazione che unisce filiere verticali di produzione, caratterizzano il ciclo di vita della Fabbrica nei suoi principali macrolivelli (macchina, cella/sistema ed impresa) ed ha individuato i processi più importanti (cioè, progettazione, gestione, riconfigurazione) ai fini del conseguimento di un effettivo vantaggio competitivo basato sulla conoscenza

Le attività di ricerca vengono svolte all'interno delle Commesse, e precisamente:

- Metodologie e strumenti per lo sviluppo di macchine avanzate



- Tecnologie abilitanti e sistemi di automazione adattativi per fabbriche orientate alla produzione personalizzata
- Metodologie e strumenti per i processi produttivi e logistici nel manifatturiero
- Ambienti Virtuali di progettazione integrata
- Macchine, robot e servizi innovativi customer oriented
- Nuove applicazioni di microsistemi in componentistica avanzata

Conseguentemente ha consolidato le proprie attività di Ricerca Scientifica e Tecnologica, sviluppo e trasferimento tecnologico, sulle seguenti tecnologie abilitanti transettoriali:

*a livello di sistema e/o di impresa*

- Sistemi di controllo ed integrazione di processi di pianificazione e gestione della produzione
- Metodologie e strumenti di progettazione e ottimizzazione dei processi logistici di fabbrica sia interni che esterni (Supply Chain Management)
- Ambienti virtuali di simulazione 3D
- Nuovi Modelli Organizzativi Customer Oriented

*a livello di macchina, cella e/o sistema di produzione*

- Sistemi di controllo
- Metodologie e strumenti di progettazione e verifica sperimentale di macchine operatrici
- Ambienti virtuali di simulazione 3D
- Robotica Industriale e di servizio (medicale) sia a livello macro che micro
- Product service systems a nuovi modelli di business
- Componenti di Macchine, tecnologie e strumenti di lavorazione

Accanto a queste tematiche, l'Istituto ora sta approfondendo altre aree scientifiche in quei settori in linea con le *Grandi Sfide Sociali*, quali la Robotica Medica e la Robotica Chirurgica, attività che vengono descritte in seguito nel capitolo sui laboratori e le attrezzature.

Durante il 2009 sono stati intrapresi degli interventi organizzativi per rimodulare tale struttura principalmente dal punto di vista della distribuzione logistica delle unità operative





con particolare riferimento alle sedi di Milano, Roma e Bari.

Tali interventi, consolidati nel corso del 2010, si possono così sintetizzare:

- sede di Milano: trasferimento dell'Istituto da V.le Lombardia e riunificazione presso la sede ITIA nell'ARM1 di via Bassini con la realizzazione e riorganizzazione in loco degli uffici e dei vari laboratori sperimentali (Robotica, Realtà Virtuale, Meccatronica, Microsistemi, Elettronica, Officina Meccanica)
- sede di Roma: trasferimento della sede unica U.O.S. di ITIA Roma nella nuova palazzina nell'Area di Montelibretti e riorganizzazione del laboratorio di Sviluppo di Sistemi di Supporto alle Decisioni per la Logistica Integrata
- sede di Bari: a seguito dell'uscita del CNR dal Consorzio Sintesi, è avvenuto il trasferimento di ITIA Bari da Sintesi alla nuova sede c/o ITC di Bari con la realizzazione e riorganizzazione in loco degli uffici e del laboratorio sperimentale di MicroManufacturing.



Inaugurazione della sede ITIA-Bari (2010)

Nel corso del 2009 sono state inoltre acquisite nuove macchine e strumentazioni per i suddetti laboratori.

## Le attrezzature

Le principali attrezzature dell'ITIA si possono così sintetizzare:

### **Impianto Pilota di Design & Mass Customization - Vigevano**

Il Laboratorio ITIA di Vigevano svolge attività di RTD&I in termini di:

- "Prodotto", dalla produzione di massa a prodotti ad alto valore aggiunto
- "Processo", introducendo tecnologia nei settori della progettazione, della produzione e delle vendite
- "Organizzazione d'Impresa", attraverso strumenti di gestione appropriati



L'impianto pilota è costituito da PDM, CAD, CAM, SCADA, Sistema automazione distribuito, Magazzino Automatico, Sistema logistica interna automatico, Tavolo taglio, Macchine Giunteria, Linea di assemblaggio (macchine: premonta, montafianchi, robot cardatura e incollaggio, pressasuole, taglio, giostra ad iniezione, 3 forni, robot finissaggio).

### **Laboratorio Controlli – Vigevano/Milano**

Il laboratorio è costituito da sistemi controllo macchina: CNC Fidia, Azionamenti Parvex ed Indramat, Macchina PKM; sistemi controllo linea: target siemens, national, mathworks, isagraf, dimostratore fisico; ambienti di simulazione simulink, national, isagraf; tecnologie di rete profibus, real time ethernet).



### Laboratorio MicroManufacturing - Bari

Il laboratorio è equipaggiato con MU per lavorazioni di micro-EDM (SARIX SX-200) e microiniezione (Desma-TEC Formica 1K).

La tecnologia disponibile consente di realizzare micro-componenti in materiali duri (metalli: acciaio inox, temprato, carburi, titanio e ceramici) ed in materiali plastici, con finitura superficiale di alta qualità e senza alterazione del materiale, con features di qualche decina di micrometro (ad esempio: micro fori, con elevato rapporto L/D con diametro compreso tra i 50 e le centinaia di micrometri, micro ingranaggi).



### Laboratorio di Micro-Robotica - Milano

Il laboratorio è equipaggiato con strumentazione base (generatori e amplificatori di tensione, microscopi ottici) per il test funzionale di micro devices (gripper meccanici, a capillarità, elettrostatici). È inoltre in fase di sviluppo una cella prototipale per il micro-assemblaggio, che include un sistema di microposizionamento x-y-z, un sistema di visione e con parametri ambientali (in particolare temperatura e umidità) controllati.

Il laboratorio costituisce un nodo della Rete di Eccellenza Lombarda per la Meccanica

Strumentale (ReMS), progetto in fase di negoziazione con la Regione Lombardia, e collabora attivamente con il SAMM Lab, University of Florida, e ARRI Lab, University of Texas Arlington, USA.

### **Laboratorio di Realtà Virtuale e Aumentata - Milano**

Il laboratorio è composto da proiettore 3D, Workstations, Guanti 5th glove per l'interazione, Sensori polemus per il tracciamento, Occhialini attivi per la visione stereoscopica, Software per Ambienti di RV e AR. Dispositivo per la visualizzazione di calzature in RV (Magic Mirror)



### **Laboratorio di Robotica Industriale - Milano**

Il laboratorio all'interno del quale si sviluppano sia attività di ricerca e sviluppo che attività di trasferimento tecnologico in cooperazione con aziende leader del settore della robotica e automazione quali COMAU, KUKA, ABB, Adige è attrezzato con tutti gli strumenti necessari alla progettazione e sviluppo di componenti SW e HW per la robotica industriale con particolare focus su sistemi embedded basati su Linux Real Time Patch Xenomai. Le attività principali riguardano lo sviluppo di sistemi di scansione 3D laser, dispositivi per il controllo in forza di robot industriali, dispositivi per la programmazione intuitiva dei robot (MGD - manual guidance device), sistemi embedded per il controllo del moto di manipolatori e per il controllo e monitoraggio dei processi di taglio laser,

In tutti tali ambiti il laboratorio ha la capacità autonoma di giungere fino allo sviluppo di prototipi industriali.

Da un punto di vista delle infrastrutture sperimentali il laboratorio è dotato di: Robot IRB 1400 di ABB; Robot Smart NS16 di Comau Robotica con sistema di controllo c4g open, wireless TP e manual guidance device; PKM Morpheum e relativo sistema di controllo pc



based di nostra concezione equipaggiato con sistema operativo QNX 4; diversi sistemi di scansione laser 3D; sistema Cluster multicore per applicazioni di calcolo intensivo basato su tecnologia Linux; stazione per la calibrazione dei sistemi di scansione laser 3D; oscilloscopio ed analizzatore di stati logici Tektronix MSO4054 a 500MHz; generatore di funzione Gw Instek SFG-2020; piattaforma di sviluppo su schede-pc.



### Laboratorio di Robotica Medica - Milano

Il laboratorio all'interno del quale si sviluppano principalmente attività di ricerca e sviluppo nel settore della riabilitazione robotizzata è attrezzato con tutti gli strumenti necessari alla progettazione e sviluppo di prototipi – sia in termini di strutture meccaniche che di sistemi di controllo - per la riabilitazione neuromotoria dell'arto inferiore e dell'arto superiore. Il Laboratorio lavora in stretta collaborazione con il Presidio dell'Ospedale Valduce "Villa Beretta" di Costa Masnaga (Lecco) - primaria struttura dedicata al recupero del miglior livello di funzione possibile delle persone con problematiche derivanti da disabilità euro motorie determinate da malattie congenite o acquisite e con il Neuroengineering and medical robotics Laboratory del Dipartimento di Bioingegneria del Politecnico di Milano.



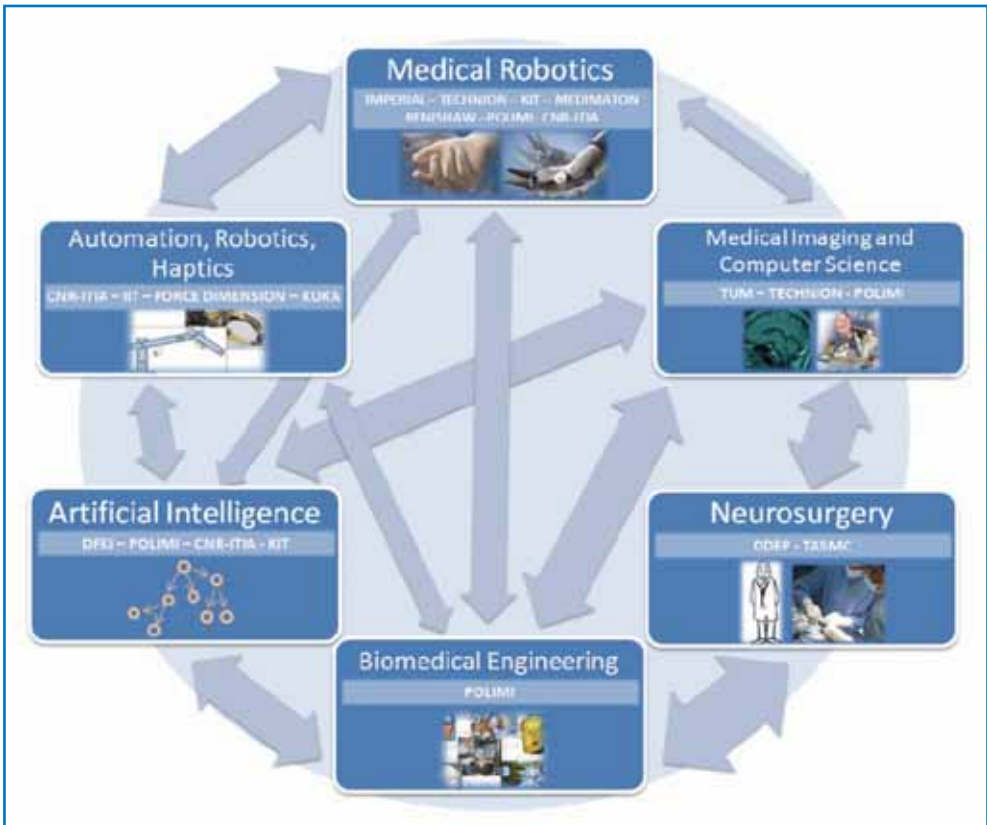
Da un punto di vista delle infrastrutture sperimentali il laboratorio è dotato di: un manipolatore industriale KUKA LWR 4+; Mitsubishi PA10-7CE controllato mediante un PC-embedded AAEON fanless Box che comunica con i driver del robot attraverso una scheda Arcnet Contemporary Control(R) PCI20U con HYC4000 tranceiver; sensore di forza/coppia ATI Mini45; scheda PCI di acquisizione analogica; PLC Beckhoff; sistema SmartD(tm) di BTS s.p.a per il tracking di marker passivi. Tale sistema è costituito da 4 telecamere nell'infrarosso, un pc di elaborazione dati; sensori di Forza ATI DELTA; schede di acquisizione analogica National Instrument; Inertial Measurement Unit (IMU) IG500A di SBG System.

### **Laboratorio di Robotica Chirurgica - Milano**

Nell'ambito di una convenzione stipulata tra il Politecnico di Milano, Dipartimento di Bioingegneria, e il Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione, è stato istituito presso CNR-ITIA un laboratorio congiunto per la Robotica Chirurgica che attualmente ospita il dimostratore del progetto FP7-ICT-2007-215190 Robocast e che ospiterà il dimostratore del progetto ACTIVE FP7 270460 - Active Constraints Technologies for Ill-defined or Volatile Environments (ACTIVE) - Challenge 2.1 ICT Call 6.

Il progetto Active che avrà inizio nella primavera del 2011 vede coinvolti 15 partner europei (Politecnico di Milano, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Imperial College of Science Technology and Medicine, Karlsruhe Institut fuer Technologie, Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia, TECHNION - Israel Institute of Technology, Technische Universität München, Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Dipartimento Tecnico Scientifico Interaziendale Milanese di Diagnostica Epilettologica Pre-chirurgica, The Foundation for Medical Research Infrastructural Development and Health Services next to the Medical Center Tel Aviv, Force Dimension s.a.r.l., Renishaw Ltd, MediMaton Ltd, CF Consulting S.r.l , KUKA Roboter GmbH) e svilupperà soluzioni per la neurochirurgia funzionale con un particolare focus sul trattamento chirurgico dell'epilessia resistente a trattamenti farmacologici.





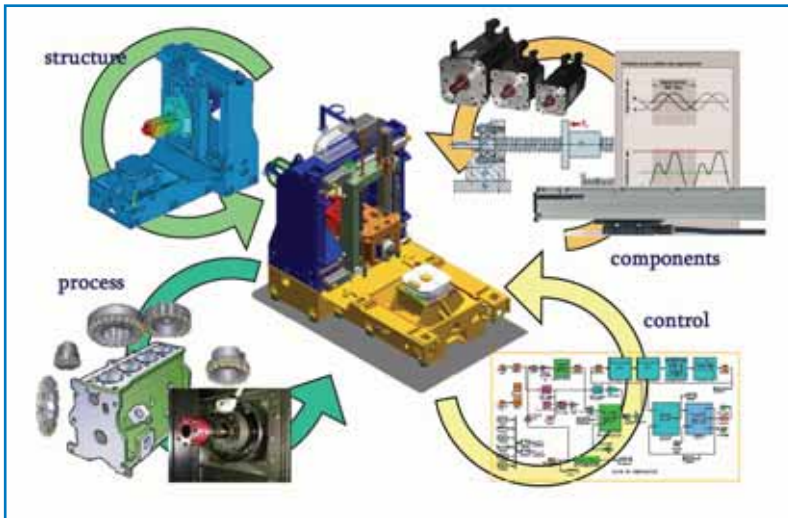
### Laboratorio per lo sviluppo di Sistemi di Supporto alle Decisioni - Roma

Laboratorio composto da Personal Computer in rete locale predisposti per lo sviluppo di applicativi DSSs (Decision Support Systems). Il laboratorio permette lo sviluppo di DSS utilizzando ambienti software di simulazione (Arena®, software open source per la simulazione di DSS, e di ottimizzazione (software open source per l'ottimizzazione mediante tecniche esatte, euristiche, meta euristiche, approssimate).

### Laboratorio di Meccatronica - Milano

Il lab è costituito principalmente da un sistema di analisi modale attrezzato

Il sistema consta di strumentazioni quali: svariati strumenti HW e SW di acquisizione, accelerometri, trasduttori, analizzatori, DBB, e sistemi di analisi/simulazione



**Officina meccanica - Milano**

L'officina è composta da un Centro di lavoro CB Ferrari 5 assi, un Tornio CNC Nakamura, un Centro di lavoro Matzura 5 assi e varie macchine operatrici quali torni, frese, trapani, rettifiche, affilatrice, ecc.







## Principali risultati rilevanti

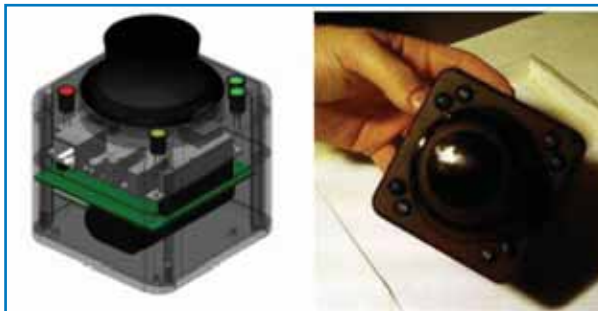
I risultati delle attività di Ricerca Scientifica e Tecnologica - svolte in collaborazione con Università, Istituti di Ricerca e Imprese Italiane ed Europee e finanziate attraverso progetti nazionali, Europei ed internazionali, e contratti industriali - possono essere così sintetizzati:

- evoluzione dell'impianto pilota ad alta flessibilità ed automazione per la produzione di calzature personalizzate
- metodologie e tools di piattaforme di controllo a livello di macchina e di fabbrica
- sistemi di controllo per macchine, robot industriali, celle e sistemi di produzione
- ambienti e strumenti per il controllo dell'interazione uomo-robot (workspace sharing, programming by interaction, etc) in ambito robotica industriale e robotica medica
- tools sw per la progettazione integrata – meccanica, controllo e processo di lavorazione - di macchine e sistemi
- ambienti e strumenti di realtà virtuale a supporto della simulazione di Macchine Utensili e sistemi di produzione
- contributi originali, in termini di Vision 2020, Strategic Research Agenda, Technology Roadmaps, alla Piattaforma Manufuture, all'associazione EFFRA ed al progetto internazionale IMS2020.

Di seguito vengono citati alcuni *Highlights*.

### Manual Guidance Device (brevetto internazionale)

Il prototipo è una tecnica di programmazione ed è usata per mostrare ed insegnare al robot determinate operazioni attraverso la movimentazione del tool in determinate posizioni attraverso la diretta interazione uomo-macchina.



### **Sincrono (brevetto internazionale)**

Nell'ambito del progetto EUREKA FACTORY PAMELA (PARallel Machine Ensemble for LASer cutting application 2003-2007) in cui CNR-ITIA è soggetto coproponente con Prima Industrie, è stata sviluppato un nuovo prodotto "Sincrono, The Laser (R)evolution" [http://www.primaindustrie.com/ita/pr\\_sincrono.html](http://www.primaindustrie.com/ita/pr_sincrono.html) basato su un'architettura cinematica ridondante con un'innovativa testa a cinematica parallela isotropa che a tre anni dalla fine del progetto è ancora caratterizzato da prestazioni dinamiche non eguagliate dalla concorrenza.



### **Magic mirror (brevetto internazionale)**

Il sistema MagicMirror propone un nuovo paradigma per la prova di calzature personalizzate. Il cliente sceglie, attraverso un catalogo digitale su di un pc nel negozio o attraverso internet, una specifica collezione e quindi inizia il processo di personalizzazione di colori, materiali, stile e componenti. Il MagicMirror a questo punto permette al cliente di provare un prodotto personalizzato in un ambiente di realtà aumentata anche se questo non è stato ancora effettivamente fabbricato.



### Lettino radioterapico (brevetto internazionale)

ITIA ha sviluppato un sistema per il posizionamento dinamico di un paziente durante trattamenti radioterapici in collaborazione con 3D Line Medical Systems poi acquisita dal gruppo Elekta AB.



### **Laser Scanner Device (brevetto internazionale)**

Il dispositivo di Scansione Laser Scanner è un prototipo che ha cambiato il paradigm delle tecnologie per la scansione laser: L'innovazione è dovuta alla possibilità di avere misure accurate con meccanismi di basso costo e attraverso un innovativo sistema di calibrazione.



Le suddette attività scientifiche-tecnologiche e strategiche sono state sviluppate, nel corso del 2010, partecipando a numerosi progetti di RTD&I, ed in dettaglio:

- 17 progetti di ricerca della CE (VI e VII PQ),
- 14 progetti nazionali (MIUR),
- 3 progetti regionali (Metadistretti e convenzione CNR-Regione Lombardia),
- 8 contratti privati di ricerca e trasferimento tecnologico con imprese.

Tra questi progetti ITIA è coordinatore di 2 progetti europei delVII PQ (VFF e FIT4U) ed ha ricevuto 3 riconoscimenti a livello internazionale (IMS awards - Intelligent Manufacturing Systems Initiative) per i progetti europei Difac, IMS2020, Promise.

Gli obiettivi e le attività dell'ITIA sono, come dianzi evidenziato, finalizzate alla Competitività e Sostenibilità del Manifatturiero in Italia ed Europa attraverso la Ricerca Scientifica e Tecnologica orientata all'innovazione industriale.



L'organizzazione dell'Istituto si è quindi fondata sulla necessità di fornire risposte specializzate ad una domanda rilevante di ricerca per l'innovazione industriale del paese.

Tale configurazione si è configurata secondo una struttura network - con ruoli, compiti e finalità complementari - articolata in diversi laboratori, guidata da una programmazione unitaria e con progetti strategici convergenti.

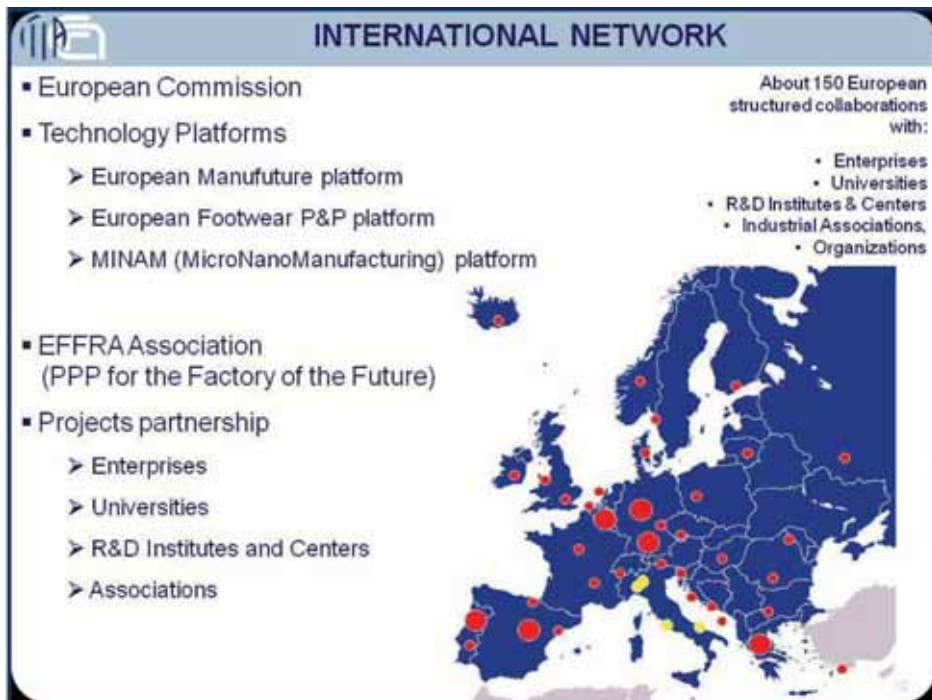
La distribuzione del personale nei laboratori e nelle commesse è stata governata secondo questa logica:

1. Direzione strategica e scientifica presso la sede centrale.
2. Laboratori prevalentemente focalizzati sulle Enabling Technologies.
3. Laboratori a prevalente focalizzazione sui settori produttivi.

A livello territoriale i diversi laboratori si interfacciano con il tessuto pubblico e privato nell'ambito di iniziative di ricerca industriale rilevanti per il paese fungendo anche da elemento di collegamento tra iniziative europee multilaterali e l'ambito locale (regioni, distretti tecnologici, università).

In questo quadro si ritiene strategico potenziare tale capacità di collegamento, indispensabile allo sviluppo di sistemi per l'innovazione basati sulla Ricerca Scientifica e Tecnologica.

Inoltre viene ritenuto fondamentale potenziare le collaborazioni tra ITIA-CNR ed altre Istituzioni nazionali e internazionali tramite convenzioni che possano prevedere lo scambio di giovani ricercatori e di ricercatori senior per compiere ricerche congiunte.



Nel corso del 2009, anche a valle del processo di valutazione posto in essere dall'Ente attraverso i Panel di Valutazione (L1 Ing. Industriale e L2 Ing. dell'Informazione), si è dato inizio ad una attività di analisi e ripensamento della strategia scientifica e della relativa struttura organizzativa in commesse e moduli, al fine di garantire la sintonia con la continua evoluzione delle attività di ricerca dell'istituto.

L'attività di valutazione del Panel Generale ha mostrato che in media gli Istituti CNR si trovano in buona salute, sia dal punto di vista dei risultati scientifici ottenuti sia da quello della capacità di attrazione di finanziamenti esterni.

La valutazione numerica media degli Istituti effettuata dai Panel per le varie aree scientifiche, tecnologiche e culturali è risultata molto buona, evidenziando un punteggio medio di circa 73/100 per gli Istituti della Sezione afferenti ai dipartimenti delle Aree "Science, Medicine, Engineering, and Economics". La capacità attrattiva per fondi di provenienza esterna al CNR è stata inoltre riscontrata come buona. Il relativo "fattore di attrazione", definito per ciascun Istituto come rapporto tra fondi esterni e fondi totali (inclusi i costi del personale), è risultato



pari al 30% per gli Istituti di tali aree. In tale contesto, ITIA si è collocata molto positivamente secondo entrambe le metriche di valutazione, denotandosi in particolare per una valutazione numerica media di 79/100 abbinata ad un fattore di attrazione del 49%.



stand ITIA alla fiera BIMU 2010

L'autore desidera ringraziare Daniele Dalmiglio di ITIA per il contributo alla stesura del presente capitolo sull'istituto.



## Istituto per lo Studio delle Macromolecole Sede di Biella - ISMAC

Alberto Bolognesi

### 1. Cenni storici

*“Taluno potrebbe mostrarsi scettico, a priori, sulla validità scientifica di ricerche sulla lana e sui tessuti. In realtà, anche sfogliando il volume, è facile constatare che in esse vi è scienza: l’argomento è certamente interdisciplinare, ma la fisica e la chimica applicate sono chiaramente dominanti. E la complessità delle apparecchiature e delle attrezzature richieste per la sperimentazione sono una documentazione ulteriore della scientificità dei contenuti.”* È quanto scriveva il Prof. Mario Silvestri nel dicembre 1978, nella sua veste di Presidente del Comitato Nazionale per le Ricerche Tecnologiche del C.N.R. nella presentazione del libro che raccoglieva l’attività decennale dell’allora Centro Ricerche e Sperimentazione per l’Industria Laniera “O. Rivetti”.

Il Centro Ricerche e Sperimentazione Laniera “O. Rivetti” sorse nel 1969 in base ad un accordo tra il Consiglio Nazionale delle Ricerche e l’Unione Industriale Biellese in base al quale dovevano essere sviluppate sia le attività di ricerca sia quelle di supporto ed assistenza alle imprese, intese, queste ultime, come consulenze, servizi analitici, progetti di ricerca mirati.

Nel 1982 il Centro è trasformato in Istituto, unico del Consiglio Nazionale delle Ricerche nel campo tessile.

Nel 1989, nel polo di Città Studi di Biella nasce la nuova sede, di proprietà CNR, 10.000 m<sup>2</sup> di cui 1600 m<sup>2</sup> coperti.





Nel 2002 l'Istituto è accorpato a quelli di Chimica delle Macromolecole di Milano e di Studi Chimico-fisici di Macromolecole sintetiche e naturali di Genova. Nasce da questa unione l'Istituto per lo Studio delle Macromolecole, con sede a Milano e sedi distaccate a Biella e Genova.

L'attuale staff è composto da 4 ricercatori a tempo indeterminato, un tecnologo a tempo indeterminato, 3 ricercatori a tempo determinato, 4 assegnisti di ricerca, 6 tecnici, 2 amministrativi di cui uno a tempo determinato part time.

## 1. Mission attuale

ISMAC Biella ha come focus i materiali tessili, le tecnofibre ed i processi industriali per la filiera tessile; costituisce, in ambito Cnr, un unicum, e può essere considerato punto di riferimento nazionale in quanto, in Italia, rappresenta l'unica entità di ricerca che lavora nel settore tessile in modo strutturato e continuativo. Per tradizione, cultura e sue stesse radici è da sempre molto legato al settore produttivo tessile che rappresenta uno dei principali comparti industriali nazionali. E proprio attorno a quest'ultimo aspetto si concentra la sua mission i cui principi ispiratori, gli obiettivi e le azioni intraprese sono riassunti nello schema sottostante.



Coerentemente con il target dell'Istituto i filoni di ricerca sviluppati in questi ultimi anni possono essere raggruppati in 3 macro aree: progettazione e sistemi di produzione di fibre/nanofibre, processi di modifica superficiale dei tessuti, metodologie analitiche per la loro caratterizzazione.

Nella prima area rientrano le attività inerenti la progettazione e caratterizzazione di nuove fibre ottenute da sottoprodotti dell'industria tessile, lo studio del processo di elettrofilatura con la produzione di nanofibre polimeriche e di materiali elettrofilati.

Alla seconda area appartengono le applicazioni di biotecnologie in campo tessile e lo studio dei trattamenti di materiali tessili con plasma.

La terza ed ultima area comprende lo studio del comfort e le proprietà termo fisiologiche dei tessuti e quello di nuove metodologie analitiche per la caratterizzazione dei materiali tessili.

All'attività propria di ricerca se ne affiancano altre che riguardano:

- i servizi per la Pubblica Amministrazione con la realizzazione di capitolati tecnici;
- i servizi per le imprese, con l'esecuzione di test analitici su materie prime, semilavorati,



prodotti finiti ed ausiliari tessili con rilascio di rapporti di prova conformi alla normativa, con consulenze tecniche e ricerche su specifiche tematiche;

- la Normazione in collaborazione con i principali Enti normativi italiani e stranieri (UNITEX, ISO, IWTO, CEN).

ISMAC Biella è Laboratorio accreditato INTERWOOLLABS e riconosciuto CCMI (Cashmere & Camel Hair Manufacturers Institute).

### 3. Attrezzature

La sede di Biella è articolata su cinque laboratori:

Laboratorio Fisico - Tessile

Laboratorio Chimico

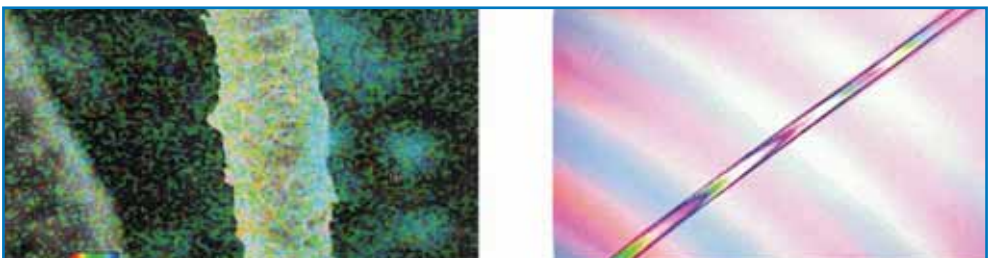
Laboratorio Biologico

Laboratorio di Microscopia elettronica

Laboratorio Tecnologico

Il parco attrezzature ha un valore di 3,0 Milioni di Euro ed è stato acquisito, nel corso degli anni, con fondi derivanti esclusivamente da contratti e attività esterne. Nel solo triennio 2008-2010 le spese d'investimento per strumentazioni sono state di 352.000 Euro.

Oltre alla strumentazione analitica di base, Gas-cromatografia (GC), Cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC), Elettroforesi SDS-PAGE, Calorimetria differenziale a scansione (DSC), Analisi termogravimetrica (TGA), Spettrometria ad emissione ottica al plasma (ICP-OES). Spettrofotometria nell'infrarosso (IR), nel vicino infrarosso (NIR), nell'UV visibile (UV-VIS), Viscosimetria, Microscopia ottica, elettronica a scansione SEM,



a forza atomica (AFM), Microanalisi EDX, Analisi d'immagine, è presente nei laboratori anche una serie di strumenti specifici per la caratterizzazione delle proprietà fisico-meccaniche e tintoriali dei materiali tessili: da segnalare in particolare, Kawabata e FAST: set di strumenti, per test non distruttivi, per la misura delle deformazioni meccaniche dei tessuti sottoposti a basse sollecitazioni di carico. Completano il parco strumenti Skin-model ed Alambeta per la valutazione delle proprietà termo fisiologiche dei tessuti, lo strumento per la misura dell'Angolo di contatto, lo spettrofotometro colorimetrico, i permeabilimetri per aria ed acqua, abrasimetri e pilling test, OFDA (sistema integrato analisi dell'immagine microscopio ottico per la misura del diametro della fibre).



Inoltre nel Laboratorio biologico sono presenti Elettroforesi SDS PAGE, elettroforesi INVITROGEN, Western blot e video densimetro.

Un cenno particolare merita il **Laboratorio Tecnologico** che fa parte del LATT – Laboratorio di alta tecnologia tessile i cui partner presenti nel complesso di Città degli Studi di Biella oltre ad ISMAC sono Politecnico di Torino, Città Studi Biella, Associazione Tessile & Salute ed ITIS Biella.



Per la parte di competenza ISMAC in esso sono sviluppate le seguenti attività:



Modificazione  
superficiale e  
deposizione



Produzione di  
filamenti in  
continuo da  
materiali rinnovabili



Produzione di  
Nanofibre

Oltre a queste apparecchiature il Laboratorio Tecnologico dispone anche di un KD per il trattamento di stabilità dimensionale dei tessuti e di un foulard per tessuti per l'impregnazione in continuo di soluzioni polimeriche.

#### 4. Alcune risultati rilevanti

##### Elettrofilatura

È stata realizzato, nell'ambito del Progetto HITEX, cofinanziato dalla Regione Piemonte un sistema di elettrofilatura multi getto per deposizione di nanofibre in continuo su substrati tessili tradizionali.

Il sistema, grazie all'applicazione di un campo elettrostatico ad una soluzione polimerica, ha consentito di produrre membrane di nanofibre ad elevata superficie specifica, elevata porosità e ridotta dimensione dei pori che rendono tali prodotti estremamente interessanti per la fabbricazione di filtri ad alta efficienza per abitazioni, veicoli e ambienti di lavoro e per la depurazione delle acque reflue industriali.



- 1 Sistema multi getto di elettrofilatura con gli spinnerets in funzione
- 2 Particolare della uscita della soluzione polimerica dallo spinnerets
- 3 Confronto tra le dimensioni di una fibra di dimensioni micrometriche e la rete di nanofibre ottenute tramite elettrofilatura

##### Biomasse

Nell'ambito del progetto di valorizzazione delle lane di scarto, tramite il sistema di elettrofilatura si sono progettate e realizzate nanofibre di cheratina (proteina estratta da lana di scarto) in grado di fissare metalli pesanti e assorbire formaldeide. Sono stati realizzati film e filamenti biocompositi a base di cheratina. Tali materiali sono stati testati, con ottimi



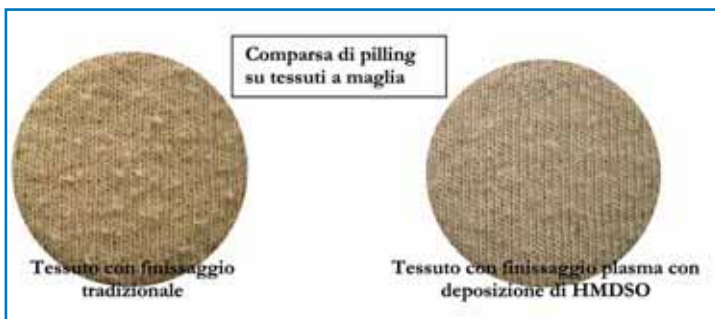
risultati, per la fabbricazione di filtri attivi per il trattamento dell'aria contaminata da gas inquinanti e per la depurazione dell'acqua dai metalli pesanti.

Un altro importante risultato raggiunto in tale settore riguarda la realizzazione, con un sistema del tutto innovativo, di pannelli isolanti fono-assorbenti ed autoportanti a base di fibre di lana per impieghi in bio-edilizia.

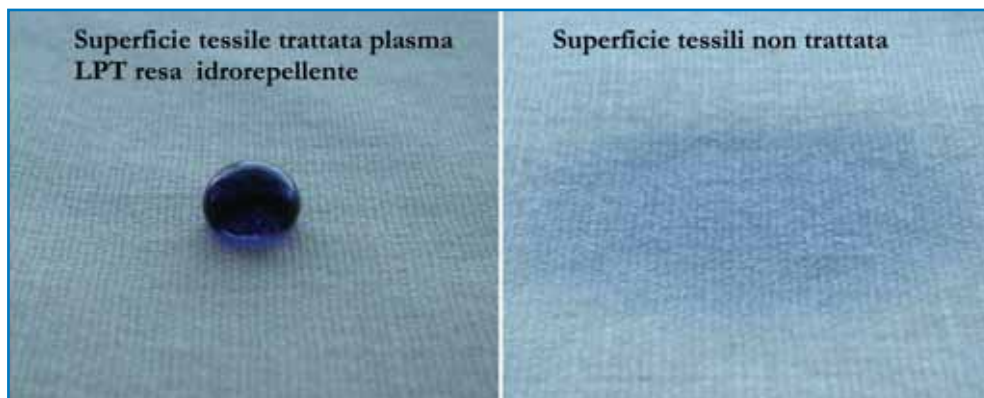


### Plasma freddo

Con l'obiettivo di sviluppare processi tessili di finissaggio a basso impatto ambientale, dei tessuti maglia e trama/ordito sono stati trattati in plasma freddo sia per deporre polimeri, formati in fase gassosa, sotto forma di strati sottili aderenti alla superficie del materiale tessile sia per attivare la stessa con gas che non polimerizzano, sfruttando l'interazione fra un plasma a bassa temperatura (generato dall'applicazione di un campo elettromagnetico) e il materiale. Tale processo non prevede l'uso di acqua contrariamente a quanto accade con i processi di finissaggio tradizionali che ne impiegano grandi quantità: in media per ogni chilo di materiale trattato, sono utilizzati 20 litri di acqua.





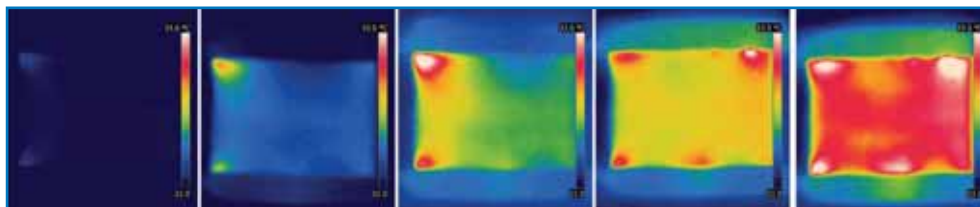


Nelle immagini sopra riportate, due significativi risultati ottenuti con tessuti trattati in plasma: la riduzione del "pilling" (formazione di palline) su tessuti a maglia e la proprietà di idrorepellenza impartita ad un tessuto trama/ordito.

### Tessili elettroconduttivi

I polimeri elettricamente conduttivi possono essere una valida alternativa all'impiego di materiali conduttivi metallici nei casi in cui si vogliono produrre tessuti con resistività tra 10 e 106 ohm/square per applicazioni come materiale antistatico o riscaldante, mantenendo le proprietà tipiche dei prodotti tessili: mano, elasticità, deformabilità, sofficià, morbidezza, leggerezza. La loro deposizione su tessuti consente di trasportare la corrente elettrica grazie alla loro struttura chimica.

#### Sequenza del riscaldamento di un tessile, reso conduttivo dalla deposizioni di polipirrolo, alimentato da corrente elettrica



I risultati ottenuti in tale settore riguardano la produzione di campioni di tessuti riscaldanti, antistatici, schermanti le onde elettromagnetiche ed antibatterici.





## Metodologie analitiche: anticorpi usati per una nuova metodologia oggettiva per il riconoscimento delle fibre di kashmir in un prodotto tessile

Dal punto di vista commerciale è fortissimo l'interesse di poter disporre di una metodologia analitica oggettiva in grado di poter fornire il valore della quantità di fibra di kashmir presente in una mista con altre fibre animali.

Ad oggi la metodologia analitica più avanzata utilizza la microscopia elettronica a scansione che comunque non può prescindere dall'esperienza e dalla sensibilità dell'operatore.



Il risultato ottenuto, in questo caso, è stato quello di mettere a punto una metodologia immunologica per giungere alla esatta quantificazione in peso delle fibre di kashmir presenti in mista con altre fibre animali.

Tale metodologia prevede i seguenti steps: estrazione di cheratina dalle fibre; dosaggio proteico; elettroforesi monodimensionale SDS-PAGE; trasferimento delle proteine su membrane di PVDF mediante Western Blot; immunoreazione dell'anticorpo primario "antikashmir" verso il suo antigene (kashmir); immunoreazione dell'anticorpo secondario (marcato perossidasi) verso il suo antigene (anticorpo primario); sviluppo della chemiluminescenza; scannerizzazione densitometrica e analisi d'immagine.



## Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree - IVALSA

Ario Ceccotti

L'Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree del Consiglio Nazionale delle Ricerche nasce nel settembre del 2002 dalla fusione di tre precedenti Istituti – l'Istituto per la Propagazione delle Specie Legnose, l'Istituto per la Ricerca sul Legno, l'Istituto per la Tecnologia del Legno – ed è il più grande istituto di ricerca italiano nel settore foresta-legno.

IVALSA possiede uno staff di circa 70 persone, ripartite tra la sede di Firenze e quella di Trento. Le attività di ricerca riguardano lo sviluppo tecnologico del legno, l'edilizia, la dendrocronologia e la conservazione dei beni culturali, la tutela e la valorizzazione del patrimonio forestale, il supporto alle imprese, la formazione e il servizio di documentazione.

I laboratori sono equipaggiati con attrezzature di prova avanzate e innovative e svolgono attività di consulenza tecnica e certificazione.

IVALSA collabora con molte Università nello svolgimento di master post-laurea e programmi di dottorato e partecipa a numerosi progetti di ricerca nazionali ed europei. IVALSA è inoltre attivo nei processi di normazione nell'intera area del legno sia in ambito nazionale che europeo.

IVALSA è luogo di confronto scientifico e tecnico, il riferimento naturale per il settore del legno e per chi di legno si occupa da progettista, da imprenditore, da ricercatore e da specialista del settore.

[www.ivalsa.cnr.it](http://www.ivalsa.cnr.it)

### Missione

- Caratterizzazione, selezione e propagazione delle specie arboree e conservazione del germoplasma;
- Caratterizzazione tecnologica del legno e miglioramento qualitativo della produzione legnosa in foresta e in impianti di arboricoltura;
- Costruzioni di legno, processi industriali del legno;
- Gestione sostenibile dell'ecosistema terrestre;



- Salvaguardia della biodiversità delle foreste;
- Selezione e sfruttamento dei genotipi;
- Valorizzazione e salvaguardia dell'ambiente agro-forestale;
- Sfruttamento sostenibile e meccanizzazione della biomassa;
- Interazione legno-acqua;
- Beni culturali in legno;
- Dendrocronologia.

### Ricerca

- Materiali e tecnologie per la costruzione: utilizzo del legno;
- Prodotti e sistemi di produzione: processi industriali legno;
- Beni culturali;
- Sostenibilità, valorizzazione e gestione degli ecosistemi terrestri, produttivi e naturali;
- Salvaguardia e valorizzazione delle specie arboree;
- Conservazione della biodiversità.

### Laboratori

Il CNR-IVALSA, ai sensi della direttiva 89/106/CE, è stato abilitato come Organismo di certificazione delle prove del tipo iniziale per le seguenti famiglie di prodotto:

Finestre e porte esterne – Norma di prodotto UNI EN 14351-1:2006

Facciate continue – Norma di prodotto UNI EN 13830:2003

Strutture di legno-Legno lamellare incollato-Requisiti – Norma di prodotto UNI EN 14080:2005

I laboratori IVALSA costituiscono un patrimonio unico a livello nazionale e svolgono attività di prova, ispezione e certificazione. I laboratori principali hanno adottato il Sistema di Gestione per la Qualità (SGQ) secondo la norma internazionale UNI CEI EN ISO/IEC 17025:

- Laboratorio prove serramenti e facciate continue  
Il laboratorio serramenti e facciate continue svolge attività di ricerca e di prova su finestre, porte, sistemi oscuranti, facciate continue e accessori per serramenti secondo metodologie a norma o predisposte ad hoc, su serramenti di qualsiasi materiale e dando risposta a prodotti rappresentanti diverse realtà tecnologiche e di mercato, come pvc e alluminio.



- Laboratorio prove meccaniche  
Il laboratorio si occupa della determinazione delle proprietà fisico-meccaniche dei prodotti a base legno e svolge tale attività sia come servizio verso terzi sia nell'ambito di progetti di ricerca. Oltre a prove tese all'attestazione di conformità vengono condotte prove volontarie su diversi tipi di prodotto (pannelli, travi, tondame) e attività sperimentali nell'ambito di progetti europei o nazionali.
- Laboratorio prove di resistenza e reazione al fuoco  
I laboratori di comportamento al fuoco sono dotati di attrezzature di prova tecnologicamente avanzate ed innovative, che permettono di svolgere diverse attività di ricerca e di certificazione nel settore antincendi.
- Laboratorio di essiccazione del legno e trattamenti igrotermici
- Laboratorio di qualità del legno, caratterizzazione e prove non distruttive
- Laboratorio di dendrocronologia
- Laboratorio di identificazione delle specie legnose e caratterizzazione anatomica del legno
- Laboratorio di caratterizzazione chimica del legno e dei prodotti derivati
- Laboratorio di isto-anatomia e microscopia
- Laboratorio di caratterizzazione fisico-meccanica del legno
- Laboratorio di biotecnologie per la conservazione in vitro e la crioconservazione
- Laboratorio di biochimica e fisiologia vegetale



- Laboratorio di biodegradamento e preservazione del legno
- Laboratorio di filogenesi
- Laboratorio di biotecnologie e coltura in vitro
- Laboratorio di caratterizzazione biochimica-molecolare
- Meccanizzazione forestale e raccolta della biomassa

Il laboratorio tratta specificamente l'ottimizzazione tecnica, economica e ambientale dei cantieri di utilizzazione forestale, con particolare riferimento alle operazioni di raccolta nei popolamenti giovani e di scarsa qualità, che forniscono soprattutto biomassa per uso industriale ed energetico. Le ricerche condotte in questo ambito forniscono dati accurati sulle produttività e sui costi di lavorazione della biomassa, ottenuti con cantieri ottimizzati. Esse servono ad assistere gli utenti sul territorio nel razionalizzare le proprie procedure di utilizzazione. Tra le varie altre attività condotte da questo gruppo di lavoro c'è la costruzione di software per il supporto decisionale e il trasferimento di conoscenze attraverso pubblicazioni, convegni, corsi di formazione e dimostrazioni pratiche.

Le attività coprono tutto il Paese, dal Trentino alla Sicilia, e possono contare su un vasto tessuto di collaborazioni Internazionali a livello Europeo e in Nord America.



### **Azienda Sperimentale di Santa Paolina**

L'Azienda sperimentale "Santa Paolina" di Follonica ha come compito preminente la conservazione della biodiversità vegetale e il supporto alla ricerca svolta dal CNR- IVALSA.

Presso l'Azienda, operativa sin dal 1966, è conservato il germoplasma frutticolo di pero, pesco, olivo, kaki, melo, cotogno. Fin dalla costituzione vengono svolte attività di supporto e formazione a beneficio delle imprese della filiera agro-alimentare cooperando con le associazioni professionali, le istituzioni e le amministrazioni pubbliche. Oggi realizza iniziative di studi, ricerche e piani funzionali allo sviluppo dell'agricoltura e orientati alla tutela dell'ambiente; fornisce ed effettua opere di divulgazione per l'agricoltura, per l'innovazione tecnologica, per il miglioramento e la certificazione della qualità agroalimentare; collabora con enti pubblici e privati per iniziative nei settori di competenza; sviluppa il collaudo delle innovazioni, dimostrazioni in campo, supporto all'attività didattica e di ricerca. Nell'ambito della rete si connota per le attività relative a ortofrutta, germoplasma delle specie arboree, arboricoltura da legno.





## Servizio documentazione e trasferimento delle informazioni tecniche

La Biblioteca IVALSA dispone di una dotazione di oltre 6000 tra libri e documenti tecnico-scientifici, 260 periodici in abbonamento o scambio, cataloghi a stampa, cataloghi a schede, carte geografiche forestali, filmati, fototeca, campionature dei principali legni industriali, campionature didattiche. Le Banche Dati coprono tutto il settore della tecnologia del legno e parte di quello delle utilizzazioni forestali. IVALSA è inoltre abilitato all'uso di oltre 900 banche dati sui principali HOST della rete nazionale ed internazionale.

### Attività di formazione

L'IVALSA svolge attività di formazione mediante:

- assistenza nello svolgimento di tesi di laurea ed ospitando dottorati di ricerca;
- organizzazione di corsi e seminari
- ospitalità di borsisti CNR, dell'Università, degli Enti Locali e di Organizzazioni Internazionali che vengono inseriti nei programmi di ricerca dell'Istituto.

### WCTE2010

Dal 20 al 24 giugno 2010 si è tenuta a Riva del Garda in Trentino l'undicesima Conferenza mondiale di ingegneria del legno (The World Conference on timber Engineering). Dopo Seattle, Tokyo, Londra, New Orleans, Montreux, Whistler, Shah Alam, Lahti, Portland e Miyazaki, la commissione internazionale del WCTE ha affidato a IVALSA l'organizzazione del meeting e indicato l'Italia come Paese ospitante del meeting internazionale più importante e prestigioso nell'ambito dell'ingegneria e dell'architettura del legno.





### Alcuni progetti in corso

**SOFIE** (Sistema Costruttivo Fiemme) è un progetto di ricerca sull'edilizia sostenibile condotto da IVALSA con il sostegno della Provincia autonoma di Trento che ha lo scopo di definire prestazioni e potenzialità di un sistema per la costruzione di edifici a più piani, realizzato con struttura portante di legno trentino di qualità certificata e caratterizzato da elevate prestazioni meccaniche e basso consumo energetico, ottimi livelli di sicurezza al fuoco e al sisma, comfort acustico e durabilità nel tempo: il sistema X-lam (pannelli lamellari di legno massiccio a strati incrociati).

Punta di diamante del progetto il test sismico sull'edificio di legno di 7 piani realizzato nei laboratori di Miki (Giappone) il 23 ottobre 2007 sulla tavola vibrante più grande al mondo.

[www.progettosofie.it](http://www.progettosofie.it)



### Edilizia sostenibile

Accordo di programma tra Provincia Autonoma di Trento e CNR-IVALSA per la realizzazione di attività di ricerca scientifica sulle tecnologie per l'edilizia sostenibile.

Progetto finalizzato ad ampliare le indagini precedentemente svolte nel progetto Sofie, sia in merito alle possibilità di utilizzo del sistema costruttivo multipiano in situazioni di impiego estreme, sia riguardo all'intero ciclo di vita del legno e dei prodotti derivati. L'obiettivo generale è dimostrare che il legno è materiale da costruzione per eccellenza, in una logica di qualità per l'utente singolo e di sviluppo sostenibile dell'intero territorio e della sua comunità.





### Valerie

Il progetto VALERIE (“Fire Risk Assessment – Fire reaction of construction products”) è un progetto di ricerca per l’attuazione di una procedura standard per la valutazione della progettazione di edifici con strutture in legno e la loro conformità ai requisiti minimi di sicurezza antincendio, condotto da IVALSA con il sostegno della Provincia Autonoma di Trento e la collaborazione dei Vigili del fuoco - Dipartimento di Trento.



### ECWINS – The SME Window for Europe

Oltre a IVALSA partecipano a questo importante progetto europeo Istituti di Ricerca provenienti da tutta Europa e aziende e gruppi di industria di oltre dieci Paesi (per l’Italia Federlegno-Arredo). Lo scopo è quello di sviluppare un modello matematico di classificazione di porte e finestre che sia di aiuto alle imprese per certificare i propri prodotti e metterli sul mercato, riducendo i costi per le prove di laboratorio.

[www.ecwins.eu](http://www.ecwins.eu)

### ProgettoBioTec

Il progetto BioTec, “Analisi delle tecniche di combustione e ricerca sui processi di produzione di biocombustibili da biomasse agroforestali”, si occupa delle potenzialità di utilizzo della biomassa di scarto agro-forestale per fini energetici. L’uso dei residui agro

forestali per la conversione energetica e/o i processi di combustione coinvolge problematiche relative ad aspetti ambientali, economici e di efficienza energetica. BioTec si occupa della caratterizzazione del residuo agro-forestale di partenza valutando origine del materiale e aspetti di filiera, dalla raccolta all'utilizzo. L'attività si concentra su processi di combustione realizzati sia in prodotti commerciali (caldaia a biomassa da 50 kWth), sia in test di laboratorio per la valutazione di processi innovativi di combustione e/o conversione.



### **MAI Modulo Abitativo Ivalsa**

È un edificio sperimentale ideato e sviluppato dal team di progettazione architettonica del CNR-IVALSA nell'ambito della ricerca sugli utilizzi innovativi dei pannelli strutturali di legno di tipo X-lam e realizzato in partnership con Ceii (Centro Europeo d'Impresa e Innovazione) Trentino, con la collaborazione di diverse imprese artigiane trentine. La struttura, dalle prestazioni energetiche eccezionali, è modulare, trasportabile e costruita con pannelli di legno riciclati.





## Istituti Partecipanti

### Istituti non afferenti che partecipano alle attività del Dipartimento Sistemi di Produzione

ISTITUTO	SIGLA	DIPARTIMENTO DI AFFERENZA	SEDI	MISSION
Istituto per la tecnologia delle membrane	ITM	Progettazione Molecolare	Sede Centrale: Arcavacata di Rende (CS) Articolazioni territoriali: sezione di Padova	Missione dell'Istituto è la ricerca multidisciplinare, lo sviluppo e l'alta formazione nel campo della scienza e dell'ingegneria delle membrane e delle operazioni a membrana in tutti i suoi molteplici campi dal trattamento delle acque, alla separazione di gas, agli organi artificiali, alla microelettronica etc. La preparazione di membrane sia polimeriche che inorganiche nonché metalliche, lo studio dei loro fenomeni di trasporto, le separazioni molecolari a membrana, le membrane catalitiche, i reattori catalitici a membrana, i contattori a membrana (tipo emulsificatori, cristallizzatori, etc.), i processi integrati a membrana, le membrane in medicina rigenerativa, etc. sono tutti settori rientranti nelle competenze ed esperienza dei ricercatori dell'ITM. Inoltre, è missione dell'Istituto la prototipizzazione dei risultati di maggiore interesse applicativo raggiunti nell'ambito dei programmi di ricerca come anche il training e il trasferimento tecnologico nei diversi settori di attività.
Istituto per le applicazioni del calcolo "Mario Picone"	IAC	Materiali e Dispositivi	Sede Centrale: Roma Articolazioni territoriali: sezione di Bari sezione di Firenze sezione di Napoli	Sviluppare modelli e metodi matematici, statistici e computazionali di elevato carattere innovativo per la risoluzione, in ambito prevalentemente interdisciplinare, di problemi di rilevante interesse applicativo per le scienze, la società e l'industria.



ISTITUTO	SIGLA	DIPARTIMENTO DI AFFERENZA	SEDI	MISSION
<b>Istituto di Fisica applicata</b> "Nello Carrara"	<b>IFAC</b>	Materiali e Dispositivi	Sede Centrale: Sesto Fiorentino (FI)	Svolgere attività di ricerca, di valorizzazione e trasferimento tecnologico e di formazione nelle seguenti tematiche: metodologiche ed applicazioni delle onde elettromagnetiche, dell'ottica, dell'elettronica quantistica e delle interazioni tra radiazioni e materia; struttura della materia, spettroscopia applicata; optoelettronica e fotonica; laser e applicazioni; elettromagnetismo; sensori e metodi di osservazione ottici, elaborazione dell'informazione
<b>Istituto di scienze e tecnologie della cognizione</b>	<b>ISTC</b>	Identità Culturale	Sede Centrale: Roma Articolazioni territoriali: sezione di Padova sezione di Trento	L'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione - ISTC - ha dieci anni e raccoglie l'eredità dell'ex Istituto di Psicologia. L'ISTC svolge attività di ricerca, di valorizzazione e trasferimento tecnologico e di formazione su: "Processi cognitivi, comunicativi e linguistici: acquisizione, elaborazione, deficit, multimodalità, tecnologie della comunicazione. Teoria, analisi e tecnologia del parlato e della variabilità linguistica. Sviluppo cognitivo, apprendimento e socializzazione nei bambini e nei primati non umani. Intelligenza artificiale, vita artificiale, società artificiali. Tecnologie della conoscenza, reti neurali, robotica autonoma. Cognizione sociale: comportamenti, motivazioni, trasmissione e processi culturali. Tecnologie della decisione e cooperazione. Qualità dell'ambiente, salute e società: prevenzione, educazione, integrazione, handicap, progettazione di tecnologie
<b>Istituto di matematica applicata e tecnologie informatiche</b>	<b>IMATI</b>	ICT (Tecnologie dell'Informazione e delle Comunicazioni)	Sede Centrale: Pavia Articolazioni territoriali: sezione di Genova sezione di Milano	Attività di ricerca, di valorizzazione, di trasferimento tecnologico e di formazione nei seguenti settori scientifici: Informatica, Modellistica e Simulazione Numerica, Statistica Matematica. Le principali applicazioni sono rivolte: alla biomedicina, alle tecnologie dell'informazione, allo studio materiali, all'ambito industriale, a quello economico, energetico e ambientale.



## Dipartimento di Linguistica Università della Calabria - URT

Roberto Guarasci

### Cenni storici

- La mission attuale
- Le attrezzature
- Alcuni risultati rilevanti

L'Unità di Ricerca "Sistemi di Indicizzazione e Classificazione" viene istituita con delibera del C.d.A. del CNR il 6 dicembre 2006 sulla base di una convenzione tra Università della Calabria, Regione Calabria, CNR con l'obiettivo dello studio di sistemi di indicizzazione e classificazione, della definizione e nomenclatura dei prodotti delle attività imprenditoriali e artigianali.

L'Unità di Ricerca CNR Sistemi di Indicizzazione e Classificazione opera, prevalentemente, nel campo della definizione di metodologie per la costruzione di applicativi di classificazione dei documenti digitali e di codifica dei dati in diversi ambiti di competenza. Svolge attività di ricerca nei campi dell'organizzazione e gestione della documentazione, dei sistemi di indicizzazione e classificazione e del knowledge e content management.

Particolarmente significative, in tale contesto, sono due attività progettuali, su finanziamento - rispettivamente - del Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione (CNIPA) e del Dipartimento per l'Innovazione della Presidenza del Consiglio dei Ministri finalizzate alla classificazione automatica dei documenti digitali (CLAUDIO) ed alla codifica dei dati sanitari nel Fascicolo Sanitario Elettronico.

Nell'ambito di quest'ultimo progetto l'URT ha sviluppato una metodologia ed un software denominato V.I.L.M.A (Vocabolari Italiani Lessici di Medicina e sAnità) per la costruzione di



un vocabolario italiano normalizzato - basato su ICD9CM - da utilizzarsi per la refertazione standardizzata da parte dei Medici di Medicina Generale, con la cui Federazione Nazionale è stato anche sottoscritto un apposito protocollo di intesa. È in corso di rilascio, inoltre, la prima versione italiana del LOINC® (*Logical Observation Identifiers Names and Codes*), per la codifica degli esami di laboratorio, curata dall'URT pubblicata dal Regenstrief Institute di Indianapolis.

In collaborazione con ITC-CNR opera per la definizione di un vocabolario e di un thesaurus specialistico italiano nel dominio della costruzione in grado di gestirne l'evoluzione linguistica, tecnica e normativa, costituendo il riferimento nazionale per tutte le fasi del processo di costruzione (progettazione, esecuzione e gestione) nonché per le fasi operative ad esse collegate (Progetto InnovANCE - industria 2015).

Partecipa, in convenzione con la Fondazione Bruno Kessler di Trento, al progetto PRO.DE per la Dematerializzazione della documentazione delle Regioni e delle Province autonome, occupandosi, in particolare, dell'analisi, standardizzazione e modellazione dei processi e dei relativi flussi documentali della Provincia autonoma di Trento, nonché della definizione del set di metadati descrittivi della documentazione amministrativa.



**PROGETTI**







DSP-P.01

## Processi, Sistemi di produzione industriali, Prodotti high tech e materiali avanzati

Giacomo Bianchi

### Inquadramento della problematica

L'Italia è il secondo Paese industriale manifatturiero d'Europa, dopo la Germania: nel 2008 il valore aggiunto generato direttamente dal settore manifatturiero italiano, senza considerare l'impatto in termini di indotto sugli altri settori dell'economia, è stato di 262 miliardi di euro, producendo un rilevante surplus commerciale con l'estero. Settori cardine sono le cosiddette "4 A": Alimentari-vini, Abbigliamento-moda, Arredo-casa e Automazione-meccanica-gomma-plastica, che nel 2006 hanno generato un valore aggiunto di 142 miliardi di euro, occupando 3,3 milioni di persone<sup>1</sup>. Il Progetto "Processi, Sistemi di produzione industriali, Prodotti high tech e Materiali avanzati" del Dipartimento Sistemi di Produzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche ha un significativo impatto su tali settori, offrendo competenze e risultati nel campo dell'automazione industriale, del tessile, del legno, dei materiali ceramici. L'industria si trova oggi nella necessità di adeguarsi al mutato scenario competitivo internazionale, con crescenti difficoltà di approvvigionamento di materie prime ed energia. Oltre a supportare ed innovare settori tradizionalmente competitivi del Made in Italy, il Progetto propone quindi soluzioni tecnologiche per lo sviluppo di nuovi processi e prodotti, sia industriali che biomedicali, per esempio nell'ambito dei tessuti high-tech, dei ceramici resistenti ad altissima temperatura ed antiusura, nelle applicazioni di chirurgia laser, dei processi a membrana, delle applicazioni industriali della realtà virtuale ed aumentata.

La crescente concorrenza ha spinto le aziende a competere viepiù offrendo prodotti personalizzati continuamente aggiornati, anche per ottemperare all'evoluzione delle regolamentazioni, rendendo necessari sistemi di automazione adattativi di nuova generazione, in grado di conferire agli impianti produttivi la capacità di reagire in modo flessibile ed agile. Sempre più spesso, infine, il progressivo ridursi dei margini di profitto tradizionali obbliga i fornitori

<sup>1</sup> fonte: Italia – Geografia del nuovo Made in Italy, fondazione Edison e Symbola, Ottobre 2009



di beni industriali dei paesi industrializzati ad acquisire fonti di vantaggio competitivo sostenibile aggiuntive rispetto alla tecnologia del prodotto in sé, tramite un'offerta integrata di prodotti-servizi ad alto valore aggiunto. Si passa quindi da vendere un prodotto a se stante a soddisfare nella sua globalità un "bisogno produttivo", generando valore competitivo per i propri clienti attraverso una migliore progettazione e gestione della capacità manifatturiera di questi ultimi.

Tale scenario genera nuove esigenze tecnologiche sia a livello di sistema che di prodotto: occorre sia un elevato contenuto di innovazione, sia garantirne l'economicità e l'affidabilità attraverso metodologie di progettazione avanzate. È quindi strategico che la ricerca sostenga questa transizione, favorendo il passaggio ad una società basata sulla conoscenza, sviluppando know-how mirato a tutte le tecnologie abilitanti per una produzione d'avanguardia. I vari domini di R&D, inerenti a Processi, Sistemi di Produzione e Prodotti, in cui opera il Progetto sono rappresentati in figura 1: accanto a tematiche settoriali riguardanti una specifica categoria di prodotto, ad esempio il tessile, o servizio, vengono studiate le macchine ed i sistemi più adatti a produrlo, arrivando infine, in termini più astratti, alle competenze trasversali legate alle strategiche attività di modellazione ed analisi.

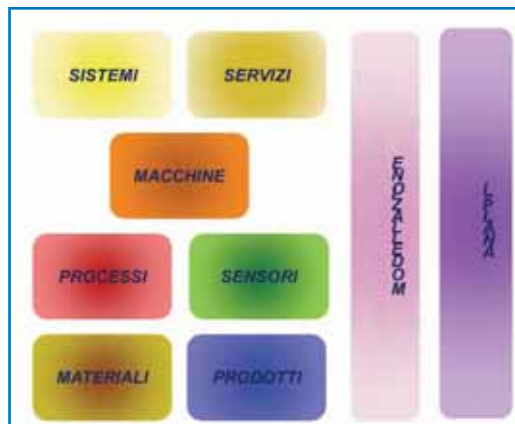


Figura 1. Mappa dei domini R&D coinvolti nel Progetto.

Come in molti altri settori industriali, anche nel Progetto I l'innovazione nel campo dei materiali permette di aumentare le prestazioni dei prodotti con un tasso che i materiali commercialmente "maturi", siano essi metalli, polimeri o ceramici, non riescono più ad offrire.

Vari studi di settore indicano, ad esempio, potenzialità di crescita del mercato mondiale dei ceramici speciali superiori al 10% all'anno negli anni a venire. Anche nel settore dei materiali tessili, sia tradizionali che per impieghi tecnici, l'innovazione risulta strategica per sostenere uno dei più importanti comparti industriali nazionali. L'Italia costituisce il maggior produttore di T&A in Europa, con una quota pari al 30%. I tessuti tecnici TiT - automotive, tessuti protettivi, sportswear, medicale, packaging - rappresentano invece un'area strategica in cui però l'Italia è fortemente in ritardo. Tale settore dovrebbe quindi essere oggetto di un consistente sforzo di ricerca, al fine di riposizionare parte della nostra industria tessile verso aree tecnologicamente avanzate, difendendola così dalla fortissima concorrenza di paesi a basso costo della manodopera.

Un ulteriore campo di ricerca con ricadute industriali potenzialmente notevoli è quello delle leghe a memoria di forma (LMF), per esempio per lo sviluppo di dispositivi biomeccanici.

Le tecnologie laser, parimenti, rappresentano uno degli aspetti di punta della produzione hi-tech, sia nella realizzazione di dispositivi che nella messa a punto di processi di lavorazione industriali. Risulta, quindi, opportuno sviluppare know-how su sistemi ottici ed optoelettronici, con particolare riguardo ai sistemi laser innovativi per il material processing e il biomedicale e agli studi sui processi di interazione laser-materiale.

Infine, la disciplina della cosiddetta membrane engineering, sia nel settore alimentare che nell'industria chimica di processo, mette a disposizione innovativi procedimenti di separazione e/o conversione, in grado di migliorare simultaneamente l'efficienza del processo e la qualità del prodotto.

Il Progetto "Processi, Sistemi di produzione industriali, Prodotti high tech e Materiali avanzati" si pone quindi come "strumento" volto a favorire, laddove convenienti, le opportune sinergie tra le varie linee di ricerca, promuovendone la valorizzazione in un'ottica di ciclo di vita prodotto-processo.

## Il ruolo e le competenze del CNR

Il CNR dispone delle competenze specialistiche e delle infrastrutture sperimentali necessarie per sviluppare sistemi di automazione, prodotti e processi di nuova generazione integrando le conoscenze multi-disciplinari (Sistemi, Materiali, Automatica, Matematica, Economia, Elettronica, Optoelettronica) e tecnologiche richieste per affrontare una tale sfida nei prossimi anni.

Partendo dal livello più alto, per quanto riguarda aspetti legati quindi alla visione strategica, il CNR, attraverso l'Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione (ITIA), è stato un precursore nell'individuare nuovi modelli di business per l'Economia della Conoscenza,



contribuendo, all'inizio del nuovo millennio a dare vita alle principali iniziative di ricerca in quest'ambito a livello Europeo (progetti "Licopro", "SMERobot", "Next", "Demat"). In particolare, ITIA ha da un lato avviato un processo costante e strutturato per la comprensione approfondita dei meccanismi di innovazione di business model, dall'altro ha messo a punto tecniche per la valutazione della sostenibilità di nuovi modelli di business, integrando approcci multidisciplinari (finanziario, life cycle management e assessment, progettazione di sistemi flessibili e riconfigurabili) che potessero fornire ai decisori informazioni strutturate per compiere scelte strategiche di lungo respiro. Dal punto di vista dell'automazione industriale ITIA ha sviluppato soluzioni metodologiche, algoritmiche e tecnologiche innovative con riferimento sia all'automazione e progettazione di macchine operatrici avanzate, con le corrispondenti metodologie e strumenti di progettazione, che di linee di produzione manifatturiera ad alta automazione, rappresentate per esempio nell'impianto ITIA di Vigevano per la produzione di calzature su misura, che rappresenta una best practice a livello internazionale (Figura 2). Per supportare l'adozione di nuove tecnologie nel processo produttivo manifatturiero, ITIA ha contribuito allo sviluppo del paradigma della fabbrica virtuale, da ultimo nell'ambito del progetto europeo VFF (Virtual Factory Framework), di cui è coordinatore: in esso ITIA lavora allo sviluppo di ambienti virtuali a supporto della progettazione, ottimizzazione e monitoraggio della fabbrica.

Scendendo al livello di prodotto, per quanto riguarda il settore tessile, l'Istituto per lo Studio delle Macromolecole (ISMAC) costituisce un punto di riferimento nazionale, essendo l'unica entità di ricerca che lavora nel settore tessile in modo strutturato e continuativo in Italia. Le competenze riguardano la struttura e la morfologia di fibre polimeriche naturali, sintetiche ed artificiali, la caratterizzazione chimico-fisica e microscopica dei materiali tessili, i processi di trasformazione tessile, specificatamente la filatura, il finissaggio, il coating e la tintura, la progettazione e la modifica di polimeri di origine naturale e biocompatibili, l'applicazione dei trattamenti bioprocesses ai materiali tessili, i meccanismi che regolano comfort e caratteristiche fisico-meccaniche dei tessuti, le tecniche analitiche immunologiche per il riconoscimento delle fibre animali, le tecniche analitiche per determinazione di sostanze tossiche presenti sui tessili. Le attività nel campo della scienza dei polimeri naturali e delle fibre, dei processi di finissaggio e di tintura, della caratterizzazione dei materiali tessili sono riconosciute a livello internazionale così come quelle dei servizi all'impresa, della normativa di settore con collaborazione strutturata con gli enti intenzionali di riferimento: ISO, IWTO, INTERWOOLLABS, CCMI.

Nel campo delle leghe a memoria di forma (LMF) il CNR, attraverso l'Istituto di Matematica Applicata e Tecnologie Informatiche (IMATI), ne supporta lo sviluppo tecnologico con metodi numerici. Il centro di Pavia, costituito da IMATI ed Università, ha un ruolo riconosciuto nel campo della modellistica avanzata e della matematica, applicate, per esempio, per analizzare

la dinamica di protesi vascolari soggette a trattamento meccanico ciclico quali stent carotidei o periferici. In tale ambito vengono studiati i fenomeni di riorientamento martensitico, educazione e danneggiamento nei materiali, accoppiamento termo-meccanico e l'effetto ferromagnetico a memoria di forma.

Passando ai materiali ceramici, l'Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici (ISTEC) è coinvolto in numerosi progetti e collaborazioni nazionali e internazionali che prevedono o valutano l'impiego di questi materiali nei più diversi ambiti, tipicamente ad alto valore tecnologico, quali: meccanica, aerospazio, opto-elettronica, energetica, chimica, edilizia, biomedicina. Le competenze dell'Istituto, riconosciute a livello mondiale, investono principalmente, ma non solo, la catena del processo di produzione dei materiali, la valutazione delle loro caratteristiche e l'interdipendenza tra queste e il processo di produzione.

Il CNR, con l'Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (IVALSA), è anche presente nel campo di materiali tradizionali come il legno, sviluppando temi relativi ai processi industriali relativi alla sua lavorazione, all'uso in edilizia e, più recentemente, nel settore delle biomasse.

Il Progetto si occupa di diversi processi industriali: l'unità torinese dell'ISTEC si occupa da oltre trent'anni di processi di lavorazione per asportazione di truciolo con applicazione a materiali ferrosi (acciai, ghise etc.), ceramici, leghe di Ni (es. Inconel), compositi a matrice metallica (MMC) ed organica (OMC). L'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" (IFAC) sviluppa tecnologie laser ed optoelettroniche di impiego in campo industriale, per material processing e controllo di processo, in campo biomedicale, per chirurgia laser e nanomedicina. L'Istituto è inoltre centro di riferimento per la promozione del trasferimento di innovazione nel settore Optoelettronica/Fotonica tramite azioni di rete ed organizzazione di cluster a livello regionale ed Europeo.

Il continuo aumento della complessità dei singoli impianti manifatturieri e delle interazioni all'interno di estese reti produttive ha prodotto, negli ultimi anni, un crescente interesse verso metodologie per la loro modellazione, analisi, ottimizzazione delle prestazioni e gestione. In quest'ambito, è emerso il concetto di "supply chain", sul quale il CNR presenta competenze di elevato livello in Istituti quali IMATI, IASI, IAC, ICAR. Un gruppo di ricerca ITIA, in particolare, si occupa del Supply Chain and Production Management in chiave di ciclo di vita del prodotto, operando in stretta connessione con il sistema industriale nazionale. L'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione (ISTC), sfruttando le sue conoscenze di pianificazione, scheduling e validazione, sviluppa strumenti di supporto alla progettazione di processi industriali flessibili, capaci di adattarsi alle mutabili condizioni operative, utilizzando linguaggi di modellazione di dominio in grado di riprodurre vincoli, in particolare di tempo e risorse. Un campo di applicazione stabile e costante nel tempo è stato quello della pianificazione di missioni per conto della Agenzia Spaziale Europea (ESA): i prototipi



operativi, attualmente in uso presso i centri di controllo dell'ESA, testimoniano l'attenzione costante del gruppo per il trasferimento tecnologico dei risultati di ricerca.

Per quanto riguarda le competenze di modellazione ed analisi trasversali alle varie tecnologie, l'IMATI, sede di Milano, ha sviluppato negli anni competenze nell'ambito dell'analisi dell'affidabilità e manutenzione di prodotti e processi e strumenti matematico-statistici per lo studio della produzione, del consumo e del recupero di energia elettrica. Le applicazioni nel settore energetico risultano particolarmente interessanti in quanto il crescente ricorso alle fonti rinnovabili e alla generazione distribuita contribuisce ad aumentare l'incertezza nella produzione di energia elettrica.

Nei paragrafi successivi sono brevemente presentate le competenze ed attività recenti delle commesse afferenti al progetto, secondo l'ordine descritto in Figura 1: dopo un'analisi delle recenti evoluzioni dei Business Models, si considerano le problematiche di controllo a livello di sistema produttivo, per scendere poi a livello di macchinari, processi produttivi e relativi sistemi di sensorizzazione, arrivando quindi all'area, strategica nei recenti sviluppi della ricerca, degli studi a livello di materiali e relative nanostrutture. Sono infine descritte le attività che portano allo sviluppo di metodologie e strumenti analitici e numerici trasversali, indispensabile supporto delle moderne attività tecnico-scientifiche.

## Focus di alcuni risultati rilevanti ottenuti e linee di sviluppo

### New business models

Gli scenari competitivi moderni contemplano un'offerta integrata di prodotti-servizi ad alto valore aggiunto. In quest'ottica, le aziende non dovrebbero più puntare a vendere un prodotto, ma a soddisfare un bisogno di produzione generando valore competitivo per i propri clienti attraverso una migliore progettazione e gestione della capacità manifatturiera di questi ultimi.

Sebbene vi sia unanime accordo su tale indirizzo strategico, l'evidenza empirica mostra che il numero delle imprese che sono state in grado di evolvere con successo in tale direzione sia ad oggi assai ridotto e limitato a realtà di grandi dimensioni. Il motivo è da ricercare nella complessità del cambiamento richiesto, che implica una vera e propria innovazione del modello di business, cioè una evoluzione congiunta del portafoglio dei prodotti-servizi offerti, della catena di fornitura necessaria alla erogazione dei prodotti-servizi (si pensi alla necessità di reti di assistenza e consulenza globali legata all'offerta di servizi), e dei modelli finanziari e contrattuali che regolano lo scambio tra clienti e fornitori (ad esempio, da compravendita a contratti full service basati su una logica "pay per part"). Oltre che ad un fatto culturale,

le barriere all'innovazione sono legate alla mancanza di metodi e strumenti necessari a progettare in maniera ingegneristica e multi-disciplinare i nuovi modelli di business, che ad oggi vengono perlopiù definiti sulla base dello spirito imprenditoriale dei singoli e senza prevedere adeguatamente i ritorni nel tempo ed i rischi connessi.

Nell'ambito dei progetti europei cui ha partecipato e partecipa ("Licopro", "SMERobot", "Next", "Demat"), l'ITIA ha messo a punto tecniche complesse per la valutazione della sostenibilità di nuovi modelli di business.

Proseguendo lungo la direzione intrapresa, i risultati attesi per il prossimo triennio riguardano l'approfondimento della comprensione dei meccanismi di innovazione di business model attraverso la partecipazione alla "European Manufacturing Survey (EMS)", iniziativa internazionale guidata dal Fraunhofer Institute per lo studio dell'innovazione di prodotto, processo e servizio nell'industria manifatturiera Europea, di cui CNR-ITIA ha responsabilità per l'Italia. Parallelamente, i metodi e le tecniche sviluppati a supporto della progettazione di nuovi modelli di business orientati ai servizi verranno ampliati e migliorati, con l'obiettivo principale di renderli disponibili anche alle piccole e medie imprese, che costituiscono l'ossatura del tessuto industriale italiano ed Europeo e che fino ad oggi sono rimaste escluse da questo importante processo di innovazione.

### Automazione industriale

In questi ultimi anni, ITIA ha sviluppato soluzioni metodologiche, algoritmiche e tecnologiche fortemente innovative con riferimento sia all'automazione di macchine operatrici avanzate che di linee di produzione manifatturiera ad alta automazione, fra cui la macchina Sincrono, sviluppata con Prima Industrie, ed impianti flessibili per la produzione di cucine e di calzature, quale l'impianto dell'ITIA-CNR di Vigevano per la produzione di calzature su misura che rappresenta una best practice di livello internazionale (Figura 2).





*Figura 2.* L'impianto per la produzione di calzature su misura del Laboratorio ITIA di Vigevano e la sua rappresentazione in realtà virtuale.

In particolare sono stati sviluppati sistemi di controllo per macchine utensili ridondanti, basati su piattaforme real time open source ad alte prestazioni, e su algoritmi innovativi per il controllo del moto a livello di controllo numerico e di servozionamenti.

Con riferimento alla progettazione ed alla realizzazione di impianti flessibili sono stati sviluppati sistemi di controllo logico e di automazione distribuita adattativi, basati su standard internazionali emergenti e su tecniche innovative quali l'approccio ad agenti e l'uso di architetture distribuite ad intelligenza diffusa. Particolare attenzione è stata anche dedicata alla definizione di metodologie e di strumenti per la progettazione, (ri)configurazione ed ottimizzazione dei sistemi di automazione industriale, al fine di migliorare la capacità dei sistemi di produzione di rispondere rapidamente alle dinamiche del mercato in termini di variabilità dei prodotti e degli ordini.

Le attività di cui sopra sono state sviluppate nell'ambito di diversi progetti di ricerca Europei, Nazionali ed industriali in partnership con i maggiori centri di ricerca Europei ed Italiani che operano sulle tematiche indirizzate, e con imprese high-tech e manifatturiere interessate allo sviluppo ed all'utilizzo delle tecnologie avanzate di cui sopra.

Quali risultati delle attività di ricerca in oggetto figurano macchine e linee di produzione sperimentali e prototipali in diversi settori industriali, nonché soluzioni software innovative per la progettazione ed il controllo di sistemi di produzione complessi.

Nel prossimo triennio saranno sviluppati ed applicati in settori produttivi differenti metodi e strumenti di supporto per la progettazione, validazione e implementazione di sistemi di automazione e gestione della produzione in tempo reale a livello shop-floor in

grado di garantire una rapida riconfigurabilità ai sistemi di produzione, ottimizzandone al tempo stesso la produttività, l'uso intelligente delle risorse produttive, i consumi energetici e l'impatto ambientale

### La Fabbrica Virtuale

Con l'obiettivo dell'inserimento delle nuove tecnologie nel processo produttivo manifatturiero, il paradigma della fabbrica virtuale, sviluppato in questi anni dall'ITIA), risponde ad esigenze del mondo manifatturiero quali: riduzione dei tempi di produzione e uso dei materiali grazie all'analisi di mock-up virtuali di nuovi prodotti; sviluppo di knowledge repositories che incamerino le diverse versioni del materiale archiviato sempre a disposizione degli utenti; aumento dell'efficienza e della sicurezza dei lavoratori che potranno imparare come usare i sistemi di produzione grazie ad ambienti di training virtuali; infine la creazione di network dando la possibilità a persone in luoghi diversi di lavorare contemporaneamente sullo stesso progetto, in tempo reale.

La libreria VR sviluppata, "GIOVE Virtual Factory", visualizza lo spazio dello shop floor, dove l'utente può definire l'insieme dei macchinari utilizzati ed effettuare il planning della fabbrica in tempo reale e in modo collaborativo: due o più utenti possono aggiungere macchine, lavoratori o strumenti che servono lungo la linea produttiva, spostarli, legarli a un prodotto specifico. La visione realistica (Figura 3) permette di avere immediate informazioni sull'usabilità dello spazio di lavoro e di riorganizzarlo di conseguenza correggendo facilmente gli errori dopo una simulazione volta a riconoscere immediatamente colli di bottiglia nella produzione.



Figura 3. Ambiente reale e virtuale di un impianto manifatturiero.



Nel prossimo triennio il progetto di ricerca VFF (FP7-NMP-2008-228595), di cui ITIA è coordinatore, verrà portato a compimento realizzando un framework per la Virtual Factory che sia estensibile, olistico e scalabile. La realtà virtuale applicata a livello produttivo aiuterà le imprese a riorganizzare la propria linea di produzione, progettare nuovi prodotti, prendere decisioni in modo dinamico e coerente.

## Metodi quantitativi per la gestione di sistemi complessi e Supply Chain Management

L'approccio metodologico per una gestione efficace ed efficiente della catena logistica basato sulle tecniche di simulazione ed ottimizzazione, anche integrate, vede coinvolti l'(ITIA) e l'Istituto per le Applicazioni del Calcolo "Mauro Picone" (IAC).

Le attività industriali sono sempre più effettuate tramite molteplici siti logistico-produttivi, che realizzano la cosiddetta "supply chain". Cresce quindi l'esigenza di ottimizzare le prestazioni e la gestione di sistemi di produzione complessi, estendendo i classici obiettivi dei sistemi manifatturieri quali acquisire materie prime, trasformarle in prodotti finali e distribuire questi ultimi, nei tempi e nei modi specificati, ai propri clienti; tutto ciò in presenza di altre realtà produttive presenti sul mercato. Nei modelli supply chain è però necessario tener conto in generale della presenza di diverse entità decisionali, ciascuna delle quali è a conoscenza di un limitato insieme di informazioni ed è caratterizzata da obiettivi specifici.

Obiettivo cardine delle ricerche è la definizione di un insieme di modelli e di metodologie finalizzati alla simulazione, all'ottimizzazione, al controllo e al coordinamento di sistemi di produzione distribuiti.

In dettaglio, l'IAC è attivo sulle seguenti tematiche, nell'ambito dei metodi quantitativi per il manufacturing:

- controllo, robotica, scheduling e simulazione nell'ambito dell'operations management dei sistemi manifatturieri;
- sviluppo di strumenti software per apparecchiature biomediche con particolare riferimento a tomografi di risonanza magnetica;
- sviluppo di metodi di analisi e previsione nei mercati economico-finanziari complessi, nell'ambito degli studi di mercato, analisi di previsione sull'assorbimento di prodotto e lancio di nuovi prodotti;
- problematiche inerenti le reti di trasporto, ai fini della distribuzione e della sostenibilità dei prodotti (Figura 4);
- qualità nei sistemi manifatturieri;

- lo studio e lo sviluppo di strumenti di calcolo ad alte prestazioni per l'elaborazione distribuita di sistemi complessi.

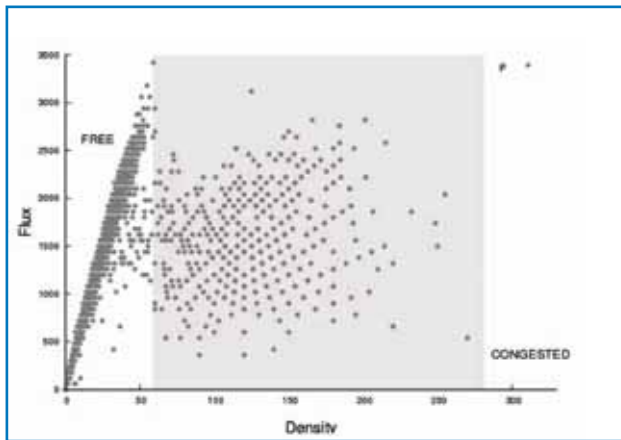


Figura 4. Traffico urbano: rilievo della densità di flusso.

Le principali attività svolte invece presso l'ITIA in ambito gestione integrata della catena logistico-produttiva sono:

- simulazione dei sistemi produttivo-logistici in ambito strategico, tattico e operativo;
- ottimizzazione delle fasi di approvvigionamento, stoccaggio, produzione, distribuzione di beni;
- predisposizione di strumenti di supporto alle decisioni basati su paradigmi olonici integranti simulazione e ottimizzazione;
- analisi del ciclo di vita dei processi a supporto del ciclo di vita dei prodotti per diversi paradigmi produttivo-logistici,

La collaborazione di lungo termine con l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha portato di recente l'ISTC a sviluppare il sistema RAXEM2, uno strumento software di supporto agli operatori umani nella raccolta, temporizzazione e pianificazione del trasferimento dei comandi operativi a bordo della sonda spaziale. Lo strumento si caratterizza per la possibilità



di generare velocemente piani alternativi, l'integrazione indolore nelle attività di missione, il rispetto delle responsabilità degli utilizzatori, e la drastica riduzione dei tempi di produzione dei piani e degli errori umani. Il sistema realizzato è diventato operativo dall'inizio del 2009, ed è attualmente in uso giornaliero presso l'ESA/ESOC in Darmstadt, Germania.

### Progettazione avanzata di macchinari

Utilizzando sia metodi sperimentali che numerici, L'Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione (ITIA) ha sviluppato modelli di macchinari seguendo un approccio olistico che consente di considerare in sede di progetto le principali problematiche che ne influenzano le prestazioni, in primo luogo l'interazione struttura – controllo – processo (Figura 5). In quest'ottica, si affrontano tematiche di ricerca volte a raffinare la precisione dei modelli e a concepire nuove metodologie per tradurre le specifiche funzionali in scelte progettuali: i risultati ottenuti sono supportati dallo sviluppo di adeguati strumenti software.

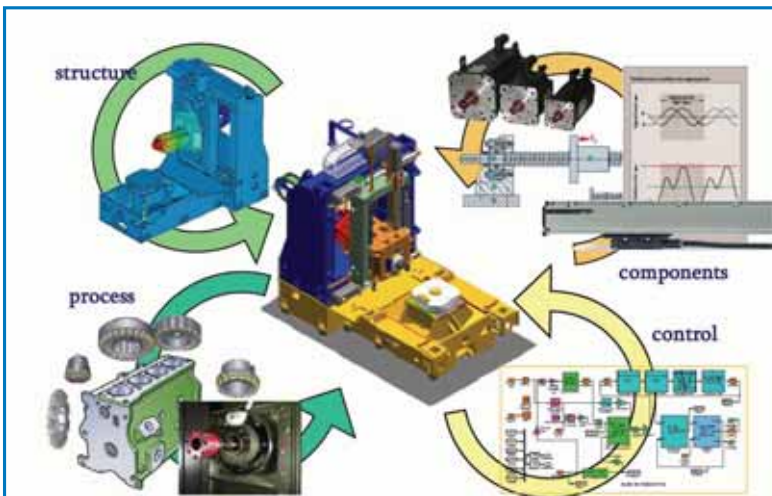


Figura 5. Approccio olistico alla modellazione di una macchina utensile.

I vari modelli di componenti sviluppati (catene cinematiche, azionamenti, asportazione di truciolo, nuovi materiali) - sono confluiti poi in una Piattaforma di Modellazione a supporto della progettazione di macchinari, dove essi possono interagire tra loro, abilitando una simulazione completa di processo.

La necessità di qualificare anche macchinari dall'architettura più sofisticata, segnatamente manipolatori industriali a cinematica parallela, ha portato verso linee di ricerca più marcatamente teoretiche. È stata messa a punto e pubblicata una metodologia originale per la determinazione delle configurazioni d'impuntamento di un cinematismo complesso i cui giunti sono affetti da attrito Coulombiano.

Più recentemente, ITIA sta sviluppando linee di ricerca nell'ambito della valutazione dell'impatto ambientale dei sistemi di produzione. In particolare, nel progetto Europeo Estomad "Energy Software Tools for Sustainable Machine Design", sta sviluppando modelli per la previsione del consumo energetico di macchine utensili.

### Laser per applicazioni industriali

L'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" (IFAC) contribuisce al progetto nel campo delle tecnologie laser industriali e medicali, con particolare riguardo ai sistemi laser innovativi per il material processing ed il biomedicale, ed agli studi sui processi di interazione laser-materiale. Recentemente è stata attivata anche una nuova linea per la sintesi e la funzionalizzazione di nanoparticelle metalliche eccitabili con radiazione laser per applicazioni mediche. Tali attività si esplicano nell'ambito di progetti nazionali, come il Progetto FIRB-MIUR "Smart-Flex" coordinato dal Centro Ricerche FIAT, nell'ambito del quale è stato messo a punto e brevettato un metodo basato su sensori optoelettronici per il controllo della saldatura laser di lamiera nel settore automotive (Figura 6). A livello internazionale, nell'ambito della Rete Europea "PHOTONICS4LIFE" (di cui IFAC è rappresentante italiano) sono stati sviluppati nuovi polimeri caricati con nanoparticelle laser-attivabili per impiego medico come biadesivi biocompatibili, che hanno meritato un highlight su Nature Photonics di Novembre 2010. A livello regionale, da un lato si stanno potenziando i processi di trasferimento tecnologico nel distretto Toscano di Optoelettronica con l'organizzazione di un Polo di Innovazione nell'ambito del Progetto Regionale POR CREO "OPTONET 2", dall'altro saranno portati avanti studi su nuove applicazioni di laser e nanotecnologie in campo biomedicale tramite tre progetti regionali, recentemente approvati, che verranno espletati nel triennio 2011-2013. Infine le ricerche menzionate sono state oggetto di comunicazione scientifica, che include, per il solo 2010, 8 articoli ISI, 4 capitoli di libri e più di 30 comunicazioni a congressi.

L'attività proseguirà nell'ambito di progetti regionali su applicazioni di laser e nanotecnologie in campo biomedicale, per un importo complessivo di circa 1 MEuro, che verranno espletati nel triennio 2011-2013.



*Figura 6.* Testa del sensore optoelettronico multi-spettrale per il monitoraggio della saldatura laser di lamiere metalliche nella produzione automotive.

### Materiali ligno-cellulosici: prodotti innovativi ed energia

Tra i principali risultati progettuali ottenuti da IVALSA, si menziona lo sviluppo di pannelli di tipo XLam con impiego di legno low quality ma rispondenti ai requisiti strutturali per applicazioni edilizie, lo studio delle prestazioni degli adesivi strutturali impiegati con accento particolare sulla durabilità, e da ultimo l'avvio di indagini su sistemi di connessione meccanica in legno densificato. Relativamente alle prestazioni dei materiali impiegati in ambienti interni, la ricerca ha definito i composti organici volatili (VOC) che rappresentano le potenziali fonti di inquinamento indoor. Sono state effettuate molteplici campagne per analizzare l'invecchiamento (naturale, artificiale UV e Xeno) di legno protetto e non protetto e di composti legno-plastica. Nell'ambito dei trattamenti igro-termici sono stati sviluppati i processi di trasformazione termica del legno sotto vuoto e in ambiente anossico, volti a conferire proprietà di stabilità dimensionale e durabilità biologica migliorate, senza diminuzione delle proprietà meccaniche. Sono stati ottenuti i primi risultati sulle metodologie per il controllo di qualità (inquinanti) e di origine dei materiali (provenienza del legno) mediante metodologie spettro-fotometriche all'infrarosso (FT-NIR e MIR-ATR), allo scopo di fornire strumenti per l'impiego virtuoso delle biomasse per produzione energetica e per la valutazione del bilancio del carbonio.

Le prospettive attuali e del futuro prossimo riguardano lo sviluppo di materiali fibro-



compositi nuovi o con caratteristiche migliorate, quali compositi con tranciati di legno sottili (100  $\mu\text{m}$ ) associati a resine, con caratteristiche di autodiagnosi in associazione a nano-tubi di carbonio; lo spessore limitato del foglio di legno, ottenuto con macchinario innovativo, permette la modellabilità nello spazio, altrimenti impossibile, come per i materiali tipici compositi (fibra di vetro, aramidica, ecc.). Parallelamente si stanno sviluppando tecnologie e processi per giungere all'ottenimento di superfici con caratteristiche superiori (autopulenti, idrorepellenti, durabilità, ecc.). Da ultimo, sono state avviate attività nell'area energetica, con la partecipazione ad un progetto sulla gassificazione di materiali di origine biologica, con gassificatore a letto fluido e ciclo ORC per la produzione di energia elettrica.



*Figura 7. Stress-test su compositi legno-plastica.*

### Sviluppo, prototipizzazione e trasferimento tecnologico di operazioni avanzate a membrana

In numerose produzioni industriali i processi di separazione assorbono oggi più della metà dei costi, incidendo in modo significativo sul costo del bene/materiale prodotto. Nel settore agro-alimentare, le proprietà organolettiche del prodotto stesso sono un altro fattore di fondamentale importanza. La tecnologia a membrana, oggi classificata come “best available technology”, è una reale alternativa a molte operazioni di separazione convenzionale di correnti liquide e gassose anche perché ben interpreta le richieste della “process intensification strategy” sia riducendo le richieste energetiche sia migliorando la qualità del prodotto. Alcuni esempi di applicazioni già realizzate sono il trattamento delle acque industriali, quello di alcune correnti gassose, quali per esempio lo sweetening del gas naturale prima che questo sia immesso nella rete o la separazione dell'idrogeno nel processo dell'ammoniaca, la concentrazione/trattamento di fluidi quali mosti, succhi di frutta e la preparazione di emulsioni.





L'applicazione delle separazioni a membrana, dei reattori catalitici a membrana, delle membrane catalitiche, dei contattori a membrana, dei cristallizzatori a membrana è quanto mai attesa in molti settori industriali quali quello energetico, chimico, petrolchimico, agroalimentare, ambientale, biotecnologico, farmaceutico, delle celle a combustibile, del food packaging che richiedono innovazione di processo.

L'adozione di questi sistemi richiede competenze di “membrane engineering” che includono le conoscenze dell'ingegneria chimica e di processo, della chimica della preparazione di membrane anche catalitiche. Queste conoscenze, necessarie per portare alla prototipizzazione e al trasferimento tecnologico delle operazioni avanzate a membrana e alla progettazione di impianti pilota, sono patrimonio dell'Istituto per la Tecnologia delle Membrane (ITM). L'ITM, sulla base dei risultati scientifici ottenuti in altre commesse dell'Istituto, nell'ambito della presente commessa ha svolto e svolge il significativo ruolo di “central testing lab”, anche nell'ambito di progetti di ricerca finanziati dall'UE, ricevendo dai partner nuove membrane per determinarne le proprietà di trasporto di materia in condizioni prossime a quelle di interesse industriale. L'ITM pertanto ha progettato e realizzato impianti, anche pilota, per la separazione della  $\text{CO}_2$  da correnti di flue gas, la purificazione dell'idrogeno da correnti industriali ed il recupero di acqua, nonché metodi “robusti” di preparazione di membrane e di moduli a membrana di grande area superficiale.

La Figura 8 mostra invece un sistema modulare multi-PEMFC per la produzione combinata di calore ed energia elettrica in corso di realizzazione.

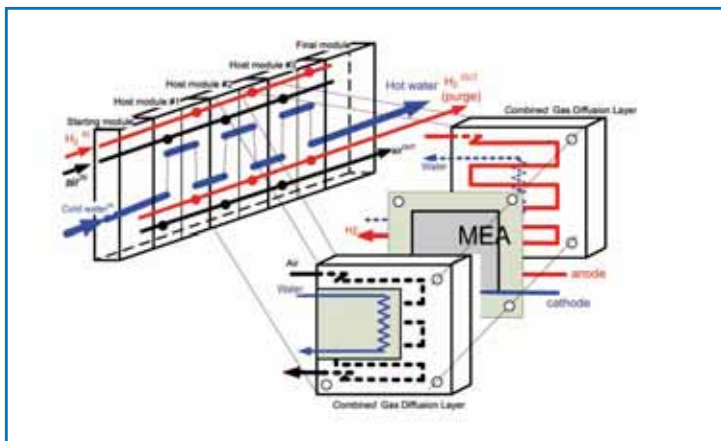


Figura 8. Sistema modulare multi-PEMFC per la produzione combinata di calore ed energia elettrica in corso di realizzazione.

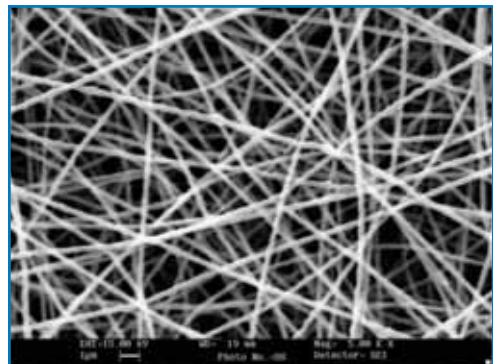
## Elettrofilatura multijet

Le attività di ricerca presso l'Istituto per lo Studio delle Macromolecole (ISMAC), completamente finanziate da fondi esterni, hanno generato, nell'ultimo triennio, un prototipo di sistema di elettrofilatura multijet per deposizione in continuo su supporti tessili di nanofibre, prototipi di media filtranti di tessuto non tessuto (TNT) con nanofibre a base di cheratina per filtrazione attiva acqua/aria (metalli pesanti, VOC), un prototipo di processo di deposizione polimerica in plasma in vuoto su tessuti per trattamento antipilling, una nuova metodologia immunologica per l'identificazione delle fibre animali e dei prototipi di tessuti resi elettricamente conduttivi unicamente tramite una polimerizzazione in situ di polimeri coniugati e senza l'inserimento, nella loro struttura, di fili metallici.



*Figura 9.* Sistema di elettrofilatura multijet per la deposizione in continuo di nanofibre su substrati tessili in scala pre-industriale.

*Figura 10.* Produzione di network di nanofibre di cheratina con elevata superficie specifica, elevata porosità e ridotte dimensioni dei pori mediante elettrofilatura per media filtranti.





Anche a livello europeo, come documentato della Strategic Research Agenda della Piattaforma tecnologica per il futuro del Tessile e dell'Abbigliamento, vi è molto interesse nello sviluppo di nuove fibre speciali, processi biotecnologici ed ecocompatibili per la funzionalizzazione di materiali tessili, bio-fibre da materiali di scarto, nuovi prodotti tessili per applicazioni tecniche innovative, tessuti ed abiti intelligenti. Lungo queste direttrici intende muoversi la commessa ISMAC e specificatamente: nel campo delle biomasse con la realizzazione di fibre/nanofibre naturali da destinare al settore della filtrazione (network di nanofibre per media filtranti) ed in quello della bioedilizia (pannelli isolanti e fonoassorbenti); nel settore della funzionalizzazione dei tessili con trattamenti in plasma e biotecnologici per il miglioramento delle performance di comportamento all'uso e della reattività delle superfici tessili per successivi trattamenti di finissaggio; nel campo dell'electrospinning con la deposizione in continuo di nanofibre su tessili tradizionali (membrane impermeabili) e non tessuti per la loro funzionalizzazione; nel settore dei tessili elettroconduttivi per realizzare tessuti in cui viene migliorata la stabilità, la solidità ed il comportamento all'uso del polimero conduttivo; nel campo delle tecnologie analitiche con lo sviluppo di nuove metodologie per il riconoscimento delle fibre animali e per la ricerca di sostanze tossiche alla salute su materiali tessili.

### Ceramici strutturali e funzionalizzati

Tra i principali risultati progettuali vanno segnalati quelli ottenuti da ISTECH, riguardanti la produzione di diversi prototipi di componenti per l'aerospazio in UHTC (Ultra High Temperature Ceramics), v. Figura 11, lo sviluppo di ceramici UHTC per assorbimento di energia solare, di ceramici strutturali elettro-conduttivi che, grazie a questa proprietà, possono essere economicamente lavorati per elettroerosione o utilizzati come accenditori e di geopolimeri per la coibentazione termica e acustica, vernici refrattarie e setti porosi. In collaborazione con il gruppo "Dispositivi e materiali laser innovativi" di CNR-IFAC sono stati inoltre sviluppati ceramici a base YAG (alluminato di yttrio) variamente drogato per la produzione di laser di alta potenza (Figura 12).

Le prospettive del prossimo triennio riguardano l'ulteriore sviluppo di materiali ceramici nuovi o con caratteristiche migliorate. In particolare, ci si concentrerà sulla possibilità di tenacizzare gli UHTC, sul loro uso in campo opto-energetico con studi relativi alle proprietà ottiche anche ad alta temperatura, sulla ingegnerizzazione della loro superficie per renderli più performanti o sulla loro architettura per renderli strutturalmente più leggeri, sullo sviluppo di ceramici policristallini a base YAG per applicazioni laser, sullo sviluppo di matrici ceramiche per LED a basso consumo, sullo sviluppo di nuovi catalizzatori e di geopolimeri da utilizzare per il riciclo o l'inertizzazione di scorie industriali.

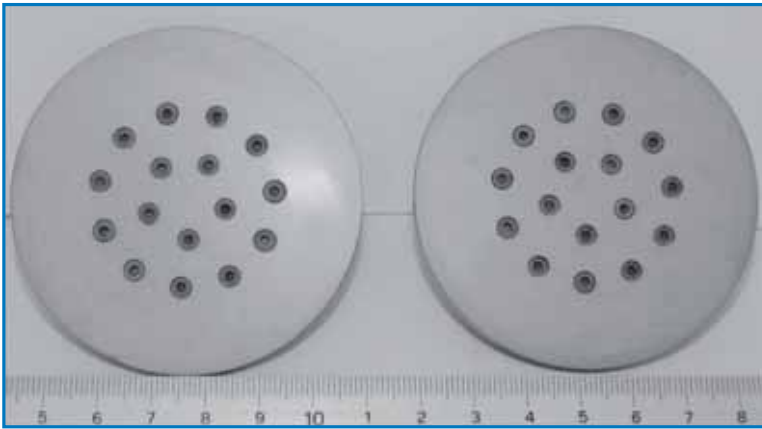


Figura 11. Portacampioni in UHTC realizzati in collaborazione con DIAS – Università di Napoli “Federico II” (committente: Agenzia Spaziale Europea per la Missione BION-MI).



Figura 12. Materiale ceramico policristallino trasparente a base di YAG (alluminato di ittrio).



## Sintesi di nanoparticelle metalliche

Le nanoparticelle metalliche sono caratterizzate da un'ampia varietà di applicazioni, contribuendo ad innovare aree tradizionali, per via delle loro interessanti proprietà ottiche, catalitiche, elettroniche e conduttive. L'attività di ricerca sulla sintesi di nanoparticelle, svolta da ISTEC, è stata focalizzata sullo studio di nano-sospensioni stabili di metalli nobili anche a composizione mista (Au, Ag, Cu, AuAg, AuCu), ottimizzando, nell'ottica del trasferimento industriale, processi di sintesi versatili, a basso impatto ambientale e alta resa, sfruttando, in alcuni casi, tecniche di riscaldamento a microonde. I materiali sintetizzati sono stati caratterizzati per l'impiego in diversi settori, quali: inchiostri ceramici per ink-jet printing, additivi antibatterici, catalizzatori per la decomposizione di inquinanti organici e nano-fluidi per scambio termico.

Si prevede di esplorare in maniera più approfondita i campi applicativi dei nano-metalli per valutarne a pieno le potenzialità, in particolare nel campo dello scambio termico e della catalisi. Parallelamente, si sta sviluppando la sintesi di nanoparticelle ossidiche e verranno messi a punto materiali nanometrici di tipo misto, ossido-metallo, sia per applicazioni termiche che catalitiche.

## Superfici ceramiche funzionalizzate

Superfici ceramiche altamente idrofiliche o superidrofobiche – definite anche come self cleaning – presentano un enorme potenziale applicativo nella vita comune, così come in molti processi industriali, grazie alla loro ridotta capacità di sporcarsi o alla capacità di "auto" pulirsi. Tali proprietà possono essere ottenute controllando la bagnabilità di una superficie, che dipende dalla combinazione opportuna di fattori chimici e di microstruttura. Materiali da costruzione superidrofili e fotocatalitici sono stati ottenuti presso l'ISTEC per deposizione di biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) nella forma cristallina di anatasio e sotto attivazione di radiazione UV. È stata messa a punto, in collaborazione con un'azienda leader del settore, una lastra in grès porcellanato, di  $300 \times 100 \text{ cm}^2$  e spessore di 3 mm, con rivestimento in  $\text{TiO}_2$  superidrofilico, molto attivo nella degradazione di sistemi organici e ossidi di azoto.

La linea di ricerca per la progettazione di nanorivestimenti ibridi organico-inorganico con proprietà superidrofobiche si prefigura come una delle attività di punta per il prossimo triennio, con possibili applicazioni in molteplici ambiti, anche al di fuori del settore strettamente ceramico, anche grazie a tecniche di deposizione relativamente semplici e adatte anche a superfici di grandi dimensioni.

## Materiali ceramici e compositi per applicazioni antiusura e biomedicali

Nell'ambito dei ceramici per applicazioni biomedicali l'ISTEC, unità di Torino, ha messo a punto un trattamento acido idoneo a rendere bioattiva la superficie di  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$  80wt%, con tempi di trattamento particolarmente contenuti. Studi sul composito ad alto tenore di zirconia durante l'invecchiamento in vivo hanno mostrato una percentuale di transizione di fase, dannosa per gli impianti, considerevolmente inferiore rispetto a quella della zirconia pura, utilizzata nel settore odontoiatrico, e una resistenza meccanica non degradata dal trattamento stesso. Per tale motivo il composito è stato ritenuto idoneo per la sperimentazione in vivo.

Le attività future verteranno sull'approfondimento dello studio dei fenomeni di superficie che influenzano la bioattività, nonché sulla possibilità di impiego di ceramici strutturali a base nitrurica nel medesimo settore.

Nell'ambito delle lavorazioni per asportazione di truciolo, l'attività sarà orientata allo sviluppo di sistemi di lavorazione ecocompatibili nel campo dei materiali per impieghi aerospaziali.

## Metodologie numeriche efficienti per problemi applicativi complessi

Nell'ambito del progetto dipartimentale, l'IMATI di Pavia ha aperto diversi filoni diretti allo studio e allo sviluppo di modelli, di metodologie numeriche e di algoritmi efficienti per problemi applicativi complessi, caratterizzati da comportamenti non lineari, geometrie complesse, scale multiple.

In particolare hanno grandi potenzialità di sviluppo e di ricadute in ambito applicativo/industriale le ricerche su discretizzazioni compatibili, finalizzate alla costruzione e analisi di schemi di approssimazione adeguati alle caratteristiche del problema in considerazione, garantendo che la soluzione discreta soddisfi proprietà fisiche significative quali la conservazione della carica nell'elettromagnetismo, della massa e della quantità di moto in fluidodinamica ed elasticità. Inoltre, nel caso di geometrie complesse, un aspetto cruciale e molto oneroso è la definizione della mesh. Per garantire una maggiore flessibilità e un minor costo è richiesta una grande generalità degli strumenti utilizzati, superando l'uso degli elementi finiti tradizionali. Un primo filone di ricerca si basa sull'Analisi isogeometrica basata sui NURBS, largamente utilizzati dai software CAD per la modellazione geometrica in ambito industriale. L'uso dei NURBS anche nella definizione dello spazio di approssimazione ha il vantaggio di fornire una rappresentazione esatta del dominio, di permettere l'utilizzo diretto del prodotto CAD e di produrre un significativo aumento del rapporto tra accuratezza e costo computazionale. La Figura 13 mostra la mesh (con 5436 gradi di libertà) e il modulo del campo elettrico per una cavità risonante che presenta singolarità. La stessa accuratezza con



elementi finiti si ottiene con 53982 gradi di libertà. Il secondo filone si basa sulle differenze finite mimetiche, che permettono l'uso di mesh poliedriche molto generali, anche a facce curve, o con elementi degeneri (che possono formarsi nel caso di raffinamenti locali).

La modellistica e la simulazione giocano un ruolo fondamentale in Microelettronica dove il processo di scaling dei dispositivi ha raggiunto dimensioni nanometriche, richiedendo una descrizione quantistica dei fenomeni per prevedere il comportamento dei dispositivi. Sono in corso studi per la simulazione del trasporto di elettroni in nanofili e nanotubi, considerati tra i più promettenti candidati per la costruzione di prodotti elettronici ad elevata densità e ad alte prestazioni. La simulazione del trasporto in questi dispositivi richiede la formulazione di nuovi modelli che siano sufficientemente accurati per tenere conto ad esempio delle distorsioni nelle bande di energia, senza arrivare ai calcoli estremamente costosi di un approccio atomico, inutilizzabile in fase di progettazione. Si è sviluppato un modello a scale multiple quasi-1 dimensionale, che definisce la massa efficace in una struttura periodica nella sola direzione longitudinale.

Un altro importante ambito di ricerca per il futuro è anche il campo bio-medico, in cui si stanno studiando problemi relativi alla simulazione dell'attività bioelettrica del cuore e del flusso sanguigno, e problemi di image processing per la colocalizzazione in microscopia confocale a fluorescenza.

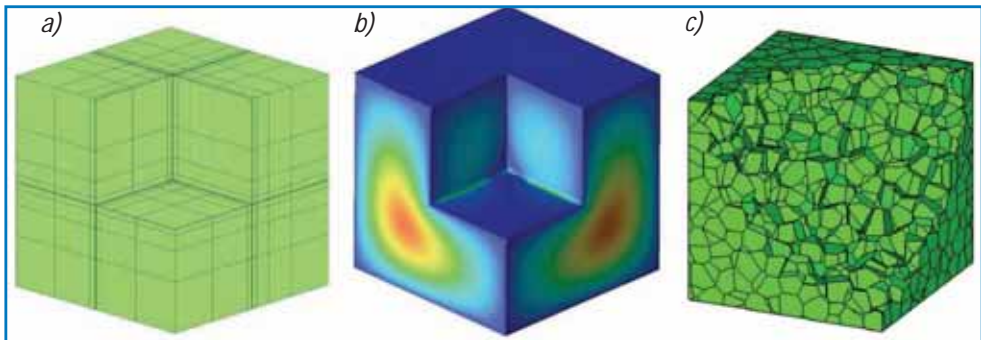


Figura 13. Cavità risonante: a) mesh mediante B-splines (5436 d.o.f), b) quinta autofunzione, c) mesh poliedrica irregolare per differenze finite mimetiche.

## Modelli statistici nell'industria e nei servizi

L'IMATI, sede di Milano, ha sviluppato negli anni know-how nell'ambito dell'analisi dell'affidabilità e manutenzione di prodotti e processi e strumenti matematico-statistici per lo studio della produzione, del consumo e del recupero di energia elettrica.

Di seguito si elencano alcuni risultati recenti ottenuti in questi ambiti:

1. Analisi statistica bayesiana dell'affidabilità di un software, con modelli di Markov nascosti applicati ai dati di debugging, allo scopo di determinarne il momento del rilascio.
2. Determinazione bayesiana della politica di manutenzione di pompe in una raffineria tramite un competing risk model.
3. Utilizzo di micro-cogeneratori di calore ed elettricità installati presso utenze domestiche come riserva di potenza da utilizzare per risolvere situazioni di squilibrio della rete. Studio dell'energia prodotta da un parco di micro-cogeneratori durante il normale utilizzo.
4. Ottimizzazione della taglia di un sistema di accumulo centralizzato associato ad azionamenti atti al recupero dell'energia di frenatura.

Con riferimento al punto 4, la figura 14 mostra l'andamento del costo medio utilizzato per la contemporanea ottimizzazione della taglia di un supercondensatore e del convertitore di potenza in un sistema con dieci carri-ponte. L'ottimizzazione si riferisce all'intera vita utile del sistema di accumulo e tiene conto della casualità nella combinazione dei cicli di lavoro dei diversi carri-ponte, nonché delle variazioni future del costo dell'energia elettrica.



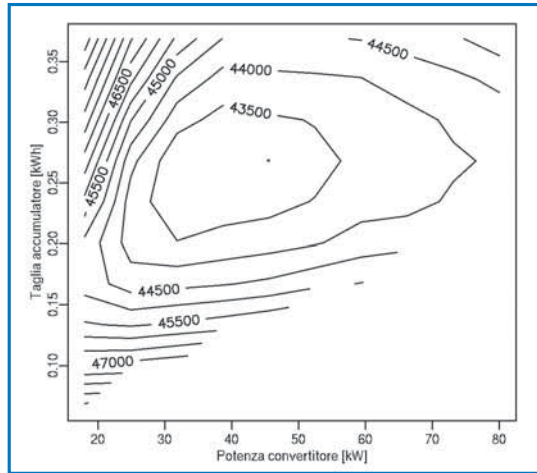


Figura 14. Costo medio di un sistema di accumulo di energia elettrica in funzione della taglia dell'accumulatore e del convertitore e del valore dell'energia recuperata durante la vita utile del sistema.

In futuro nel modello per l'affidabilità del software verranno integrate delle metriche del software (come numero di righe di codice e numero di cicli), in modo da aumentare l'informazione in esso contenuta.

Il metodo per l'ottimizzazione della taglia di un sistema di accumulo per il recupero dell'energia di frenatura è potenzialmente applicabile in molti ambiti (centrifughe industriali, carri ponte, treni metropolitani) ed è pertanto necessario uno studio approfondito per adattarlo alle diverse situazioni. L'adozione di un sistema di accumulo consente inoltre di smussare i picchi di prelievo di energia dalla rete, con un impatto immediato sul costo del contratto di fornitura di energia. L'ottimizzazione sotto il profilo energetico ed economico ricomprenderà anche questo aspetto.



DSP-P.02

Microsistemi e dispositivi embedded

Massimo Mazzer

### Inquadramento della problematica

Obiettivo generale del Dipartimento Sistemi di Produzione del CNR è “contribuire ad accrescere la competitività e la sostenibilità economica, sociale, ambientale ed energetica del Sistema Industriale Italiano”. In una fase di evidente crisi dell’industria italiana questo obiettivo acquisisce ulteriore importanza strategica soprattutto in funzione della creazione di opportunità di mercato basate su nuove tecnologie e innovazione.

Questo è particolarmente vero per l’industria delle energie rinnovabili e in particolare del fotovoltaico, tra i pochi settori in forte espansione e quindi in controtendenza rispetto al quadro generale.

Nel settore del fotovoltaico si sta giocando proprio in questi mesi una partita decisiva per la leadership in campo tecnologico e di mercato.

Ancora condizionato dagli incentivi alla produzione di energia elettrica, lo schema che in Italia viene denominato “Conto Energia”, il mercato del fotovoltaico è ancora dominato dai produttori di celle e moduli fotovoltaici, di sistemi elettronici per la conversione dell’energia elettrica e la sua immissione in rete (“balance of system”) e di attrezzature e impianti per le grandi linee di produzione di celle e moduli.

La crisi economica ha avuto un impatto significativo sul settore fotovoltaico causando un rallentamento della crescita. Tuttavia il relativamente “modesto” +10% del 2009 rispetto alla media di +69% degli ultimi 10 anni<sup>1</sup>, ha di fatto contribuito all’accelerazione del processo di forte riduzione dei costi di produzione già in atto dal 2008. Il temporaneo eccesso di offerta rispetto alla domanda nel corso del 2009 ha infatti causato una significativa riduzione dei prezzi al consumo e ha quindi stimolato ulteriormente la competitività.

A trascinare la corsa sono decisamente i nuovi prodotti a film sottile a base di CdTe e di Silicio amorfo/microcristallino che hanno raggiunto costi di produzione di molto inferiori a



quella che fino al 2008 era considerata la soglia strategica di 1€/Wp oltre la quale il mercato fotovoltaico avrebbe cominciato ad affrancarsi dagli incentivi pubblici. La statunitense First Solar (CdTe, ~0.60€/Wp)<sup>2</sup> ha conquistato il primo posto in termini di volumi di vendite doppiando, con più di 1GWp di prodotto venduto, i precedenti leader del mercato (Q-Cells, Suntec, Sharp) mentre nel settore del film sottile di Silicio ha avuto un effetto dirimpiente l'annuncio a Valencia da parte di Oerlikon Solar<sup>3</sup> che nel terzo trimestre del 2010 ha raggiunto l'obiettivo di produrre su larga scala moduli di efficienza superiore al 10% al costo di 0.50€/Wp.

Il breakthrough nella riduzione dei costi è solo stato accelerato dalla congiuntura della crisi economica ma è stato ottenuto grazie soprattutto allo scale-up e all'ottimizzazione dei processi di produzione industriale. Per fare un esempio, Oerlikon Solar ha raddoppiato nel giro di due anni la capacità produttiva delle sue linee di produzione di moduli a film sottile di Silicio portandola dagli iniziali 60MWp/y a 120MWp/y.

Questo significa che i risultati economici raggiunti non sono congiunturali bensì strutturali e dimostrano che la cosiddetta "grid parity", cioè la parità fra il costo dell'energia elettrica prodotta da fotovoltaico e quella derivante da fonti convenzionali è ormai un obiettivo alla portata quanto meno di paesi e aree geografiche che godono di buona insolazione e/o si trovano in paesi, come l'Italia, in cui il costo dell'elettricità per l'utente finale è superiore ai 0.15€/kWh, come in Italia<sup>4</sup>.

A titolo di esempio il kWh da fotovoltaico prodotto nella regione di Valencia in Spagna ma anche in gran parte del territorio Italiano a sud di Roma, che ha lo stesso grado di insolazione<sup>5</sup>, costa già oggi 0.09€<sup>3</sup> in assenza di incentivi.

È molto importante sottolineare il fatto che al rapido decrescere del costo di celle e moduli non corrisponde un'altrettanto rapida caduta del resto dei costi di sistema, cioè i costi di installazione e del cosiddetto "balance of system" (BOS) cioè delle strutture meccaniche, degli inverter e dell'elettronica di controllo e di gestione dell'immissione in rete dell'elettricità generata. Allo stato attuale questi costi complementari sono significativamente superiori al 50% (fino al 70%)<sup>6</sup> del costo totale dell'impianto finito e rischiano nel breve-medio periodo di diventare un collo di bottiglia per l'espansione del mercato fotovoltaico destinato all'utenza domestica.

L'indicazione più importante che emerge dal quadro descritto qui sopra è che il settore fotovoltaico ha di fatto raggiunto un importante punto di biforcazione.

Da un lato si consoliderà nella sua espansione il mercato dei sistemi fotovoltaici per la generazione intensiva e "non-specializzata" di energia elettrica, destinati prevalentemente alla connessione in rete. Questo filone del mercato sarà sempre più dominato dalle grandi industrie che in questi ultimi 5-10 anni hanno acquisito una posizione dominante grazie ai notevoli investimenti in capacità produttiva (passando da pochi MWp/anno agli attuali

GWp/anno) e ricerca industriale. Allo stato attuale, questo business costituisce la quasi totalità del mercato fotovoltaico con l'eccezione di alcuni prodotti di nicchia nel settore dell'illuminazione o della segnaletica stradale.

Ora però, a fronte della riduzione del costo di fabbricazione di moduli fotovoltaici a film sottile, anche il mercato di sistemi destinati alla produzione "specializzata" o all'autoproduzione di energia elettrica è destinato uscire dalla marginalità. Laddove si possa evitare il grosso dei costi associati al "balance of system" e all'installazione è possibile immaginare nuovi prodotti o nuovi modelli di prodotti esistenti che incorporino una funzione fotovoltaica integrata in modo "non banale" e a costi competitivi. Integrazione "non banale" significa qualcosa di più rispetto al mero utilizzo di moduli fotovoltaici stand-alone per l'alimentazione elettrica. Significa investire anche nello sviluppo di nuovi dispositivi integrati dove un componente fotovoltaico generi energia elettrica per alimentare direttamente componenti funzionali come sistemi di ventilazione e condizionamento per gli edifici, sensori, elettronica per il controllo ambientale, dispositivi wi-fi.

Questo secondo filone del futuro mercato fotovoltaico presuppone lo sviluppo di nuove competenze che sappiano colmare il gap che esiste fra l'attuale industria fotovoltaica e altri settori fra cui condizionamento termico, ventilazione, impianti elettrici, sistemi informatici, agricoltura, trasporti e molti altri in cui l'uso di dispositivi e piccoli impianti a bassa potenza è molto diffuso ed ha spesso un picco di domanda di elettricità durante le ore di maggiore insolazione.

Lo sviluppo di prodotti in cui la funzione fotovoltaica sia integrata ad esempio in elementi architettonici e/o strutturali è favorito in modo crescente dagli schemi di incentivo come il "conto energia" in vigore in Italia. Questo fattore, combinato con la forte riduzione dei costi del fotovoltaico sta stimolando la domanda oltre che la ricerca e sviluppo di prodotti innovativi destinati ad un mercato potenzialmente vasto oltre che strategico per un paese come l'Italia.

Per rendersi conto delle potenzialità di sviluppo di questo mercato basta considerare il fatto che in Italia così come in tutti i paesi industrialmente avanzati, più del 60% dell'energia elettrica è consumata da edifici residenziali, commerciali e pubblici e che una fetta molto significativa di questo consumo è dovuta a dispositivi e impianti a bassa potenza che di fatto funzionano a corrente continua.



## Il ruolo e le competenze del CNR

Il CNR ha numerose competenze che possono contribuire alla competitività dell'industria italiana in questo nuovo settore

Il progetto SP02, "micorsistemi embedded", del Dipartimento Sistemi di Produzione lungi dall'essere il contenitore unico delle specifiche attività di ricerca delle varie commesse che ne fanno formalmente capo, è pensato invece come una piattaforma per coinvolgere e coordinare la partecipazione delle migliori competenze del CNR a grandi progetti nazionali ed Europei per puntare ad obiettivi di grande impatto industriale oltre che di alto contenuto scientifico e tecnologico.

Qui di seguito sono presentate le principali competenze messe a disposizione dell'attività strategica di questo progetto dipartimentale da parte delle commesse che ne costituiscono l'infrastruttura scientifica e tecnologica.

### Laboratorio di deposizione film sottili per applicazioni in campo energetico

Questa competenza è stata sviluppata nel corso di una lunga attività di ricerca e sviluppo nel campo dei nastri superconduttori di 2° generazione a base di YBCO (HTS-Coated Conductors, o CC).

I coated conductors vengono impiegati in linee elettriche per il trasporto di alte correnti con dissipazione nulla e per la realizzazione di magneti per alti campi, trasformatori, generatori, motori, limitatori di corrente, etc., con notevoli vantaggi rispetto a tecnologie tradizionali in termini di maggiori efficienze dei dispositivi, e riduzione di pesi e volumi.

Per più di un decennio il CNR-IMEM in stretta collaborazione con Edison S.p.A, si è occupato dello studio e lo sviluppo di processo di deposizioni di CC a basso costo realizzando tra le altre cose un sistema di deposizione "in continuo" per la produzione di nastri lunghi e con elevati rate di deposizione (0.6 m/ora). Il sistema, interamente progettato e costruito nei laboratori del CNR, comprende 3 camere da vuoto collegate tra loro mediante connessioni opportunamente realizzate per consentire trattamenti sequenziali del nastro in movimento ed in condizioni di P, T. ed atmosfera molto diverse tra loro<sup>7</sup>. Nella camera centrale (camera di deposizione) è stata installata una sorgente per PED (Pulsed Electron Deposition), una tecnica di deposizione da vuoto relativamente recente e a basso costo, capace di raggiungere elevati rate di deposizione a fronte di un accurato controllo della stechiometria dei film depositati.



Figura 1: Apparato “Reel-to-Reel” per la produzione di film sottili

In dettaglio, i passaggi più significativi dell'attività di ricerca sui coated conductors sono stati:

1. la realizzazione di un processo per la deposizione di coated conductors con architettura a singolo Buffer Layer (BL) basata su Ceria ( $\text{CeO}_2$ ) opportunamente drogata (Sm, Yb, Zr, Ta, etc). Il BL ha spessori sufficienti ( $>200$  nm) per impedire la diffusione di atomi da e verso il substrato, ma senza crepe (che si formano al di sopra di uno spessore critico, ogniqualvolta un materiale viene cresciuto epitassialmente in presenza di “mismatch” reticolare col substrato).
  - 2) la definizione dei parametri di crescita di YBCO mediante PED e fabbricazione di HTS-CC con struttura semplificata (Ni-W (substrato) /single-doped-CeO<sub>2</sub> (BL) /YBCO) interamente realizzato con PED ed aventi buone caratteristiche di trasporto.
2. l'ottimizzazione dell'ossigenazione dell'YBCO mediante l'utilizzo di ugelli supersonici (SNEO). Il metodo, ideato e brevettato presso il CNR-IMEM, utilizza un sistema di ugelli che producono un flusso di gas (ossigeno o miscele ossidanti) supersonico, capace di aumentare il coefficiente di adesione delle molecole di ossigeno. Il principio è valido per ogni tipo di trattamento in cui si voglia migliorare l'adesione di un gas. I risultati ottenuti, esposti in numerose conferenze internazionali<sup>8</sup>, sono stati pubblicati su riviste di prestigio e sono oggetto di 2 recenti brevetti:
    - Metodo e dispositivo per la deposizione di film, in particolare di ossidi superconduttori, brevetto n° WO2005024088.
    - Metodo di realizzazione di film sottili di  $\text{CeO}_2$  drogato, in particolare costituenti strati barriera di nastri compositi superconduttori, brevetto n° MI2007A001531.



## Sintesi di cristalli bulk

Il CNR-IMEM ha una documentata esperienza pluriennale sulle crescita di cristalli semiconduttori dal fuso mediante tecnica Czochralski e Bridgman (GaAs, InP, CdTe).

Fra le numerose attività svolte da questo laboratorio è importante segnalare la messa a punto di una metodologia innovativa di crescita di cristalli (2" di diametro) di CZT mediante solidificazione direzionale con l'impiego di ossido boro che evita gli effetti dell'interazione crogiolo/cristallo, comunemente presenti nelle usuali tecnologie.

Questa tecnologia ha permesso di arrivare alla realizzazione di sensori di raggi x ad alta efficienza, risoluzione energetica e operanti a T ambiente.

Questi rivelatori trovano impiego per numerose applicazioni. Nel campo medicale, possono essere impiegati nelle moderne tecniche diagnostiche. Nel campo della security, l'impiego riguarda l'individuazione di isotopi radioattivi di contrabbando o in generale il controllo dei bagagli (ricerca di droghe, esplosivi). Nel campo scientifico, questi detectors trovano impiego nei nuovi sistemi di rivelazione per telescopi a raggi X e per linee a luce di sincrotrone. Infine, in campo ambientale, possono essere usati per la realizzazione di centraline con capacità spettroscopica per il monitoraggio della radiazione.

Le tecnologie di crescita e preparazione di detectors di raggi X costituiscono in sé un processo produttivo. Inoltre, i nuovi rivelatori di raggi X trovano impiego nel monitoraggio di altri processi di produzione mediante ad esempio il controllo di fratture in elementi strutturali o il controllo della qualità delle saldature.

## Sviluppo di materiali e tecnologie per il raffreddamento magnetico

L'effetto magnetocalorico (MCE) è una proprietà intrinseca di tutti i materiali magnetici e consiste nella variazione della parte magnetica dell'entropia del solido in conseguenza dell'accoppiamento dei sottoreticoli magnetici con il campo applicato. La natura del MCE fu per la prima volta spiegata indipendentemente da Debye e Giaque che proposero l'uso pratico dell'effetto per raggiungere temperature molto basse, in un processo noto come smagnetizzazione adiabatica. Come nella compressione di un gas, nel processo di magnetizzazione isoterma di un ferromagnete (o paramagnete) si riduce l'entropia, mentre con la successiva smagnetizzazione (similmente all'espansione del gas) si ripristina il valore dell'entropia a campo zero. Quindi, materiali magnetici con elevato MCE potrebbero essere convenientemente impiegati come refrigeranti solidi in impianti frigoriferi, con notevoli vantaggi rispetto alla tradizionale refrigerazione basata sul ciclo di compressione-espansione di gas:

- 1) impatto ambientale nullo;

- 2) maggior efficienza termodinamica (dovuta all'alta reversibilità dell'effetto magnetocalorico);
- 3) alta densità di energia (solido vs gas);
- 4) risparmio energetico (con l'eliminazione del compressore).

Ciò che ha reso attuale la ricerca nel campo della refrigerazione magnetica è stata la recente scoperta dell'esistenza di un effetto magnetocalorico rilevante (definito gigante) nel composto intermetallico  $Gd_5(Si_{1.8}Ge_{2.2})$  dove è stata osservata una variazione di entropia  $DS_{mag}$  di circa 20 J/kg K (un valore doppio rispetto a quelli misurati precedentemente) per una variazione di campo di 5T, a circa 270 K. Nel corso degli studi, è stato dimostrato che l'elevato MCE in  $Gd_5(Si_{1.8}Ge_{2.2})$  è associato alla presenza di una complessa transizione magnetico-strutturale del primo ordine.

Fra i materiali magnetici, esistono varie famiglie che presentano transizioni del primo ordine, sia di tipo magnetico (indotte da campo e temperatura), che strutturale (come le trasformazioni martensitiche). Le leghe di Heusler del tipo  $Ni_2MnGa$  sono materiali ferromagnetici a memoria di forma che raffreddando presentano una transizione martensitica da una fase cubica a una fase a più bassa simmetria. Le principali proprietà come struttura martensitica, temperatura di trasformazione e anisotropia magnetica, possono essere modificate con cambi di composizione. È stato studiato l'effetto magnetocalorico della lega di Heusler  $Ni_{2+x}Mn_{1+y}Ga_{1+z}$  e  $Ni_{2-w}Mn_{1.2+w}Ga_{0.8}$  ( $w=0-0.1$ ) in relazione alla trasformazione martensitica. Per entrambe le serie si è trovato un intervallo stechiometrico in cui la transizione magnetica e strutturale coincidono<sup>1,2</sup>. È stato messo in evidenza che tale condizione: transizione del primo ordine da un ferromagnete a bassa simmetria a un paramagnete cubico è sfruttabile per elevare (fino a 4 volte) l'effetto magnetocalorico del sistema. In leghe ricche in Mn tale coincidenza, corrispondente a un aumento di DS è stata anche indotta applicando elevate pressioni idrostatiche<sup>9</sup>. I potenziali vantaggi offerti da questo sistema a stechiometria variabile sono: la possibilità di variare la temperatura delle transizioni (magnetica e strutturale) con la stechiometria, il costo relativamente basso dei componenti e la facilità di preparazione.

La studio ha dato risultati promettenti. Infatti, nel composto  $Ni_{2.19}Mn_{0.81}Ga$ , in cui la transizione magnetica coincide con la trasformazione martensitica, si è ottenuta una variazione  $DS_{mag}$  di alcune decine di J/kgK, pari a quella del composto  $GdSeSi$ , ma con un

<sup>1</sup> Pareti L., Solzi M., Albertini F., Paoluzi A., "Giant Entropy Change at the Co-Occurrence of Structural and Magnetic Transitions in the  $Ni_{2.19}Mn_{0.81}Ga$  Heusler Alloy" Eur. Phys. Journal B 32 (2003), 303

<sup>2</sup> F. Albertini, A. Paoluzi, L. Pareti, M. Solzi, L. Righi, E. Villa, S. Besseghini and F. Passaretti, "Phase transitions and magnetic entropy change in Mn-rich  $Ni_2MnGa$  alloys" J. Appl. Phys. 100 (2006), 023908





campo applicato notevolmente inferiore (2T). Studi intesi sono in corso al fine di ottimizzare la variazione adiabatica di temperatura in tale classe di materiali.

### Tecniche d'indagine

Fra i punti di forza del CNR-IMEM vi sono la consolidata esperienza e la capacità di innovazione nelle tecniche di caratterizzazione e diagnostica sia di materiali che di dimostratori e prototipi di dispositivi. Fra queste vanno sottolineate: diffrazione a raggi X in alta risoluzione e mappe di reticolo reciproco, riflettività X, topografia a raggi X a doppio cristallo, spettroscopia da fotoelettroni, microscopia elettronica in trasmissione a risoluzione atomica dotato di unità STEM con microanalisi a raggi X, energy filtered spectroscopy e imaging, electron energy loss spectroscopy and imaging e contrasto chimico su scala nanometrica con risoluzione pari a 0.135 nm, software di elaborazione sequenziale quantitativa d'immagine e dei dati, microscopio elettronico a scansione con microanalisi a raggi X e tecnica EBIC al SEM in funzione di T (6-300 K), Elettroluminescenza al SEM, Catodoluminescenza al SEM in funzione di T, ( $6 < 300$  K) della profondità e della potenza di eccitazione; tecniche capacitiv e di spettroscopia di livelli profondi, microscopia a forza atomica.

### Il progetto PED4PV nell'ambito del programma "Industria 2015"

In aggiunta ai numerosi progetti che ciascuna commessa promuove e gestisce in funzione dei suoi specifici obiettivi tecnologici e di sviluppo di competenze, quattro delle commesse che afferiscono a SP02 hanno contribuito insieme alla elaborazione e quindi alla realizzazione del progetto PED4PV dell'ambito del programma "Industria 2015" del Ministero dello Sviluppo Economico. Il progetto è il frutto di una iniziativa congiunta fra il CNR e XGroup spa, l'azienda Italiana leader nel settore fotovoltaico, ed ha come obiettivi lo sviluppo industriale delle tecnologie di deposizione di film sottili innovative e a basso costo economico ed energetico sviluppate nei laboratori del CNR e la loro implementazione nel processo di produzione di moduli fotovoltaici a base di  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$  (CIGS).

In questo progetto il CNR ha un peso pari a circa il 30% in termini di budget e si pone come interlocutore privilegiato ed alleato strategico in campo tecnologico-scientifico di XGroup.

Con questa tecnologia l'industria italiana intende competere sul piano internazionale puntando all'abbattimento dei costi di produzione di prodotti fotovoltaici a base di  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$ , un materiale che permette di raggiungere efficienze superiori al 20% ma che richiede tuttora l'impiego di processi di produzione complessi e troppo costosi.

Il contributo fondamentale del CNR e' il frutto della sinergia fra le competenze nelle tecnologie di deposizione di film sottili per l'energetica, descritte sopra, con le competenze sul fotovoltaico frutto di una lunga e proficua collaborazione con istituzioni di ricerca ed industrie di grande prestigio internazionale<sup>3</sup>.10.11

Le 4 Commesse di SP.02 coinvolte in questo progetto partecipano ciascuna contribuendo con contributi provenienti dal loro portfolio di competenze. In particolare:

SP.P02.001 (Nuovi sistemi elettronici per il manufacturing), si occupa dello sviluppo dei dispositivi di test e dei prototipi realizzati mediante la nuova tecnologia di deposizione

SP.002.002 (Sistemi per la conversione di energia), contribuisce con la caratterizzazione dei materiali e delle strutture realizzate in laboratorio SP.002.004 (Materiali e processi per applicazioni in energia), ha sviluppato la tecnologia di deposizione basata sulla tecnica di ablazione detta Pulsed Electron Deposition (PED), si occupa dello scale-up industriale e partecipa alla progettazione dei macchinari per la linea di produzione pilota

SP.002.003 (Acquisizione di Segnali), produce i target per la deposizione PED utilizzando una expertise consolidata maturata nel corso di 30 anni di ricerca nel settore

Al progetto partecipano anche le PMI RIAL e Salentec che si occupano dello sviluppo delle macchine per la deposizione di film sottili su scala industriale, e i due end-user, Italcementi e Marazzi.

### Focus di alcuni risultati rilevanti ottenuti

Nell'ambito del progetto PED4PV, l'ottimizzazione del processo di deposizione di film di  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$  mediante Pulsed Electron Deposition in funzione del suo impegno su scala industriale costituisce di per se un risultato di notevole importanza. Poiché nella letteratura tecnico-scientifica non esistevano riferimenti significativi riguardo la qualità e le modalità di crescita del CIGS mediante PED, l'attività sperimentale è stata pionieristica e innovativa.

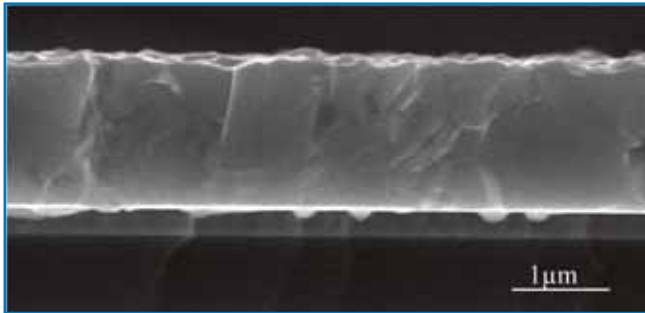
Gli step dello studio del processo di deposizione del CIGS sono stati vari, molti di questi mirati alla calibrazione dei parametri di processo (temperatura del campione, pressione della camera e flusso di gas, dimensioni del target, geometria ottimale per il sistema canon target-substrato). Una volta calibrato il sistema si è proceduto allo studio sistematico dei parametri critici in modo da determinarne i valori ottimali.

L'analisi della matrice di risultati sperimentali ottenuti ha consentito di individuare un range di condizioni di deposizione che garantiscono:

<sup>3</sup> K. Barnham, M. Mazzer et al, "Recent Progress in Quantum Well Solar Cells," Nanotechnology for Photovoltaics, CRC Press, 2010; <http://dx.doi.org/10.1201/9781420076752-c5>.



- a) il controllo e la buona riproducibilità della stechiometria dei film di CIGS
- b) Una morfologia compatibile con la crescita degli strati superiori della cella
- c) Specifiche elettriche indispensabili per l'ottenimento di un dispositivo funzionante (conducibilità di tipo p, bassa resistività, difetti elettricamente attivi parzialmente passivati, ecc.)



*Figura 2:* Struttura di cella fotovoltaica a base di  $\text{CuInGaSe}_2$  realizzata mediante una nuova tecnologia di produzione sviluppata dal CNR-IMEM e attualmente in fase di scale-up industriale (Progetto PED4PV)

All'interno di questo range sono state definite due tipologie di specifiche in funzione di due obiettivi realizzativi diversi e, almeno inizialmente, distinti:

- O1) studio dei limiti di efficienza delle celle fabbricate a partire da uno strato assorbitore di luce di CIGS depositato mediante PED
- O2) individuazione delle specifiche ottimali per l'integrazione dello step di deposizione PED dei film di CIGS in una linea di produzione di moduli fotovoltaici a film sottile su scala industriale.

In aggiunta al percorso previsto in O1, la verifica della qualità del CIGS è stata condotta in parallelo mediante un processo indipendente messo a punto da uno dei partner commerciali di Xgroup che li ha utilizzati per ottenere delle celle solari di test utilizzando una tecnologia proprietaria (e disponibile commercialmente) per la deposizione degli strati buffer. Nonostante non sia stata condotta alcuna preparazione specifica degli strati di CIGS depositati via PED in funzione del loro impiego in un processo sostanzialmente diverso da  $1\ \mu\text{m}$  quello previsto in questo progetto, la prima serie di dispositivi così ottenuti ha già raggiunto efficienze di poco inferiori al 10% (AM1.5G).

Il risultato di gran lunga più importante dal punto di vista dell'implementazione della tecnologia su scala industriale è la dimostrazione che con la PED si riescono a depositare film di CIGS di composizione uniforme e di buona qualità ottica ed elettrica su aree 10-15 volte più grandi rispetto alle tipiche dimensioni dei dispositivi di laboratorio.

Questo risultato è stato reso possibile dall'utilizzazione di una nuova macchina per lo studio della deposizione PED su scala pre-industriale (denominata Nautilus) che è stata progettata su misura in stretta collaborazione fra CNR-IMEM e Rial Vacuum. La macchina Nautilus ha permesso di implementare una serie di soluzioni tecnologiche, dalla geometria di montaggio di sorgenti, target e substrati alla modalità di esecuzione in situ degli annealing dei campioni prodotti, all'installazione di sistemi di monitoraggio e controllo della crescita, che si sono rivelate determinanti nel raggiungimento di questo output di progetto.



*Figura 3:* Macchina sperimentale per la deposizione di film di CIGS mediante PED



Nell'ambito del progetto PED4PV sono inoltre state realizzate le prime strutture complete di celle solari con tutti gli strati attivi (assorbitore di luce, buffer layers e ossido conduttivo trasparente) depositati mediante la tecnica PED. L'obiettivo era dimostrare il principio che l'intera struttura a multi-strato può essere ottenuta utilizzando una sola tecnica di deposizione aprendo in questo modo la strada ad una radicale semplificazione con conseguente riduzione di costo del processo di produzione di moduli fotovoltaici a base di CIGS.

### Risultati attesi e prospettive per il prossimo triennio

Nel 2012 si concluderà il progetto PED4PV nell'ambito del quale si intendono realizzare le macchine prototipali per la produzione di moduli fotovoltaici a base di CIGS sia su substrati convenzionali come il vetro che su supporti ceramici e cementizi. L'obiettivo principale la massima competitività in termini di rapporto efficienza/costi di produzione dei moduli puntando, allo stesso tempo, a soluzioni tecnologiche particolarmente adatte alla fabbricazione di prodotti innovativi destinati all'integrazione in strutture architettoniche.

Oltre l'orizzonte di PED4PV, il progetto "Microsistemi Embedded" si è fatto promotore di una cordata Europea comprendente università, centri di ricerca, piccole e medie imprese e grandi multinazionali che operano nel settore dei sistemi energetici per gli edifici.

Il primo obiettivo della cordata è stata la preparazione di una proposta di progetto Europeo integrato nell'ambito della call EeB.NMP.2011-3: "Energy saving technologies for buildings envelope retrofitting". In questo contesto la partecipazione del CNR va ben oltre le commesse si SP.02 che hanno promosso il progetto PED4PV e coinvolge due istituti del Dipartimento Energia e Trasporti.

In sintesi queste sono le competenze messe a disposizione dal CNR:

ENI: materiali, moduli e sistemi termoelettrici per il condizionamento degli ambienti

ITAE: materiali, macchine e impianti per il "solar cooling" basati sia su adsorbimento che assorbimento

IMEM: componenti fotovoltaiche a base di CIGS e materiali/prototipi di macchine per il condizionamento degli ambienti mediante magnetic cooling.

Alla cordata Europea partecipano grandi imprese come Viessmann, Galletti, Colt, XGroup oltre ad un gruppo di piccole e medie imprese italiane, britanniche e svizzere e partner accademici come Imperial College London, Crest, University of Delft e Università di Verona.

Indipendentemente dal successo nella call del VII Programma Quadro molti dei partner industriali hanno intenzione di impegnarsi comunque su alcuni degli obiettivi tecnologici e di mercato inseriti nella proposta di progetto. Nel caso venga finanziato il progetto integrato Europeo partirebbe nella primavera del 2011.

Iniziato nel 2010, si svolgerà nei prossimi tre anni anche il progetto FIRB-”Futuro in Ricerca” dal titolo “Dispositivi fotovoltaici nanostrutturati e a film sottile per uso in sistemi a concentrazione con separazione spettrale”. Il progetto, guidato da Marco Stefancich e condotto dal CNR in collaborazione con l’Università di Ferrara, si occupa di sistemi fotovoltaici innovativi a concentrazione. Il progetto è stato concepito in sinergia con PED4PV di cui intende utilizzare alcuni risultati in merito allo sviluppo di celle fotovoltaiche a base di CIGS che verranno adattate all’impiego in concentratori solari.

Fra le iniziative progettuali di ricerca di base in fase di gestazione va segnalata anche l’attività esplorativa sulle cosiddette celle solari “a banda intermedia”, una dei possibili approcci per ottenere alte efficienze di conversione fotovoltaica (>60%) senza passare attraverso la realizzazione di dispositivi complessi e costosi come le celle solari a multi-giunzione correntemente usate nei concentratori solari o per impieghi spaziali.

Ispirandosi al “National Solar Technology Roadmap: Intermediate-Band PV”, pubblicato nel 2007 da NREL, questa attività esplorativa punta allo studio e alla sintesi di nuovi materiali dotati intrinsecamente delle proprietà elettriche necessarie allo sviluppo di dispositivi “a due fotoni”. L’attività si basa sulle risorse e sul know-how del CNR-IMEM nel campo sia della sintesi di nuovi materiali “metastabili” in condizioni di alta pressione e/o alta temperatura (HP/HT) che dello sviluppo di dispositivi ad alta prestazione mediante epitassia a fascio molecolare. Obiettivo primario nel corso dei prossimi tre anni è quello di far decollare questa attività ad alta importanza strategica anche dal punto di vista del reperimento di finanziamenti adeguati agli obiettivi ambiziosi del progetto.



Figura 4: Pressa tipo Multi-Anvil  
(a) per sintesi HP/HT P.max = 25  
GPa, T. max.= 2500 K



- 1 JRC PV Status Report 2009
- 2 <http://investor.firstsolar.com/phoenix.zhtml?c=201491&p=irol-newsArticle&ID=1454084&highlight=cost>
- 3 WCPEC-5 Valencia, 6-10/9/2010, Oral Presentation 3CO.14.1: R. Benz, A. Zindel, R. Zehtaban & T. Kratzla, Oerlikon Solar, Trübbach, Switzerland, Oerlikon Solar's Key Performance Drivers to Grid Parity in 2010
- 4 [http://trovaofferte.autorita.energia.it/trovaofferte/TKStart.do?req\\_mode=strom](http://trovaofferte.autorita.energia.it/trovaofferte/TKStart.do?req_mode=strom)
- 5 <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?europa=>
- 6 WCPEC-5 Valencia, 6-10/9/2010, Oral Presentation 3CO.14.2: K. Cunningham, E.B. Britcher, N. De Vries, H.J.L. Forstner, U.P. Haller, D. Harris, K. Maheshwari, E.I. Mayo, S. Satya & C. Eberspacher, Applied Materials, Santa Clara, USA, Real-world Performance Advantage of SunFab Thin Film Silicon Modules over Crystalline Silicon
- 7 M. Bindi, M. Canetti, F. Gangini, A. Gauzzi, L. Gianni, E. Gilioli, S. Rampino, and S. Zannella, "Multi-chamber deposition system for continuous production of YBCO coated conductors by thermal co-evaporation," *Journal of Physics* 43, 2006, pp. 130-133; <http://iopscience.iop.org/1742-6596/43/1/033>.
- 8 Pulsed electron deposition (PED) of single buffer layer for 'low-cost' YBCO coated conductors E Gilioli et al 2008 *J. Phys.* 97, 012197
- 9 F. Albertini, J. Kamarád, Z. Arnold, L. Pareti, E. Villa, L. Righi "Pressure effects on the magnetocaloric properties of Ni-rich and Mn-rich Ni<sub>2</sub>MnGa alloys," *J. Magn. Mater* 316 (2007), 364
- 10 [http://www.quantasol.com/news/item/investment\\_received\\_from\\_imperial\\_innovations\\_group/](http://www.quantasol.com/news/item/investment_received_from_imperial_innovations_group/)
- 11 K. Barnham, M. Mazzer, and B. Clive, "Resolving the energy crisis: nuclear or photovoltaics?," *Nature Materials*, vol. 5, Mar. 2006, pp. 161-164; [://000235707900002](http://dx.doi.org/10.1038/161164a).



DSP-P.03

## Robotica, Sistemi di produzione e Sistemi di movimentazione in ambienti poco strutturati

Massimiliano Ruggeri

### Introduzione

È opinione comune nel mondo della ricerca industriale e delle macchine, che la robotica sarà ben presto parte integrante della vita umana in molte forme e che sarà di ausilio o addirittura in sostituzione di tutte le attività umane. Non fa eccezione il mondo delle macchine nel quale già alcune attività sono svolte con la supervisione di sistemi elettronici che limitano i movimenti delle macchine in alcune situazioni particolari o che addirittura li governano totalmente (Figure 1, 2, 3 e 5).

La forte spinta alla integrazione della robotica e dei sistemi di interazione con l'ambiente è data da diversi fattori, tra i quali la necessità di eseguire lavorazioni secondo parametri ripetibili e indipendenti dall'operatore umano che li esegue, per necessità legate alla qualità, alla sicurezza e alla produttività. Parallelamente la necessità di veicoli autonomi, anche detti "Droni" nel linguaggio militare, è sostenuta dalle sempre crescenti necessità di monitoraggio del territorio a diversi fini, tra cui la protezione del territorio stesso, la gestione delle emergenze ambientali e la protezione dell'ambiente dalle azioni dell'uomo. Infine la crescente consapevolezza del valore della vita umana e la necessità di operare in ambienti giudicati pericolosi giustificano gli investimenti del Dipartimento e la attivazione di un progetto in questo ambito.





*Figura 1: Veicoli agricoli in marcia parallela*

Il progetto “Robotica, Sistemi di produzione e Sistemi di Movimentazione in Ambienti Poco Strutturati” vede tra i suoi scopi la introduzione della robotica e delle tecnologie che permettono l’esecuzione delle attività in completa autonomia nel mondo delle macchine e dei veicoli da lavoro.

L’ambito operativo di applicabilità di tale concetto è estremamente vario e diversificate sono anche le tipologie di richieste prestazionali e di missione, ragione che rende ancora più interessante e vincente un approccio che comprenda tecnologie di apprendimento autonomo sia delle condizioni ambientali di lavoro sia della tipologia di lavoro richiesta alla macchine stessa.

Il Dipartimento Sistemi di Produzione crede in questa visione e ha quindi attivato il progetto per supportare la ricerca e il comparto produttivo che sarà coinvolto nei prossimi anni nella realizzazione di sistemi robotici sia per ambiti produttivi in senso stretto, quindi fabbriche e siti produttivi strutturati, sia per ambiti di lavoro non strutturati ovvero per tutti i campi di applicazione di macchine e veicoli mobili e da lavoro.

La complessità dello scenario rende necessarie competenze molto diversificate, sia dal punto di vista degli ambiti operativi, sia dal punto di vista della struttura dei sistemi necessari al soddisfacimento delle missioni delle diverse tipologie di macchine che sono considerate di primaria importanza per lo sviluppo del progetto. Per tale motivo il Dipartimento ha

riunito sotto l'egida del progetto alcuni gruppi di lavoro eterogenei che afferiscono a diversi Istituti facenti parte del Dipartimento, con manifestazioni di interesse e coinvolgimento di Istituti anche al di fuori del Dipartimento stesso, indice del reale interesse e della applicabilità trasversale delle tecnologie in sviluppo.

### Obiettivi del progetto e tecnologia

L'idea forte del progetto nasce dalla convinzione di poter creare una competenza tale da rendere possibile la progettazione e realizzazione di macchine con importanti funzionalità legate alla robotica completamente autonome in seno al Dipartimento Sistemi di Produzione del CNR, unendo le forze e le competenze degli Istituti coinvolti nel progetto.

L'obiettivo principale a medio termine del progetto è Definizione di una nuova generazione di *Cluster* di macchine *eterogenee autonome cooperative modulari riconfigurabili* in grado di svolgere compiti di tipo *Plug & Operate* che non sono noti al momento della progettazione e costruzione delle macchine.

L'obiettivo è impegnativo ma la generalità della definizione data deve connotare la tecnologia che il Dipartimento si impegna a creare, non certo le singole applicazioni.

La tecnologia così definita si adatta in modo immediato ad alcune esigenze primarie del paese e della comunità mondiale relative a diversi ambiti applicativi. I primi progetti applicativi che sono in attivazione in questi mesi riguardano aspetti relativi a parti funzionali dell'obiettivo finale che sono oggi raggiungibili basandosi sulle sole forze interne di progetto e di lavoro da parte degli Istituti, che non possono dimenticare le singole missioni a cui sono dedicati e i progetti già in essere.

### Progetti e ambiti di applicabilità della tecnologia

Le applicazioni possibili per la tipologia di progetto dichiarata sono svariate e molto eterogenee, se ne citano alcune che sono scaturite dalle manifestazioni di interesse espresse dai ricercatori partecipanti alla conferenza di Dipartimento dell'aprile 2010.

1. Linee robotiche modulari e riconfigurabili di tipo *Plug & Produce*. Si tratta di robot e di linee produttive in grado di adattare sia la struttura sia la missione in modo dinamico in base alle necessità produttive, entro ampi margini di adattabilità, essendo in grado di realizzare lavorazioni e operazioni non note al momento del progetto e della realizzazione del robot.



2. Macchine operatrici modulari trasportabili riconfigurabili per operazioni *rescue* o utilizzo in ambienti remoti o ostili e per la gestione delle emergenze ambientali; il progetto prevede la ideazione di macchine operatrici modulari, che ne permettano il trasporto per via aerea (elicotteri) a singoli moduli, e in grado di ricomporsi nel luogo di destinazione. Tale struttura permetterebbe operazioni con veicoli di grandi dimensioni anche in aree non direttamente raggiungibili a causa di eventi naturali o in aree di difficile trasporto (ad esempio gallerie o miniere, dove le macchine sono ad oggi smontate e ricostruite in modo manuale). Parimenti il progetto si propone di ideare network di robot autonomi semoventi dotati di sistemi di comunicazione a lungo e corto raggio per il monitoraggio di aree a rischio di disastro ambientale (argini, dighe, frane, aree in prossimità di impianti potenzialmente dannosi per l'ambiente e monitoraggio di fall-out di materiali inquinanti, aree fluviali, marine e sottomarine, mini-macchine per esplorazione di miniere ed edifici crollati).

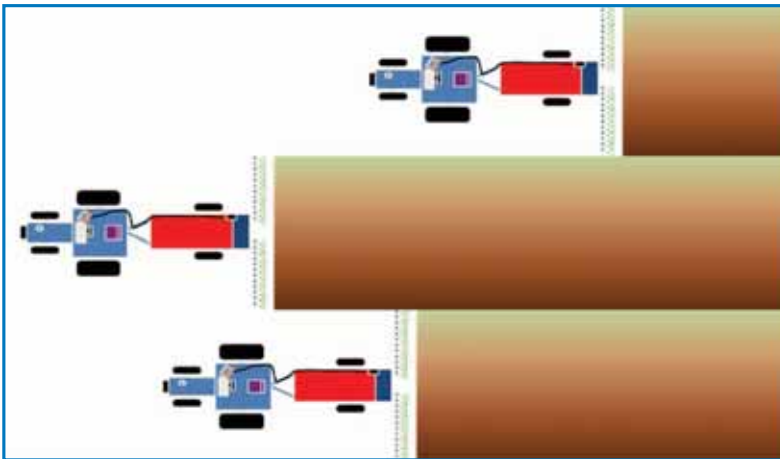


Figura 2: Esempio di veicoli in marcia parallela

3. Macchine di esplorazione e *rover* spaziali. Dato l'interesse globale a questo tipo di applicazioni, e data la esperienza pregressa del Dipartimento nella progettazione di sistemi di trazione per questa tipologia di veicoli, il loro inserimento nella lista appare d'obbligo anche in virtù delle collaborazioni in essere con l'ISTVS (International Society for Terrain-Vehicle Systems).

4. Cluster di veicoli militari. È noto che le maggiori risorse nel campo delle macchine sono normalmente messe in campo da soggetti provenienti dal mondo della Difesa. D'altra parte le stringenti richieste e le difficili specifiche proposte dagli organismi militari per la realizzazione di veicoli autonomi realmente "all terrain" rappresentano una sfida interessante che, se vinta, aprirà la strada a molte applicazioni derivate. La realizzazione di veicoli autonomi per lo sminamento o per operazioni di rescue o gestione delle emergenze gestite da organismi militari, costituirebbe un importante vantaggio in termini di rischi per le vite umane di molti militari impegnati in aree calde del mondo per riportare condizioni di stabilità. Parimenti le stesse tecnologie possono essere inserite in progetti di droni aerei per il supporto e il monitoraggio alle operazioni (Figura 3).



Figura 3: Droni Quadricotteri per monitoraggio delle colture e invio di dati in real time

5. Cluster di micro - macchine in grado di operare in ambienti ostili o di difficile accesso. La miniaturizzazione della componentistica meccatronica è un vantaggio competitivo che il Dipartimento Sistemi di Produzione vanta nei confronti di tutte le altre strutture di ricerca europee. La messa in funzione del Laboratorio di micromeccanica ad opera dell'Istituto ITIA è la chiave per la ideazione di macchine di ridottissime dimensioni, ma in grado di muoversi e operare autonomamente, secondo profili di missione condivisi dall'intero cluster di micro macchine e aggiornati periodicamente dalle stazioni di controllo.
6. Cluster di micro - macchine per Service. Si tratta di micro - macchine e mini - macchine in grado di operare, lavorare, eseguire diagnostica e riparazione sia con scopi primari autonomi sia asservite ad altri cluster di macchine (macro-macchine). Si tratta dell'obbiettivo forse più impegnativo e complesso, la ideazione di micro macchine



autonome in grado di monitorare, diagnosticare e riparare sistemi di maggiori dimensioni. Tali cluster di macchine avrebbe applicazione nei settori più disparati delle costruzioni e delle macchine e consentirebbe un notevole prolungamento della vita media i apparati che operano in ambienti di difficile accesso o ostili (fondali oceanici, miniere, aree contaminate, siti nucleari, altri pianeti).

7. Wireless micro - robot networks in grado di esplorare ambienti, alimentate attraverso sorgenti energetiche rinnovabili (solare, vibrazionale ed eolico), di acquisire dati dall'ambiente e di inviarli a stazioni di terra per il monitoraggio di siti ostili, o addirittura per operare in tali ambiti in modo completamente autonomo.
8. Macchine e Rover marini e sottomarini, grazie alle esperienze pregresse del gruppo di lavoro in seno all'Istituto ISSIA e ai numerosi programmi di ricerca europei e mondiali, uno degli obiettivi più vicini è proprio la realizzazione di cluster di robot sottomarini per il monitoraggio costiero e per operazioni sottomarine.
9. Cluster di macchine per la gestione e il monitoraggio del territorio. Questo obiettivo rappresenta un passo in avanti rispetto alle classiche WNS (Wireless Sensor Networks); la realizzazione di WRN Wireless Robot Networks semoventi, rappresenta un passo nella creazione di cluster di macchine cooperative in grado di avere lo stesso obiettivo pur avendo profili di missione diversi anche se sincronizzati nel cluster, al fine di eseguire lavorazioni diverse ma per lo stesso fine, aggiornate in tempo reale in funzione dello stato di sviluppo reciproco (Figura 4).

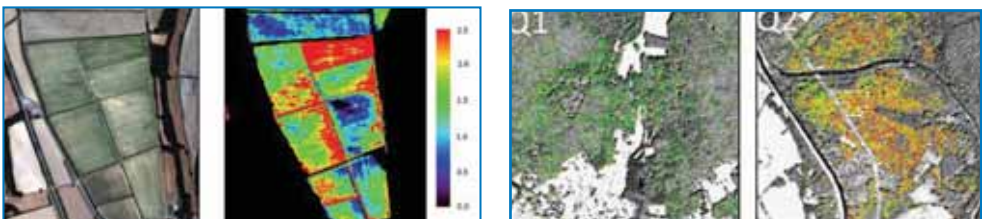


Figura 4: Immagini per acquisizione informazioni su lavorazioni e stato territorio

10. Cluster di macchine riconfigurabili per la gestione delle farm e dei boschi. L'Italia è il primo produttore mondiale di macchine agricole semoventi o trainate, dette comunemente Implement. Lo sviluppo della automazione e della robotizzazione delle lavorazioni agricole è in fase di sviluppo embrionale, ma se ne prevede un incremento importante nei prossimi anni. L'alleggerimento e la semplificazione del lavoro umano nella gestione delle lavorazioni agricole e delle foreste rappresenta una necessità per il mantenimento della leadership tecnologica e produttiva in quest'ambito per il prossimo decennio. La sincronizzazione delle macchine per le lavorazioni in campi di grandi dimensioni è già oggi sentita come una esigenza, così come la guida autonoma assistita e la gestione automatizzata dei cicli di lavoro. L'obiettivo del progetto è ideare e realizzare dei sistemi elettronici by wire che implementino queste funzionalità sulle macchine esistenti e ideare macchine di nuova generazione a struttura robotica, in grado di operare in totale autonomia (Figura 5).



Figura 5: Veicoli cooperativi eterogenei in marcia parallela

11. Macchine riconfigurabili in grado di adattare il comportamento e il profilo di missione in modo autonomo in base alle caratteristiche dell'ambiente per l'assistenza di persone diversamente abili.



## Le ricadute per lo sviluppo del paese

Il Dipartimento è conscio delle importanti ricadute che avrà il progetto nello sviluppo di attività volte sia al sostegno alle imprese nazionali, sia al miglioramento del controllo del territorio, che è uno dei grandi temi di gestione delle ricchezze e dell'ambiente del nostro paese.

1. Gestione delle emergenze. Per prima cosa va sottolineata la caratteristica sismica e morfologica del nostro territorio che dal nord al sud del paese presenta molte aree a rischio ambientale, che costringono le Istituzioni a prevedere continui interventi sia programmati sia per far fronte ad eventi non prevedibili per la gestione e il ripristino del territorio. La possibilità di mettere in campo macchine autonome e cooperative amplificherà le potenzialità di lavoro delle unità di gestione del territorio.
2. Applicazioni militari. Le operazioni di peace maker e di ripristino del territorio nelle zone di guerra sono spesso troppo costose in termini di vite umane, la possibilità di demandare a macchine autonome operazioni di sminamento o di ripristino di aree contaminate sarà un enorme passo in avanti nella gestione di attività militari, che ridurranno anche l'impatto politico e mediatico contrari all'invio di contingenti in aree ci sia rischio di perdita di vite umane.
3. Applicazioni civili e di opere di lavoro pubblico. L'operatività delle macchine ad ausilio robotico aumenterà la produttività nei cantieri e ridurrà al minimo il rischio di danni in ambienti strutturati, dove la presenza di reti di servizi e di infrastrutture rappresenta una notevole complicazione nella esecuzione di lavori di ripristino o di incremento funzionale.
4. Tecnologie abilitanti per la ideazione di macchine autonome operanti in sicurezza totale. Il tema della sicurezza in ambito lavorativo è uno dei grandi temi del presente, la riduzione degli incidenti sul lavoro è uno dei punti fermi dello sviluppo di un paese civile e le normative tendono sempre più a incrementare i livelli minimi di sicurezza imposti in tutti gli ambienti di lavoro; a maggior ragione nei sistemi gestiti da controllori elettronici dove le decisioni sono prese in autonomia dalle unità di controllo è fondamentale una progettazione orientata alla sicurezza. Una delle linee di sviluppo del progetto prevede la ideazione di sistemi a controllo distribuito a sicurezza intrinseca, per la gestione completamente automatizzata delle macchine, a testimonianza di quanto sia ritenuto importante il contributo della sicurezza per la accettazione a livello sociale di cluster di veicoli autonomi che operino nell'ambiente e in futuro in ambiti anche popolati da esseri umani.

5. Alleggerimento del lavoro umano. Come conseguenza immediata della realizzazione di macchine operanti in ambiti ostili e pericolosi o che siano in grado di svolgere compiti via via più complessi, si ha il miglioramento delle condizioni di lavoro umane.
6. Riduzione dei costi di gestione del parco macchine; infatti se si è in grado di ideare macchine riconfigurabili, esse realizzeranno più compiti diversi e saranno quindi maggiormente riutilizzabili e adattabili alla evoluzione dei prodotti, delle linee e delle lavorazioni connesse.
7. Gestione delle diverse capacità produttive mediante il ridimensionamento del cluster. Una nuova struttura dei siti produttivi permette, grazie all'utilizzo di macchine, linee e robot riconfigurabili, un ridimensionamento dei cluster in funzione delle necessità di produzione, consentendo un riadattamento delle linee in base ad esigenze di picchi su talune tipologie di prodotti, senza imporre alla azienda investimenti.
8. Chirurgia mini-invasiva (Figura 6).

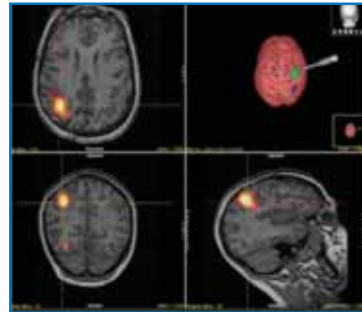


Figura 6: Robot per la chirurgia

9. Rieducazione e riabilitazione. La realizzazione di robot per la riabilitazione è ormai una realtà per il gruppo di lavoro di robotica di ITIA, lo sviluppo di nuove generazioni di questi robot prevede incrementi di autonomia nella gestione della riabilitazione e incrementi di funzionalità per un più veloce e meno costoso ripristino funzionale (Figura 7).



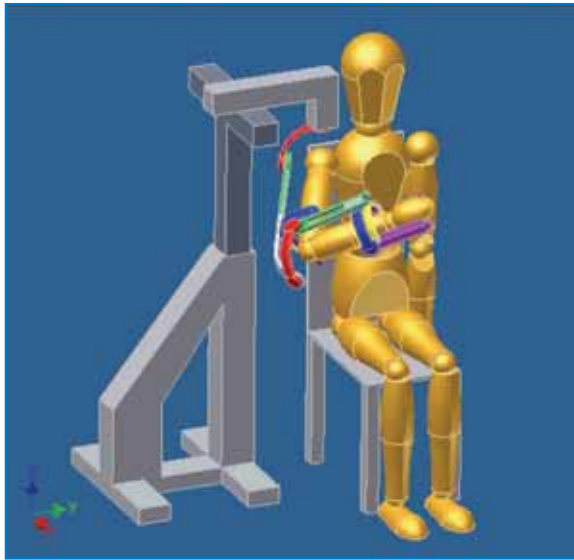


Figura 7: Modello di cella robotica muti - sensorizzata

10. Assistenza sociale. La generazione di robot descritta al punto precedente sarà poi sviluppata per consentire l'ausilio alla deambulazione e alla esecuzione di compiti in ambito domestico per l'assistenza a persone anziane e invalide, in modo da permettere una vita dignitosa anche a persone con problemi motori e in generale di indipendenza e di ridurre l'aggravio sulle spese di bilancio dello stato.

### Le tematiche e gli istituti

Quanto esposto prevede una progettazione complessa dei sistemi, che necessita di competenze molto diversificate per la realizzazione delle diverse parti funzionali delle macchine. Il Dipartimento Sistemi di Produzione può mettere in campo tutte le competenze necessarie, grazie alle attività in essere e i centri di eccellenza presenti negli Istituti afferenti. In base alle competenze richieste è stata quindi formata la compagine di sviluppo del progetto che è costituita principalmente da tre Istituti del Dipartimento, con la collaborazione di Istituti del CNR partecipanti esterni al Dipartimento Sistemi di Produzione. In particolare per tutto ciò che è legato alle Macchine autonome e robotizzate le competenze sono messe in campo

da ISSIA per la robotica sottomarina e per le tecnologie per la navigazione autonoma, da ITIA per la robotica e per i sistemi di controllo, e da IMAMOTER per la gestione della marcia dei veicoli, per il controllo del moto in ambito terrestre e per la gestione dei task di lavoro gestiti dai sistemi elettronici.

Parimenti per le tematiche più specifiche legati alle macchine da lavoro e agricole e ai veicoli militari le competenze necessarie al progetto delle macchine sono offerte da ISSIA e IMAMOTER, mentre, come già accennato per i veicoli marini di superficie e sottomarini le competenze specifiche sono reperibili presso ISSIA, sede di Genova.

Una parte fondamentale al raggiungimento degli obiettivi è costituita dalla sensorizzazione delle macchine, sia per una completa osservabilità e controllabilità dei processi, sia per la interazione e l'apprendimento e ricostruzione dell'ambiente in cui operano le macchine; per la ideazione di macchine autonome in grado di comprendere l'ambiente è quindi necessaria sensoristica innovativa e inferenza sulle informazioni acquisite dai sensori, tutto questo unito a sofisticate tecnologie di elaborazione di sistemi di visione laser è competenza già presente nell'Istituto ISSIA nella sede di Bari, dove si è in grado di ricostruire l'ambiente attraverso sistemi di sensori eterogenei installati su veicoli in corsa con precisioni millimetriche (Figura 8).

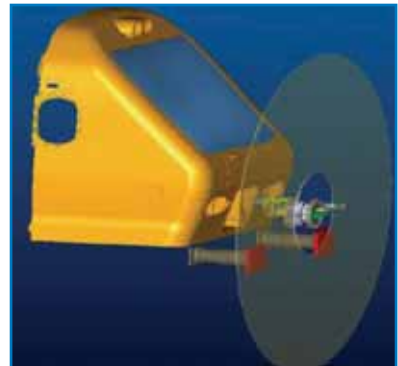
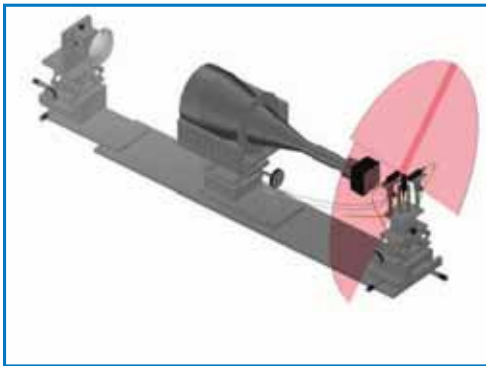


Figura 8: Sistema Integrato per la ricostruzione ambientale 3D per Treni ad alta velocità

Tra le tematiche incluse nelle idee progettuali vi è anche la consapevolezza di dover ideare macchine dotate di sistemi di controllo del moto e della forza di nuova generazione, efficienti, completamente controllabili e di elevate prestazioni e con tecnologia ibrida, con la possibilità di alimentare le macchine attraverso fonti rinnovabili di energia, soprattutto per



quei cluster di macchine e mini e micro macchine pensate per il monitoraggio ambientale e quindi assimilabili a reti di sensori. Questo tipo di ricerca sarà portato a compimento dal gruppo di ricerca dell'Istituto ISSIA di Palermo, dove esiste una tradizione e una competenza forte per lo studio e il progetto di macchine, motori elettrici e generatori e delle fonti rinnovabili di energia elettrica.

La ridefinizione della dimensione delle macchine, la riscalfatura delle dimensioni in funzione delle missioni per le quali le macchine sono progettate è possibile grazie alle competenze e alle capacità di prototipazione in ambito micro - meccanico messe a disposizione del progetto da ITIA; questo filone di ricerca consentirà di generare prototipi di mini - macchine e micro - macchine molto diversificate aprendo di fatto un nuovo filone di ricerca nel panorama del CNR.

Esiste infine la consapevolezza della esistenza di tematiche trasversali che sono patrimonio comune di tutti gli Istituti che partecipano al Progetto e che sono relative alla progettazione dei sistemi orientata alla sicurezza e alla affidabilità (Design for Reliability), argomenti particolarmente critici trattandosi di macchine autonome, e alla necessità di ideare e progettare protocolli di comunicazione sia wired che wireless per la gestione del controllo distribuito sulle singole macchine e all'interno dei cluster, rispettivamente.

Quanto descritto non è altro che il punto di partenza del progetto, l'analisi della situazione iniziale di forza che consente di affermare che la compagine di istituti e di persone coinvolte è in grado di portare a compimento gli obiettivi del progetto.

## Possibili Interrelazioni con altri Dipartimenti del CNR

Gli argomenti relativi al progetto sono risultati di interesse anche per altre strutture del CNR, che si sono dichiarate disponibili a collaborazioni. In particolare è stata attivata una collaborazione con l'Istituto ISTC per tutto ciò che concerne la parte cognitiva del comportamento dei robot e le interfacce con l'ambiente, l'interfaccia tra essere umano e macchina e l'Intelligenza artificiale (AI) soprattutto per il planning e scheduling di missioni di sistemi fisici complessi. Analogamente è stata attivata una collaborazione con ISTEK per la progettazione e l'uso di materiali ceramici sia per la ideazione di nuovi sensori (anche miniaturizzabili) sia per la ideazione di attuatori piezoceramici.

Esistono poi sinergie anche con altri dipartimenti e Istituti che sono di seguito solamente elencati per completezza ma che ad oggi non sono ancora state attivate.

- DET
  - trasporti in aree strutturate e non

- trasporti e mobilità persone diversamente abili
- Gestione ottimale della energia e veicoli ibridi
- DICT
  - Automazione e robotica
  - Comunicazione e reti
  - Calcolo real time ad elevate prestazioni
- DMD
  - Materiali innovativi per la costruzione delle macchine

### Attività in essere finalizzate allo scopo primario

Le attività di ricerca che sono in essere negli Istituti, anche se non finalizzate direttamente al Progetto, sono comunque strumentali a esso, perché molto spesso sono relative a parti funzionali delle macchine così come fin qui definite. Per citare qualche esempio, tutte le attività relative alla robotica orientata alla chirurgia teleguidata e autonoma (come obiettivo futuro) sviluppate presso ITIA, permetteranno di ereditare tutte le conoscenze relative ai controlli e alla intelligenza artificiale applicate a queste tecnologie, ereditando un enorme patrimonio di conoscenze immediatamente applicabile al progetto. Parimenti le attività ora svolte dal gruppo di lavoro in micromeccanica, sempre in ITIA, saranno funzionali alla realizzazione delle micro - macchine e dei micro - componenti (Figura 9), una volta chiare le specifiche costruttive in funzione dei profili di missione.

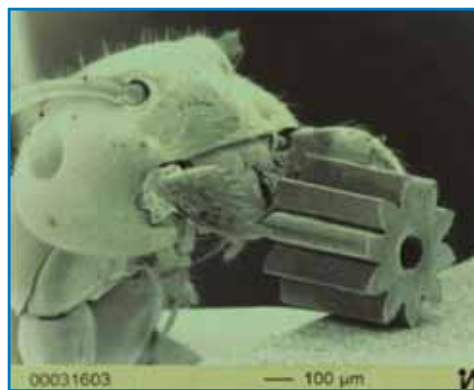
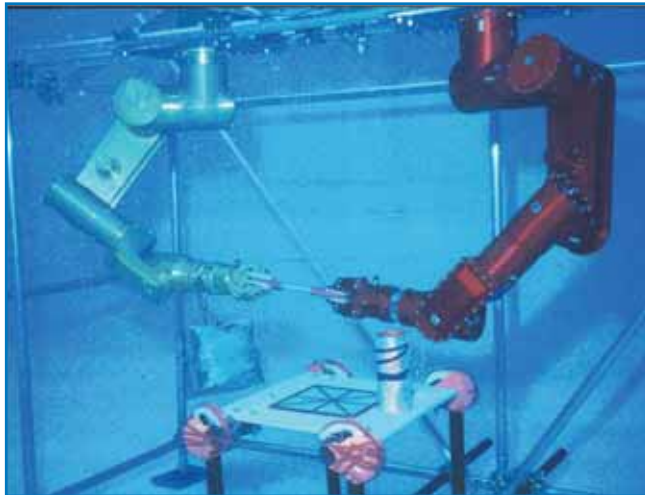


Figura 9: Componente micro - meccanico ricavato con tecnologia di micro injection molding



Esistono invece attività che sono direttamente correlate alla realizzazione di droni per ambiente marino che sono già completamente calate nelle logiche e negli scopi del progetto. Le attività e i progetti in essere già oggi presso l'Istituto ISSIA di Genova sono volte alla realizzazione di robot marini e sottomarini autonomi o teleguidati, per il monitoraggio delle coste e dell'ambiente sottomarino, e costituiscono già i primi obiettivi raggiunti dal Progetto (Figura 10).



*Figura 10: Braccio robotico sottomarino*

Molto lavoro sarà volto alla creazione di sistemi sensoriali adeguati alle funzionalità richieste alle macchine, ma ancora una volta si può affermare che le competenze messe in campo dai gruppi di lavoro dell'Istituto ISSIA di Bari e di Palermo sono adeguate alle richieste progettuali che oggi siamo in grado di immaginare per la realizzazione dei sistemi robotici. Parimenti un altro tipo di sperimentazione e studio è volto alla valutazione d'uso di materiali non metallici sia tradizionali (plastiche e polimeri) sia innovativi; tali sperimentazioni sono in fase di avvio sia in IMAMOTER per le macro - macchine, che in ITIA per sistemi di ridotte dimensioni e per le micro-lavorazioni.

Oltre alle normali attività istituzionali svolte dagli Istituti e che sono comunque strumentali anche al Progetto, dalla dichiarazione dell'obiettivo primario, sintetizzata nella Conferenza di Dipartimento di aprile 2010, sono state attivate alcune attività volte alla acquisizione di

esperienza e competenza in campi necessari alla creazione dei cluster di macchine. Oltre alla già citata collaborazione con l'Istituto ceramico ISTEK e con l'ISTC, sono stati attivati tre dottorati, tutti su fondi interni, per lo studio, rispettivamente, di sistemi di *harvesting* per sorgenti rinnovabili applicabili a WSN e a mini - macchine (Figura 11), per lo studio di sistemi di comunicazione Wireless a bassa latenza, adatte alla realizzazione di cluster di macchine cooperative e a funzionamento sincrono, e per lo studio di sistemi di comunicazione wired a sicurezza intrinseca a larga banda per la realizzazione del controllo distribuito sulle macchine in sistemi a elevato grado di safety (Safety Integrity Level 4).

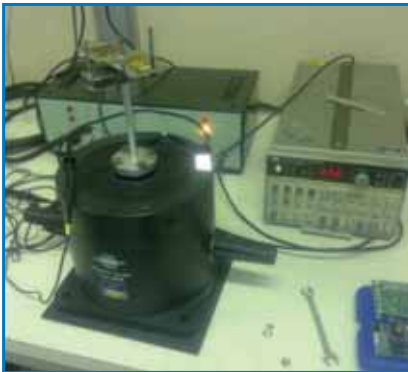


Figura 4: Banco prova per sensori e harvester piezoceramici e piezoelettrici e stack di attuatori piezoceramici in test

Sempre nell'ambito del progetto sono stati siglati degli accordi quadro con aziende a elevato contenuto tecnologico al fine di dedicare risorse allo sviluppo di tecnologie di comune utilità. A esempio è stato siglato un accordo per lo sviluppo di sistemi di acquisizione di immagini aree del territorio eseguite da droni di tipo quadricottero a guida completamente autonoma, per l'adeguamento in tempo reale dei profili di missione di cluster di macchine agricole, in grado di adattare la lavorazione del terreno alle condizioni dello stesso acquisite in tempo reale ed elaborate grazie a sistemi di visione e di elaborazione delle immagini tramite analisi spettrografiche e all'infrarosso. Tali attività sono volte alla acquisizione di nuove tecniche e tecnologie progettuali che permettano di soddisfare le richieste di autonomia, di sicurezza e prestazionali delle macchine.



## Prospettive future e interazioni con il comparto industriale

Le tecnologie necessarie per la realizzazione di tutti i sistemi robotici autonomi previsti dal progetto sono senza dubbio appetibili per molte aziende di diversi comparti industriali e dei Sistemi di Produzione, alcune di queste tecnologie sono già oggi disponibili, mentre altre sono in fase di studio e definizione ma la loro maturazione non appare distante nel tempo. Si ritiene che il Progetto possa dare una forte spinta industriale e applicativa alle attività legate alla progettazione delle macchine e che il Progetto stesso incarni molte delle tematiche previste dallo sviluppo dei sistemi e dei prodotti a medio termine per alcune categorie di macchine e sistemi che rappresentano il core business di molte aziende del paese. Proprio per tale motivo si è confidenti di poter trovare a breve partner con cui sviluppare le parti più applicative del progetto al fine di validare le tecnologie in sviluppo presso il Dipartimento.



DSP-P.04

## Metodi e Strumenti per la Gestione e l'Innovazione Tecnologica, Energetica ed Ambientalmente Sostenibile per la Costruzione Edile e Civile

Italo Meroni

### Introduzione

Le costruzioni rappresentano un patrimonio di indubbio valore economico, sociale e culturale. Si pensi che lo scorso anno gli investimenti in costruzioni hanno rappresentato il 10,9% del PIL ed il 52,1% degli investimenti realizzati nel Paese, occupando nel settore circa 1.970.000 unità:

Oggi si stanno affrontando innumerevoli sfide: cambiamenti climatici e demografici, globalizzazione, riduzione della disponibilità di risorse naturali, crisi economiche mondiali, ecc.. Tuttavia ci si affida ancora al settore delle costruzioni per realizzare edifici in cui la vita si svolga nelle migliori condizioni possibili; edifici accessibili e confortevoli, sicuri e protetti, godibili a lungo, efficienti e flessibili, economici e capaci di rispondere alla domanda in continuo cambiamento.

Gli edifici causano all'incirca il 40% del consumo energetico europeo, con una conseguente produzione di CO<sub>2</sub> pari a circa il 36% delle emissioni di biossido di carbonio in Europa<sup>1</sup>. Si comprende quindi che il potenziale impatto di azioni di ricerca in questo settore è estremamente elevato. Raggiungere la sostenibilità energetico ambientale è uno degli obiettivi primari del settore delle costruzioni in linea con le politiche e le strategie europee e nazionali in materia. L'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili negli usi finali civili sono oggi al centro dell'interesse dell'Europa e dell'Italia. L'obiettivo concordato dal Consiglio Europeo di rendere vincolante entro il 2020 la copertura del 20% dei consumi energetici mediante l'uso di fonti rinnovabili, di ridurre del 20% le emissioni di gas serra e di

<sup>1</sup> da EU Energy and transport in figures, statistical pocket book 2007/2008; Proposal for a recast of the EPBD, Impact Assessment. COM(2008)755, SEC(2008)2821.





incrementare l'efficienza energetica del 20%, focalizza l'attenzione degli Stati Membri e degli operatori interessati sulla necessità di accelerare lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche con ridotto tempo di ingresso sul mercato.

Il Progetto è perfettamente in linea con queste esigenze ed è in grado di dare risposte significative ed immediate.

## 1. Scenari generali per il settore delle costruzioni

Il settore delle costruzioni, a livello italiano ed europeo, non solo in termini economici ma anche sociali, imprenditoriali ed occupazionali è anche uno dei più rilevanti per dimensioni, diffusività sul territorio e capacità di creare un volano propulsivo di molti altri settori imprenditoriali dell'industria, dell'artigianato e della professione.

Esso si contraddistingue inoltre per via della sua complessità costitutiva sia in termini di processo (è tipica l'estrema varietà e parcellizzazione delle tipologie di operatori che sono coinvolte a partire dall'ideazione, fino all'edificazione ed oltre), sia in termini di prodotto (si spazia da materiali e prodotti elementari e/o tradizionali spesso non finalizzati in termini d'impiego, fino a prodotti e sistemi complessi, multifunzionali e/o innovativi), senza considerare gli intricati aspetti regolamentari connessi.

Rispetto ad altri settori disciplinari, questa complessità "di sistema" si scontra con un'opinione pubblica che ritiene di avere familiarità diretta (talvolta addirittura competenza) con le tematiche connesse, per il semplice fatto di abitare o frequentare abitazioni, uffici ed edifici più diversi e leggere informazioni commerciali più o meno veritiere di pubblico dominio.

L'approccio scientifico, al contrario, è basato sull'interlocazione multidisciplinare continua che si confronta con l'innovazione tecnologica, secondo approcci "dichiarativi" che mutano nel tempo e che ultimamente sono orientati a livello mondiale sulla problematica della sostenibilità energetico ambientale.

Purtroppo il quadro della ricerca italiana si deve scontrare con l'indisponibilità finanziaria dovuta sia alla mancanza di risorse dedicate, sia al ritardo nell'avviamento dei progetti di ricerca nazionali, sia alla crisi economica che ha rallentato gli investimenti in questo settore da parte delle imprese.

## 2. Il ruolo del progetto “Metodi e strumenti per la gestione e l'innovazione tecnologica, energetica ed ambientalmente sostenibile per la costruzione edile e civile”

Il focus del Progetto è mirato al settore dell'edilizia e della costruzione; più specificatamente, le Commesse che ad esso afferiscono, interagiscono col contesto di ricerca nazionale, europeo e mondiale attraverso collaborazioni e scambi di esperienze scientifiche con prestigiose strutture di ricerca, con il mondo accademico nonché con Ministeri, Regioni, enti locali, enti di normazione, istituzioni, imprese e società.

Il Progetto si sviluppa principalmente su due direttrici:

1. promuovere la riduzione dell'impatto ambientale del mondo delle costruzioni a partire dall'analisi del sistema edificio-impianto, fino allo studio e alla caratterizzazione di singoli materiali e componenti;
2. favorire la sicurezza e la fruizione degli edifici, anche attraverso forme avanzate di informazione e formazione.

Nell'ambito del primo tema si sviluppano competenze specifiche per eseguire sperimentazioni di laboratorio, monitoraggi sul campo e calcoli analitici che consentono di valutare le prestazioni energetiche, termiche ed acustiche di componenti e sistemi. L'obiettivo è quello di garantire un elevato benessere e IEQ (Indoor Environment Quality) ottimizzando i consumi. Le prestazioni degli impianti vengono valutate nell'ottica del maggior risparmio energetico e della massima integrazione con l'involucro, fino ad analisi specifiche per migliorare le prestazioni energetiche e la sostenibilità ambientale dei prodotti nell'ambito del condizionamento dell'aria e della refrigerazione. I materiali vengono caratterizzati in una banca dati nazionale basata su analisi LCA (Life Cycle Assessment). Si eseguono caratterizzazioni e si sviluppano procedure di installazione e calcolo di materiali innovativi, come quelli fotocatalitici. La valutazione delle prestazioni del sistema edificio-impianto avviene attraverso lo sviluppo di strumenti di certificazione energetica e, per una visione più estesa, attraverso l'implementazione di strumenti di valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici. I risultati conseguiti si traducono in linee guida e procedure di qualificazione dei prodotti che possono affiancare l'attività di progettazione di edifici e componenti e spesso si traducono in casi applicativi reali che portano alla definizione di esempi di eccellenza nazionale. Per favorire la diffusione delle conoscenze tecniche e legislative si sviluppano inoltre sistemi informativi multimediali in grado di migliorare il processo costruttivo.

Il secondo aspetto prevede lo sviluppo di competenze specifiche a supporto di una corretta progettazione, produzione e valutazione dei componenti innovativi in termini di



sicurezza strutturale e di comportamento al fuoco. Tra i materiali particolare attenzione è rivolta al legno, sottoposto a prove sperimentali di laboratorio e modellazioni numeriche al fine di sviluppare soluzioni costruttive portanti in grado di garantire un ridotto impatto ambientale, oltre alla sicurezza strutturale in zona sismica e resistenza al fuoco.

Trasversalmente alle due tematiche si sviluppano componenti domotici e sensori in grado di ottimizzare il funzionamento degli impianti e di incrementare la sicurezza negli edifici, sensori intelligenti in grado di elaborare le immagini registrate permettere di inviare segnali solo nel caso di reale necessità. Lo sviluppo di nuove tecnologie si rivolge inoltre al recupero e alla valorizzazione del patrimonio architettonico esistente, cercando di ridurre l'impatto ambientale e di favorirne l'accessibilità ed il comfort. Metodologie innovative di rilievo permettono di informatizzare e rendere consultabili su canali open-source le risorse architettoniche del nostro Paese, favorendone la conoscenza e lo stato di conservazione. A supporto dell'innovazione di processi e prodotti della costruzione sono sviluppati strumenti informatici specifici nonché di diffusione di nuove conoscenze tecniche e procedurali, formazione di nuove figure professionali e nuovi profili per le figure professionali oggi attive.

## 2.1 Principali temi sviluppati

Le tematiche qualificanti d'ambito nazionale e internazionale sulle quali si sviluppa il Progetto sono rappresentate in particolare da:

- *Sistemi di controllo e sistemi di visione per il palazzo intelligente e altri dispositivi (ISSIA-BA):* sviluppo di sistemi di controllo per infrastrutture complesse e di sistemi visivi intelligenti, capaci di operare in tempo reale, per la realizzazione di impianti ed ambienti controllati ma fruibili a basso costo. Simulazione di sistemi complessi per l'osservazione di stati dinamici interni non altrimenti osservabili e analisi di sequenze di immagini per la rilevazione di comportamenti, di espressioni e di gesti potenzialmente pericolosi. In particolare sono state definite metodologie di osservazione dello stato interno di un sistema complesso, costituito da una turbina ad alimentazione duale per la produzione di energia elettrica, sulla base dell'analisi della modellistica di impianto e di un numero limitato di parametri di funzionamento acquisiti da esso che ha portato allo sviluppo di metodologie innovative per osservazioni basate sull'approccio Sliding Mode e all'implementazione di una tecnica per l'osservazione degli stati, con la simulazione di un modello Simulink, di turbina a gas/vapore reso disponibile da Ansaldo Energia.
- *Materiali componenti e tecnologie di nuova concezione (ITC-MI):* incremento della

conoscenza tecnico-scientifica e normativa per specificazione e la valutazione delle prestazioni di sistemi innovativi di involucro, serramenti, facciate e coperture al fine di sviluppare conoscenze per una corretta progettazione, produzione e valutazione dei componenti di involucro in termini di sicurezza strutturale e di resistenza al fuoco.

- *Soluzioni tecnologiche, metodologie e strumenti per il miglioramento della sostenibilità energetico ambientale ed acustica e dell'utilizzo degli edifici (ITC-MI):* sviluppo di temi legati al comfort (IEQ, IAQ, ...), alla qualità, all'efficienza energetica ed alla sostenibilità energetico ambientale degli edifici attraverso studio e sperimentazione a livello di materiali e componenti fino a scala reale di edificio. Le competenze acquisite si traducono principalmente in interventi di diagnosi e di riqualificazione energetica ed ambientale, definizione di metodi e strumenti di valutazione, certificazione e controllo.

Nell'ambito del progetto "Nuove tecnologie e strumenti per l'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili negli usi finali civili" riferito all'accordo quadro CNR-Regione Lombardia e che vede l'interazione tra diversi istituti di ricerca (ITC, IENI, ISMAC, IMEM, IMATI, IRcCOS) è considerato in particolare lo sviluppo e la sperimentazione di nuove soluzioni tecnologiche nel campo del risparmio energetico e delle fonti alternative negli usi finali civili residenziali e per il terziario lungo tre direttrici principali: 1) Nuovi materiali; 2) Componenti evoluti di edificio e di impianto e criteri di integrazione nel sistema con funzionalizzazioni specifiche al costruito nuovo ed esistente; 3) Criteri e strumenti di valutazione e controllo, supporto alla progettazione e alla formazione.

- *Risparmio energetico e sostenibilità ambientale di sistemi di condizionamento dell'aria e refrigerazione (ITC-PD):* valutazione e sviluppo di metodi, sistemi e componenti finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche e tecnologiche e alla sostenibilità ambientale dei prodotti nel settore del condizionamento dell'aria e della refrigerazione. Misure sperimentali di solubilità e di pressione di saturazione di fluidi refrigeranti di nuova generazione. Studio di caratterizzazione dei nanofluidi, come possibili fluidi operativi nelle applicazioni CARR, attraverso la misura della viscosità, la valutazione della dimensione media delle nanoparticelle e la stabilità della sospensione. Nell'ambito della fluidodinamica sperimentale con tecnica PIV, sono state eseguite campagne di misura per descrivere il campo di moto 3D dell'aria all'interno di un canale di un banco frigorifero in varie configurazioni (uno/due ventilatori e presenza/assenza dell'evaporatore) per creare e validare un modello CFD orientato al virtual



prototyping. Studio con il metodo termografico degli effetti della corrosione esterna, causata da umidità di condensa, in un condotto per il trasporto di idrocarburi rivestito con materiale coibente e guscio in alluminio. Definizione di un impianto per la caratterizzazione di pannelli radianti a pavimento, composto da una cella climatica di ampie dimensioni, di tipo jacket condizionata ad aria e strumentata per la misura delle prestazioni energetiche. Caratterizzazione dell'invecchiamento di materiali ceramici di rivestimento, attraverso analisi di proprietà termiche, sia dal punto di vista dei modelli termici che della loro validazione. Sistema di acquisizione dati per il monitoraggio dei consumi energetici presso un supermercato: la campagna di misura ha portato alla realizzazione di una prima versione semplificata di un modello di simulazione di un gruppo di banchi frigoriferi.

- *Metodi sperimentali innovativi di verifica di materiali multifunzionali e tradizionali per applicazioni nelle costruzioni (ITC-MI):* studio e sviluppo di metodi speciali di caratterizzazione e verifica di materiali non convenzionali e tradizionali per applicazioni nel campo delle costruzioni e messa a punto di tecniche sperimentali specifiche. Studio e caratterizzazione di materiali con proprietà di disinquinamento fotocatalitico dell'aria applicabili all'edilizia e si sviluppo di tecniche normalizzate e strumentazioni specifiche per la misura delle loro prestazioni.
- *Materiali e tecnologie per la costruzione: utilizzo del legno (IVALSA-TN):* valorizzazione del legno massiccio di provenienza italiana per la costruzione di edifici. Analisi di laboratorio e modellazioni numeriche per la caratterizzazione del legno da un punto di vista fisico-meccanico, termo-igrometrico, sismico, di resistenza al fuoco, al fine di definire un edificio multipiano con struttura portante in legno che garantisca sicurezza sismica e in caso di incendio, basso impatto ambientale ed elevato comfort termoigrometrico ed acustico e un modulo sperimentale abitativo attrezzato, autoportante e trasportabile.
- *Uso razionale dell'energia negli edifici (ITC-MI, ITAE-ME):* studio, progettazione, realizzazione e sperimentazione di un dimostratore tecnologico quale progetto pilota per il trasferimento tecnologico finalizzato allo sviluppo e alla creazione di imprese ad alto contenuto innovativo nel comparto dell'edilizia e della filiera della regione Calabria. Prefattibilità di un sistema di trigenerazione con macchina frigorifera ad assorbimento, di chiller ad adsorbimento per il raffrescamento degli ambienti interni tramite solar cooling, di un impianto a celle a combustibile di tipo PEFC (5-10 kWe) per la produzione di energia elettrica come UPS (power quality)

impiegato come impianto dimostrativo, e di un impianto di cogenerazione a celle a combustibile di tipo SOFC da 5 kWe alimentato a gas naturale.

- Valutazione tecnica dei prodotti innovativi per la costruzione e certificazione tecnica (ITC-MI): attraverso il confronto continuo in ambito internazionale si sviluppano competenze specifiche per la definizione di procedure di qualificazione e di valutazione dei prodotti sul Mercato Unico Europeo, favorendo l'adeguamento alla Direttiva Europea 89/106/CEE "Prodotti da Costruzione". E' svolto un ruolo attivo nella collaborazione/coordinamento in sede europea per la definizione per confronto/consenso di strumenti innovativi: apparecchiature, procedure e specifiche tecniche. E' valutata l'idoneità all'impiego di prodotti e sistemi da costruzione basata sia su analisi documentali e ispettive del FPC (Factory Production Control) sia attraverso verifiche sperimentali. Sono definite, in collaborazione con altri istituti europei afferenti all'EOTA (European Organization for Technical Approval), specifiche tecniche per prodotti innovativi European Technical Approval (ETA), sia sulla base di European Technical Approval Guidance (ETAG) sia di Common Understanding of Approval Procedure (CUAP), sempre per prodotti innovativi. E' eseguita la valutazione tecnica di materiali, prodotti e sistemi innovativi per le costruzioni con conseguente rilascio di certificati e Documenti di Valutazione Tecnica (DVT). Sono infine definiti sistemi di controllo della produzione di fabbrica finalizzati a consentire la verifica di conformità dei prodotti innovativi alle nuove specifiche tecniche, attraverso controlli, prove e sorveglianza di parte terza sui processi produttivi (dalle materie prime al prodotto finito).
- Applicazioni informatiche, formazione e informazione tecnica a supporto dell'innovazione di processi e prodotti della costruzione (ITC-MI): attraverso lo sviluppo di sistemi informativi multimediali viene favorita la diffusione di conoscenze tecniche e legislative per il settore delle costruzioni finalizzata al miglioramento del processo costruttivo, dalla progettazione alla realizzazione in cantiere. Le informazioni on-line permettono di formare tecnici su molteplici discipline e di renderli aggiornati sulle innovazioni tecnologiche, oltre a fornire un supporto alle pubbliche amministrazioni sugli aggiornamenti normativi. La creazione di un centro di documentazione e informazione scientifica su nuove tecnologie e su strumenti per l'efficienza energetica consente di implementare l'architettura software e la gestione dei contenuti oltre a promuovere l'organizzazione di corsi formativi. Nello specifico si predispongono un prototipo software avente funzionalità di gestione dei documenti e delle informazioni, quali descrizione, ricerca, indicizzazione, glossario, navigazione,



ecc. e si definisce un set di metadati per la descrizione standardizzata dei documenti. L'attività di formazione si incentra anche sulla pianificazione dell'offerta formazione-lavoro, sull'individuazione networking per la creazione di una rete di operatori nel settore delle costruzioni per una migliore gestione del sistema e la riqualificazione del personale dell'Ente.

- Nuove metodologie per l'analisi e la valorizzazione dell'ambiente costruito e dei beni culturali architettonici (ITC-BA): gestione integrata dei processi di intervento sul costruito per favorire la valorizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei beni culturali architettonici, ridurre gli impatti ambientali e favorire accessibilità, sicurezza e comfort. Si incentiva l'utilizzo di tecnologie open-source per favorire la diffusione della conoscenza relativa al patrimonio architettonico esistente e lo sviluppo di metodologie innovative di rilievo finalizzate a creare modelli digitali degli edifici consultabili on-line (es. tour virtuali nelle località colpite dal sisma in Abruzzo - [http://www.ba.itc.cnr.it/sisma\\_abruzzo.html](http://www.ba.itc.cnr.it/sisma_abruzzo.html), siti di interesse turistico-culturale in Italia, Albania e Bosnia - <http://jargo.itc.cnr.it/prototipo/turismo.html>, prospetti di edifici rilevati con laserscanner). Si definiscono procedure e metodi per l'analisi di materiali, manufatti e componenti edilizi con particolare riferimento a: 1) sviluppo di linee guida per l'armonizzazione di normative edilizia transfrontaliere; 2) sviluppo di strumenti di supporto per l'analisi degli impatti ambientali delle costruzioni.
- Metodi e strumenti per costruire o riqualificare ambienti accessibili ed assistiti (ITC-RM): attività sul costruito principalmente riferito all'utenza debole (anziani e persone con disabilità) al fine di valutare e migliorare la sicurezza e la qualità degli spazi residenziali e non ed anche delle relative infrastrutture mediante la definizione di specifici strumenti di supporto ai tecnici per la verifica del reale livello di fruibilità degli ambienti.

## 2.2 Alcuni risultati ottenuti

### 2.2.1. *Certificazione energetica degli edifici (rif. Direttiva 2002/91/CE)*

L'attuazione di strategie volte al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici rappresenta il nodo cruciale per evitare che la certificazione energetica resti solo un esercizio intellettuale. In questo senso sono state sviluppate metodologie e strumenti per la certificazione energetica degli edifici, in risposta alla richiesta di definizione di approcci comuni e criteri uniformi come previsto dalla precedente Direttiva europea 2002/91 e

ripreso ed evidenziato dalla nuova Direttiva europea sulla prestazione energetica nell'edilizia 2010/31. Un esempio è il software DOCET (sviluppato da ITC-CNR in collaborazione con ENEA) per gli edifici residenziali esistenti con riferimento al DM 26/06/09, aggiornato secondo la metodologia di calcolo semplificata, riportata all'interno delle norme tecniche UNITS 11300. DOCET è previsto nelle Linee Guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici e definito come strumento nazionale di riferimento per la determinazione della prestazione energetica dell'edificio. La naturale evoluzione di tale strumento è rappresentata dalla definizione di un nuovo software dettagliato, DOCET<sup>pro</sup>2010 (di ITC-CNR), per la valutazione energetica di edifici sia esistenti che di nuova costruzione, per tutte le destinazioni d'uso, elaborato in accordo ai Decreti Legislativi 192/05 e 311/06, alla metodologia di calcolo completa UNITS 11300 1 e 2, al DPR 59/09 e alle Linee Guida nazionali per la certificazione energetica.

Il software è fruibile direttamente on-line mediante un ambiente desktop virtuale realizzato con le più moderne tecnologie informatiche e si propone come piattaforma italiana per la certificazione energetica sia a livello regionale che nazionale.

I due strumenti si basano sul metodo a bilanci mensili: in particolare, DOCET è finalizzato alla certificazione di edifici residenziali esistenti; DOCET<sup>pro</sup>2010 a tutti gli edifici secondo le categorie definite dal DPR 26 agosto 1993, n. 412.

Entrambi gli strumenti sono dotati di un'interfaccia grafica semplificata che consente una facile ed immediata fruizione da parte dell'utente. Ciò che li differenzia principalmente è il grado di dettaglio delle informazioni richieste: DOCET utilizza il metodo semplificato delle norme UNI TS 11300, riferendosi esclusivamente ai dati precalcolati da prospetto; DOCET<sup>pro</sup>2010 consente invece una maggiore caratterizzazione dell'edificio, implementando anche i metodi di calcolo analitici riportati nelle succitate norme.

Entrambi gli strumenti sono dotati di un modulo di diagnosi energetica che restituisce informazioni in merito alla fattibilità economica di eventuali interventi di riqualificazione energetica.

Tra le principali applicazioni di questi strumenti troviamo innanzitutto la certificazione energetica degli edifici, successivamente la diagnosi energetica finalizzata al suggerimento di possibili miglioramenti della qualità energetica dell'edificio e infine la cosiddetta "Firma Energetica" per consentire agli utenti finali di verificare la presenza di anomalie del sistema edificio-impianto mediante rilievo dei consumi al contatore e intervenire sul proprio comportamento. L'obiettivo che accomuna le possibili applicazioni è definire da un lato uno standard nazionale per i professionisti e gli enti locali, dall'altro sensibilizzare anche utenti non qualificati e diffondere la cultura dell'efficienza energetica. Dal 2007 ad oggi più di 100.000 utenti utilizzano i succitati strumenti.





Figura 1. Logo di Docet



Figura 2. Logo di Docet<sup>pro</sup>2010

### *2.2.2. Strumenti di valutazione della sostenibilità ambientale*

L'approccio alle costruzioni basato sulla sostenibilità ambientale necessita di disporre di sistemi di valutazione complessi e con solide basi tecnico-scientifiche in modo da determinare un punto di riferimento tecnico comune per tutti i portatori di interesse del settore dell'edilizia. Il tema della sostenibilità ambientale è oggi una questione di interesse internazionale, ma locale invece deve essere l'approccio operativo verso un'evoluzione della prassi costruttiva. E' quindi necessario che gli strumenti di misura e di analisi del livello di sostenibilità di un edificio siano in grado di prendere in esame le peculiarità relative al contesto politico, geografico e sociale dei diversi contesti di applicazione.

In quest'ambito ITC-CNR è impegnato sia a livello nazionale che internazionale.

Nel 1996 il processo di ricerca internazionale denominato Green Building Challenge si è posto l'obiettivo di definire uno standard che fosse comune a livello internazionale e insieme adatto ad una completa contestualizzazione rispetto ai singoli ambiti locali di applicazione. Si enfatizza quindi l'importanza di un approccio globale verso il tema della sostenibilità valorizzando al tempo stesso le specificità ambientali, sociali e politiche di ogni paese. L'esito di tale processo di ricerca è la definizione di una metodologia nota come SBMethod (Sustainable Building Method).

Insieme ad oltre venti paesi, l'Italia aderisce al processo di ricerca Green Building Challenge e nel 2000 viene sviluppata e testata la prima applicazione della metodologia al contesto italiano dando vita allo strumento operativo SBTool IT (Sustainable Building Tool ITALIA).

Le caratteristiche di trasparenza e oggettività di valutazione di tale strumento, la natura prestazionale e non prescrittiva dei suoi criteri di valutazione, l'aderenza alla normativa

tecnica nazionale dei metodi di calcolo e la semplice comunicazione del risultato finale sono gli aspetti che nel 2002 inducono l'associazione delle Regioni Italiane (ITACA) ad adottare la metodologia SBMethod come base per la realizzazione di uno strumento di valutazione di natura pubblica e di riferimento nazionale, dando pertanto vita al Protocollo ITACA.

Protocollo ITACA ed SBTool IT sono strumenti di valutazione derivanti dalla stessa matrice scientifica essendo basati entrambi sulla medesima metodologia e si completano in modo da offrire a livello nazionale un sistema integrato per la certificazione degli edifici di tipo istituzionale e di mercato.

Per la certificazione dei risultati ottenuti dall'applicazione di tali strumenti di valutazione è nato il marchio di qualità per la sostenibilità delle costruzioni ESIt - Edilizia Sostenibile Italia attraverso il quale è possibile certificare edifici di qualsiasi destinazione d'uso e per ogni fase del ciclo di vita. ESIt è una iniziativa rivolta al mercato immobiliare, promossa da iiSBE Italia (chapter nazionale di iiSBE – international initiative for a Sustainable Built Environment), ITC-CNR e IRcCOS (Istituto di Ricerca e certificazione per le Costruzioni Sostenibili), al fine di stabilire lo standard di riferimento unico a livello nazionale per il rating della qualità energetico ambientale delle costruzioni, imprescindibile per ottenere una reale trasformazione della prassi costruttiva e del mercato immobiliare verso una maggiore sostenibilità.

La certificazione ESIt valuta il livello di sostenibilità di una costruzione analizzandola rispetto alle principali problematiche ambientali: consumi (energia, acqua, materiali, terreno), carichi ambientali (emissioni, rifiuti, impatti locali), qualità ambientale indoor, qualità del servizio e qualità del sito.

ESIt si articola in diversi marchi di qualità:

- ESIt Protocollo ITACA: strumento adottato dalla conferenza delle Regioni per la certificazione rivolta all'edilizia diffusa di alta qualità energetico ambientale;
- ESIt SBTool IT: marchio rivolto ad edifici ed interventi di elevata complessità (es. grattacieli, centri direzionali, ecc.) ed a destinazioni d'uso specifiche (edifici industriali, campus universitari, strutture ricettive, ecc.);
- ESIt ZERO: marchio che attesta la prestazione "zero", ovvero a impatto nullo, rispetto a quattro aspetti ambientali quali consumi energetici, di acqua, di materiali vergini e terreno;
- ESIt ES: certificazione rivolta agli Edifici Storici;
- ESIt EE: marchio rivolto agli Edifici Esistenti con l'obiettivo di validare l'effettiva prestazione di una costruzione in esercizio.

Gli strumenti italiani Protocollo ITACA e SBTool IT sono inseriti in una rete europea di sistemi di certificazione basati sull'SBMethod che comprende Verde (Spagna), SBTool PT (Portogallo), SBTool CZ (Repubblica Ceca) che dal 2008 fanno parte della SBA (Sustainable Building Alliance), organizzazione internazionale volta a promuovere una armonizzazione tra i sistemi di certificazione come l'inglese BREEAM, il francese HQE, il tedesco DGNB, ecc.. E' infine in fase di sviluppo la definizione di un set di indicatori comuni che tutti gli strumenti di valutazione dovranno adottare e che saranno integrati e visualizzati in tutti i certificati in modo da poter confrontare le prestazioni di edifici valutati con sistemi differenti, soddisfacendo in tal senso le necessità degli stakeholder internazionali. L'obiettivo è di giungere nel medio periodo ad una armonizzazione di tutti i sistemi di rating, anche alla luce delle norme europee CEN.



Figura 3. Esempi di edifici certificati o in corso di certificazione con il Protocollo SBTool IT

### 2.2.3. Sistema sperimentale integrato per la misura del inquinamento fotocatalitico dell'aria

Il controllo dell'inquinamento dell'aria in ambito urbano e all'interno degli ambienti costruiti è sempre più percepito come fattore basilare per il miglioramento della qualità della vita nelle città moderne. Lo studio della fotocatalisi per applicazioni in ambito civile e edile ha consentito lo sviluppo e la realizzazione di sistemi strumentali specifici per la misura della riduzione dei microinquinanti aerei di materiali finalizzati al disinquinamento dell'aria. Le capacità di misura acquisite nell'ambito delle attività svolte, che per le caratteristiche di flessibilità e precisione nel controllo delle condizioni si pongono ai vertici dei laboratori nazionali, hanno consentito l'esecuzione di numerosi studi condotti autonomamente o in collaborazione con altri gruppi di ricerca del CNR o dell'Università.

Il sistema sperimentale sviluppato e realizzato in più versioni è basato su un reattore fotocatalitico a flusso continuo mescolato, specificamente ideato e dimensionato per lo studio del disinquinamento dell'aria da parte di materiali fotocatalitici. Tale reattore è stato selezionato tra le possibili alternative in quanto rappresenta il migliore approccio per le analisi di attività fotocatalitica a livelli di concentrazione di parti per miliardo (ppb). I reattori a flusso laminare o semilaminare e i reattori batch, comunemente utilizzati negli studi di attività catalitica, hanno infatti diversi svantaggi per questa specifica applicazione. Il reattore a flusso mescolato consente invece l'utilizzo di concentrazioni a livello ambientale (decine di ppb) con un'ottima rimozione degli errori dovuti agli adsorbimenti parassiti e con una eccellente uniformità di concentrazione sull'intera superficie del campione. Il sistema strumentale integrato comprende inoltre un generatore di aria sintetica computerizzato in grado di erogare un flusso di aria con presenza controllata di tracce di inquinanti, una camera di irradiazione che protegge il reattore fotocatalitico e ne controlla le condizioni di temperatura e irraggiamento ed infine un sistema analitico per la misura dei livelli di inquinante nell'aria in uscita dal fotoreattore. L'intero sistema è controllato e coordinato da un calcolatore munito di software specificamente sviluppato. Con i sistemi sperimentali sviluppati, disponibili presso l'ITC-CNR è quindi possibile misurare direttamente l'attività di disinquinamento fotocatalitico in condizioni controllate di concentrazione di inquinanti, irradiazione, temperatura e umidità.

Si prevede una espansione delle ricerche in questo campo, rivolte sia ai catalizzatori che ai prodotti finali. Ci si aspetta ad esempio un aumento di interesse nei fotocatalizzatori sensibili nel visibile, e quindi in grado di operare anche in assenza di radiazione ultravioletta come all'interno di ambienti confinati. Ulteriori ricerche saranno rivolte all'ottimizzazione delle caratteristiche dei prodotti finali, ad esempio con il perfezionamento di materiali multifunzionali capaci di avere una efficace azione di disinquinamento e contemporaneamente di autopulizia. Un aspetto particolarmente importante che necessiterà di ulteriori approfondimenti sperimentali è inoltre quello della durabilità a medio e lungo termine delle proprietà fotocatalitiche, in particolare nel caso di superfici esposte agli agenti atmosferici.



*Figura 4.* Sistema sperimentale integrato per la misura del disinquinamento fotocatalitico dell'aria. Da sinistra si può vedere il sistema computerizzato di controllo, il generatore dell'aria con la bombola di inquinanti in tracce, la camera di irradiazione con il reattore fotocatalitico (aperta per esposizione) ed il sistema analitico dell'aria in uscita.

#### *2.2.4. Banca dati LCA di materiali e prodotti per l'edilizia*

Durante gli ultimi decenni una serie di iniziative in campo legislativo e normativo a livello nazionale ed internazionale, nonché il diffondersi attraverso i media di una sempre più consapevole coscienza "sociale" nei confronti di temi attuali e stringenti come i cambiamenti climatici, il carbon footprint, ecc., hanno di fatto traghettato la progettazione edilizia tradizionale di tipo funzionale verso le nuove frontiere basate sull'approccio prestazionale, la sostenibilità ambientale ed il risparmio energetico applicati al settore delle costruzioni.

In questo contesto estremamente dinamico e stimolante, la richiesta di prodotti all'avanguardia e dalle ottimizzate caratteristiche energetiche ed ambientali ha spinto l'ingegneria dei materiali a sviluppare soluzioni innovative e ha incentivato il mondo della ricerca a definire (o finalizzare) metodi e strumenti ad hoc per la verifica di tali prestazioni.

A livello internazionale, una delle discipline che sin dagli anni sessanta ha cercato di quantificare in maniera scientifica, referenziata, ripetibile e condivisa l'analisi dell'impatto indotto da un'attività produttiva industriale sull'ambiente, è costituita dall'analisi del ciclo di vita (o Life Cycle Assessment).

I risultati ottenuti in decenni di applicazioni hanno introdotto gradualmente l'analisi LCA in settori diversi da quello per il quale era nato, sino all'ingegneria dei materiali, ambito in cui

l'analisi del ciclo di vita consente ex-ante l'ottimizzazione energetico-ambientale delle catene produttive ed ex-post la verifica dell'impatto ambientale complessivo del materiale finale.

Per quanto attiene lo specifico settore dell'edilizia e dell'ingegneria civile, molti sono i Paesi Europei ed extra-Europei che negli ultimi decenni si sono dotati di strumenti volontari di valutazione delle prestazioni ambientali di materiali e prodotti per uso edile, costituiti da banche dati LCI (Life Cycle Inventory) e strumenti software in grado di semplificare l'applicazione della disciplina LCA all'edilizia nonché di supportare gli operatori del settore nella fase di interpretazione degli output finali.

L'Italia purtroppo in questo ambito denuncia un profondo ritardo sia nella definizione di strumenti nazionali istituzionalizzati di riferimento, sia nell'applicazione di quelli elaborati dai Paesi confinanti europei nella pratica progettuale.

Le principali conseguenze negative imputabili a questo ritardo tecnico-scientifico possono essere riassunte nei seguenti punti:

- scarsa (se non totale assenza) rappresentazione di materiali e prodotti locali e regionali, tipici della realtà produttiva nazionale;
- computo di impatti ambientali non ascrivibili direttamente al sistema energetico-produttivo italiano ma non facilmente scorporabili nella pratica corrente progettuale e dovuti alla considerazione ad esempio di mix energetici differenti da quello nazionale (materiali e prodotti provenienti da Francia, Germania o Svizzera ad esempio contengono anche una parte di impatto ambientale dovuta alla produzione di scorie radioattive nelle centrali nucleari di produzione dell'energia elettrica);
- utilizzo nelle valutazioni di soluzioni non riscontrabili direttamente sul mercato;
- necessità di dotarsi di database e strumenti software a pagamento non di semplice ed intuitiva introduzione nella pratica progettuale corrente;
- scarso controllo delle soluzioni dichiarate "verdi" dai produttori, senza alcun reale riscontro scientifico di tali caratteristiche prestazionali, a fronte solo di una paventata 'naturalità'.

Si consideri inoltre che le scelte progettuali in relazione a materiali e soluzioni tecnologiche sono in grado di sviluppare impatti ambientali pari a volte a decenni di consumo energetico privo di qualsiasi criterio di energy-saving imputabile alla destinazione finale dell'immobile in progettazione.

E' in risposta a questo gap che nel 2008 è stato siglato un Accordo di Programma tra ITACA (Associazione delle Regioni Italiane), Regione Marche, ITC-CNR e Università Politecnica delle Marche per i seguenti obiettivi:



- definizione di un metodo di valutazione nazionale di riferimento LCA idoneo a rappresentare e soddisfare appieno le esigenze e le caratteristiche del complesso mercato edile italiano;
- strutturazione e compilazione della prima banca dati LCA nazionale istituzionalizzata di materiali e prodotti per l'edilizia con particolare focus sui materiali a ridotto impatto ambientale;
- definizione di un metodo di implementazione dei contenuti della banca dati nel Protocollo ITACA, strumento di valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici;
- strutturazione di uno schema di prezzario nazionale di riferimento per le Regioni basato su di un approccio LCC (Life Cycle Costing), che implementi le soluzioni materiale contenute nella banca dati;
- strutturazione di un capitolato d'appalto di riferimento nazionale per le Regioni che implementi le caratteristiche e le peculiarità dei materiali innovativi e costituisca strumento di supporto alla progettazione ambientalmente consapevole.

Allo scopo è stato definito un partenariato internazionale costituito dall'Ecole des Mines (Armines) di Parigi, iiSBE Italia, Environment Park e la società di consulenza ambientale 2B Environmental Consultants che ha concretizzato una prima 'release' della banca dati LCA di materiali e prodotti per l'edilizia, facendo frutto di esperienze internazionali di rilievo come quella Francese (INIES), Svizzera (Ecoinvent), Olandese (IVAM), Finlandese (VTT) e Britannica (BRE environmental profiles).

Tale banca dati è costituita, allo stato attuale, da circa 130 soluzioni presenti sul mercato edile nazionale e ne è prevista ulteriore implementazione. E' stata inoltre avviata una serie di collaborazioni con aziende presenti sul territorio nazionale finalizzate alla raccolta dati primari ed all'elaborazione di profili ambientali LCA di prodotto che consentiranno alle aziende non solo di inserire le loro soluzioni nella banca dati ma di richiedere, in maniera indipendente, il rilascio della Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD).

#### *2.2.5. Studio e ottimizzazione dell'integrazione di impianti di poligenerazione nel contesto residenziale*

La progettazione di impianti innovativi come quelli basati sulla tecnologia della poligenerazione deve essere necessariamente sviluppata in maniera integrata allo studio dell'involucro edilizio e delle sue prestazioni. Dato l'elevato investimento iniziale, l'errato

dimensionamento di tali sistemi può infatti portare alla realizzazione di impianti che risulteranno economicamente non sostenibili. L'attività di studio condotta sulla poligenerazione ha preso in considerazione principalmente questo aspetto, analizzando in maniera approfondita la fase di dimensionamento e di commissioning di impianti poligenerativi e il loro corretto sviluppo in relazione alle prestazioni dell'involucro edilizio.

L'attività si è basata sui dati raccolti in un edificio sperimentale, opportunamente monitorato, nel quale è stato installato un sistema di microgenerazione a gas naturale (potenza elettrica 5,5 kWel). Uno studio preliminare ha permesso una stima dei carichi termici dell'edificio e un opportuno dimensionamento del cogeneratore, considerandone un funzionamento quanto più continuativo a copertura del fabbisogno termico di base. Ad esso è stata affiancata una caldaia per la copertura dei picchi di carico nei mesi più freddi. Le sperimentazioni condotte sull'edificio sono state focalizzate sull'ottimizzazione della gestione dell'impianto ed hanno portato alla definizione di una metodologia di commissioning. Sulla base dei risultati ottenuti è stato realizzato un foglio di calcolo informatizzato per la determinazione dei parametri ottimali di funzionamento dell'impianto, considerandolo non come sistema a sé, ma studiando la sua interazione con l'involucro edilizio.

Le campagne sperimentali condotte hanno evidenziato notevoli risparmi sia in termini di energia primaria (circa il 39% rispetto ad un impianto tradizionale con caldaia) sia di emissioni di CO<sub>2</sub> (pari ad una riduzione del 26%). Le analisi energetiche sono inoltre state supportate da uno studio in termini di rientro economico dell'investimento che hanno evidenziato un pay back time di 8,5 anni.

Parallelamente all'attività di ottimizzazione, è stato condotto uno studio del sistema edificio-impianto con un software di simulazione dinamica al fine di ottenere un modello dell'impianto di microgenerazione e dell'involucro edilizio ad esso associato. La possibilità di confrontare i risultati simulati con dati reali ha consentito una continua ottimizzazione del modello e la validazione statistica. Si dispone così di uno strumento in grado di svolgere analisi previsionali sulle prestazioni di sistemi di microgenerazione al variare delle caratteristiche dell'edificio nel quale essi sono collocati.





Figura 5. Cogeneratore utilizzato per le analisi

### *2.2.6. Utilizzo del legno a fini strutturali*

Alla fine del 2007 nei laboratori dell'Istituto nazionale di ricerca sulla prevenzione disastri (NIED) di Miki, in Giappone, una casa di legno di sette piani e 24 metri di altezza realizzata dal CNR-Ivalsa di San Michele all'Adige (Trento) ha resistito con successo al test antisismico considerato il più distruttivo per le opere civili: la simulazione del terremoto di Kobe (magnitudo 7,2 sulla scala Richter), che nel 1995 provocò la morte di oltre seimila persone. Mai prima di allora una struttura interamente in legno e di tali dimensioni aveva resistito ad una simile forza d'urto. Il test è il risultato finale di studi e ricerche durate cinque anni che hanno individuato nella combinazione di materiali e connessioni meccaniche del prodotto SOFIE (Sistema Casa Fiemme) la tecnica costruttiva ideale contro i terremoti. Si tratta di un sistema (detto anche X-Lam, Cross Laminated Timber) ideato in Germania ma sviluppato e perfezionato in Italia che si basa sull'utilizzo di pannelli lamellari di legno massiccio di spessore variabile dai 5 ai 30 centimetri incollati a strati incrociati.

La ricerca condotta grazie a un progetto di ricerca finanziato dalla Provincia autonoma di Trento ha dimostrato in modo definitivo l'assoluta affidabilità e sicurezza, oltre al valore aggiunto in termini di comfort abitativo, risparmio energetico e rispetto per l'ambiente, del legno come materiale per l'edilizia. Il test di Miki segue non soltanto un'analogia prova

condotta nel luglio 2006, sempre in Giappone, su una casa di tre piani, ma anche una simulazione di incendio su un'identica abitazione, che riuscì a conservare intatte le sue proprietà meccaniche e inalterata la propria struttura portante dopo oltre un'ora di fuoco.

A seguito dei risultati ottenuti con il progetto di ricerca SOFIE si è pervenuti alla definizione e sperimentazione di un edificio modulare e trasportabile "MAI" (Modulo Abitativo Ivalsa) ideato e sviluppato da Ivalsa nell'ambito della ricerca sugli utilizzi innovativi dei pannelli strutturali di legno di tipo X-lam e realizzato in partnership con Ceii (Centro Europeo d'Impresa e Innovazione) Trentino, con la collaborazione di diverse imprese artigiane trentine. Una delle caratteristiche assolutamente innovative di MAI rispetto ad altri edifici prefabbricati e trasportabili è il fatto che ciascun modulo è auto-portante e completo di tutte le componenti di un edificio finito, dai cappotti isolanti esterni alla copertura, dai pavimenti alla dotazione impiantistica, dai rivestimenti interni agli arredi. La sua struttura, inoltre, ovvero solai, pareti e coperture, è interamente realizzata con pannelli X-lam provenienti dalle prove effettuate nei precedenti studi del progetto SOFIE. Si tratta del primo caso di riuso del Cross-lam a fini strutturali.



Figura 6. Test sismico eseguito in Giappone su edificio di sette piani

### *2.2.7. Acustica in edilizia*

Le problematiche legate all'acustica edilizia hanno assunto negli ultimi anni sempre maggiore importanza. A livello nazionale l'esigenza di applicazione dei requisiti di legge



(DPCM 5/12/97) ha aumentato la sensibilità di tutto il comparto dell'edilizia che ha dedicato sempre maggiori risorse nell'adeguare alle esigenze di elevate prestazioni acustiche degli edifici gli strumenti di progettazione, i materiali e i prodotti, le tecnologie e i metodi di prova. Per ciascuno degli aspetti citati sono state sviluppate attività di ricerca rilevanti sia a livello nazionale sia internazionale. In particolare per quanto riguarda le metodologie di prova è stato definito e realizzato un allestimento ad hoc in scala reale per la caratterizzazione acustica (isolamento di facciata e rumore da pioggia battente) di falde per tetti. Tale allestimento è unico in Italia e tra i pochi in Europa e ha permesso una più precisa comprensione del comportamento di un elemento tecnico che non poteva essere caratterizzato ricorrendo ai soli metodi tradizionali di laboratorio.

Altro aspetto essenziale per la piena applicazione delle metodologie di prova è la conoscenza della loro attendibilità, che si ottiene attraverso campagne di misurazioni interlaboratorio. In questo ambito, in collaborazione con Regione Lombardia, Università di Milano Bicocca e ARPA Lombardia è stata condotta una campagna sperimentale finalizzata alla determinazione della ripetibilità e riproducibilità delle metodologie di misurazione in opera delle grandezze acustiche in edilizia. I valori di riproducibilità ottenuti sono stati utilizzati anche dalla Commissione Acustica dell'UNI per la stesura della recente norma sulla classificazione acustica delle unità immobiliari.

A livello internazionale è in atto un'azione comune allo scopo di armonizzare tutti gli aspetti relativi alle prestazioni acustiche degli edifici e alla loro classificazione sulla base di valori limite universalmente accettati. Nell'ambito del progetto europeo COST ACTION TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions è messa a disposizione dei relativi gruppi di lavoro l'esperienza basata su un vasto data-base di risultati ottenuti sia in laboratorio che in cantiere; in particolare sono stati definiti e proposti schemi di confronto tra requisiti acustici per l'edilizia ricavati sulla base di campagne sperimentali svolte in condizioni d'opera.



*Figura 7.* Allestimento in scala reale ad hoc per la caratterizzazione acustica (isolamento di facciata e rumore da pioggia battente) di falde per tetti

### *2.2.8. Tecnologie immersive per la fruizione a distanza di ambienti geolocalizzati*

La fruizione dei beni culturali e ambientali risulta spesso ostacolata dalla presenza di barriere architettoniche e da limitazioni di carattere sia intrinseco (ad es.: ambienti e/o manufatti con microclima da preservare, zone protette nei periodi di riproduzione; ambienti sotterranei) che gestionale (ad es.: collezioni chiuse per lavori in corso o per assenza di personale).

In questi casi, l'ambiente temporaneamente o permanentemente inaccessibile, può comunque essere fruito a distanza mediante un tour virtuale.

Si tratta di una tecnologia sviluppata negli anni '90 per ottenere una visione sferica degli ambienti realizzata mediante l'assemblaggio di fotogrammi (ripresi con specifiche sequenze) in immagini usualmente equirettangolari che, pubblicate in rete nel formato swf ed operando con il mouse in un comune browser internet, creano l'illusione di esplorare dal punto di ripresa uno spazio tridimensionale.

Le applicazioni commerciali fanno spesso riferimento a complessi sistemi HW/SW fornendo risultati di alta qualità a fronte, tuttavia, di ridotti contenuti informativi e di risorse economiche impegnative, non sempre sostenibili.

La soluzione tecnologica implementata è invece a basso costo (librerie javascript open source), offre il collegamento al contesto territoriale anche attraverso un WebGIS in cui vengono inseriti i punti di ripresa georeferenziati e catalogati; non richiede particolari installazioni (webGIS e virtual tour devono solo di essere inclusi in una pagina html) ed infine offre funzionalità aggiuntive rispetto a quelle usualmente disponibili (fig.7).

La selezione di un tour nel WebGIS avviene non solo mediante semplice navigazione ma anche eseguendo una ricerca per tipologia e campi. Attivato il tour, i siti collegati sono evidenziabili anche in una mappa google, in una galleria di siti e in una di oggetti (visualizzati in una finestra a scomparsa); è inoltre possibile attivare una visita guidata predisposta, oltre a fornire approfondimenti informativi multimediali.



Esplorazione del territorio	Navigazione nel tour virtuale
	
<p>Visualizza per tipologia <a href="http://www.italia.it/it/media/tour-virtuali-ditalia.html">http://www.italia.it/it/media/tour-virtuali-ditalia.html</a></p>	<p>Siti collegati evidenziati con cerchi <a href="http://www.italia.it/it/media/tour-virtuali-ditalia/tour-virtuale.html?no_cache=1&amp;stuid=1282">http://www.italia.it/it/media/tour-virtuali-ditalia/tour-virtuale.html?no_cache=1&amp;stuid=1282</a></p>
	
<p>Visualizza per tipologia ed esegue ricerca per tipologia e campi; mappa con differenti modalità e panoramica. <a href="http://jargo.itc.cnr.it/prototipo/turismo.html">http://jargo.itc.cnr.it/prototipo/turismo.html</a></p>	<p>Siti collegati evidenziati con frecce; segnalini in mappa; galleria siti e oggetti; disponibili contenuti informativi multimediali. <a href="http://www.ba.itc.cnr.it/casamassima.html">http://www.ba.itc.cnr.it/casamassima.html</a></p>

Figura 8. Confronto tra sito ufficiale del turismo e soluzioni tecnologiche ITC-CNR

### 3. Sviluppi futuri

Il CNR dispone nell'area tematica specifica, di Istituti con esperienza più che quarantennale, che si connotano, ciascuno nel proprio campo tecnico scientifico, per alcuni requisiti fondamentali quali:

- la presenza attiva in campo nazionale, europeo ed internazionale;
- la capacità evolutiva delle proprie tematiche di ricerca nel tempo;
- la capacità di cooperare su temi di ricerca ed innovazione col mondo delle imprese;
- la disponibilità di strutturati e moderni laboratori;
- l'ottima capacità sperimentale.

Questi requisiti si riscontrano anche in un certo numero di unità di ricerca di altri Istituti, per le quali sono attive commesse afferenti al Progetto.

E' molto importante la valorizzazione del contributo di esperienza da parte degli Istituti o parti di essi, che hanno, per competenza e attività, conoscenza delle problematiche di un settore produttivo. Essi sono di fatto i "punti di ingresso" nella rete CNR delle aziende e ne sono i primi interlocutori tecnico-scientifici e pertanto devono essere in grado di recepire le problematiche poste dagli utenti e di mobilitare le risorse della rete utili alla loro soluzione.

Fondamentale il rapporto con l'impresa, che si sviluppa su due piani: quello con imprese tecnologicamente mature, in grado di portare avanti collaborazioni di ricerca nazionali ed europee proiettate nel medio-lungo termine, e quello con la piccola-media impresa, mirato prevalentemente all'innovazione e gestito mediante informazione tecnica e formazione su tematiche di evoluzione tecnologica organizzate con strutture aggreganti quali associazioni di categoria, ecc..

#### 3.1. L'ambito internazionale

Il Progetto, e più specificatamente le Commesse che ad esso afferiscono, interagisce col contesto di ricerca europeo e mondiale attraverso collaborazioni e scambi di esperienze scientifiche.

Il VII Programma Quadro della UE da una parte ha messo in evidenza la convergenza fra le priorità identificate a livello nazionale ed europeo, consentendo di proporre temi di comune interesse nell'ambito del programma di attività, dall'altra operando nell'ambito delle Piattaforme Tecnologiche europee ed espandendone i principi e le modalità operative a scala nazionale, contribuisce a rafforzare le attività del Progetto sul piano internazionale.



Lo sviluppo delle Piattaforme nazionali (es. PTIC), corrispondenti ad analoghe Piattaforme europee, costituisce il link più operativo per l'accesso ai programmi di ricerca europei. Le attività assumeranno ulteriore rilievo internazionale prossimamente per l'avvio della nuova regolamentazione europea in materia di edilizia che comporterà di prevedere il coinvolgimento e l'allestimento di un quadro ulteriormente allargato di competenze nazionali di natura sia tecnica e sperimentale per la valutazione dei prodotti, sia giuridico-procedurale per la definizione delle nuove specifiche. L'attività impatterà sia con interessi di adeguamento e di crescita tecnologica e qualitativa dell'imprenditoria nazionale di settore (costruttori e produttori), sia con reti europee diverse (CIB, EOTA, UEAtc, Rilem, ecc.), costituite dai più importanti organismi di ricerca e certificazione di settore. Ulteriore stimolo deriverà dalla partecipazione attiva alla Sustainable Building Alliance (SBA), organizzazione internazionale che funge da piattaforma tecnico scientifica per il mutuo riconoscimento dei sistemi di certificazione europei della sostenibilità ambientale degli edifici.

### 3.2. L'ambito nazionale

Il quadro delle ricerche italiano è attualmente profondamente condizionato da due fattori:

- l'indisponibilità finanziaria per azioni di ricerca, in parte dovuta a mancanza di risorse dedicate e in parte dovuta ai fortissimi ritardi all'avviamento dei progetti di ricerca nazionali;
- la crisi finanziaria che ha generato una stretta prudenziale da parte delle imprese ad investire nella ricerca

La maturazione di progetti quali ad esempio quelli avviati nell'ambito dell'Accordo Quadro CNR-Regione Lombardia, l'intesa di programma MIUR-CNR per il Mezzogiorno e Industria 2015, stanno consentendo tuttavia di svolgere importanti azioni di ricerca a livello nazionale. Il piano per la competitività "Industria 2015" del Ministero per lo Sviluppo Economico ha dedicato al Made in Italy tre tematiche rilevanti (beni strumentali, risparmio energetico negli usi finali, turismo e beni culturali), confermando quindi l'interesse prioritario per temi di ricerca importanti sviluppati all'interno del Progetto dalle varie Commesse. La natura di questa iniziativa inoltre è fortemente allineata con i criteri di cooperazione fra ricerca e industria; proprio in questa occasione, le collaborazioni avviate con associazioni di categoria (industriali, cooperative ed artigiane) stanno trovando un terreno comune di produzione di idee di ricerca.

Appare quindi evidente che, a fronte dell'esistenza delle condizioni sopra esposte, la posizione dell'Italia si avvantaggerebbe fortemente di una più costante programmazione

di ricerca per obiettivi indirizzata alla soluzione di alcuni grandi problemi del Paese, quale è appunto l'accrescimento della competitività interna ed esterna del sistema produttivo, declinata per i diversi settori. Lo sviluppo di questo approccio porterà alla definizione di programmi ed azioni di ricerca di grande efficacia ed impatto sugli specifici settori produttivi.

### 3.3. Le priorità per la ricerca

L'importanza, l'ampiezza e l'insieme delle problematiche che sono proprie del parco costruito nazionale, particolarmente a supporto di scelte di convenienza tecnico-economica tese ad orientare consapevolmente strategie di riqualificazione del patrimonio esistente, secondo opportunità energetiche e di sicurezza, richiedono la presenza, l'affinamento e la complementarità di strumenti e procedure di valutazione e diagnostica. In particolare sul tema energetico ambientale la Commissione Europea ha proposto un ampio pacchetto di misure che fissa, per il 2020, obiettivi del 20-20-20% intesi a ridurre del 20% il consumo di energia e le emissioni di gas serra e a portare al 20% la percentuale di energie rinnovabili. La riduzione dei consumi energetici degli edifici può sicuramente contribuire in misura significativa al conseguimento di tali obiettivi. Diventano quindi prioritarie le seguenti linee:

- strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità energetico ambientale e modelli di previsione dell'obsolescenza energetica e di comfort degli edifici;
- estensione del processo di valutazione energetico ambientale degli edifici alla mappatura dei sistemi territoriali in termini sia di attestazione di sostenibilità sia di LCA. Tali sistemi terranno conto degli aspetti economici, finanziari e sociali;
- rivestimenti innovativi in grado di conferire nuove funzionalità ai materiali nella piena attuazione delle prestazioni termo-energetiche ed acustiche;
- nuovi sistemi di valutazione, indicatori prestazionali e modelli di verifica relativamente agli effetti dei cambiamenti climatici e dei carichi ambientali delle costruzioni;
- sviluppo di applicazioni informatiche alla realizzazione finalizzate alla diagnosi delle prestazioni energetiche delle costruzioni;
- nuovi concept di progettazione per edifici "low energy" a climatizzazione spontanea, coerenti con i diversi contesti climatici che caratterizzano il territorio dell'Italia;
- sviluppo di tecnologie leggere per la protezione dagli agenti atmosferici, l'isolamento termo-acustico, la schermatura e l'ombreggiamento dall'irradiazione solare, garantendo un'ampia flessibilità di utilizzo, al variare delle geometrie strutturali e dei caratteri morfologici di grandi coperture;





- soluzioni innovative per sistemi di micro, co e tri-generazione da impiegare anche nel settore residenziale;
- soluzioni innovative per componenti di impianti solari per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici;
- soluzioni innovative e nuovi sistemi di monitoraggio e regolazione per ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici e il recupero energetico degli edifici esistenti;
- nuovi strumenti per la conduzione di analisi costi/benefici relativi a prodotti e sistemi che contribuiscono alle prestazioni energetiche ed ambientali dell'edificio;
- sistemi di gestione avanzati degli edifici (Building Automation, BMS, domotica) per ottimizzare la gestione degli impianti tecnologici e di elementi dell'involucro mantenendo elevati livelli di IEQ (Indoor Environmental Quality);
- tecnologie innovative per sistemi abitativi in situazioni di emergenza e di impiego temporaneo;
- sviluppo di sistemi dedicati a garantire la piena accessibilità agli edifici e alle infrastrutture da parte di persone disabili e anziane;
- riduzione dell'impatto ambientale nella produzione e nella dismissione di materiali da costruzione;
- aumento dell'efficienza energetica degli edifici e delle infrastrutture esistenti attraverso nuovi materiali;
- formazione, informazione tecnica e diffusione dei risultati delle ricerche.

#### 4. Considerazioni finali

L'insieme delle costruzioni, nuove ed esistenti, costituisce un valore economico immenso e non sostituibile che deve essere conservato e reso fruibile, efficiente e sicuro. In tal senso richiede l'impiego di soluzioni tecniche e tecnologiche appropriate in un'ottica di sostenibilità e di servizio verso le imprese e i cittadini. La ricerca e l'innovazione rappresentano quindi un'opportunità di crescita per il settore delle costruzioni, con effetti evidentemente positivi sull'intero sistema Paese. Si tratta di un processo che va sostenuto e rafforzato, attraverso la crescita di competenze e il miglioramento dell'efficienza, stimolando da una parte le imprese nel perseguire una innovazione di prodotto e di processo e dall'altro il mondo politico affinché si minimizzi la forte burocrazia attuale a vantaggio della messa a disposizione delle necessarie risorse in termini sia umani sia economici senza le quali il raggiungimento dei citati obiettivi ed un idoneo livello di qualità nel settore non risulterebbe possibile.

Infine è importante considerare l'effetto globale che la legislazione esercita sulla competitività industriale e sull'innovazione soprattutto in un sistema, come quello italiano, generalmente conservativo anche a causa di normative tendenzialmente restrittive. Ulteriore tema, sul quale è importante soffermarsi, è quello della conoscenza e consapevolezza da parte del mercato del valore innovativo del costruito, l'utente deve potere e sapere comprendere il valore delle migliori realizzazioni. Solo in questo contesto l'innovazione nelle costruzioni potrà essere considerata come un valore spendibile sul mercato, a cui quindi le imprese saranno veramente interessate.





DSP-P.06

## Sistemi di monitoraggio, controllo e sicurezza nei contesti produttivi e d'uso; materiali e sensori

Nicola Veneziani

### Inquadramento della problematica

Il progetto è orientato allo sviluppo di nuove capacità di monitoraggio e controllo per un ampio ventaglio di situazioni, che vanno dalla gestione di celle robotizzate e d'impianti di produzione, allo studio e sviluppo di prodotti innovativi a supporto degli individui e delle collettività.

Le finalità del progetto sono pertanto indirizzate allo sviluppo di capacità sensoriali ed alla loro integrazione in sistemi dotati d'intelligenza software, da utilizzarsi nei diversi ambiti produttivi e d'uso. Aspetti connessi all'economicità delle soluzioni adottate sono anche considerati, per una più rapida ingegnerizzazione dei dimostratori e relativo trasferimento in produzione.

Nuovi materiali e nuovi dispositivi sensoriali vengono realizzati per la misura di grandezze fisiche e chimiche, caratterizzati da elevate prestazioni funzionali, e si sviluppano tecnologie hardware/software volte all'adattabilità strutturale delle unità di lavorazione ed all'ottimizzazione dei controlli, attraverso l'integrazione multisensoriale, la modellistica fisico/matematica dei sistemi, la simulazione, la comunicazione wireless, l'auto-localizzazione di unità mobili. Completano gli sviluppi le logiche di cooperazione tra celle indipendenti e l'impiego di modelli 3D-Aumentati della realtà virtuale per una più efficace interazione uomo/macchina.

Nei contesti d'uso diversi dai "sistemi di produzione" sono considerati, invece, prodotti innovativi a supporto degli individui e delle collettività, soprattutto in termini di sicurezza o di fruizione in presenza di handicap funzionali, con la realizzazione di dimostratori quali casi di studio per la messa a punto di tecnologie che hanno in genere valenza trasversale.



## Il ruolo e le competenze del CNR

I valori progettuali nell'ambito del Dipartimento Sistemi di Produzione, in numero di commesse/moduli, di personale addetto e di allocazioni finanziarie, sono riassunti nelle tabelle che seguono, desunte dai consuntivi del precedente triennio.

Triennio	numero commesse	numero moduli	personale equivalente a tempo pieno	
			ricercatori	totale
2007-'09	6	7	14	24
Preventivo 2010	7	10	—	—

consuntivo (anno)	risorse finanziarie - totali allocate (M€)	di cui risorse da terzi (K€)	costi figurativi (K€)	valore effettivo (M€)
	A	B	C	D = A + C
2007	2.540	950	484	3.024
2008	2.019	350	382	2.401
2009	2.010	340	400	2.410

Nel Preventivo 2010 il progetto è stato articolato in sette commesse attive e 10 moduli complessivi, che coinvolgono cinque Istituti CNR, tutti afferenti al Dipartimento. I titoli delle commesse sono:

- Tecnologie avanzate a supporto dei non vedenti;
- Sistemi sensoriali e di attuazione per l'interazione evoluta uomo-macchina;
- Sistemi intelligenti per la sicurezza;
- Applicazioni in dispositivi industriali;
- Metodi e strumenti per la metrologia acustica e l'acustica marina;
- Diagnostica e modellazione acustica di ambienti e strutture;
- Sensori innovativi per grandezze fisiche e/o chimiche per uso industriale.

Attraverso l'ultima commessa sono entrati a far parte del progetto P06 i contributi relativi a materiali e sensori di IMEM e ISTEK, così che gli Istituti esecutori risultano attualmente:

- Istituto di Acustica e Sensoristica "O.M. Corbino" (IDASC)
- Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione (ISSIA)
- Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione (ITIA)
- Istituto dei Materiali per l'Elettronica ed il Magnetismo (IMEM)
- Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici (ISTEK)

Nell'ambito del progetto, l' ITIA in particolare, sta sviluppando tecnologie per la realizzazione di strutture di macchine altamente sensorizzate (*Smart Structures*), al fine di integrare in esse capacità auto-adattive alle variazioni di geometria generate dai carichi interni ed esterni di tipo meccanico e/o termico, garantendo così più elevati standard di precisione delle lavorazioni. L'attività prevede, a completamento, la realizzazione ed il test di dimostratori industriali in un contesto produttivo reale. L'Istituto presenta, quindi, specifiche competenze nella progettazione mecatronica, nei sistemi sensoriali complessi e nella costruzione di macchine e componenti ad alta integrazione mecatronica.

L'attività dell' ISSIA, a sua volta, è fortemente caratterizzata dalla capacità di integrare sistemi sensoriali con intelligenza software, in grado di fornire nuove capacità di controllo ed ottimizzazione nella gestione di macchine e di applicazioni complesse, soprattutto in condizioni di incertezza dei segnali e quando la modellistica tradizionale della fenomenologia è carente o incompleta. L'Istituto studia e sviluppa metodologie per l'elaborazione in tempo reale di immagini e l'integrazione multisensoriale, finalizzate alla robotica, all'automazione ed al controllo non distruttivo di qualità in contesti diversi. Nell'ambito della sicurezza, per esempio, sono stati sviluppati dimostratori di macchine di visione per la sorveglianza di ambienti ed il controllo degli accessi in aree interdette. Sono state sviluppate piattaforme mobili multisensoriali, capaci di navigare in modo autonomo in spazi non strutturati o di difficile accessibilità, per l'esplorazione e la raccolta dati in ambienti estremi, anche subacquei.

Le problematiche affrontate dall' IDASC sono orientate, invece, allo sviluppo di tecniche acustiche (taratura di sensori, sorgenti ad alta potenza, prospezioni), allo sviluppo di metodologie innovative per la caratterizzazione acustica degli ambienti e la valutazione dell'esposizione sonora di beni ed individui, alla diagnostica acustica rivolta ai beni culturali. L'Istituto ha realizzato un Laboratorio - unico in ambito nazionale - per la certificazione degli idrofoni e lo studio di sorgenti acustiche impulsive; ha provveduto, inoltre, a modificare parte



del suo Laboratorio per la deposizione di film sottili piezoelettrici, al fine di permettere la produzione degli stessi dai target forniti dall' ISTEK e dall' IMEM.

Presso l' IMEM, infatti, sono stati definiti i parametri di crescita ottimali per la sintesi e la deposizione post-crescita di nanostrutture, quasi monodimensionali (come nanofili, nanonastri, nanotetrapods, etc.), di ossido di zinco (ZnO) o ossido di stagno (SnO<sub>2</sub>), finalizzate alla produzione di sensori ad altissima sensibilità per gas e sostanze volatili organiche, e per la funzionalizzazione in genere della superficie delle nanostrutture di ossidi semiconduttori con nanoparticelle metalliche. Mentre l' ISTEK ha ottimizzato, a sua volta, i parametri di processo del nuovo materiale bario-stronzio titanato, realizzandone diversi campioni standard che sono stati consegnati all' IDASC al fine di attivare un processo di crescita e di caratterizzazione di film sottili.

Tuttavia le competenze sensoristiche di IDASC, ISTEK e IMEM sono molto più ampie di quelle riferite nell'ambito del progetto P06 e si prestano ad un ampio ventaglio di applicazioni, spaziando tra:

- micro dispositivi acusto-opto-elettronici e sensori di grandezze fisiche e chimiche;
- materiali ceramici piezoelettrici, ferroelettrici e loro compositi, in forma massiva o di film spessi, per il recupero di energia da corpi in movimento o vibrazione ed il *sensing* di stress strutturale nel costruito;
- rivelatori di raggi X con capacità spettroscopica a temperatura ambiente;
- sensori molecolari basati su dispositivi nanomeccanici ottenuti attraverso la crescita di film sottili di carburo di silicio cubico (3C-SiC);
- strutture a punti quantici (QDot), per la realizzazione di dispositivi per l'*imaging* in radiazione infrarossa nella banda 2.5 - 20 μm;
- sensori in germanio con soglia di assorbimento della luce fino al vicino infrarosso;
- biosensori miniaturizzati per diagnostica, basati su microreticoli magnetici multistrato ad elevata sensibilità e marcatori costituiti da nanoparticelle magnetiche.

L'emersione di questo insieme di capacità tecnologiche è uno dei risultati del censimento avviato a valle della Conferenza di Dipartimento del 28-29 Aprile 2010, quando, su suggerimento della Direzione ISSIA, si è collegato il progetto P06 all'iniziativa SERIT. E' questa un'iniziativa congiunta CNR/Finmeccanica volta alla definizione di un piano nazionale per la sicurezza. Il piano è in fase di completamento ed è redatto al duplice scopo di stimolare l'allocazione di risorse finanziarie nazionali sulle tematiche correlate alla sicurezza, parallelamente a quanto è già avvenuto in diversi altri Paesi europei, al fine anche di favorire la partecipazione di

gruppi di competenza nazionali al prossimo bando della Comunità Europea sul tema della "Security".

Le collaborazioni intercorse nello svolgimento delle attività, molte delle quali tuttora attive, sono con un ampio spettro di soggetti, tra enti pubblici, aziende ed Università. In particolare si segnalano:

Arteco Spa; Udinese Calcio Spa e FIGC; Centro Laser di Bari; Sovrintendenza ai Beni Culturali della Puglia, Sovrintendenza Archeologica per il Veneto, Opificio delle Pietre Dure di Firenze ed Istituto Centrale del Restauro; Unione Italiana Ciechi; Magistrato alle Acque di Venezia e Consorzio Venezia Nuova; ARPA Toscana; LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbona; JRC – Ispra; POZZO Spa – FREUD; MerMec Spa; MelSystem Spa; Italcutting Srl; Ote Spa; Selex Spa; SINT Technology; 01dB Italia S.r.l.; AMGA Spa; Piaggio Spa; ICAM S.r.l.; Ansaldo Energia ed Alenia Aeronautica (Finmeccanica); NIMS Tsukuba e Toyoyashi University (Giappone); Univ. del Texas a Arlington; Queen Mary University e Imperial College, Londra; CONACYT (Messico); National University of La Plata (Argentina); Institut de Robòtica i Informàtica Industrial - Parc Tecnològic de Barcelona (Spagna); CNIT; diversi Dipartimenti universitari nazionali di Fisica o di Chimica (Torino, Brescia, Ferrara, Parma); Università e Politecnico di Bari, Univ. di Cagliari e di Genova, Univ. del Salento; ENEA; CNR-ISM, CNR-IFN, CNR-IMM e CNR-ISPA, rispettivamente di Roma, Trento, Lecce e Bari; CNR-INO, Sezione di Lecce; Grupo de Robótica de la Universidad de La Laguna; Istituto "M. Negri", Milano; RIAL Vacuum e LOGOS di Parma; l'IRCCOS - Istituto di Ricerca e certificazione per le Costruzioni Sostenibili.

## Risultati rilevanti ottenuti

Dei risultati conseguiti nel corso dell'ultimo triennio si evidenziano le seguenti realizzazioni/ sperimentazioni.

- Prototipo di sistema composto da macchine di visione sincronizzate, per il riconoscimento ed il *tracking* 3D di soggetti plurimi in movimento. Capacità di inseguimento in tempo reale fino a velocità di 120 km/h. Realizzazione di dimostratori nell'ambito del Giuoco Calcio: "Goal fantasma", "Fuorigioco" e "Area di rigore", il primo dei quali è oggetto di valutazione sul campo in ambito FIFA.
- Macchine di visione per la sicurezza, specializzate alla rilevazione di oggetti abbandonati e/o rimossi, all'analisi di posture e rilevazione di comportamenti anomali, al controllo degli accessi in aree interdette.





- Piattaforma mobile teleoperata, per l'ispezione visiva di parti interne di difficile accesso.
- Applicazioni robotiche per il rilievo autonomo o assistito di ambienti 3D non strutturati.
- Prototipi di sistemi per la fruizione tattile (*interfacce aptiche*) di modelli 2D e 3D sintetici da parte di non vedenti.
- Sistema ad architettura geograficamente distribuita, a supporto di un team addetto al restauro, nella ricomposizione virtuale di affreschi frammentati.
- Prototipo di sistema a scansione 2D, per indagini non invasive a frequenze acustiche su materiali e strutture. Sperimentazione del sistema in una campagna volta alla mappatura di distacchi e delaminazioni in pannelli di Azulejos, la tipica ceramica artistica portoghese, presso il Museo Nazionale dell'Azulejo (Lisbona, PT).
- Prototipo di sistema per il monitoraggio acustico e l'analisi del clima sonoro (*soundscape*) di ambienti urbani e rurali, come per la qualificazione di ambienti per conferenze e concerti.
- Dimostratore di "*smart structures*", in un'applicazione industriale che riguarda il monitoraggio del processo di rettifica di cilindri d'acciaio per laminatoi.
- Sviluppo di un "osservatore" software dello stato interno di sistemi complessi, con tecniche non lineari di tipo *sliding mode*. Applicazione a modellazione, monitoraggio e controllo di impianti termoelettrici ad alimentazione combinata gas-vapore, finalizzata all'ottimizzazione della gestione in regime perturbato.
- Realizzazione di prototipi nanostrutturati di sensori per gas e sostanze volatili organiche, che sono risultati particolarmente efficienti rispetto ai sensori di tipo tradizionale, per sensibilità e tempi di risposta più brevi.

Non sono riportati in elenco risultati che afferiscano ad altri progetti del DSP o altri Dipartimenti, come quello di Materiali e Dispositivi, che abbraccia parte dell'attività sui sensori di IMEM.

## Risultati attesi e prospettive

Pur ribadendo il carattere assolutamente trasversale delle tecnologie proposte, dall'esame delle realizzazioni salienti del progetto emerge una maggiore propensione dei gruppi di ricerca a porsi su tematiche non immediatamente attinenti ai sistemi di produzione propriamente detti, probabilmente per la maggiore facilità di svolgimento delle sperimentazioni quando si può prescindere dall'accesso ad infrastrutture dedicate alla produzione. Le realizzazioni di robotica, per esempio, nell'ambito del progetto P06 sono più frequentemente indirizzate a sistemi autonomi o teleoperati, con diverso grado di servo-assistenza, e sono impiegati principalmente nello svolgimento di nuove tipologie di servizi (sorveglianza, rilievo 3D, supporto all'apprendimento dei non vedenti). Allo stesso modo sono caratterizzati i sistemi di visione ad alto *frame rate*, utilizzati nelle applicazioni al giuoco calcio, e le interfacce evolute di interazione uomo/macchina, utilizzate per esempio nella ricomposizione assistita di affreschi.

Lungi dal considerare questo come un aspetto negativo, si ritiene che tale specificità del progetto vada semmai potenziata, perché la capacità di porsi fuori da schemi precostituiti può facilitare la definizione di nuovi prodotti e servizi, portando ad un sostanziale ampliamento del mercato di tecnologia avanzata.

Su questa linea di pensiero si collocano i cenni che seguono, che tendono ad esaltare l'aspetto della "sicurezza" come keyword di base delle future attività e che non è estranea alle tematiche fondanti del progetto, presente com'è nel titolo dello stesso. Infatti, la varietà di soluzioni sensoriali emersa durante il censimento delle *capabilities* tecnologiche per il progetto SERIT e la possibilità di integrare l'hardware con intelligenza software, aprono notevoli prospettive di intervento nel settore. Di massima, questa tematica è già praticata separatamente da un po' tutti gli Istituti afferenti al progetto, nella duplice accezione di "Security" e di "Safety". La disponibilità di finanziamenti *ad hoc* su queste voci, nell'ambito di un progetto nazionale, aiuterebbe grandemente a sviluppare importanti sinergie tra gli Istituti coinvolti nel P06, su temi tutti di rilevante impatto socio/economico. Si potrebbero affrontare in modo sinergico, per esempio, tematiche quali la sicurezza nei trasporti ed il monitoraggio delle infrastrutture, entrambi temi essenziali considerate le velocità sempre maggiori raggiunte dai mezzi di trasporto e la fragilità del territorio, oggi sottoposto a fenomeni erosivi che assumono sempre più frequentemente carattere di eccezionalità, e considerato anche l'invecchiamento di infrastrutture importanti quali viadotti, ponti, dighe e gallerie (come di edifici pubblici e privati), il tutto realizzato con strutture in cemento armato a partire dal secolo scorso.

Altre aree di interesse potrebbero riguardare la tracciabilità degli alimenti e l'analisi tossicologica in tempo reale sulle derrate alimentari (come sui corpi idrici), al fine di prevenire



contaminazioni chimiche e/o batteriche o per la lotta alle sofisticazioni. Sulla stessa linea di intervento, si potrebbero assumere iniziative per la tutela della qualità ambientale, attraverso il monitoraggio degli inquinanti dell'aria, delle acque e dei suoli, oltre che dell'inquinamento sonoro degli ambiti urbani.

La sicurezza sul lavoro è l'altro settore d'intervento che potrebbe beneficiare di notevoli avanzamenti, con iniziative specifiche per i diversi comparti, dall'edilizia all'industria, dalla metallurgia alla chimica, al settore terziario per i servizi associati al sistema produttivo. Le realizzazioni potrebbero spaziare dagli ausili di sicurezza per i lavoratori all'impiantistica collaterale alle linee di produzione, per l'analisi ed il monitoraggio delle stesse ai fini della sicurezza durante il normale esercizio. Si rammenta per ultimo il settore del contrasto ai traffici illeciti (droghe, armi, esplosivi e materiale fissile), fondamentale per la protezione della popolazione dalla malavita organizzata e dal terrorismo.

L'elenco potrebbe continuare ancora a lungo e le tecnologie per affrontarle, sia pure ad un diverso grado di maturazione, sono in buona parte disponibili. Tuttavia, tante potenzialità non potranno trovare attuazione e rimarranno largamente inesprese, in presenza di una perdurante carenza di finanziamenti a supporto della ricerca e del trasferimento tecnologico nel settore, e viste anche le risorse disponibili di personale e la loro prevedibile contrazione nel prossimo triennio.

La possibilità di accedere a finanziamenti europei, spesso citata come panacea alla congiuntura economica che il Paese sta attraversando, non potrà essere comunque l'unica soluzione praticata, in quanto il meccanismo dei bandi CEE porta piuttosto alla frammentazione delle *capabilities* nazionali in cordate diverse, secondo le capacità di aggregazione dei singoli gruppi di ricerca ai partner europei, devolvendo a favore delle economie più forti ed organizzate le competenze maturate. Non sarebbe possibile in questo caso un governo coordinato delle iniziative, prevalendo il coordinamento eterodiretto dalle lobby esterne agli interessi nazionali. In sostanza è quanto accaduto finora, salvo là dove si esprima una posizione di forza nazionale rispetto al resto della comunità europea, ed è motivo di una marginalizzazione del ruolo dei Dipartimenti del CNR, pure voluti da una legge nazionale ma mai attivati realmente, attraverso l'assegnazione di una specifica dotazione finanziaria.



DSP-P

## Interdipartimentale: “Turismo: sistema produttivo aperto”

Isabella Gagliardi

Il turismo è uno dei più importanti settori economici a livello mondiale. Nel 2010 ha fatto segnare un crescita complessiva (dopo un 2009 in flessione) e nulla sembra smentire la previsione che tale crescita continuerà anche in futuro. Parallelamente, in un contesto di accentuata globalizzazione, si va inasprendo la competizione internazionale, tanto da porre nuove sfide anche a destinazioni turistiche tradizionali e affermate, come è l'Italia. Questo rende impellente il ridefinire l'offerta, riqualificare le risorse e i servizi e rinnovare le strategie commerciali anche per destinazioni e territori affermati o che occupano una posizione di nicchia.

Il rafforzamento della posizione competitiva passa anche dalla capacità di riorganizzarsi e dotarsi di una politica di sviluppo secondo criteri innovativi e funzionali, primo fra gli altri, la sostenibilità dell'intero sistema turistico.

Il raggiungimento di una miglior posizione competitiva nel contesto dell'offerta turistica internazionale non può prescindere dall'obiettivo della sostenibilità economica dell'intero settore. Quest'ultimo può apparire in una visione di breve periodo in contrasto con quello della competitività ma è, invece, tutt'uno con esso, almeno nel lungo periodo a cui devono guardare tutti coloro che, come le istituzioni pubbliche, perseguono interessi generali. Ma per essere sostenibile, come per essere competitivo, il turismo deve essere pianificato e gestito professionalmente. Si tratta quindi non solo di accrescere la qualità dell'offerta e delle politiche pubbliche, ma anche di rimarginare l'attuale frammentazione, in Italia particolarmente elevata, che risulta oggi penalizzante alla luce dell'organizzazione, delle strategie, della concorrenza e della immagine nazionale.

Con il ripristino del Ministero del Turismo nel 2009 è stato compiuto un passo significativo nel ridare identità e ruolo ad un settore ormai da anni riconosciuto industria essenziale per l'economia del Paese. Infatti, il turismo rappresenta oggi un po' meno del 10% del Pil, un risultato che è stato raggiunto dall'industria turistica nonostante l'assenza di una programmazione di



carattere nazionale, di un coordinamento nella promozione del Paese e di un piano strategico per le infrastrutture e i trasporti.

Occorre iniziare a coordinare e integrare le politiche pubbliche a sostegno del turismo e dello sviluppo del territorio; in particolare integrare in uno stesso coerente piano strategico di sviluppo (o programma) la politica di crescita competitiva del turismo e delle infrastrutture territoriali necessarie con quella ecologica e con quella della tutela del paesaggio.

## Inquadramento della problematica

### L'industria turistica

Confindustria ritiene (Marcegaglia, sett. 2010) che il turismo sia un comparto strategico, fondamentale, con grandi potenzialità di sviluppo. Per questo, insieme a Federturismo e PriceWaterhouseCooper, ha messo a punto un piano del turismo in cinque punti per raddoppiare l'incidenza sul Pil dal 9,5 al 18,5%, accrescere l'occupazione del settore da 2,6 milioni di addetti a quasi 4,3 milioni e generare gettito aggiuntivo per circa 100 miliardi. I cinque punti individuati per sviluppare il turismo sono: potenziamento delle infrastrutture, destagionalizzazione, sviluppo del Sud, promozione sui mercati internazionali con focus sulla Gran Bretagna (quarto Paese per arrivi in Italia ma secondo per importanza in Europa) e incremento di presenze sfruttando eventi.

### Il quadro delle ricerche in ambito internazionale

La Comunicazione COM 2010 352/3 dell'Unione Europea del 30 giugno 2010, finalizzata a mantenere l'Europa in testa alla classifica delle destinazioni turistiche mondiali, traccia le linee programmatiche delle politiche comunitarie necessarie per sostenere il settore: migliorare la competitività del settore turistico in Europa; promuovere lo sviluppo di un turismo sostenibile, responsabile e di qualità; consolidare l'immagine e la visibilità dell'Europa come insieme di destinazioni sostenibili e di alta qualità; massimizzare il potenziale delle politiche e degli strumenti finanziari dell'UE per lo sviluppo del turismo. Tra le iniziative contenute nella Comunicazione: la creazione di un "osservatorio virtuale del turismo", lo sviluppo di un marchio europeo "qualità turismo", il rafforzamento della cooperazione tra l'Unione Europea e i principali Paesi emergenti oltre che i Paesi del Mediterraneo, la definizione di un sistema di indicatori per la gestione sostenibile delle destinazioni.

## Il quadro delle ricerche in ambito nazionale

Gli studi e le ricerche sul turismo in Italia si muovono essenzialmente su due fronti: ad un estremo sono i rapporti e le statistiche su andamento di flussi, ricettività, trasporti, economia del turismo, a partire da dati dell'ISTAT e attività di monitoraggio degli osservatori nazionali ONT e ISNART, nonché di osservatori regionali e locali. All'altro estremo sono studi e ricerche di concettualizzazione ed eticizzazione del fenomeno turismo, ad opera soprattutto di organizzazioni ambientaliste al fine di garantire "buone prassi" nella gestione. Con discipline attinte dai due estremi si moltiplicano i corsi universitari e post-universitari; scuole di formazione professionale; convegni e seminari; eventi.

Per quanto riguarda i dati statistici, si può rilevare che il settore turistico, trasversale per sua natura, ha necessità di dati statistici che siano affidabili, completi, aggiornati e confrontabili nel tempo e nello spazio. Tuttavia si riscontra forte ritardo nella pubblicazione e diffusione di dati fondamentali (es. arrivi e presenze), scarsa confrontabilità e omogeneità di alcuni indicatori a livello nazionale e internazionale (es. arrivi internazionali UNWTO), carenza o totale assenza di dati particolarmente significativi per la conoscenza del settore turistico (es. spesa turistica dei viaggiatori domestici) e risultati differenti a seconda delle fonti utilizzate, anche considerando indicatori potenzialmente confrontabili.

Ma soprattutto il turismo italiano incontra ancora difficoltà nel presentare in modo unitario e coerente il prodotto Italia all'estero, come è stato più volte ribadito dal Ministro Brambilla, in occasione, tra le altre, della firma del Protocollo d'Intesa Brambilla-Urso per il rilancio del Marchio Italia all'estero, e della creazione del marchio per il Turismo italiano all'estero "Magic Italy".

Per quanto riguarda le concettualizzazioni e le buone prassi, l'attributo "sostenibile" è stato declinato in varianti che hanno posto l'accento più sul turista (turismo consapevole/responsabile, turismo etico) o più sulla destinazione (ecoturismo, turismo verde). L'istituzione in Italia dei STL (Sistemi Turistici Locali) con la Legge 2001/135 ha richiamato l'attenzione sul concetto di "sistema" applicato al turismo, ma nel contempo, affidando il riconoscimento dei STL alle Regioni, ha contribuito a creare una ulteriore frammentazione dell'organizzazione turistica. Il concetto di sistema è stato ribadito e rinforzato nel rapporto "Esperienze e Prospettive di Sistema nel Turismo" (Formez, 2007), con un accento posto essenzialmente sull'offerta.

## La V Conferenza Nazionale del Turismo

La V Conferenza Nazionale del Turismo, svoltasi il 15-16 ottobre 2010 a Cernobbio (Como), è stata l'occasione per il Ministro del Turismo Michela Brambilla per fare il punto sullo stato dell'arte del settore.



Secondo i dati presentati dal Ministro, l'Italia ha affrontato la crisi economica internazionale prima e meglio di altri Paesi. I dati relativi al 2008 e 2009, nonostante la evidente contrazione degli introiti turistici internazionali rispetto al 2007 (-7,3%), mostrano come l'Italia abbia reagito meglio dei Paesi competitori, Spagna (-9,4%) e Francia (-10,4%). I dati della prima metà del 2010, inoltre, confermano la tendenza positiva con entrate turistiche dall'estero cresciute del 5,3% rispetto al primo semestre 2009, mentre sono aumentate di poco in Spagna (+0,3%) e restano ancora diminuite in Francia (-5,7%). Per l'economia italiana, è stato ribadito, il turismo rappresenta oggi circa il 10% del Pil e dà lavoro a due milioni e mezzo di persone, ma potrebbe anche raddoppiare, se ben amministrato, entro i prossimi dieci anni.

Nel corso della Conferenza, il Ministro ha annunciato la nascita del Codice del Turismo per interventi di riordino, sistemazione e semplificazione delle norme vigenti. Fra gli obiettivi primari del Codice: la tutela del turista, la riqualificazione dell'offerta italiana, il sostegno alle imprese del settore e la formazione.

In tema di governance, per realizzare efficace concertazione fra livelli di governo è stato istituito, nella Conferenza Stati-Regioni (29 luglio 2010), il Comitato permanente di coordinamento in materia di turismo. Dal Codice del Turismo è previsto anche un Comitato permanente di Promozione del Turismo in Italia, quale laboratorio di politiche di promozione nazionale che vede la partecipazione di tutti gli attori, dagli enti locali alle imprese e alle diverse categorie di operatori del settore.

Fra le azioni rivolte alla Comunicazione e Web, sin dal luglio 2009 è stato rimesso in rete il portale <http://www.italia.it> cui è stato associato il network Joinitaly.com, un mix complementare di comunicazione istituzionale e di modalità partecipativa. In occasione dell'expo 2010 di Shangai è stata presentata una versione del portale per il mercato cinese.

Per il 2011 l'Italia è stata eletta alla presidenza del Consiglio esecutivo dell'Organizzazione Mondiale del Turismo (UNWTO).

Ma non sono mancate sollecitazioni al Ministro affinché il piano strategico del Turismo diventi quanto prima una realtà. Il Presidente di Federturismo-Confindustria, Daniel John Winteler denuncia che il problema principale del turismo è la governance e la mancanza di un piano strategico condiviso: due anni dopo la conferenza Nazionale del Turismo di Riva del Garda i problemi e le previste soluzioni rimangono gli stessi.

## Il ruolo e le competenze del CNR

Il Progetto del CNR viene a colmare una lacuna ancora scoperta affrontando il tema con approccio, metodologie, strumenti e strategie propri della ricerca scientifica e delle sue applicazioni tecnologiche, in modo da fornire linee guida agli operatori per la presentazione unitaria e attraente del prodotto turistico Italia.

### Il Progetto

Nel Progetto Interdipartimentale CNR “Turismo: sistema produttivo aperto”, l’approccio innovativo al turismo consiste nel rappresentare l’insieme delle componenti turistiche come un unico sistema, evidenziando tutte le entità coinvolte in una organica caratterizzazione dal punto di vista del prodotto e delle interconnessioni ed interrelazioni, individuando punti di forza e di debolezza del Turismo. In breve, fare sistema, per definire una politica coordinata e integrata del turismo in un approccio di cooperazione scientifica.

L’originalità dell’approccio sta nell’aver assunto i sistemi di produzione di qualità quale modello di riferimento per un intervento integrato di metodologie di pianificazione, progettazione, gestione e controllo dei prodotti e processi turistici coinvolti.

Tale approccio deriva, da un lato, dal nostro far parte del Dipartimento di Sistemi di Produzione e, dall’altro, dall’aver sperimentato con successo metodi e strumenti innovativi atti ad essere applicati anche nella gestione del sistema turismo. Inoltre, le differenti discipline in cui si articola il CNR, sia umanistiche sia tecnologiche, permettono di affrontare con competenze multidisciplinari tematiche vecchie e nuove connesse con il territorio, i beni naturali e culturali, i servizi, le tecnologie per l’informazione e la sicurezza.

I principali stakeholder cui il nostro Progetto si rivolge sono i governi locali (istituzioni, enti,...) con la regia del governo centrale, ma è aperto a tutti gli altri attori del sistema turismo.

Siamo ben consapevoli delle difficoltà di tradurre il modello proposto in azioni reali che consentano un significativo miglioramento del turismo, ma siamo anche convinti che il turismo possa e debba rappresentare non solo una forte valenza economica, ma anche un potente motore del ciclo conservazione-valorizzazione-fruizione del patrimonio culturale/ambientale nonché proporsi quale diffusore dell’identità culturale nazionale.





## Obiettivo

L'obiettivo del Progetto consiste nell'individuare strategie innovative per la valorizzazione del settore turismo mediante applicazione di metodologie, modelli e strumenti propri dei processi industriali di produzione, in un framework unitario.

A questo scopo sono in corso di analisi e sviluppo modelli e strumenti di individuazione e valutazione delle vocazioni di un territorio, in rapporto alle infrastrutture, ai potenziali destinatari, alle tipologie di turismo, per la creazione o valorizzazione di una destinazione turistica.

Le metodologie sviluppate dovranno portare a una valutazione preliminare del grado di soddisfacimento turista/territorio, in relazione al tipo di turista (giovani, famiglie, anziani, single, ...), alla vocazione del territorio e alle categorie di turismo (turismo culturale, turismo enogastronomico, turismo naturalistico, turismo spirituale, turismo sportivo, ...), definendo linee guida per il potenziamento e il completo raggiungimento delle potenzialità turistiche offerte dal territorio.

Il Progetto si articola nei seguenti sotto-obiettivi:

- offrire ad amministratori e operatori del settore metodologie, modelli e strumenti di analisi di un territorio e delle sue risorse al fine di promuoverlo a destinazione turistica di qualità (buone pratiche), cui riferirsi anche nella definizione e gestione di un Sistema Turistico Locale, nel rispetto dei requisiti e delle norme stabilite dalla Legge 135/2001.
- promuovere lo spirito e la cultura del turismo responsabile e sostenibile soprattutto fra i giovani offrendo loro concetti e strumenti per affrontare le nuove sfide dei mercati nazionali ed internazionali giovanili.
- affermare, non solo il ruolo strumentale, ma anche il significato e l'apporto conoscitivo delle tecnologie ICT per la creazione di una moderna cultura del turismo, attraverso le applicazioni tradizionali ma, e soprattutto, attraverso i recenti sistemi innovativi ad alta partecipazione interattiva (Web 2.0).

## Attività

Dal punto di vista dei sistemi di produzione, il turismo rappresenta la funzione di trasformazione delle risorse del territorio in prodotti turistici (destinazioni del territorio) attraverso l'azione coordinata di fornitori, rivenditori e operatori del settore, in risposta ai bisogni del turista che esercita quindi funzione di controllo - nel senso di "guida" per la definizione dei viaggi. Chiaramente non è solo il turista ad esercitare funzione di controllo, ci sono anche gli interessi economici dei vari operatori, ed altre variabili non sempre quantificabili a priori.

Le principali attività da svolgere sono così articolate (si veda figura 1):

- Assumere un modello di riferimento per lo sviluppo del turismo come sistema produttivo aperto
- Definire i requisiti specifici per ciascuna delle tipologie di turismo individuabili
- Definire metodi di rilevazione e raccolta di dati territoriali; individuare banche dati / siti web da cui attingere i dati
- Stabilire e promuovere le vocazioni turistiche del territorio e mettere a sistema le componenti, per soddisfare al meglio la domanda
- Sviluppare criteri di studio, valutazione e scelta di modalità di promozione turistica mirati a specifiche categorie di turismo (turismo culturale, turismo eno-gastronomico, turismo naturalistico, turismo spirituale, ...) e a specifiche culture
- Sviluppare metodi e modelli di previsione delle strategie di intervento a diversi termini temporali e predisposizione di linee guida per il loro impiego e sperimentazione

Strumenti ICT-based per l’informatizzazione, la promozione e la gestione del turismo e per la facilitazione del cliente turista (es. sistemi di navigazione, domotica alberghiera) sono essenziali per uno sviluppo armonico del turismo: verranno quindi sviluppate linee guida per la loro introduzione.

Metodi, modelli, metodologie e strategie proposti dovranno essere validati su territori pilota con trasposizione dei risultati nel modello complessivo

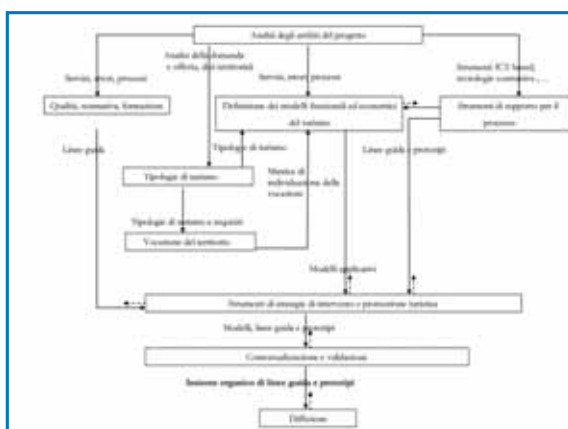


Figura 1:Strutturazione del Progetto



Attività trasversali indispensabili per il Progetto sono:

- Sviluppare una strategia operativa per l'introduzione della qualità e della sua valutazione nei diversi servizi connessi al turismo
- Definire criteri di autovalutazione dei servizi offerti dagli operatori del settore basati anche sull'analisi di best practice di altri Paesi
- Promuovere la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore anche attraverso la definizione di nuove figure professionali.

## Risultati

I risultati del Progetto derivano direttamente dall'aver considerato il turismo un sistema produttivo aperto, in cui i diversi stakeholder coinvolti si riconoscono in strategie che puntano a massimizzare gli interessi collettivi del sistema con notevoli benefici individuali.

*Tali risultati possono essere schematizzati in tre punti:*

- Identificare le diverse tipologie di turismo e definire per ognuna di esse le infrastrutture e i servizi che devono essere presenti al fine di fornire un'adeguata offerta al cliente: il turista
- Identificare, dato un territorio, le sue vocazioni rispetto alle tipologie di turismo e fornire strumenti di pianificazione per l'arricchimento delle infrastrutture e dei servizi al fine di ampliare l'offerta e/o di migliorarla dal punto di vista qualitativo ed economico
- Fornire criteri per definire la qualità e il livello dell'offerta turistica nei vari ambiti attraverso specifici parametri di valutazione.

Parte dei risultati sarà presentata sotto forma di linee-guida integrate da casi di studio significativi.

## Impatti socio-economici

- Potenziamento, attraverso un approccio di sistema, del turismo nel suo complesso e particolarmente di quei settori dove le carenze sono maggiori, privilegiando il rapporto tra vocazioni del territorio e tipologie di turismo
- Accrescimento, attraverso il turismo, dell'immagine del Paese nel contesto internazionale dell'accoglienza turistica
- Sostegno alla ricompattazione di strategie Stato/Regioni su un programma di sviluppo rilevante per il Paese nel rispetto delle specifiche competenze.

## Struttura organizzativa del Progetto

Il CNR attraverso la struttura dipartimentale offre competenze interdisciplinari ad ampio spettro necessarie allo sviluppo dell'intervento organico proposto. Al Progetto hanno aderito sinora i seguenti dipartimenti del CNR: Sistemi di Produzione (Dipartimento guida), Patrimonio Culturale, Identità Culturale, Agroalimentare, ICT.

## Istituti e dipartimenti coinvolti

Istituto per le tecnologie della costruzione Coordinatore Isabella Gagliardi	ITC Milano	DSP
Istituto di tecnologie industriali e automazione	ITIA Milano ITIA Montelibretti	DSP
Istituto di biometeorologia	IBIMET Firenze	Agroalimentare
Istituto per le tecnologie applicate ai beni culturali	ITABC Roma	Patrimonio Culturale
Istituto di matematica applicata e tecnologie informatiche	IMATI Pavia	ICT
Istituto di scienze e tecnologie della cognizione	ISTC Roma	Identità Culturale
Istituto di Acustica e Sensoristica “O. M. Corbino	IDASC Roma	DSP

Nelle proposte di finanziamento che presenteremo, saranno benvenuti contributi provenienti da altri dipartimenti e istituti CNR, Università, Centri di ricerca, operatori qualificati dell'industria e, ovviamente, del commercio e del turismo, laddove portino ulteriore visibilità e completezza al Progetto. La partecipazione di rappresentanti delle istituzioni, esperti nei settori dell'economia, del turismo, della cultura e dell'industria, può portare a sinergie e vantaggi reciproci con l'approfondimento e la messa in opera delle strategie di sviluppo e valorizzazione del turismo italiano proposte in questo Progetto interdipartimentale del CNR.



## Focus di alcuni risultati rilevanti ottenuti

Il Progetto è stato presentato alla Conferenza del dipartimento "Sistemi di Produzione", che si è tenuta a Roma il 28/29 aprile 2010. In tale occasione il Direttore di Dipartimento, Prof. Claudio Bertoli, ha sostenuto il Progetto, per il quale è stato definito un primo piano di lavoro per i prossimi 3 anni.

Le attività realizzate, in linea con la time-line definita, sono:

- Ridefinizione della partnership interna. Per quella esterna sono stati presi contatti, anche in vista di una partecipazione a progetti internazionali (INTERREG)
- Aggiornamento del Progetto, sulla base delle nuove acquisizioni. Nello specifico:
  - o Analisi del contesto generale con ricerca, raccolta e consultazione di informazioni estratte da fonti istituzionali (es. Osservatorio Nazionale del Turismo).
  - o Modellizzazione preliminare del sistema Turismo mediante metodologia Integration Definition For Function Modeling (IDEFO) con definizione di contesto, obiettivo e punto di vista. Analisi preliminare del sistema e revisione dei diagrammi IDEFO prodotti. In Figura 2 – 3 sono mostrati alcuni diagrammi definiti.
  - o Analisi e realizzazione di un glossario sul turismo, specifico per il Progetto
- Individuazione e dettaglio di attività relative allo sviluppo di strumenti avanzati di supporto alla fruizione e gestione turistica, da integrare nel Progetto. Esempi di tali attività sono:
  - o Sviluppare strumenti di pianificazione personalizzata per i singoli turisti (ad esempio tramite lo sviluppo di applicazioni basate su PDA, App Smartphone o simili) per adattare la fruizione di siti turistici alle preferenze dei diversi profili di utilizzatori
  - o Progettare servizi centralizzati di gestione servizi su scala medio-grande in modo da evitare colli di bottiglia nell'afflusso di turisti (ad esempio in strumenti di aiuto alle agenzie turistiche e/o alle autorità locali)
  - o Permettere la gestione di situazioni critiche legate alla sicurezza a seguito di eventi indesiderati (es. alluvioni) in cui è necessario non solo applicare procedure di emergenza ma anche avere la possibilità di adattarle dinamicamente monitorando in modo continuo l'evolvere di situazioni locali.
- Individuazione delle nuove tecnologie (sistemi informativi, basi di dati, siti web, ma anche blog, forum, "passa parola virtuale", Web 2.0) per la promozione e la gestione del turismo, e per facilitare il cliente turista.

- Individuazione del dimostratore: identificare metodi, modelli e tecniche da testare sul territorio scelto, per validarli.
- Organizzazione di incontri periodici per programmare le attività:
  - o L'8 luglio 2010 si è tenuto il primo incontro del Progetto, per programmare in dettaglio le attività del Progetto
  - o A settembre e ottobre si sono tenuti a Milano in teleconferenza con Roma, diversi incontri per la discussione e la produzione di diagrammi IDEFO.

### Learning Week

Le LearningWeek sono iniziative finanziate dal Fondo Sociale Europeo mediante la Sovvenzione Globale, per gli studenti che frequentano gli ultimi anni di una scuola Secondaria della regione Lombardia. Si tratta di settimane di studio, apprendimento, acquisizione di esperienze, relazioni, in modalità full immersion - anche residenziali - organizzate durante l'anno scolastico o nel periodo estivo.

ITC – CNR,accreditato nella sezione “A” dell'albo regionale dei soggetti autorizzati all'erogazione dei servizi di istruzione e formazione professionale, insieme all'Istituto Professionale di Stato per i Servizi Commerciali e Turistici Daniele Marignoni - Marco Polo di Milano, ha progettato ed erogato nel mese di settembre 2010, a Dublino, due Learning Week dal titolo “Imprenditoria e Turismo Giovanile”.

Gli altri soggetti in rete che hanno collaborato nella ideazione e realizzazione del progetto sono la CES Centre of English Studies di Dublino e la Camden agenzia di servizi linguistici con esperienza nell'organizzazione di corsi di lingua e nella promozione di pacchetti turistici finalizzati allo studio.

La vocazione territoriale e la tradizione locale irlandese, legata alla produzione, vendita e consumo di prodotti tipici, hanno offerto lo spunto per un progetto che unisse le esigenze didattiche dei partecipanti e allo stesso tempo fosse interessante e stimolante per gli studenti: lo sviluppo di un piano di marketing per lanciare un pub a Dublino.

Il progetto si proponeva, con un approccio sistemico di intervento sul turismo e sulle relative condizioni di sviluppo, di analizzare e valutare in un unico framework tutte le componenti del sistema turismo (stakeholder, competitor, ...) e le loro interazioni.

Agli obiettivi specifici, tesi allo sviluppo e all'acquisizione di competenze di tipo professionale, come l'analisi dei costi e delle risorse necessarie per intraprendere un'attività commerciale - e nello specifico il lancio sul mercato di un pub - si sono aggiunti obiettivi di tipo educativo e culturale legati all'interazione quotidiana in contesti di vita reale, quali i rapporti con le famiglie dublinesi presso cui i partecipanti alloggeranno, o l'interfacciarsi con la gente del luogo durante la conduzione dei sondaggi finalizzati all'analisi di mercato.



## Risultati attesi e prospettive per il prossimo triennio

Le attività previste per il prossimo triennio:

- Individuazione di un caso studio, per sperimentare i metodi e le tecniche individuate dal Progetto. Il territorio deve essere significativo, per rappresentare un numero adeguato di componenti nei riguardi della domanda, dell'offerta e della disponibilità delle amministrazioni.
- Identificazione del dimostratore: identificare metodi, modelli e tecniche da testare sul territorio scelto, per validarli.
- Definizione e implementazione del modello per la governance di un territorio al caso studio

*Principali risultati attesi:*

- Realizzazione di uno studio di fattibilità del progetto
- Workshop con i risultati dello studio di fattibilità
- Applicazione del modello a un territorio pilota

Tali attività verranno realizzate attraverso la partecipazione a bandi/call for proposal nazionali (PON/POR/industria 2015) e internazionali (INTERREG) per attrarre finanziamenti. A tal fine sono già in atto incontri e confronti con potenziali partner, italiani e transfrontalieri per definire i progetti.

**Parole chiave** turismo sostenibile, sistema produttivo aperto, modelli, qualità, vocazione del territorio, tipologie di turismo, formazione, beni culturali, progetto interdipartimentale.

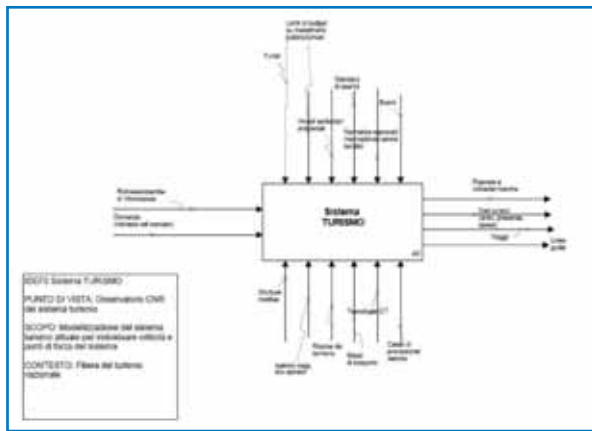


Figura 2: Diagramma IDEFO A-0: il sistema Turismo viene visto come un'unica attività

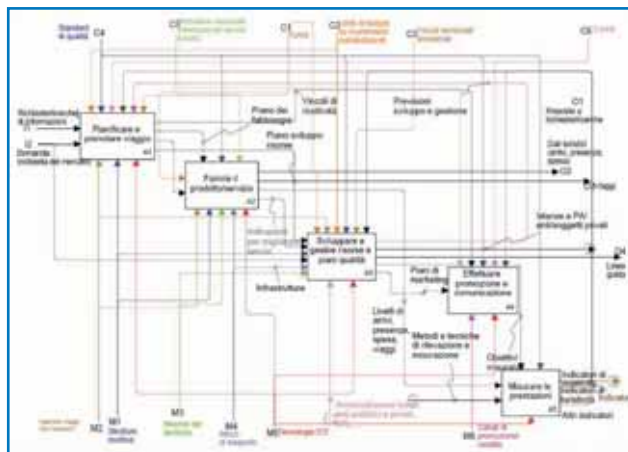
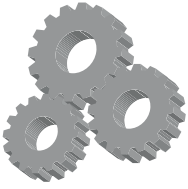


Figura 3: Diagramma IDEFO A0: il sistema Turismo scomposto nelle attività principali, al primo livello







CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Dipartimento Sistemi di Produzione



ISBN 978-88-903312-9-9