



ENEA

ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

POST KYOTO E CAMBIAMENTI CLIMATICI

FOCUS

2008

SVILUPPO SOSTENIBILE

ROBOTICA

Lo scenario, le applicazioni, le nuove frontiere

Giovanna La Rosa

Claudio Moriconi

Attilio Sacripanti

2008 ENEA

Ente per le Nuove tecnologie
l'Energia e l'Ambiente

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

ISBN 88-8286-172-4



ROBOTICA

Lo scenario, le applicazioni, le nuove frontiere

Giovanna La Rosa

Claudio Moriconi

Attilio Sacripanti

Giovanna La Rosa, Claudio Moriconi, Attilio Sacripanti
ENEA, Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali

Ringraziamenti

Si ringrazia *Maria Teresa Guerrini* per l'accurata raccolta e cernita delle fonti bibliografiche e per l'attenta revisione del testo

INDICE

Premessa	7
1 La robotica: uno sguardo di insieme	9
2 Principali ambiti applicativi	13
2.1 Robotica industriale	15
2.2 Robotica di servizio	18
3 Panoramica mondiale sulla robotica	29
3.1 Confronto fra le politiche dei principali paesi leader	31
3.2 Analisi della situazione mondiale	34
3.3 Mercato della robotica e previsioni di investimento	51
4 Stato dell'arte della ricerca in robotica	61
4.1 Le sfide da fronteggiare	61
4.2 Nuove frontiere della robotica	63
5 La situazione italiana	83
5.1 Considerazioni sullo stato della robotica in Italia	83
5.2 I centri di ricerca	88
5.3 Le realtà industriali	100
5.4 Il ruolo delle Piccole e Medie Imprese nella robotica	106
5.5 Alcuni esempi di cooperazione e di realtà emergenti	109
6 Il ruolo dell'ENEA	117
6.1 Origini e motivazioni della robotica in ENEA	117
6.2 Posizionamento sotto l'aspetto tecnologico	120
6.3 Ruolo dell'ENEA in ambito nazionale	125
6.4 Ruolo dell'ENEA in ambito mondiale	128
6.5 Prospettive	131
Bibliografia	133
Appendice	137

PREMESSA

La robotica è disciplina vastissima che si avvale dei contributi provenienti da diversi settori; nessun altro ambito tecnico scientifico ha avuto la necessità di far convergere un così ampio spettro di competenze e componenti disciplinari. La robotica è, infatti, tributaria di competenze, metodologie e tecnologie provenienti da diverse discipline: l'ingegneria meccanica, l'elettronica e l'ingegneria del software e l'Intelligenza Artificiale (IA), finalizzate allo studio e realizzazione di automi. Oltre a questi settori tradizionalmente coinvolti nella robotica nuovi settori disciplinari concorrono al suo sviluppo, quali: bioingegneria, neuroscienze, scienze cognitive, tecnologie dei materiali, ottica, acustica e elaborazione delle immagini, microtecnologia, nanotecnologie, tecnologie nucleari, ingegneria ottica, computazione quantistica.

Ciò di fatto rende arduo effettuare una indagine esauriente e fornire una visione sistematica sulle tecnologie, ambiti disciplinari, settori applicativi, contributi di conoscenze che confluiscono nella robotica.

Di conseguenza, questo documento si propone di fornire, senza pretese di esaustività, un quadro di sintesi dei principali ambiti di applicazione dei robot e un panorama delle iniziative di politica e sviluppo della robotica nelle nazioni leader del settore. In particolare, dopo una breve introduzione sulla robotica, nel secondo capitolo si presenta uno scorcio sui settori applicativi per i quali è già consolidata la presenza di sistemi robotizzati e su quelli più promettenti per una loro futura espansione.

Nel capitolo successivo, si offre un quadro delle politiche attuate dai principali paesi leader nel settore e di alcune iniziative promosse negli ultimi anni dai singoli Stati e delle opportunità che i vari segmenti di mercato e i principali finanziatori pubblici possono offrire per un ulteriore sviluppo della robotica.

Nel quarto capitolo si elencano le principali sfide tecnologiche da fronteggiare, e alcuni degli ambiti in cui si concentrano le ricerche al fine di realizzare sistemi robotici con un elevato grado di autonomia e capacità di cooperazione, necessari per rispondere alla richiesta di maggiore automazione in settori sempre più larghi dei servizi.

Infine, si offre un panorama delle varie realtà italiane operanti nel campo della robotica, sia private che pubbliche, sia accademiche che industriali, per comprendere quali settori siano maggiormente presidiati e in quali ambiti possano fiorire ulteriori sviluppi e rafforzarsi sinergie per attività di ricerca, sviluppo e trasferimento tecnologico per i quali l'ENEA, da anni impegnato nel settore della robotica, può fornire un contributo significativo.

1 LA ROBOTICA: UNO SGUARDO DI INSIEME

Con il termine “robot” si usa designare diverse tipologie di artefatti la cui funzione è quella di sostituire o assistere gli esseri umani in compiti variegati, includendo sia azioni ripetitive e preprogrammate che attività con un certo grado di autonomia, in ambiti che investono sia il settore industriale e terziario che le mura domestiche, a beneficio sia della produttività di grandi e medie organizzazioni che del miglioramento delle condizioni di vita e delle relazioni interpersonali dei singoli individui.

Della pervasività di tale branca dell’ingegneria ci si può rendere conto considerando l’elenco dei possibili campi di applicazione, riportati nella tabella 1.

A questa ampia gamma di funzioni e di ambiti applicativi in cui si collocano oggi i robot si è pervenuti negli ultimi decenni, a partire dagli anni 60 del secolo scorso in cui si sono avute le prime produzioni di manipolatori per la cui realizzazione si faceva ricorso alle competenze proprie della meccanica, dell’elettronica e della teoria del controllo. Si è assistito a una rapidissima proliferazione di macchinari industriali “semplici” che richiedevano un lavoratore che posizionava sia il pezzo da lavorare sia la macchina.

Industria	Costruzioni, ingegneria finanziaria, manifatturiero, minerario, macchinari
Militare e Peace Keeping	Bombe, armi e munizioni, tecnologie militari ed equipaggiamenti, ingegneria navale
Domestico	Applicazioni domestiche, tecnologie domestiche, alimentare, tecnologia educativa
Ingegneristico	Aerospaziale, agricola, architettuale, bioingegneria, biochimica, biomedica, chimica, civile, dei computer, costruttiva, elettrica, elettronica, ambientale, industriale, dei materiali, meccanica, mecatronica, nucleare, petrolifera, del software, strutturale, dei tessuti
Salute e sicurezza	Ingegneria biomedica, bioinformatica, biotecnologie, chemioinformatica, tecnologie antincendio, tecnologie sanitarie, farmaceutiche, ingegneria della sicurezza
Security	Antiterrorismo, ingegneria della security, sistemi complessi antintrusione
Trasporti	Aerospazio, marino, terrestre, logistica, intermodalità

Tab. 1 - Campi di applicazione della robotica

Nella seconda metà del XX secolo, con lo sviluppo dei computer, si è ottenuto un notevole miglioramento in ogni campo di applicazione della robotica, che è divenuta gradualmente più autonoma e “intelligente”. In particolare l’avvento dell’informatica ha consentito il passaggio dai robot come semplici manipolatori ai primi veicoli robotizzati autonomi, in grado di attuare diverse attività di trasporto nell’ambito dell’automazione di fabbrica e che successivamente hanno trovato applicazione nella robotica di servizio.

Il robot può essere definito come un qualsiasi agente artificiale, sia meccanico, sia virtuale, in grado di eseguire una o più operazioni (intelligenti) da solo.

Sebbene in questa ampia definizione di robot possano rientrare sia sistemi meccanici veri e propri che sistemi software (cioè robot virtuali che oggi sempre più spesso trovano spazio sulla rete) si va diffondendo l’uso di diversificare gli agenti software virtuali dai robot elettromeccanici con l’utilizzo, per i primi, della denominazione di “bots” ed escludendoli dalla categoria dei robot veri e propri. La pervasività di questi agenti nella moderna società tecnologica e globalizzata, è talmente profonda che si parla genericamente di “Robot”: dai robot di parecchie tonnellate fino ai micro-robot della lunghezza di qualche micron ed ai nano-robot, o robot molecolari, con applicazioni che vanno dallo spazio alle miniere e agli abissi oceanici, dall’industria, all’agricoltura, alla microchirurgia.

Tra le sfide che oggi si affacciano verso la robotica possiamo citare:

- a) lo sviluppo e l’incremento dell’IA con cui accrescere le capacità operative dei sistemi robotici;
- b) il miglioramento della capacità industriale di miniaturizzare sia i circuiti sia i sistemi complessi che possono essere applicati ai robot.

Per quanto riguarda il punto a), vale la pena di rammentare, infatti, che nel crogiolo di discipline afferenti la robotica un posto rilevante spetta agli sviluppi dell’Intelligenza Artificiale, disciplina che sin dagli albori ha privilegiato lo studio degli aspetti cognitivi che dilatano il grado di autonomia dell’azione degli artefatti.

Basti citare, come esempio di tale influenza, il dibattito sorto agli inizi degli anni 90 sulla centralità o meno della “rappresentazione della conoscenza” che un sistema artificiale deve includere per esibire comportamenti intelligenti ed eseguire azioni complesse. In quegli anni si fece strada in alcuni studiosi il convincimento che il comportamento intelligente debba emergere dalla organizzazione e cooperazione di entità elementari prive di capacità autonoma di rappresentazione.

Di fatto, il filone metodologico proprio dell’Intelligenza Artificiale (IA) comprendente la ricerca su reti neurali, algoritmi genetici e approcci ibridi tra modello procedurale e logico, ha via via trovato applicazione nei robot “di ultima generazione” e di ricerca.

Generalmente l'industria, specialmente quella automobilistica, ha sempre utilizzato robot in cui i pattern di movimento fossero pre-programmati ed inseriti prima dell'utilizzo. Ma con la crescita della potenza di calcolo e i nuovi paradigmi dell'IA i moderni robot hanno sviluppato maggiore destrezza e flessibilità e sono anche capaci di effettuare operazioni sempre più complesse, quali il confezionamento ed impacchettamento nell'industria alimentare, operazioni chirurgiche, guida autonoma di veicoli da carico in magazzini non strutturati ecc.

In termini generali, un sistema intelligente deve interagire verso diversi ambienti, mediante una struttura di azioni fondamentali, che sono state codificate negli studi di IA e che per comodità vengono mostrate in figura 1.

Un sistema intelligente, dunque, è capace di migliorare la propria interazione con l'ambiente circostante sulla base delle seguenti funzioni fondamentali di seguito indicate:

- ✓ abilità sensoria
- ✓ abilità percettiva
- ✓ abilità ad acquisire conoscenza
- ✓ abilità di comprensione
- ✓ abilità di inferenza
- ✓ abilità decisionali
- ✓ abilità di azione.

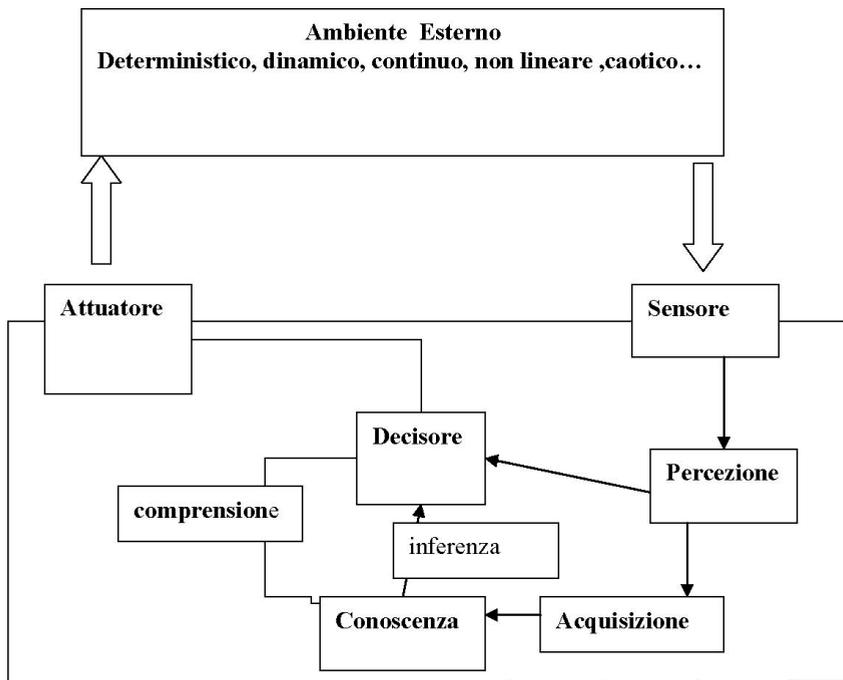


Fig. 1 - Sistema intelligente

MST World Market

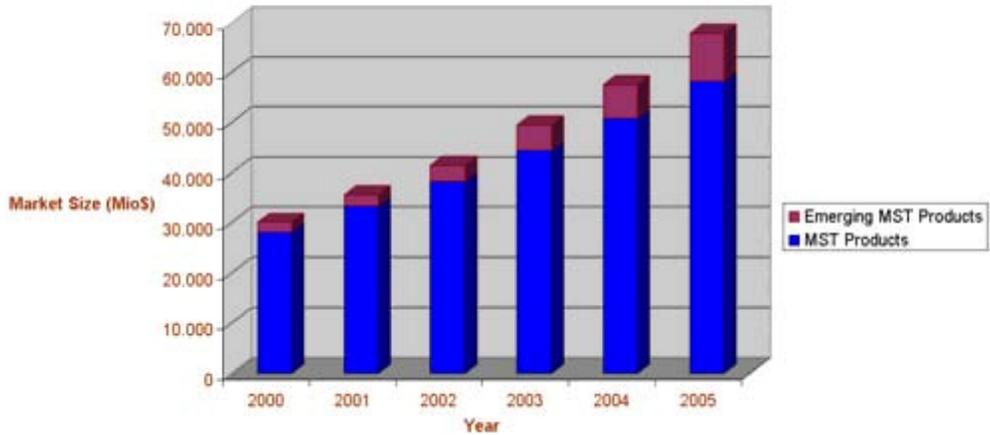


Fig. 2 - Andamento del mercato mondiale dei microsistemi classici ed avanzati (2006)

[1.1]

Come si diceva al precedente punto b) un ulteriore contributo, che vale la pena di citare, proviene in anni recenti dalla miniaturizzazione. Nella figura 2, ad esempio, viene mostrato l'incremento del mercato mondiale dei microsistemi (MST) nel periodo 2000-2005, discriminando tra prodotti "maturi" ed emergenti.

Il ricorso alla miniaturizzazione dei componenti gioca un ruolo nel miglioramento delle prestazioni dei robot e consente la loro applicabilità in ambiti microscopici (si pensi, come esempio, alla micro-chirurgia). Comunque, è opportuno tenere presente che gli effetti della miniaturizzazione influiscono sul sistema, in quanto in un sistema microscopico i fenomeni fisici che ne descrivono lo stato sono diversi da quelli utilizzati in ambiti macroscopici.

Infine, il futuro della robotica, oltre a beneficiare dei contributi provenienti dall'IA e dalla miniaturizzazione, si gioca sui vari componenti quali i sensori, i sistemi di comunicazione e gli attuatori, oltre, ovviamente, sulla crescita esponenziale della potenza di calcolo disponibile. Pertanto i robot, con l'andar del tempo, divengono più "intelligenti" ma anche più complessi; se a tale complessità si aggiunge l'ampliamento dei settori di applicazione (non solo l'industria ma anche gli ambiti di servizio e domestici) è evidente che maggiore risalto debba essere dato al problema della "sicurezza" e al requisito di maggiore "affidabilità" dei robot per garantire la salvaguardia degli esseri umani con cui interagiscono. Nel prossimo capitolo si offre una breve panoramica dei principali ambiti applicativi sia industriali che di servizio.

2 PRINCIPALI AMBITI APPLICATIVI

In questo capitolo vengono elencati i principali ambiti applicativi, siano essi patrimonio di sviluppi “storici” della robotica sia di più recente esplorazione. Una tradizionale suddivisione dei settori in cui la robotica trova vaste applicazioni è quella dell’industria manifatturiera e dei servizi, per cui si suddividono usualmente i robot in due categorie: robot industriali e robot di servizio.

Questi ultimi, di fatto, trovano applicazioni in settori molto diversificati: da settori industriali non manifatturieri, a settori di servizio pubblico o privato, all’ambiente sanitario, al controllo delle strutture abitative, fino all’ausilio ai singoli individui.

Un’ulteriore distinzione comune è quella di classificarli in robot di servizio (professionale) e robot personali. Infine, un’ultima categoria di robot, usualmente considerata a parte, è quella relativa alle esplorazioni spaziali e alla difesa.

Come si è già detto, la robotica industriale, storicamente la prima oggetto di sviluppo, è quella giunta ad una fase di maggiore maturità. Ulteriori progressi in questo ambito possono essere conseguiti grazie all’introduzione dei paradigmi dell’Intelligenza Artificiale in modo da rendere più flessibili e autonomi gli interventi dei robot.

La robotica di servizio, apparsa alla fine degli anni novanta, rappresenta il vero banco di prova dell’evoluzione del concetto stesso di robot e delle sfide tecnologiche connesse. Tuttavia, se le innovazioni tecnologiche saranno trainate dai settori il cui mercato è in maggiore espansione, l’apannaggio della robotica di servizio, di esse potranno beneficiare anche i più tradizionali settori industriali.

Di conseguenza, non sembra utile distinguere tra ambiti applicativi maturi ed emergenti ma piuttosto soffermarsi sulle sfide tecnologiche connesse allo sviluppo della robotica in quei settori per i quali si prevedono le maggiori opportunità di investimento e si concentrano i maggiori sforzi nella ricerca e sviluppo di approcci innovativi all’automazione “intelligente”.

Nella successiva figura 3 vengono mostrati i potenziali settori applicativi della robotica, che si collocano sia lungo il tradizionale asse industriale che come ausili robotici domestici, con un grado di autonomia dipendente dai compiti e dai settori in cui i robot vengono impiegati.

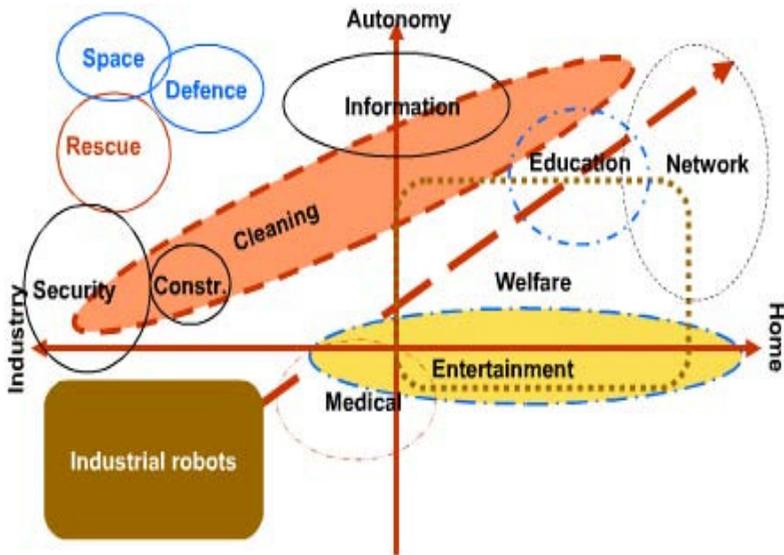


Fig. 3 - I settori emergenti nella ricerca robotica (Infonaut 2006) [2.1]

Nei paragrafi successivi saranno tratteggiati i principali ambiti applicativi e le categorie di robot che possono trovare applicazione nei vari settori, seguendo la classificazione riportata nella tabella 2, in cui è mostrato il confronto tra le leadership tecnologiche mondiali individuate dal WTEC (*World Technology Evaluation Center*).

AREA	LEADERSHIP			
	USA	Giappone	Corea	Europa
Veicoli robotici militari e civili	0000	00	00	00
Robot spaziali	000	00	NA	000
Robot umanoidi	00	00000	0000	00
Robot industriali	00	00000	00	0000
Robot di servizio	000	000	0000	000
Robot casalinghi	00	00000	0000	00
Robot per applicazioni biologiche e biomediche	0000	00	00	0000

Tab. 2 - Leadership mondiali a confronto (rielaborazione da [2.2])

2.1 Robotica industriale

Fin dalla loro introduzione negli anni 60, i robot industriali hanno avuto una notevole evoluzione tecnologica. La tradizionale definizione dei robot industriali è quella data nell'ISO 8373, che recita testualmente: *un manipolatore automaticamente controllato, riprogrammabile, multiuso, programmabile in tre o più assi, che, fisso o mobile, sia usato in applicazioni di automazione industriale.*

1	Non specificati 1 tutti i manipolatori con capacità non specifiche
2	Manipolazione e controllo 1 manipolatori per metalli, fusione e trattamenti termici 2 manipolatori e formatori di materiali plastici 3 manipolatori per stampa, forgia e curvatura 4 manipolatori di macchinari (carico e scarico) 5 macchine di controllo per altri processi (manipolatori per assemblaggio) 6 manipolatori per misure, ispezioni e prove fisiche 7 manipolatori per operazioni di pallettizzazione 8 manipolatori per imballaggio, deposizione e cernita 9 manipolatori non precedentemente classificati
3	Saldatura e brasatura di tutti i materiali 1 saldatura ad arco 2 saldatura a punti 3 saldatura laser 4 altri tipi di saldatura (a gas, ultrasonica, plasma) 5 brasatura
4	Dispensatori 1 pittori e smaltatori 2 applicatori di adesivi , materiali sigillanti e simili 3 altri dispensatori / spruzzatori
5	Lavorazioni 1 tagliature laser 2 tagliature a getto d'acqua 3 tagliature meccaniche, molitura, affilatura, politura 4 altre lavorazioni
6	Montaggio e smontaggio 1 fissaggio, pressatura collegamento 2 assemblaggio, inserzione, montaggio e taglio 3 smontaggio 4 altri montaggi
7	Altre aree di applicazione

Tab. 3 - Classificazione dei robot per aree di applicazione industriale
(fonte: IFR – International Federation of Robotics)

I robot hanno favorito l'incremento della produttività e la qualità dei manufatti prodotti. Infatti, l'automazione industriale di massa si sviluppa principalmente sostituendo uomini su linee in cui i compiti sono ben definiti e ripetitivi e pertanto possono ben essere eseguiti da robot "relativamente semplici".

Nelle nazioni avanzate l'industria con applicazioni ingegneristiche (prodotti metallici, macchinari, equipaggiamenti ottici, elettrici e dei trasporti) è la più grande utilizzatrice di robot: tra il 64% ed il 77% di tutti i robot di queste nazioni vengono utilizzati in essa.

Si possono classificare i robot industriali sia per area di applicazione sia per tipologia meccanica (tabelle 3 e 4).



Articulated Robot
Robot whose arm has at least three rotary joints.



Cartesian Robot
Robot whose arm has three prismatic joints, whose axes are coincident with a Cartesian coordinator.



SCARA Robot
Robot which has two parallel rotary joints to provide compliance in a plane.



Cylindrical Robot
Robot whose axes form a cylindrical coordinate system.



Spherical Robot
Robot whose axes form a polar coordinate system.



Parallel Robot
Robot whose arms have concurrent prismatic or rotary joints.

Tab. 4 - Classificazione dei robot per tipologia meccanica [2.3]

Di seguito viene fornita una panoramica dei principali ambiti applicativi che maggiormente interessano l'industria dei paesi avanzati.

a) Automobilistica

L'industria automobilistica è il principale esempio di applicazione industriale massiva dei robot con compiti sia semplici che complessi. In essa i robot sono usati per l'assemblaggio, la saldatura o la pittura delle auto, lungo catene di montaggio e trasferimento totalmente automatizzate.

Il massiccio uso di robot nell'industria automobilistica è dovuto al fatto che i compiti da svolgere possono essere accuratamente definiti, con trascurabili necessità di feedback, per controllare l'esattezza del processo svolto.

Proprio per questa caratteristica di standardizzazione dei compiti, i primi sviluppi della robotica si sono indirizzati in questo settore nel quale l'automazione comportava una drastica diminuzione dei costi.

b) Chimica, gomma e plastiche

In secondo luogo si possono prendere in considerazione le applicazioni dei robot nell'industria chimica, della gomma (pneumatici come applicazione maggiore), e delle plastiche e polimeri per la costruzione e il montaggio di pezzi (spesso di parti ed accessori automobilistici).

Anche in questo caso si è in presenza di processi di manifattura, montaggio e produzione che possono essere accuratamente definiti, con trascurabili necessità di feedback ma con un maggior grado di controllo per le operazioni produttive.

c) Altri settori manifatturieri

Si tratta generalmente di industrie ingegneristiche di applicazioni metalliche e della saldatura, che rappresentano la terza grande area di applicazione industriale per la robotica, in cui i processi sono selettivi ma ancora di tipo semi rigido. È in crescita l'uso dei robot nell'industria aerospaziale, o nel campo del disassemblaggio di veicoli, aeroplani, frigoriferi, lavatrici, ed altri beni di consumo.

Un altro campo industriale importante è quello delle industrie elettroniche che fanno largo impiego dei robot, a causa dei testing automatici, della garanzia di qualità del controllo, e della consistente modularizzazione raggiunta nei prodotti e nei sistemi.

Anche l'industria delle costruzioni fa sempre più uso dei robot, così come quella alimentare (a garanzia di una qualità anche igienica).



a)



b)

Fig. 4 - Robot industriali: a) industria automobilistica; b) industria alimentare

Nella figura 4 vengono mostrati due robot industriali, uno finalizzato ad applicazioni nel campo automobilistico ed il secondo impiegato nell'industria alimentare.

Oggi, i robot industriali presentano una tecnologia matura, con capacità di sollevare carichi di centinaia di chilogrammi e posizionarli con accuratissime dell'ordine del millimetro.

Ovviamente, come avviene per altri ambiti applicativi di cui si accennerà nel seguito, anche nella robotica industriale si perseguono gli obiettivi di maggior flessibilità ed economicità dell'automazione per migliorare la competitività del tessuto industriale. Tuttavia, i principali limiti tecnologici risiedono ancor'oggi nella limitatezza di capacità sensoriali, di controllo e decisionali, richieste per operare in ambienti tridimensionali non completamente strutturati; in particolare, la mancanza di flessibilità della maggior parte dei robot industriali preclude ogni forma di cooperazione con gli esseri umani mantenendo in tal modo una rigida separazione tra attività completamente manuali e compiti completamente automatizzati, separazione che non giova al miglioramento complessivo dell'efficienza del settore industriale e rappresenta un ostacolo all'espansione della robotica in contesti industriali diversificati.

Infine, un ulteriore elemento di criticità, che ha confinato l'introduzione della robotica nell'ambito della grande industria, risiede nei costi proibitivi dell'automazione e nella complessità della loro installazione, elementi, questi, che hanno impedito una massiccia penetrazione in particolare nel settore delle Piccole e Medie Imprese (PMI).

2.2 Robotica di servizio

I robot di servizio rappresentano un'altra amplissima area di applicazione che ad oggi, con la diffusione dell'intelligenza artificiale, si sta espandendo non più solo nelle aree industriali e professionali ma anche in quelle domestiche.

Quindi dalla prima fase espansiva, strettamente connessa all'industria ed alle capacità manifatturiere dei robot, oggi la sfera di applicazione della robotica

tende a pervadere tutti i settori “di servizio”, analogamente a quanto già avvenuto con il vertiginoso sviluppo del terziario nella nostra società. Pertanto le aspettative economico-industriali prevedono per questo settore un incremento costante negli anni a venire.

Secondo la definizione dell’International Federation of Robotics (IFR), il robot di servizio è un robot che *opera in modo parzialmente o totalmente autonomo per effettuare servizi utili per il benessere degli esseri umani e per le attrezzature, con esclusione della fabbricazione di manufatti.*

È evidente che, per gli ambiti in cui debbono operare, i robot di servizio si differenziano dai tradizionali robot industriali. Dovendo in molti casi cooperare con esseri umani non in possesso di competenze professionali specifiche e agire in ambienti non rigidamente predeterminati, i robot devono essere dotati di maggiore flessibilità meccanica, di sensori tridimensionali, di caratteristiche di adattabilità e capacità di apprendimento, di interfacce uomo-robot intuitive e di più alti livelli di affidabilità per la salvaguardia delle attrezzature e soprattutto degli esseri umani.

Nelle tabelle 5 e 6 vengono classificati globalmente i robot di servizio per i diversi settori professionali e per i servizi domestici e personali.

Robot da campo	• Agricoli • Robot per il latte • Robot forestali • Sistemi per miniera • Robot per lo spazio • Altre applicazioni
Pulitura professionale	• Pulitura pavimenti • Pulitura muri e finestre (compresi robot scalatori) • Pulizia di tank, tubi e linee (gas, petrolio) • Pulizia di piscine • Altre applicazioni di pulizia
Sistemi per ispezioni	• Robot per fognature • Altri sistemi di ispezioni
Costruzioni e demolizioni	• Sistemi di demolizione: 1. decommissioning nucleare 2. altri sistemi di demolizione • Robot di supporto alle costruzioni: 1. manutenzione e costruzione 2. altri tipi di costruzione
Sistemi per la logistica	• Sistemi corriere • Distribuzione di posta • Logistica industriale • Altri tipi di logistica
Robotica medica	• Sistemi diagnostici • Robot di assistenza chirurgica o terapeutica • Sistemi riabilitativi • Altri robot medicali
Difesa, sicurezza e salvataggio	• Robot sminatori • Robot anti bombe o fuoco • Robot di sorveglianza • Sistemi di sicurezza • Veicoli non armati (droni, veicoli terrestri) • Altri robot
Sistemi sottomarini	• Piattaforme mobili di uso generale
Sistemi da laboratorio	• Trasportatori di materiale • Pulitori di stanze • Altre applicazioni
Robot da pubbliche relazioni	• Robot per hotel e ristoranti • Robot guida • Robot commerciali • Robot con altre applicazioni (biblioteche)
Scopi speciali	• Robot da rifornimento • Robot umanoidi • Robot personalizzati

Tab. 5 - Classificazione dei robot di servizio professionali per aree di applicazione

Robot con compiti domestici	• Aspirapolvere • Tagliaerba • Pulitori di piscine • Pulitori di finestre • Altri compiti
Robot per divertimento	• Giocattoli • Da intrattenimento • Sistemi da hobby • Sistemi educativi e da allenamento • Altri sistemi
Robot per assistenza handicap	• Sedie robotizzate • Altre funzioni di assistenza • Riabilitazione personale • Altre applicazioni
Robot per trasporto personale	• Robot per trasporto
Sicurezza casalinga	• Sistemi di allarme • Sistemi di sicurezza anti incidente
Altri compiti domestici	• Robot domestici con altri compiti particolari

Tab. 6 - Classificazione dei robot di servizio domestici e/o personali per aree di applicazione

Come mostrato nelle tabelle, gli ambiti applicativi sono molto diversificati, per cui si preferisce elencare di seguito i principali tipi di robot di servizio, i quali, ovviamente, possono trovare applicazione in diversi settori.

2.2.1 Veicoli robotici

Il campo dei veicoli robotizzati abbraccia un ampio spettro di sistemi in cui intelligenza computazionale e macchina fisica formano un tutt'uno, ottenendo veicoli con capacità che superano di gran lunga la capacità delle singole parti.

I veicoli robotici, in genere, sono macchine che si muovono autonomamente sul suolo, nell'aria e nello spazio e sotto l'acqua, dotati di proprie sorgenti energetiche e in grado di compiere compiti complessi sotto la supervisione remota dell'uomo. L'ovvia applicazione di questi veicoli è in ambienti ostili all'uomo o praticamente irraggiungibili; esempi classici sono le profondità marine o lo spazio.

Un altro ambito di intervento riguarda il rimpiazzo degli esseri umani in compiti di routine: un settore di applicazione classico è l'agricoltura su vastissime estensioni, per le quali queste macchine sono tanto affidabili da svolgere meglio e più velocemente il compito di un essere umano.

Nella figura 5 sono mostrati due robot, uno agricolo ed uno minerario di notevolissime dimensioni.

Un terzo campo di applicazione dei veicoli robotizzati è l'assistenza a persone disabili, il supporto alla riabilitazione, fino all'utilizzo di robot a fini ricreazionali. La caratteristica precipua di questi robot è, ovviamente, la mobilità. La locomozione può essere ottenuta provvedendo i robot di ruote, come le automobili e con le stesse limitazioni di un veicolo, locomozione largamente utilizzata nei contesti industriali; un'altra opzione, che trae la sua ispirazione dall'imitazione dei sistemi biologici, si rende necessaria nel caso di veicoli destinati ad attività in ambienti eterogenei o entro le mura domestiche per cui una locomozione simile a quella degli essere umani consente più facilmente di superare ostacoli, salire le scale ecc.



Fig. 5 - Robot agricolo (a sinistra); robot minerario (a destra) [2.2]

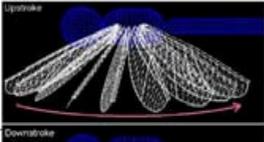
	Engineering Design	Biomimetic Design
AIR		
GROUND		
WATER		

Fig. 6 - Sistemi di mobilità dei robot [2.2]

Nella figura 6 sono rappresentati i possibili tipi di sistemi di mobilità dei robot:

- ✓ la strategia ingegneristica: le soluzioni tecnologiche si ispirano alle tecniche comunemente usate per il trasporto (ruote per i robot terrestri; eliche ed ali fisse o rotanti per i robot aerei; eliche e piani mobili per i robot sottomarini);

- ✓ la strategia biomimetica: le soluzioni tecnologiche si ispirano ai sistemi biologici (robot con locomozione bipede che simula quella umana, serpenti robotici che strisciano, uccelli e insetti robot che volano, pesci che nuotano mediante movimenti ondulatori).

Ovviamente, le sfide future della ricerca sui veicoli autonomi robotizzati si incentreranno su tutte e quattro le aree di maggior interesse per questi sistemi, cioè mobilità e meccanismi, sistemi energetici e propulsione, controlli, sensori e navigazione.

2.2.2 Robot spaziali

La robotica spaziale prevede lo sviluppo di macchine generaliste che gli uomini possano controllare sia in modo locale che remoto, capaci di:

- ✓ sopravvivere nell'ambiente estremo dello spazio (almeno per un tempo determinato);
- ✓ effettuare esplorazioni in questo ambiente;
- ✓ assemblare sistemi atti ad ospitare esseri umani nello spazio;
- ✓ costruire sistemi;
- ✓ mantenere sistemi;
- ✓ espletare servizi.

I robot spaziali generalmente sono sistemi multitasking che effettuano i compiti loro affidati in modo meno dispendioso, spesso più velocemente e qualche volta con prestazioni migliori degli uomini.

Le caratteristiche chiave per i robot spaziali sono le capacità di:

- ✓ mobilità: ovvero la capacità di movimento rapido e sicuro tra due punti senza collisioni e incidenti;
- ✓ manipolazione: ovvero la capacità di usare braccia e mani per entrare in contatto con oggetti dello spazio di lavoro in modo sicuro, veloce e accurato;
- ✓ gestione del ritardo: ovvero consentire a un essere umano di supervisionare a distanza il robot in modo efficace malgrado il ritardo (non trascurabile nel caso di esplorazioni spaziali) nella trasmissione del comando;
- ✓ operatività efficace in condizioni estreme (alte/basse temperature, presenza di radiazioni ionizzanti, atmosfere corrosive).

Nella figura 7 è riportato un esempio di "Rover", creato dai laboratori Jet Propulsion della NASA in California, il cui braccio trasporta diversi sensori e strumenti per effettuare diversi compiti di esplorazione e campionamento.

Un altro tipo di robot spaziali sono i "robonauti", sviluppati presso il Johnson Space Center di Houston.



Fig. 7 – Il robot “Rover”, dedicato all’esplorazione in ambienti non strutturati e al campionamento di materiali e sostanze, in azione su Marte [2.2]

Nella figura 8 vengono mostrati alcuni robonauti costruiti negli USA. La premessa fondamentale per questi robot è che essi possano sostituire il più possibile gli astronauti stessi. Pertanto sono circa dello stesso peso, volume e destrezza degli astronauti ed abili a usare i medesimi strumenti.

L’uso dei robot, in missioni di lunga durata o in voli di routine nello spazio, rappresenta un’interessante opportunità per il futuro dei voli e delle esplorazioni spaziali. I robot possono ad esempio aiutare gli astronauti nel compiere compiti speciali o pericolosi. Sistemi robotici e veicoli autonomi terrestri in ambienti non strutturati (come i “Rover” per l’esplorazione di Marte della NASA e dell’ESA - European Space Agency) sono già stati utilizzati in tempi recenti, e diverse ricerche e progetti applicativi si stanno sviluppando e si svilupperanno nel prossimo futuro nell’area dei voli spaziali.

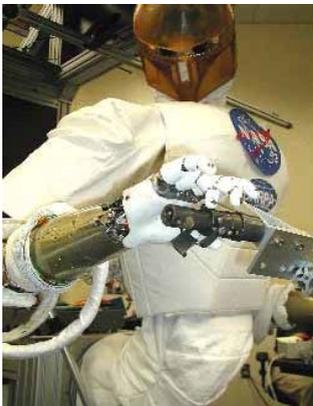


Fig. 8 - Robonauti costruiti negli USA per la NASA [2.2]

In tale ambito i robot potrebbero divenire con l'andar del tempo ancora più importanti, specialmente se nella versione robonauti saranno resi sempre più abili ad interoperare con gli astronauti, al fine di poter portare a termine compiti complessi. Ovviamente, molte e diverse sono le sfide tecnologiche da fronteggiare per dotare i sistemi robotici delle caratteristiche necessarie per un loro efficace utilizzo nell'esplorazione dello spazio.

Tra le tante, a titolo di esempio si cita il problema connesso al ritardo temporale dei manipolatori. Infatti, il sistema noto come "master-slave", per cui l'operatore umano esegue le singole operazioni che il robot deve imitare, può essere adatto solo se il ritardo temporale è di qualche frazione di secondo; nel caso invece in cui il ritardo è dell'ordine di alcuni secondi gli operatori umani sono pressoché inadatti alla teleoperazione non potendo controllare in tempo utile le forze di contatto che il robot esercita sugli oggetti. In questi casi, che sono la maggioranza nello spazio, l'operatore comanda il robot attraverso la tecnica del "supervisory control" per cui le forze di contatto sono controllate direttamente dall'elettronica del braccio del robot che compensa oscillazioni spurie ed uso improprio delle forze.

2.2.3 Robot umanoidi

I primi sviluppi di robot umanoidi risalgono a circa 30 anni fa, ma a tutt'oggi non è facile darne una definizione chiara, in quanto esistono robot non antropomorfi che eseguono compiti che normalmente svolge un essere umano. Per essi, sembra ragionevole la definizione di "macchine che hanno la forma o svolgono alcune funzioni tipiche degli esseri umani". Gli arti inferiori possono essere gambe, ruote o cingoli, mentre gli arti superiori sono braccia articolate con mani prensili. Tutte le catene cinetiche si innestano su di un tronco che normalmente contiene le fonti energetiche ed i microprocessori per il controllo del sistema.

Molte sono le sfide tecnologiche connesse allo sviluppo di robot umanoidi: in particolare la capacità di replicare l'abilità deambulatoria bipede tipica dei primati più evoluti. Per riprodurre i complessi meccanismi della deambulazione bipede, che nell'uomo si è sviluppata grazie anche alle numerose terminazioni nervose di cui è dotato (i 'propriocettori'), che permettono al cervello di essere sempre informato sugli sforzi a cui sono sottoposte le fibre muscolari e sulla posizione assunta da ogni articolazione per adeguare la postura e mantenere l'equilibrio, i vari sensori integrati sui robot deambulanti devono comunicare ai sistemi di controllo i dati relativi alle forze che agiscono sui giunti e sulle strutture.

Se il movimento tramite arti mobili richiede meccaniche ed algoritmi di controllo molto complessi ed evoluti rispetto a quelli usati per ruote e cingoli (specialmente nel caso della deambulazione bipede, nella quale ci si trova in costante equilibrio precario), è indubbio che tale movimento permette di ottenere una versatilità superiore.

I robot su zampe, infatti, possono muoversi anche su terreni sconnessi e irregolari, affrontare pendenze e superare macerie, senza correre il rischio di perdere l'appoggio di una ruota motrice e perciò la possibilità di muoversi. Molti laboratori, data la complessità dei sistemi, si sono specializzati solo sui singoli sottosistemi, ovvero la mano, il sistema di visione, la locomozione bipede, e molti sono specializzati nella coordinazione di tali sottosistemi. Solo pochi laboratori hanno affrontato il robot umanoide completo, perché complesso e dispendioso, ma i pochi esempi esistenti sono eccellenti.

Nella figura 9 viene mostrata l'anatomia fondamentale di un robot umanoide. Nella figura 10 sono mostrati alcuni esempi di robot umanoidi costruiti nel mondo rispettivamente dalla Honda, dal MIT (Massachusetts Institute of Technology), dalla Sarcos, dalla Toyota e dalla NASA.

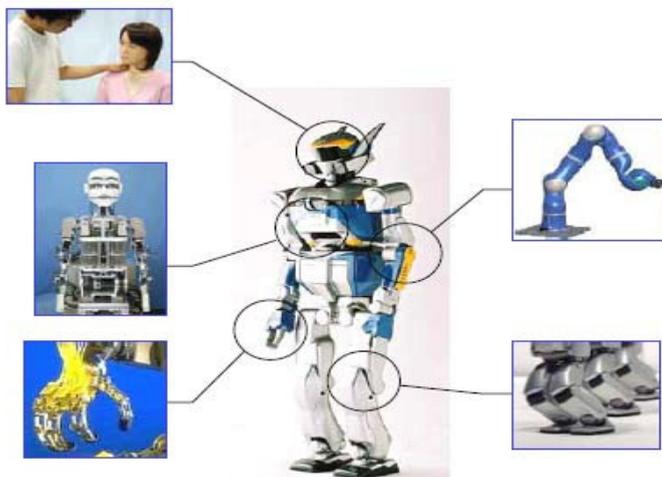


Fig. 9 - Robot umanoide [2.2]

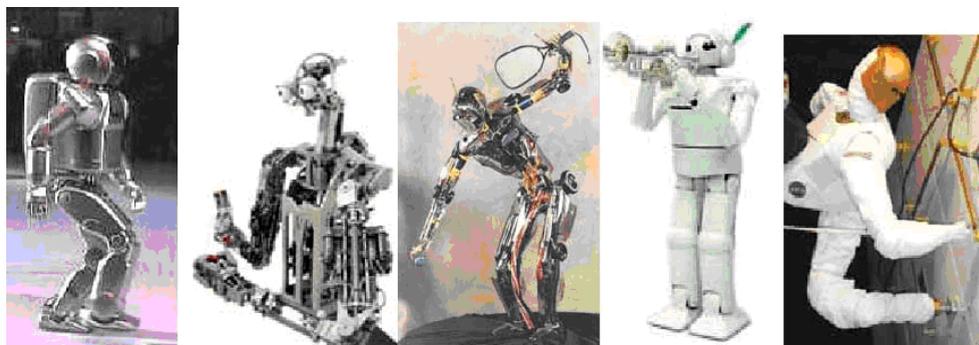


Fig. 10 - Robot umanoidi realizzati rispettivamente da Honda, MIT, Sarcos, Toyota, NASA [2.2]

Anche se allo stato attuale la ricerca e sviluppo di robot umanoidi sembra una branca senza un chiaro business, molte nazioni continuano ad investire in questo ambito in quanto, grazie alle loro caratteristiche di flessibilità, questi robot potrebbero trovare impiego praticamente nella totalità degli ambiti industriali, di servizio e di assistenza alle singole persone, soprattutto se disabili e anziani.

2.2.4 Robot per applicazioni biologiche e mediche

Nell'ambito della robotica di servizio un posto importante sta acquisendo la robotica per applicazioni biologiche e mediche.

Nel campo della biologia, settore nel quale solo di recente si è affacciata la robotica, tipiche applicazioni sono i sistemi per il sequenziamento del DNA su larga scala, le analisi *Single Nucleotide Polimorphism* o il mixing e la distribuzione di bio-soluzioni per la cristallizzazione di membrane proteiche. Senza robot ed automazione i biocampioni dovrebbero essere maneggiati da mani umane, mentre i sistemi robotici offrono maggiore affidabilità e velocità per questi compiti.

Nel campo medico invece la ricerca è iniziata circa quindici anni or sono, ed oggi risulta molto attiva.

Il primo campo applicativo è stato quello chirurgico, in quanto i robot possono far meglio dei medici per precisione millimetrica e ripetibilità; inoltre i robot sono abili nell'operare in via endoscopica in poco spazio. Questo li rende più affidabili in operazioni poco o minimamente invasive, tanto che oggi i robot sono usati di routine nella pratica chirurgica in operazioni cardiache, cerebrali, spinali, o alle ginocchia e specialmente negli USA gli ospedali si attrezzano con robot sempre più avanzati.

Robot chirurgici sono usati anche in Europa in chirurgia cardiaca, ortopedia, urologia, chirurgia cerebrale e fetale.

Un secondo campo di applicazione in medicina riguarda la diagnostica, nel quale la robotica sta acquisendo ampio spazio in quanto meno invasiva e più affidabile. Un esempio per tutti è la capsula endoscopica messa a punto in Italia alla Scuola Superiore S. Anna.

Nella figura 11 viene mostrato questo robot diagnostico.

Un ulteriore ambito di applicazione medica riguarda lo sviluppo di protesi artificiali per il recupero di alcune funzioni fisiche degli esseri umani (protesi di gambe, mani, braccia), ad opera soprattutto della Technical University di Berlino e della University of Tsukuba in Giappone.

Infine, ausili robotici possono facilitare la riabilitazione fisica di pazienti colpiti da lesioni, assistendo o addirittura rimpiazzando il lavoro dei fisioterapisti.

La figura 12 descrive l'evoluzione della robotica medica in questi ultimi anni. Come si può facilmente immaginare, lo sviluppo si sta sempre più evolvendo verso la miniaturizzazione e la chirurgia endocavitaria.

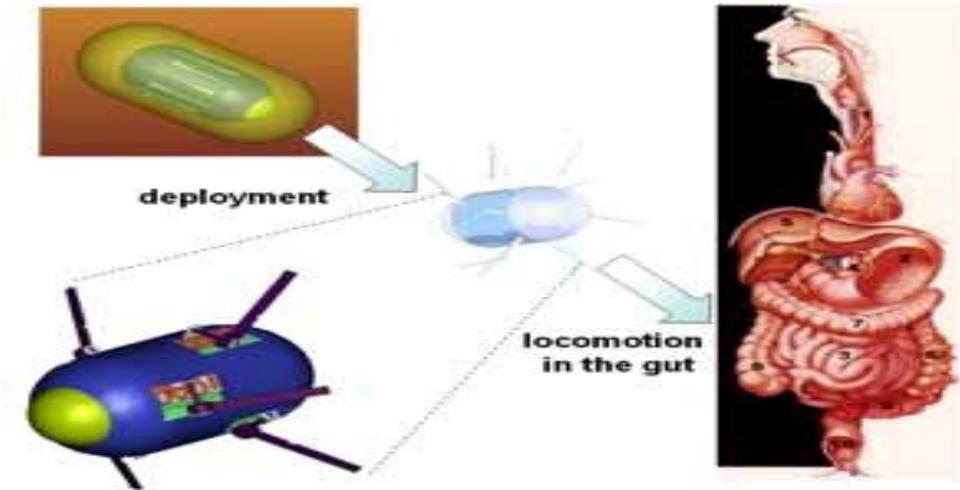


Fig. 11 - Endoscopio robotico capsulare per l'esame del tratto gastrointestinale [2.2]

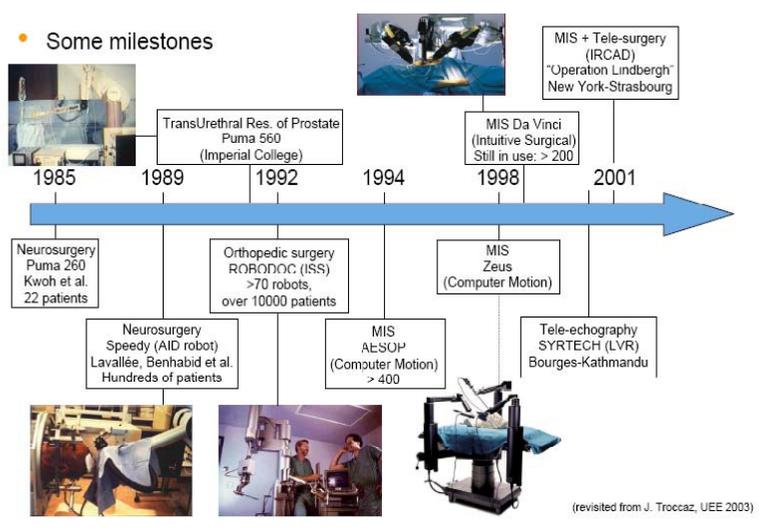


Fig. 12 - Evoluzione della robotica medica [2.4]

Pertanto, le linee guida della ricerca avanzata nella robotica medica riguardano l'introduzione delle nanotecnologie, la miniaturizzazione dei componenti (microsensori, microattuatori, e micromanipolazioni), e il ricorso alle tecniche di Intelligenza Artificiale per la modellazione di componenti dei sistemi biologici al fine di migliorare l'azione dei robot in operazioni chirurgiche specifiche e con una sempre maggiore flessibilità ed autonomia. Su questa base nella successiva figura 13 vengono mostrati alcuni esempi di applicazioni della robotica al campo della medicina.

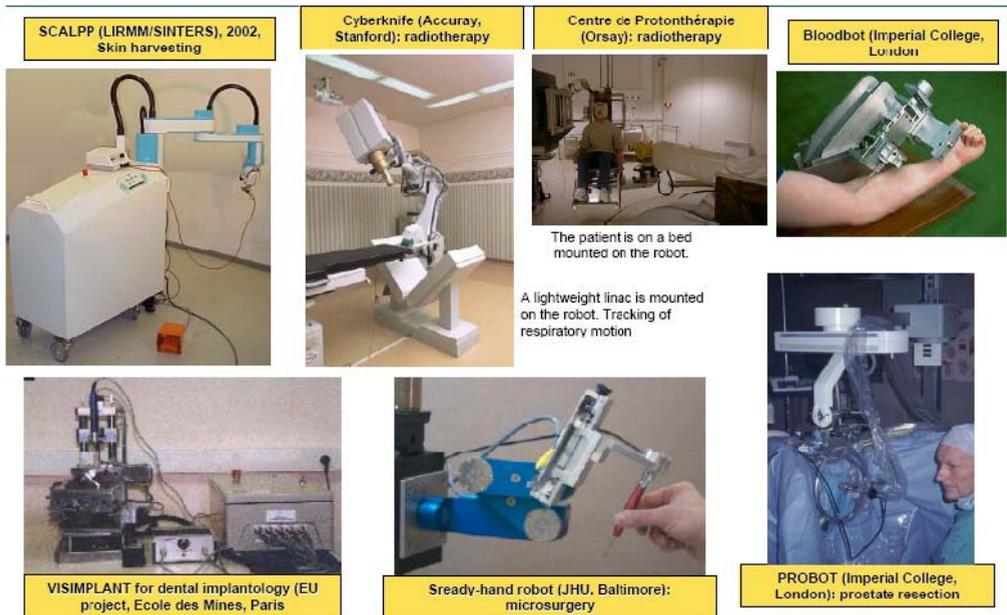


Fig. 13 - Applicazioni mediche della robotica [2.4]

2.2.5 Robot personali

I robot personali sono robot di servizio utilizzati per l'istruzione, l'assistenza e l'intrattenimento in ambito domestico; possono eseguire i lavori di routine giornalieri (usare l'aspirapolvere, pulire pavimenti e finestre, tagliare l'erba, pulire piscine, raccogliere le foglie secche), assistere persone anziane e disabili, essere di ausilio per l'allenamento fisico e la riabilitazione, essere usati come compagni di svaghi.

Le prospettive per il loro sviluppo futuro prevedono che essi, più che semplici robot domestici, diventino prodotti personalizzabili con funzionalità scalabili; si potranno cioè aggiungere e personalizzare differenti moduli funzionali (interfacce multimediali, servizi IT a valore aggiunto, semplici "mani" per permettere la presa, teste espressive equipaggiate con sensori e voce), e il disegno complessivo dovrà seguire un approccio modulare per adattarsi rapidamente a mutevoli preferenze ed esigenze.

3 PANORAMICA MONDIALE SULLA ROBOTICA

Come si è già ricordato, durante gli ultimi 45 anni la robotica ha avuto uno sviluppo straordinario trovando via via applicazione sia nei settori industriali tradizionali che nel variegato mondo dei servizi.

Di fatto, nell'ultimo decennio la maggior parte degli sforzi mondiali si è trasferita dalla ricerca sui manipolatori industriali, a quella sui manipolatori in ambienti non strutturati, o verso sistemi mobili con ruote, gambe, o atti a volare, fino a quella sui robot umanoidi, settori per i quali l'UNECE (*United Nation Economic Commission for Europe*) prevede negli anni 2005-2008 una forte espansione.

Nel diagramma della figura 14 è mostrata l'evoluzione degli scopi della robotica a livello mondiale, partendo dall'anno di nascita ufficiale, circa il 1960 (per approfondimenti si veda [3.1]).

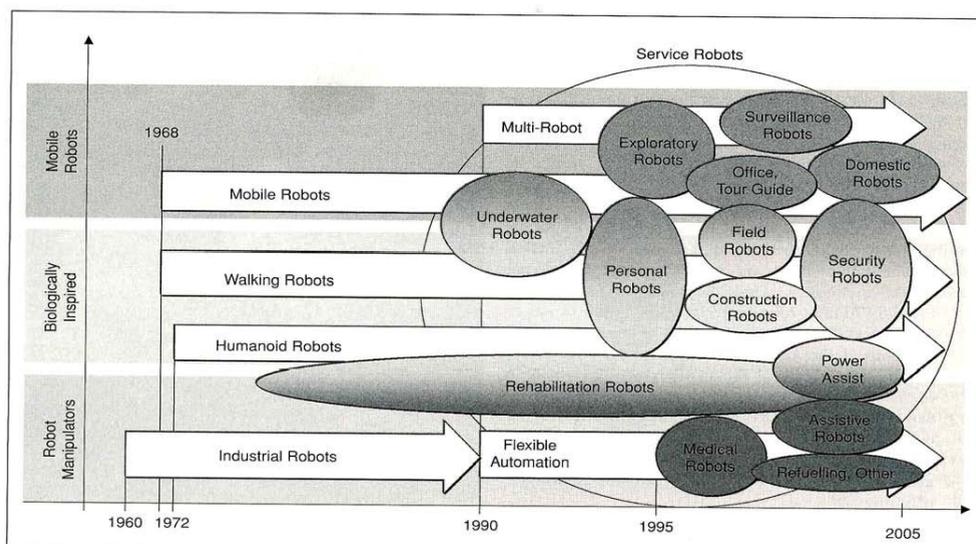


Fig. 14 - Evoluzione della robotica mondiale negli ultimi 50 anni [3.1]

Nella seguente tabella 7 viene mostrato il confronto tra i diversi soggetti impegnati nelle attività di ricerca dei principali leader mondiali del settore, tratto dal documento "International Assessment of Research and Development in Robotics" (Genn. 2006), elaborato dal World Technology Evaluation Center (WTEC) [2.2].

Per il confronto tra le leadership mondiali nei vari settori della robotica si veda, invece, la precedente tabella 2.

AREA	USA	Giappone	Corea	Europa
	Ricerche di base e ricerche universitarie (individuali, gruppi e centri)	00000	000	000
Ricerche applicate, ricerche industriali (laboratori nazionali, corporates)	00	00000	0000	0000
Iniziative o programmi di ricerca nazionali o multinazionali	00	00000	00000	0000
Partnership fra Università industrie e governi	00	00000	00000	0000

Tab. 7 - Confronto tra i paesi leader (adattata da [2.2])

Lo studio sopra citato è stato condotto con la sponsorizzazione della National Science Foundation (NSF) e di altre agenzie governative americane. Secondo tale studio, gli USA alla fine degli anni 80 del secolo scorso hanno perso la preminenza mondiale nella robotica industriale a vantaggio del Giappone e dell'Europa, e in altri ambiti quali la navigazione in ambienti esterni, l'architettura robotica vista come integrazione dei controlli, della struttura e della capacità computazionale, le applicazioni spaziali, di difesa, i sistemi sottomarini, la loro leadership è fortemente minacciata dalla competizione internazionale. Pertanto, scopo dello studio era quello di effettuare una rassegna dei campi di eccellenza nella ricerca degli altri paesi avanzati, al fine di avere informazioni utili per un raffronto con la realtà americana e valutare il livello di competitività della ricerca USA.

Nelle conclusioni, risultato di un'accurata analisi con visite anche ai laboratori dei vari paesi "concorrenti", viene riassunto lo stato dell'arte della ricerca mondiale, da cui si evince che Giappone e Corea hanno la leadership nella mobilità robotica, nei robot umanoidi ed in alcuni campi della robotica di servizio e personale, mentre l'Europa conserva la leadership nella mobilità robotica in ambienti strutturati, incluso il trasporto urbano, e nella robotica applicata al settore bio-medicale.

Inoltre, la rilevazione riportata nello studio ha mostrato che il livello di collaborazione fra governi, istituzioni accademiche ed industrie in Giappone, Corea ed Europa è di fatto molto più stringente che quello che avviene negli USA.

Nella figura 15 vengono mostrati i campi di eccellenza delle quattro potenze robotiche.

Global Robotics

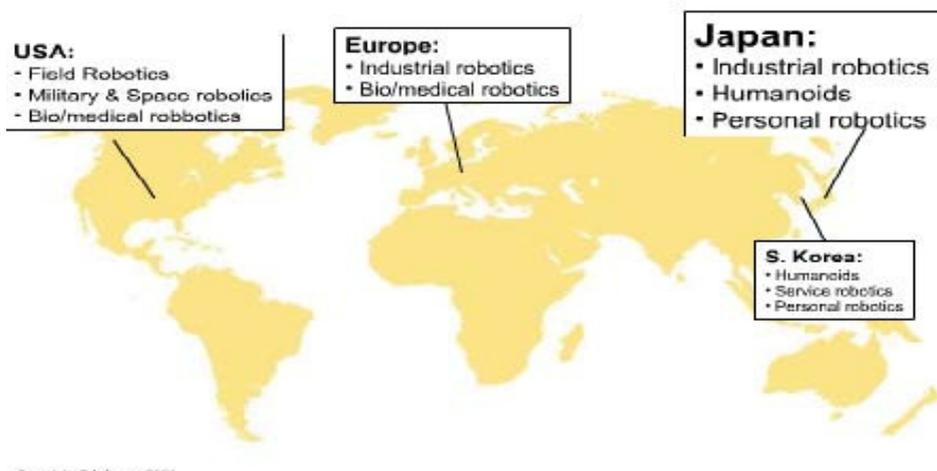


Fig. 15 - Campi di eccellenza delle quattro potenze mondiali (in fonaut 2006) [2.1]

3.1 Confronto fra le politiche dei principali paesi leader

Come si è detto, oggi sulla scena mondiale competono gli USA, il Giappone, la Corea del Sud e l'Europa.

In questa panoramica non vengono presi in considerazione i paesi emergenti, come la Cina o l'India, che certamente si affacceranno con prepotenza nei prossimi anni anche su questo fronte tecnologico.

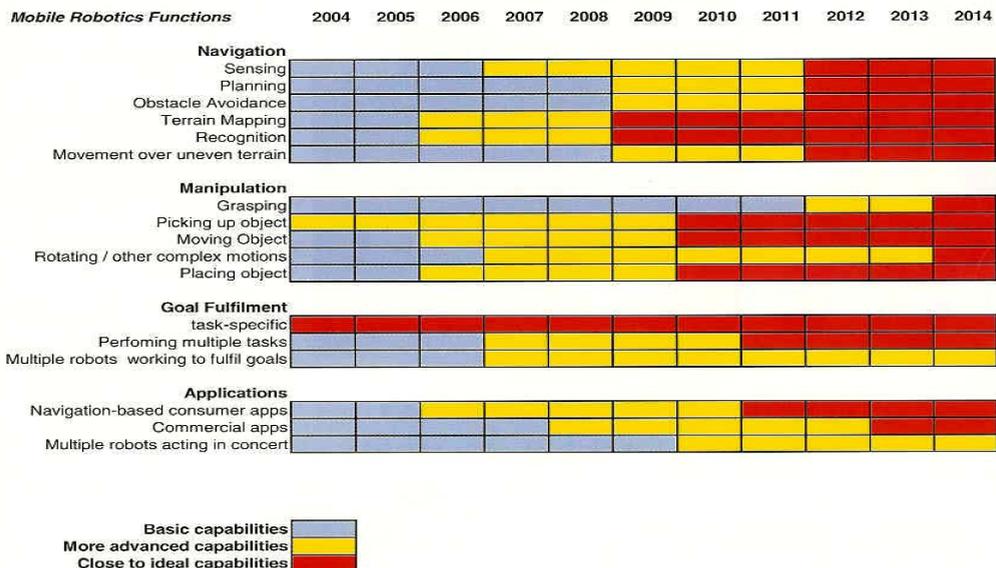
Prima di iniziare una panoramica degli sviluppi nei paesi avanzati può essere interessante soffermarsi sulle diverse politiche adottate dalle principali potenze mondiali nel campo della ricerca robotica.

Il *Metodo Militare Centralizzato*, che viene usato negli USA, si basa sulla seguente idea: *le applicazioni aerospaziali e di difesa sono fucina delle idee per la commercializzazione futura.*

Di fatto negli Stati Uniti molte idee per le applicazioni tecnologiche nel mondo commerciale affondano le loro origini nelle ricerche sviluppate dalle industrie belliche ed aerospaziali.

Un esempio in tal senso è il programma FCS (*Future Combat Systems*).

Il FCS consiste di una rete distribuita composta da agenti adattivi (alcuni agenti sono i soldati, altri sono robot, armati e non, altri software di supporto) collegati fra loro, che agiscono come una forza di combattimento unificata. In tal modo il Pentagono spera di creare un insieme stratificato di sistemi difensivi per massimizzare le capacità di sopravvivenza dei propri soldati. Il DARPA (*Defence Advanced Research Projects Agency*) ha già speso 15 miliardi di dollari e prevede di finanziare i progetti FCS con 150 miliardi di dollari.



Tab. 8 - Sviluppo previsto per le capacità dei robot mobili nei programmi FCS
(World robotics 2004)

Il programma FCS, iniziato nel 2002, dovrebbe produrre i primi dimostratori entro il 2010 ed i prototipi finali con applicazioni e ricadute industriali in vaste aree entro il 2014.

Un tale modello, per cui le applicazioni si muovono dalle industrie aerospaziali e della difesa ad applicazioni commerciali, ed eventualmente anche ad applicazioni relativamente poco costose alla portata del singolo consumatore, prevede che i tempi che intercorrono tra la nascita dell'idea nei laboratori di ricerca e lo sviluppo finale del prodotto industriale a basso costo siano dell'ordine di circa 20 anni. Nel grafico della tabella 8 viene mostrato il planning previsto dal Pentagono, nei progetti FCS, per lo sviluppo delle capacità relative ai robot mobili.

Di fatto le cose sono andate ben diversamente, e l'intervallo di tempo previsto si è drasticamente accorciato. Infatti i primi robot commerciali mobili sono apparsi sul mercato al consumo con solo un paio di anni di ritardo, con ricadute economicamente interessanti per i progetti FCS, potendo sostituire i costosi componenti proprietari con applicazioni di mercato a basso costo.

Il *Metodo Misto Industriale*, che viene usato in Giappone e Corea del Sud, si basa sulla seguente idea: *le linee guida della ricerca, della commercializzazione futura e dello sviluppo industriale vengono programmate a livello centrale.*

Infatti in queste due nazioni sono presenti massicci finanziamenti pubblici su programmi di ricerca voluti dai governi, che sono il volano di base per le ricerche avanzate, con ampie e diffuse ricadute commerciali.

Departement	\$M
Ministry of Economics, Trade and Industry	31,3
Ministry of Telecommunications	7,3
Ministry of Health, Labor and Welfare	7
Ministry of Land, Infrastructure and Transportation	1,5
Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries	7
Ministry of Education	29
Total	83,1

Tab. 9 - Finanziamenti del governo giapponese nel 2004 [2.1]

Come esempio, nella tabella 9 vengono riportati i finanziamenti governativi del Giappone relativi al 2004.

Una debolezza intrinseca dell'industria coreana è data dalla difficoltà nella commercializzazione dei prodotti. Il Ministero del Commercio, Industria ed Energia (MOCIE) sta provvedendo a sviluppare un'opportuna politica di sostegno industriale per colmare il gap rispetto agli altri Paesi.

Il *Metodo Frazionato* che si usa nell'Unione Europea (UE) è dovuto alle vicissitudini politiche, economiche e storiche del nostro continente e si basa sulla seguente idea: *le linee guida della ricerca vengono portate avanti dai centri di ricerca secondo visioni nazionali, lo sviluppo della commercializzazione futura è di stretta competenza industriale.*

Ovviamente, una tale politica risulta più debole nei confronti dei due altri metodi, sia nel lungo sia nel medio periodo, anche a causa della frammentazione dei vari soggetti operanti nel campo della robotica dovuta alla massiccia presenza di Piccole e Medie Imprese (PMI).

Proprio per ovviare a ciò l'UE ha compiuto in questi ultimi anni uno sforzo progressivo verso l'armonizzazione e la razionalizzazione della ricerca e sviluppo nella robotica con l'istituzione di EURON (European Robotics Network) ed EUROP (European Robotics Platform), due gruppi europei costituiti allo scopo di individuare le macrostrategie continentali in modo tale che i fondi europei per la ricerca possano essere sfruttati al meglio, evitando inutili doppioni e attività senza una chiara finalizzazione strategica.

Infine, per tener conto del contributo delle PMI, l'UE ha finanziato, nell'ambito del VI programma quadro, il progetto SMErobot che è un'iniziativa europea finalizzata a rafforzare la competitività delle PMI nell'attività produttiva.

3.2 Analisi della situazione mondiale

Di seguito, sono elencati per ognuna delle nazioni leader i principali settori di sviluppo e alcuni esempi di “eccellenza”.

3.2.1 Il Giappone

Il Giappone è certamente la prima potenza mondiale nel campo della robotica non militare.

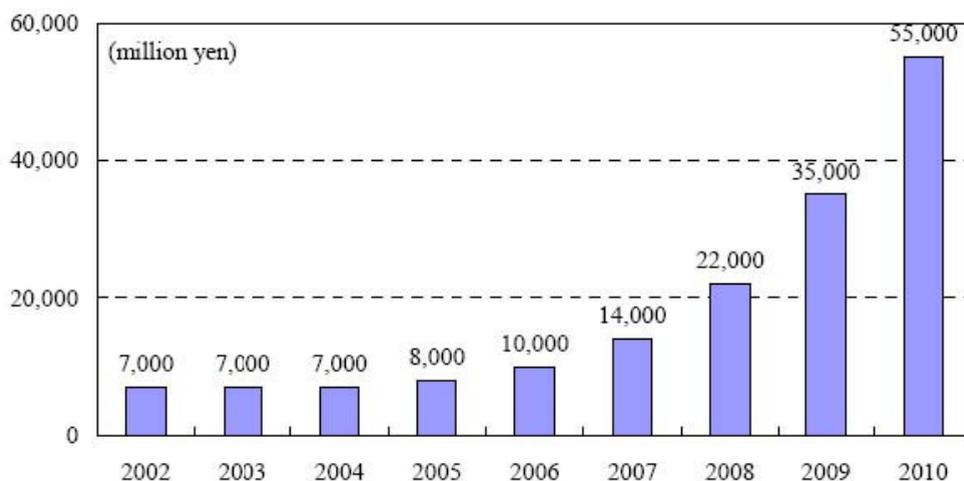
Riguardo ai robot industriali, usati per la maggior parte nelle industrie automobilistica, elettrica e dei beni elettronici, il mercato asiatico è in forte crescita ed il Giappone, oltre ad essere il più importante fornitore di software, hardware ed equipaggiamenti periferici, è al contempo anche il più grande mercato.

Sul versante industriale, la società FANUC è la più grande produttrice di robot industriali al mondo, con una produzione che si estende dalle eccezionali macchine a controllo numerico (*CNC, Computerized Numerically Controlled*) con una risoluzione cartesiana di $10^{-9} m$ ed una risoluzione angolare di 10^{-5} gradi, fino ai robot con *payloads* di 405 kg e precisione di ripetibilità di 0,5 mm. La FANUC occupa il 17% del mercato nazionale giapponese, il 16% di quello europeo ed il 20% del mercato nord americano. Di fatto si tratta di una multinazionale con casa madre in Giappone e società affiliate in tutti e cinque i continenti che formano un network di più di 30 consociate, con competenze che si estendono anche a molti rami della meccatronica. Le industrie che seguono la FANUC a livello mondiale sono ancora giapponesi, e sono la Kawasaki e la Yasakawa.

La ricerca in robotica è molto attiva in tutti i campi, specialmente nel campo dei robot umanoidi ed in quello dell'interazione uomo-robot, ed è sostenuta principalmente dal MEXT (Ministero della Educazione, Cultura, Sport e Tecnologia), dal METI (Ministero dell'Economia e dell'Industria) e dal Ministero dell'interno, Poste e Telecomunicazioni.

Il governo, infatti, è attivo nel promuovere e finanziare diversi programmi nazionali con lo scopo dichiarato di sviluppare sempre di più non solo la robotica, ma anche l'attività industriale connessa ed indotta.

Un importante e recente studio commissionato dal JETRO (*Japan External Trade Organization*) alla Fuji-Keizaki Co. Ltd. sui trend nell'industria robotica giapponese ci informa che l'industria nipponica si sta sempre più indirizzando verso i robot interattivi, il cui mercato è previsto in crescita costante, come mostrato nella figura 16.



Source: Fuji-Keizai Co., Ltd.

Fig. 16 - Previsioni di espansione del mercato dei robot interattivi [3.2]

Il METI ha promosso e finanziato in proprio, in questi anni, diversi programmi di Research and Development (R&D). Tra questi, si citano:

✓ Robot di nuova generazione (Progetto FY04-FY05)

Sono stati offerti finanziamenti del 50% per attività di R&D per i robot della nuova generazione a qualificate industrie giapponesi; le ricerche sono state portate a termine in Giappone ed i robot ottenuti come risultato (robot pulitori, di sicurezza ed altri sistemi promettenti) sono stati presentati alla Esposizione mondiale del 2005.

✓ Robot chirurgici e per terapie (Progetto FY05-FY07)

Ospedali, pubbliche istituzioni ed industrie robotiche stanno lavorando di comune accordo per lo sviluppo di questi robot medici e/o medicali.

✓ Basi comuni per la nuova generazione (Progetto FY2005 -FY2007)

L'idea di base è usare i risultati delle ricerche precedenti per gettare le basi di un robot modulare capace di applicazioni molteplici, in campi diversi, con pochissimi aggiustamenti.

Anche altri ministeri si sono interessati per incentivare e sviluppare ricerche nel campo della robotica avanzata; nella successiva tabella 10 vengono indicati tali ministeri e i settori di R&D che hanno promosso.

Organization	Research and development
Ministry of Internal Affairs and Communications	Robot network technology
Fire and Disaster Management Agency	Robots to assist during fires and disasters
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology	Cognitive computers and rescue robots
Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries	Robotic pickers for fruit and vegetables
Ministry of Land Infrastructure and Transport	IT-controlled systems

Tab. 10 - Ministeri giapponesi e settori di R&D incentivati [3.2]

Tra gli sviluppi più singolari si citano i seguenti:

- a) L'AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) ha realizzato *PARO*, un robot con le sembianze di un cucciolo di foca artica, utilizzato prevalentemente in ambito terapeutico e riabilitativo, soprattutto per bambini affetti da sindrome autistica e per soggetti con problemi nella sfera relazionale.
- b) la Tsukuba University ha prodotto HAL (Hybrid Assistive Limb), che di fatto rappresenta il primo sistema mondiale che connette il corpo umano al robot, e che si muove come l'indossatore desidera. HAL lavora in modo così analogo al sistema neurologico e muscolo-scheletrico dell'indossatore che di fatto può considerarsi un'estensione del corpo umano. Le varie parti del corpo si muovono dopo che il cervello ha inviato un comando al motoneurone e quindi al muscolo. Questi comandi sono minuscoli segnali bioelettrici che possono essere individuati attraverso la pelle. HAL cattura questi segnali e li traduce in comandi, che invia automaticamente alle sue articolazioni. Il "vestito" robotico è una specie di esoscheletro che fornisce la forza extra di cui si necessita per sollevare un peso che altrimenti non si potrebbe sollevare. Lo sviluppo di HAL iniziò intorno al 1992, partendo dalle ricerche di base sul sistema nervoso, con lo scopo di misurare i segnali bioelettrici inviati dal sistema nervoso. HAL può aiutare handicappati, far fare lavori fisici pesanti, e può essere usato in operazioni di soccorso.

Nella figura 17 vengono mostrati due HAL indossati.



Fig. 17 - Il robot HAL indossato

3.2.2 La Corea del Sud

In Corea del Sud le ricerche robotiche sono stimolate da massicci investimenti governativi di tre ministeri: MIC (Ministero dell'Informazione e della Comunicazione), MOCIE (Ministero del Commercio, Industria ed Energia), e MOST (Ministero della Scienza e Tecnologia).

Tali investimenti riguardano lo sviluppo di robot manifatturieri industriali avanzati e di robot di servizio casalingo richiesti dal MOCIE e di trasporti intelligenti basati su robot di servizio richiesti dal MIC. A questi si deve aggiungere il progetto di robot intelligente di supporto alla vita quotidiana dell'uomo, voluto e sostenuto dal MOST.

In Corea è stata creata la "Società accademica per l'ingegneria robotica" che ha acquisito un ruolo centralissimo nella comunità robotica coreana. L'accademia ha, tra l'altro, il compito di promuovere la diffusione della conoscenza robotica e di organizzare competizioni robotiche che hanno lo scopo di creare e stimolare il mercato dei robot e la condivisione nazionale delle tecnologie. Essa è attiva, in particolare, nell'incoraggiare ricerche di robot di servizio presso le università ed altre istituzioni.

Il mercato coreano dei robot di servizio è incentrato sui giocattoli, sulle competizioni e sul campo educativo.

Tra le molte iniziative in corso, se ne citano due: il progetto *Intelligent robots for human daily life support project* e lo sviluppo di una piattaforma di *Ubiquitous Robotic Service* [3.3].

Il progetto *Intelligent robots for human daily life support project*, individuato dal piano nazionale di sviluppo, con una durata di dieci anni e un finanziamento governativo di circa 11 milioni di dollari, ha due obiettivi: sviluppare "intelligenza" nei robot per comunicare con gli esseri umani e sviluppare una tecnologia robotica di supporto alla vita quotidiana della popolazione anziana.

Le piattaforme individuate sono quattro: "*Silver Mate*", "*Silver Walker*", "*Silver Care*" e "*Intelligence Chips in the form of System on Chips (SoC)*".

La piattaforma *Silver Mate* è tesa all'assistenza della popolazione anziana nella vita quotidiana nell'ambiente domestico, in particolare al miglioramento delle facoltà percettive dell'anziano, alla psicoterapia e alla esecuzione di compiti semplici come portare oggetti o libri, informare sulle notizie e conversare.

La *Silver Walker* aiuterà gli anziani nella locomozione allenandoli e sostenendo i loro muscoli indeboliti; nella versione finale sarà indossabile dall'anziano per migliorare sia il suo equilibrio muscolare che le percezioni spaziali.

La piattaforma *Silver Care* ha come scopo il monitoraggio della salute dell'anziano, anche in remoto, con la possibilità di allarme in caso di necessità.

Nel progetto *Intelligence Chips in the form of System on Chips (SoC)*, i risultati dei precedenti progetti, costruiti per lo specifico sistema robotico, saranno categorizzati e modularizzati in modo da ottenere un pacchetto, System on Chips, applicabile ad un qualsiasi generico robot o ad una macchina intelligente.

In questi mesi è partita l'attesa sperimentazione dei robot URC (*Ubiquitous Robotic Companion*), pensati per svolgere mansioni di maggiordomo ed assistente domestico.

Questi sofisticati robot multifunzione sono stati ideati per essere sempre connessi, con dispositivi wireless, ad un unico server nazionale. Il primo test ufficiale degli URC verrà condotto grazie al supporto dell'operatore nazionale Korea Telecom, che fornirà la connettività necessaria al funzionamento degli automi. I robot, dotati di interfaccia vocale e di touch-screen integrato per facilitarne la programmazione, sono equipaggiati di applicativi per l'uso in ambito domestico.

A detta degli esperti impegnati nel settore, gli automi sono in grado di leggere una favola ai bambini, ordinare cibo da asporto e tenere compagnia agli anziani; attraverso la connessione costante ad Internet, gli URC potranno scaricare nuovi applicativi ogni giorno innescando un ciclo di miglioramento continuo.

Il governo prevede di installare alcuni modelli di URC nei maggiori aeroporti, nelle stazioni ferroviarie ed in alcuni uffici pubblici. I portavoce del governo hanno dichiarato che gli URC possono essere programmati per fornire informazioni, sorvegliare determinate zone pubbliche ed insegnare inglese agli studenti delle scuole medie.

3.2.3 Gli Stati Uniti

In ambito industriale gli USA ricorrono in larga misura alla produzione giapponese ed europea. Allo stato attuale una sola ditta americana, l'ADEPT, costruisce robot industriali, e un gruppo di piccole compagnie nel New England è specializzato in robot di servizio con tecnologie d'avanguardia.

A titolo di esempio, nella figura 18 viene mostrato l'*ADEPT Quattro*, un nuovo robot parallelo della ADEPT.

ADEPT Quattro è stato disegnato specificamente per la produzione ad alta velocità, per l'assemblaggio, il confezionamento ed il maneggio dei materiali. È l'unico robot al mondo che presenta una progettazione a quattro bracci che possa raggiungere sia la massima velocità che la massima accelerazione nel corso dei suoi compiti, con grande facilità d'installazione e massima flessibilità nei compiti esecutivi.



Fig. 18 - Robot parallelo "Adept Quattro"

La ricerca, invece, si sviluppa su molti fronti, nei centri accademici, in quelli governativi, e nei settori privati. Anche i fondi hanno origine diversa, sia governativa, sia dai settori privati industriali o da fondazioni.

Nel settore militare, il DARPA (*Defense Advanced Research Program Agency*) e altre agenzie governative analoghe hanno ricevuto un incremento di fondi ed in tale ambito sembrano trovare spazio molte nuove ricerche robotiche con specifici fini applicativi, che possono poi essere esportate in settori civili; in particolare, come è stato accennato nel paragrafo sul confronto tra le politiche di ricerca robotica, gli USA hanno impostato tutta la ricerca robotica avanzata nell'ambito del programma militare FCS (*Future Combat System*), promosso per l'appunto dal DARPA.

Proprio nell'ambito di questo programma un campo in grande espansione è quello dei sistemi armati e non; in questo settore la iRobot Corp. ha avuto un contratto da 32 milioni di dollari per lo sviluppo dei SUGV (*Small Unmanned Ground Vehicle*).

Inoltre, il governo finanzierà per circa 1,7 miliardi di dollari fra il 2006 ed il 2012 un consorzio di 160 compagnie, università e laboratori governativi per lo sviluppo di robot militari.

Tra i tanti robot destinati al settore militare, uno degli ultimi nati è *FIDO*, un robot che "sniffa" le bombe, il cui impiego è particolarmente utile se si tiene conto del fatto che il 70% delle perdite umane è causato da bombe poste sul ciglio stradale. *FIDO*, prodotto al *GEM City Engineering and Manufacturing*, rappresenta un miglioramento notevole nei confronti dei robot cercamine fin qui progettati e prodotti. Il sistema è comandato in remoto ed il nuovo robot ha un braccio manipolatore equipaggiato con un sensore che esamina il veicolo o la zona sospetta ed è in grado di disarmare l'ordigno.

Nella futuristica visione delle necessità belliche il Dipartimento della Difesa, attraverso il DARPA, ha lanciato una richiesta di proposte innovative per lo sviluppo di "Robot Chimici" (*ChemBots*) fatti di materiale soffice. I ChemBot, che rappresentano la convergenza della chimica dei materiali soffici e della robotica, dovrebbero costituire una classe di robot soffici a livello di mesoscala, tali da potersi assottigliare e modellare per passare attraverso fessure più piccole delle proprie dimensioni statiche per poi ricostituirsi e svolgere il compito militare. Forniti di un sensore tattile locale, devono mantenere integro il proprio carico e, autonomi o telecomandati, debbono prevedere un basso consumo energetico e la capacità di operare in condizioni difficili tipiche degli ambienti di guerra.

Nel settore civile la crescita dei fondi di ricerca ha subito un decremento negli ultimi anni. Come esempio per tutti basti pensare che, sebbene una legge del parlamento centrale del 2003 preveda un raddoppio dei fondi della NSF (*National Science Foundation*) entro cinque anni, l'effettiva erogazione dei finanziamenti è decisamente inferiore al previsto.

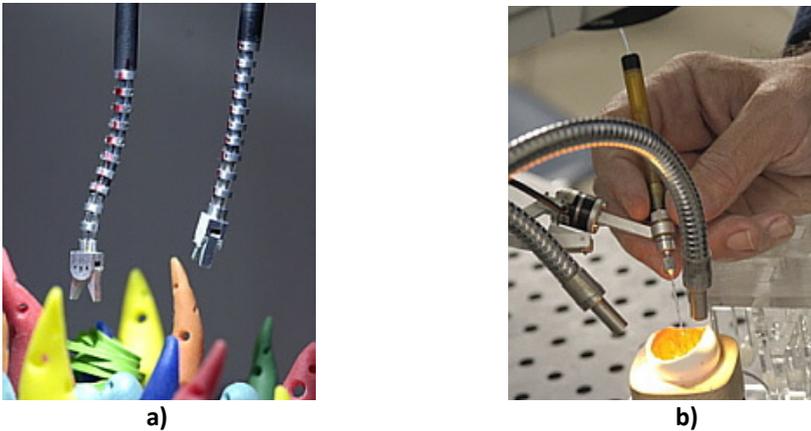
Per quanto riguarda lo sviluppo di progetti innovativi, gli Stati Uniti di fatto hanno una posizione di rilievo negli stessi campi applicativi degli altri leader mondiali.

Come esempi significativi si citano alcuni recenti sviluppi nel campo biomedicale.

Nel settore della chirurgia è stato presentato un nuovo robot *PENELOPE SIS* (*Surgical Instrument Server*), sviluppato dal Robotic Surgical Tech, Inc. (RST) di New York, che usa una tecnologia innovativa per assistere un team chirurgico, per identificare gli strumenti chirurgici, porgerli al team e riporli dopo l'uso.

Un altro centro importantissimo per la ricerca sulla robotica medica è la Johns Hopkins University di Baltimora, con il connesso Johns Hopkins Hospital. Attualmente in esso si stanno sperimentando e mettendo a punto due interessanti robot medici: un robot serpentiforme di metallo non magnetizzabile, con sei gradi di libertà e la possibilità di muoversi anche ad “S”, sviluppato ed usato per le operazioni alla gola, e un altro sofisticato robot che, in aiuto al chirurgo, evita che la sua mano possa avere tremori naturali, dannosi in microchirurgia, ed è così abile da essere usato per iniettare farmaci opportuni nei capillari dell’occhio.

Nella figura 19 sono mostrati questi due nuovi tipi di robot a sostegno della chirurgia di precisione.



**Fig. 19 - a) Robot serpentiforme per operazioni alla gola
b) Robot ferma tremori [3.4]**

Infine, i ricercatori del Robotics Institute di Pittsburgh hanno creato *Heart-lander*, un microrobot in grado di piazzarsi sulla superficie del cuore, spostarsi nella direzione voluta seguendo ordini dall’esterno, e compiere le operazioni necessarie (iniettare farmaci localmente, fare una biopsia, collocare elettrodi che correggono il ritmo cardiaco, favorire l’ossigenazione in un’arteria ostruita).

Il robot, in grado di muoversi come se fosse un bruco, viene inserito dentro al pericardio tramite un primo taglio allo sterno e un secondo taglio al pericardio, la membrana che avvolge e protegge il cuore. I piedi del robot applicano una leggera suzione per fare presa sulla superficie del cuore, e il medico guida il loro movimento con un joystick, aiutato da diversi strumenti per determinare esattamente la loro posizione, come una videocamera in miniatura posta sul robot, sensori magnetici e immagini a raggi X.

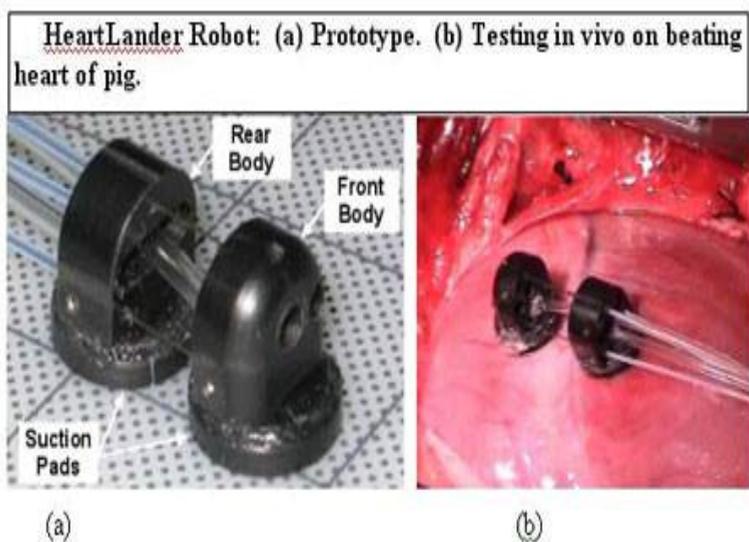


Fig. 20 - Il microrobot Heartlander [3.5]

I vantaggi di questo sistema innovativo rispetto ad altri già in uso sono vari. Al momento, le operazioni meno invasive vengono eseguite con dei robot multibraccia, usando piccole incisioni fra le costole per arrivare con gli strumenti al cuore. Purtroppo, per poter lavorare in questo modo bisogna prima sgonfiare uno dei due polmoni.

Con *Heartlander*, invece, basta un taglio di 2 cm sotto lo sterno per raggiungere qualsiasi punto sul cuore, incluso il lato posteriore che rimane problematico con i metodi esistenti.

Inoltre non bisogna sgonfiare i polmoni, e non bisogna compensare il ritmo cardiaco, visto che il robot si muove insieme al cuore mentre batte. Infine, è piccolo, leggero, economico, e “usa e getta”. Gli esperimenti eseguiti fino ad ora dagli scienziati americani hanno confermato, sul cuore di un maiale anestetizzato, l'adattamento alle curvature fisiologiche del cuore e la possibilità di iniettare sostanze e di impiantare dei pacemaker. Si ritiene che il robot mostrerà la sua utilità non solo per la chirurgia e le terapie già esistenti, ma anche per terapie innovative, come l'iniezione di geni codificanti fattori di crescita o il trapianto di cellule staminali per la rigenerazione di tessuto danneggiato.

Un altro campo di grande interesse per gli Stati Uniti è quello della robotica spaziale. I robot spaziali vengono generalmente impiegati per attività di esplorazione, ricerca e controllo, ma anche di assemblaggio, costruzione e manutenzione di apparecchiature nello spazio; la loro importanza risiede nel fatto che possono operare in situazioni che sarebbero troppo rischiose per gli uomini con un minor costo e, a volte, migliori prestazioni.

Anche se gli investimenti per la robotica spaziale a livello mondiale sono stati notevolmente ridotti negli ultimi dieci anni rispetto al decennio precedente, in USA sono ancora attivi diversi programmi di ricerca.

Dal 2004, infatti, la NASA si sta orientando su obiettivi di lungo termine nell'esplorazione dello spazio al fine di portare esseri umani su Marte, utilizzando come base di lancio la Luna, entro il 2020. Un'importante tappa di questo ambizioso percorso è la preparazione di una missione di soli robot entro il 2008 per preparare l'esplorazione umana successiva.

3.2.4 L'Europa

L'Unione Europea allo stato attuale della situazione mondiale rappresenta una interessante situazione in pieno sviluppo sia come mercato che come ricerca.

Di fatto, nella nuova Unione a 25 si sono aperte nuove potenzialità di mercato interno e quindi di espansione della robotica, cosicché l'Europa vista nel suo insieme appare saldamente al secondo posto dopo il Giappone nella graduatoria mondiale dei paesi leader nel settore.

Come accennato precedentemente, l'Europa ha una leadership riconosciuta nell'ambito della robotica industriale, dei veicoli robotici in ambienti strutturati, ivi incluso il trasporto urbano, e dei veicoli sottomarini, e ha promosso significativi programmi di sviluppo negli ambiti della robotica biomedicale e dei robot personali.

L'Europa ha certamente raggiunto una posizione leader nel mondo sia nella produzione che nell'uso dei robot con un volume annuale di vendite di circa 3,5 miliardi di euro, che corrisponde al 33% del mercato mondiale. Se a questo si aggiungono i sistemi di automazione robotici e i relativi servizi, il fatturato annuale supera i 13 miliardi di euro, con un trend di crescita del 7% annuo.

In Europa le industrie robotiche ed il loro indotto contano circa 225 compagnie; tra le industrie più importanti si citano la svedese ABB (*Asea Brown Boveri*) e la tedesca KUKA Robotics.

Come esempio, si possono riportare i dati riguardanti la ABB, la cui produzione è per oltre il 50% indirizzata ai robot industriali; del suo fatturato medio annuo di 1,5 miliardi di euro il 5% viene reinvestito in R&D con centri di ricerca in tutto il mondo.

Si è già detto che uno dei limiti riconosciuti nell'ambito della robotica industriale è stato lo sviluppo di tecnologie costose e complesse, utilizzabili solo in contesti industriali con grandi volumi di prodotti ma difficilmente inseribili all'interno delle PMI, che pure rappresentano una larga percentuale del tessuto industriale europeo. Un altro aspetto di criticità è la mancanza di flessibilità dei robot industriali con conseguente "rigidità" nei compiti assegnati al robot e impossibilità di collaborazione con gli esseri umani in un ambiente di lavoro non automatizzato.

Altre limitazioni “storiche” sono legate alla eccessiva frammentazione degli sforzi nello sviluppo della robotica, alla difficoltà di trasferire innovazioni tecnologiche maturate in ambiti accademici e di ricerca alle realtà industriali. Per mantenere e accrescere i livelli di competitività europei e rispondere alle nuove sfide tecnologiche, sociali ed economiche l’Europa ha recentemente sviluppato nuove iniziative nel settore dell’automazione.

In particolare, nel periodo 1999-2002, nell’ambito del V Programma Quadro, relativamente all’area tematica IST (*Information Society Technologies*), l’Unione Europea ha finanziato circa 50 progetti di ricerca finalizzati a rafforzare il know-how scientifico e la base industriale e tecnologica della robotica europea. Uno degli scopi è stato quello di incrementare l’integrazione tra i paesi dell’unione; altro scopo era quello di incoraggiare l’industria ad innovare per accrescere la competitività generale. Tra questi progetti si possono trovare progetti di tipo generalistico, basati sulle aree ben note: Interfaccia uomo-macchina, Percezione multi-sensoriale, Sistemi di navigazione, Piattaforme real-time, Micro e nano robotica. Sono stati avviati due progetti a lunghissimo termine, connessi a due aree di ricerca molto avanzate come la neuro-informatica e i sistemi a percezione di tipo biologico-vivente.

Anche nell’ambito del VI Programma Quadro, sono fiorite diverse iniziative; di seguito se ne citano alcune particolarmente rilevanti.

È stata lanciata l’iniziativa *SMErobot “The European robot initiative for strengthening the competitiveness of SMEs in manufacturing”* per favorire un inserimento nel circuito degli sviluppi della robotica delle realtà industriali medio-piccole. Questo progetto rappresenta la maggiore iniziativa nel campo delle tecnologie e applicazioni, in cui i maggiori fornitori di robot, industrie di Information Technology (IT) e istituti universitari e di ricerca sono riuniti con l’obiettivo di creare un nuovo tipo di robot che divenga un bene di largo impiego nell’ambito delle PMI.

È stato costituito EURON (*European Robotic Research Network*) nell’ambito dell’iniziativa *Beyond robotics*. EURON coinvolge oltre 190 gruppi europei di 28 nazioni e nasce dall’esigenza di integrare e coordinare le attività di R&D, di integrare competenze accademiche e industriali nel settore, di stabilire una continua interazione con le industrie per consentire loro di avere accesso ai risultati delle ricerche per ampliare i settori di intervento dell’industria robotica, fino ad oggi concentrati prevalentemente nel settore manifatturiero. In questo senso tale consorzio nasce all’interno dell’iniziativa *“Beyond robotics”*, dove con il termine *“beyond”* ci si riferisce per l’appunto a ricerche e sviluppi che oltrepassano gli storici ambiti industriali. In particolare, sul tema della robotica industriale EURON ha prodotto un documento [3.6] in cui rappresenta sinteticamente la situazione corrente, le opportunità e gli ostacoli alla competitività dell’industria robotica, i nuovi ambiti industriali in cui si prevede un’espansione della robotica e la conseguente formulazione di una

visione di lungo termine per la robotica industriale. In particolare lo sviluppo previsto si dovrebbe collocare lungo diverse direttrici, di cui si riportano alcuni esempi:

- ✓ robot assistenti per l'esecuzione cooperativa di compiti, in cui il robot si configura come un assistente versatile del lavoratore in un ambiente di lavoro manuale;
- ✓ robot assistenti per attività artigianali, che consentono all'artigiano di avvalersi in modo flessibile del robot per particolari operazioni;
- ✓ cooperazione di molti robot che condividono il medesimo spazio di lavoro e sono sincronizzati per l'esecuzione di un compito complesso;
- ✓ robot di grande portata per compiti di manipolazione, saldatura, ispezione ecc. per oggetti di grandi dimensioni;
- ✓ mini e micro robot per compiti che richiedono esecuzione di particolari compiti con elevata precisione.

I futuri robot industriali dovrebbero, quindi, essere dotati delle seguenti caratteristiche:

- ✓ mobilità (possibilmente con capacità autonoma di navigazione);
- ✓ cinematica sicura per assicurare un'interazione priva di rischio per gli esseri umani;
- ✓ capacità di comprendere le istruzioni impartite dagli esseri umani, in modalità "human-like";
- ✓ coordinazione con altri robot per compiti cooperativi complessi;
- ✓ compatibilità con i componenti di automazione commerciali (secondo la politica del "plug and play", che consente di abbattere i costi della realizzazione);
- ✓ facilità di integrazione con infrastrutture IT commerciali;
- ✓ capacità sensoriali sufficienti ad identificare gli oggetti e controllare le forze di pressione e di rotazione;
- ✓ possibilità di acquisire nuove capacità e ottimizzarle durante l'esecuzione dei lavori;
- ✓ costi contenuti di realizzazione.

Nell'ottobre del 2005 è stata costituita la piattaforma EUROP (*European Robotic Platform*), come parte dell'iniziativa *i2010: la società dell'informazione e i media al servizio della crescita e dell'occupazione*, che mira ad incoraggiare la conoscenza e l'innovazione al fine di sostenere la crescita e promuovere la creazione di posti di lavoro più numerosi e di migliore qualità.

Il principale obiettivo di EUROP è quello di coniugare i programmi di ricerca industriali ed universitari, al fine di permettere alla potenzialità europea di esprimersi appieno nella competizione globale della robotica.

EUROP riunisce oltre 50 *stakeholder* europei attivi nel campo della robotica per formulare e realizzare una strategia europea consolidata in questo settore, e i suoi membri coprono i tre principali segmenti di mercato della robotica: industria, servizi e gli ambiti della sicurezza e dello spazio. Include imprese di grandi e medie dimensioni, aziende leader nella robotica industriale come KUKA, ABB, COMAU, fornitori di sistemi come Finmeccanica, e infine molte PMI high-tech che rappresentano il 70% dei partecipanti.

In particolare, si propone di portare avanti una visione sulla robotica realizzando un'agenda strategica che individua le priorità più rilevanti da un punto di vista industriale, di coordinare l'attuale frammentaria attività di ricerca del settore stabilendo una comunicazione tra i soggetti interessati e favorendo meccanismi di trasferimento di R&D tra industria e accademia, e infine di sviluppare e promuovere un programma educativo sulla robotica (maggiori informazioni su EUROP sono reperibili sul sito [3.7]).

Nella successiva tabella 11 vengono elencati i principali progetti nazionali nell'ambito della robotica industriale e alcuni rilevanti progetti finanziati dall'Unione Europea nell'ambito del V e del VI Programma Quadro (per l'elenco completo dei progetti si veda [3.8]).

Tra questi, oltre al già citato SMERobot, particolare rilevanza, nell'ambito della ricerca e sviluppo, assumono i cosiddetti "Integrated Projects (IP)": COGNIRON, I-SWARM, NEUROBOTICS, CoSy, Robot-Cub.

Si riportano di seguito i principali elementi che li caratterizzano [3.9]:

- ✓ COGNIRON: lo scopo è lo sviluppo di robot cognitivi aventi la funzione di robot "compagni" per gli esseri umani. Questi robot devono essere in grado di imparare nuovi compiti, e crescere nella costante interazione e cooperazione con gli esseri umani. Il robot non è considerato un "prodotto finito" ma una creatura in grado di evolvere, migliorando le proprie capacità in un processo continuo di acquisizione della conoscenza. Oltre alle ovvie funzioni di percezione, movimento e azione, il robot deve esibire capacità cognitive che gli consentano di focalizzare la propria attenzione, comprendere la struttura spaziale e dinamica dell'ambiente che lo circonda, e interagire con esso, essere in grado di esibire un comportamento sociale e comunicare con altri robot e con l'uomo con un appropriato livello di astrazione a seconda del contesto. Ciò implica lo sviluppo di metodi e tecnologie per la realizzazione di robot cognitivi in grado di far evolvere e accrescere le proprie capacità. Il progetto, coordinato dal *Politecnico di Losanna*, ha durata triennale.

- ✓ I-SWARM: lo scopo è quello di produrre un avanzamento nella ricerca in ambito robotico, combinando le esperienze nel campo della microrobotica, dei sistemi distribuiti adattativi, dei sistemi biologici auto-organizzanti. Il progetto intende creare il substrato tecnologico necessario per facilitare la produzione di massa di microrobot, che possono essere impiegati come uno "sciame" di robot cooperanti comprendente fino a 1000 robot dotati di una limitata "intelligenza". Lo sciame consisterà di robot eterogenei che differiscono per i tipi di sensori, manipolatori e potenza computazionale. Un tale "swarm" robotico è progettato per svolgere diversi compiti nel settore del microassemblaggio e delle applicazioni bio-mediche. Il progetto, coordinato dall'*Università di Karlsruhe*, ha durata quadriennale.
- ✓ NEUROBOTICS: lo scopo è quello di produrre un avanzamento nella ricerca in ambito robotico, attraverso un approccio interdisciplinare che mette insieme la robotica e le neuroscienze. In particolare, il progetto esplorerà l'area dei sistemi bionici ibridi (HBS). Il progetto, coordinato dalla *Scuola Superiore S. Anna di Pisa*, ha durata quinquennale.
- ✓ CoSY: lo scopo è di costruire un sistema fisico che può percepire, comprendere e interagire col proprio ambiente ed evolversi fino a raggiungere le prestazioni degli esseri umani in attività che richiedono conoscenza specifica del contesto e che dipendono dalla situazione e dal compito. I risultati scientifici attesi sono sia il miglioramento della comprensione dell'intelligenza biologica che il miglioramento del disegno dei sistemi di intelligenza artificiale. Il progetto, coordinato dal *Royal Institute of Technology (KTH) di Stoccolma*, ha durata quadriennale.
- ✓ Robot-Cub: lo scopo è costruire una piattaforma comune per ricerche focalizzate sullo sviluppo di sistemi cognitivi umanoidi per investigare la cognizione umana e l'interazione uomo-macchina, denominata Cognitive Universal Body (CUB). Il progetto, coordinato dall'*Università di Genova*, ha durata quinquennale.

Ulteriori approfondimenti su attività e iniziative in settori specifici (spaziale, industriale, di servizio) sono disponibili in [3.7].

Project Name	Ctry.	Project description	Duration
Some Current National Funded Projects			
SSF ProViking FlexAA	S	Flexible, accurate robot automation system for small series manufacturing (aerospace industry)	2004-2007
SSF ProViking SECD	S	Development of tools and methods for the design of industrial robots	2003-2008
SSF ProViking Virt. Verification	S	CAD-based tools for simulation of collaborating robots in flexible automation systems	2003-2008
Vinnova Robotdalen	S	Development of robot applications for small manufacturing companies	2003-2013
Vinnova ISIS Comp. Centre	S	Development of identification, control and diagnosis methods for industrial robots	1996-2006
PORTHOS	D	Intuitive programming, safety systems for portable industrial robot automation cells	2003-2006
PAPAS	D	<i>Plug & Play Drive and Control Concepts for the Manufacturing of Tomorrow</i> . Standardized Plug&Play for industrial communication	2003-2005
IRoProg	D	Improving robot programming to reduce time and costs. Intuitive, user-friendly offline-programming suite, automatic path planning based on CAD data, automated calibration	2003-2005
ASSISTOR	D	Assisting robots for safe human-robot interaction for mobile handling or space-sharing between man and machine	2003-2005
Some EU-Funded Projects in the 5th and 6th Framework Programme			
Eureka Factory E! 2657 M.O.D.	EU/ NMP	JIT molding production with advanced distributed information systems, new production processes, machine & real-time control	2002-2005
Eureka Factory E! 2791 FACTORY PAMELA	EU/ NMP	Breakthrough laser cutting system for thin metal sheet replacing standard punching techniques. Achievement of very high cutting speeds (up to 100 m/min) and advanced control concepts	2002-2006

NEUROBOTICS (IP)	IST/ FET	<i>The fusion of Neuroscience and Robotics for augmenting human capabilities. Alliance between neuroscience and robotics</i>	2004-2007
COGNIRON (IP)	IST/ FET	Perceptual, reasoning, learning capabilities of robots in human centered environments	2004-2007
NOMAD	EU	Development of a mobile welding system for manufacturing of large steel fabrications	2001Aug. 2004
EURON I, II (NoE)	IST/ FET	Coordination of research, teaching and education, academically collaboration, publications	2004-2007 2002-2005
CLAWAR (NoE)	NMIP	The purpose of CLAWAR is to investigate all aspects of technology and systems relating to mobile robotics	1998-2001 2002-2005
SMERobot (IP)	NMIP	The European robot initiative for strengthening the competitiveness of SMEs in manufacturing	2005-2008
CoSy (IP)	IST/	Cognitive Systems for Cognitive Assistants	2004-2007
RoboCUP (IP)	Cognit. Systems	Open-architecture technology for cognition, understanding, behaviours	2004-2008
JAST (IP)		Joint-Action Science and Technology	2004-2007
MACS (STREP)		Multi-sensory Autonomous Cognitive Systems Interacting with Dynamic Environments for Perceiving and Using Affordances	2004-2006
SPARK (STREP)		Spatial-temporal Patterns for Action-oriented perception in Roving robots	2004-2006
COSPAL (STREP)		Cognitive Systems using Perception-Action Learning	2004-2006
GNOSYS (STREP)		An Abstraction Architecture for Cognitive Agents	
MindRaces		From Reactive to Anticipatory Cognitive Embodied Systems	2004-2006

Tab. 11 - Principali progetti di ricerca e sviluppo in Europa [3.6]

Per quanto riguarda le attività di sviluppo condotte nell'ambito di programmi di singoli paesi dell'Unione Europea merita un cenno il robot RunBot (figura 21). Alto appena 30 centimetri, bipede, l'automa sviluppato da un gruppo di ricercatori tedeschi e scozzesi è il robot più veloce del mondo, capace di muoversi esattamente come un essere umano e di raggiungere una velocità di oltre un metro al secondo.



Fig. 21 - Il robo-corridore RunBot

Il robo-corridore sfrutta “un sistema assai semplice ma al contempo efficace” per muoversi “in maniera del tutto naturale”. Il segreto del movimento sta tutto “nell'imitare i meccanismi neurali degli esseri viventi”, hanno dichiarato i ricercatori, “attraverso l'uso di software che emulano i modelli di base dietro i riflessi muscolari”. L'apparato elettronico di RunBot utilizza un “circuitto neurale”, ricreato attraverso l'uso di speciali sensori. “RunBot si basa su un sistema neurale che regola l'oscillazione della gamba ed una sorta di riflesso naturale in grado di attivarsi quando un piede, durante la camminata, tocca terra: l'altro piede, apparentemente in modo automatico, si solleva e procede quasi automaticamente in avanti”.

Anche nella microrobotica medica l'Europa continua a conservare il suo posto di leadership internazionale, contendendo agli USA il primo posto.

Nella figura 22 è mostrato l'ultimo nato in Israele, un robot sottomarino che può viaggiare nei nostri vasi sanguigni guidato da campi magnetici. Questo progetto è stato sviluppato da Nir Schwalb del College of Judea and Samaria in Ariel e Oded Salomon del Dip.to di Ingegneria Meccanica del Technion-Israel Institute of Technology.

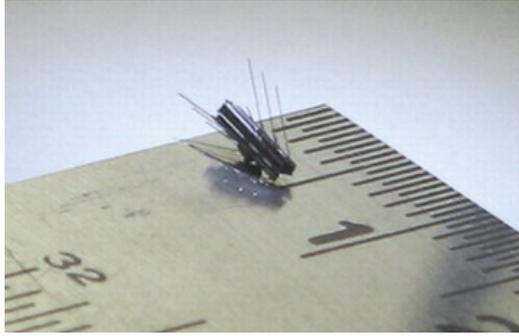


Fig. 22 - Microrobot medico diagnostico che naviga in vena

Anche nel campo della robotica spaziale l'Europa è molto attiva attraverso l'ESA. In particolare si cita il programma europeo AURORA, il cui obiettivo è implementare un piano a lungo termine per l'esplorazione umana e robotica del sistema solare, con particolare riferimento all'esplorazione di Marte, della Luna e degli asteroidi come primi obiettivi. Maggiori informazioni sono reperibili in [3.6].

3.3 Mercato della robotica e previsioni di investimento

Un interessante dato di previsione elaborato dalla Japanese Robotic Association (JRA), riportato nella figura 23, mostra l'andamento della dimensione potenziale del mercato mondiale della robotica suddiviso nei vari ambiti applicativi, dal quale si evince come il maggiore sviluppo economico sia atteso nell'ambito della robotica di servizio e dei robot personali, anche se la tradizionale robotica industriale manterrà una sua fetta di sviluppo.

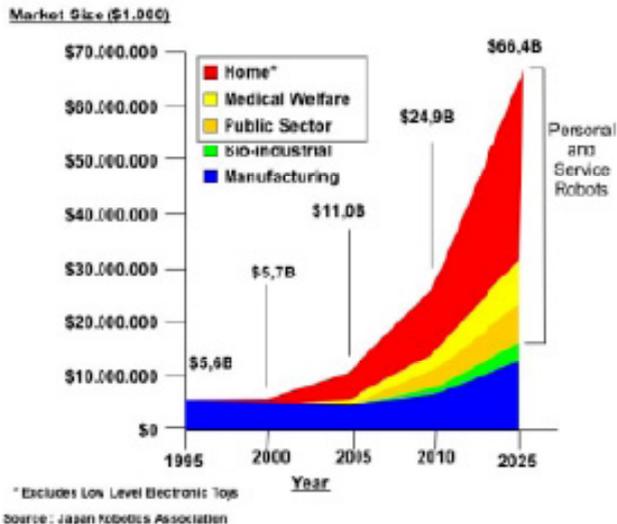


Fig. 23 - Crescita mondiale del mercato della robotica [3.10]

Istituti coreani hanno previsto che il volume del mercato mondiale dei robot intelligenti sarà entro il 2020 di circa 1000 miliardi di dollari, con oscillazioni tra le varie stime mondiali di alcuni istituti che passano da un minimo di 250 miliardi di dollari fino ad un massimo di 1500 miliardi di dollari nel 2020 e con tassi di crescita previsti tra il 2007 ed il 2020 di circa il 18% annuo.

3.3.1 Mercato della robotica industriale

Come viene messo in evidenza nel documento del 2006 “International Assessment on Research and Development in Robotics” elaborato dal WTEC (World Technology Evaluation Center) [2.2], anche se i primi robot industriali sono stati prodotti negli USA, oggi le aziende che producono robot industriali risiedono prevalentemente in Giappone e in Europa.

Inoltre l'Europa ha ormai raggiunto una posizione predominante non solo nella produzione, ma anche nell'uso di robot industriali, come viene riportato nel documento dell'IFR “World Robotics 2007” [3.11], da cui sono estratti i dati statistici presentati di seguito.

La Germania, con 186 robot industriali per 10.000 addetti, è la nazione con la maggiore densità di robot in Europa, seguita dall'Italia con 138 e dalla Svezia con 123; seguono la Finlandia con 101, la Francia con 92 e la Spagna con 79 robot per 10.000 addetti.

I valori per la Danimarca, l'Austria, il Benelux, la Svizzera e il Regno Unito variano tra 50 e 75, mentre in Norvegia la densità è di 33 e in Portogallo di 19; le altre nazioni dell'Europa centrale e dell'Est hanno densità ancora minori.

Sebbene la situazione in Europa sia molto diversificata, è interessante notare che la densità di robot industriali in Germania è circa il doppio di quella che si riscontra negli USA (99 robot per 10.000 addetti).

In Giappone e in Corea, invece, si rileva un'altissima densità di robot – rispettivamente 349 e 187 installazioni per 10.000 lavoratori – ma questi dati non sono confrontabili con quelli degli altri paesi, in quanto si riferiscono ad una diversa classificazione dei “robot” industriali.

Un altro dato di interesse è l'andamento del costo dei robot industriali: con il migliorare delle tecnologie, migliorano le prestazioni dei robot e contemporaneamente si abbassa il loro costo relativo.

Nella figura 24 viene mostrato l'andamento mondiale di questo trend. La curva in grigio mostra una graduale diminuzione dei costi rispetto al valore di riferimento del 1990; la curva in rosso riporta lo stesso andamento ma applicando un fattore correttivo che tiene conto del fatto che i robot installati di recente hanno prestazioni molto migliori di quelle dei robot installati nel 1990.

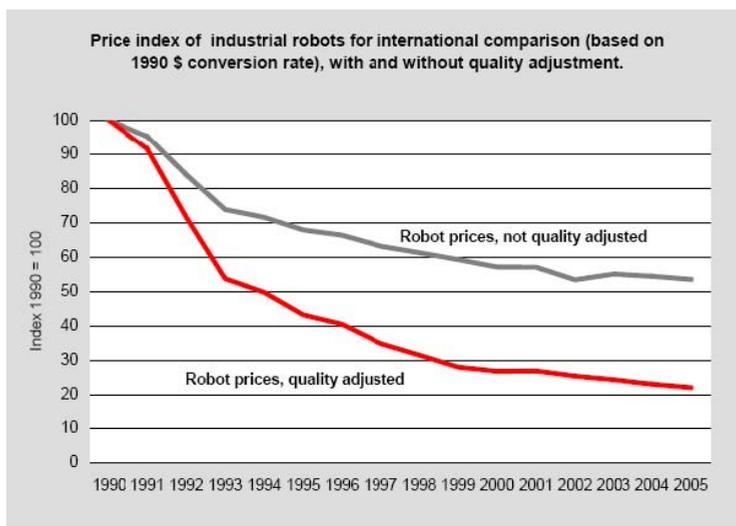


Fig. 24 - Andamento dei prezzi/prestazioni dei robot [3.12]

La figura 25 mostra invece l'andamento del mercato dei robot industriali nelle diverse regioni mondiali dal 1997 al 2006. Come si nota, nel 2006 il mercato mondiale ha mediamente presentato una diminuzione dell'11%, passando dai 126.700 robot industriali venduti nel 2005 ai 112.200 del 2006; la diminuzione è comunque concentrata in Asia e in America, a causa della diminuzione degli investimenti dopo il picco del 2005.

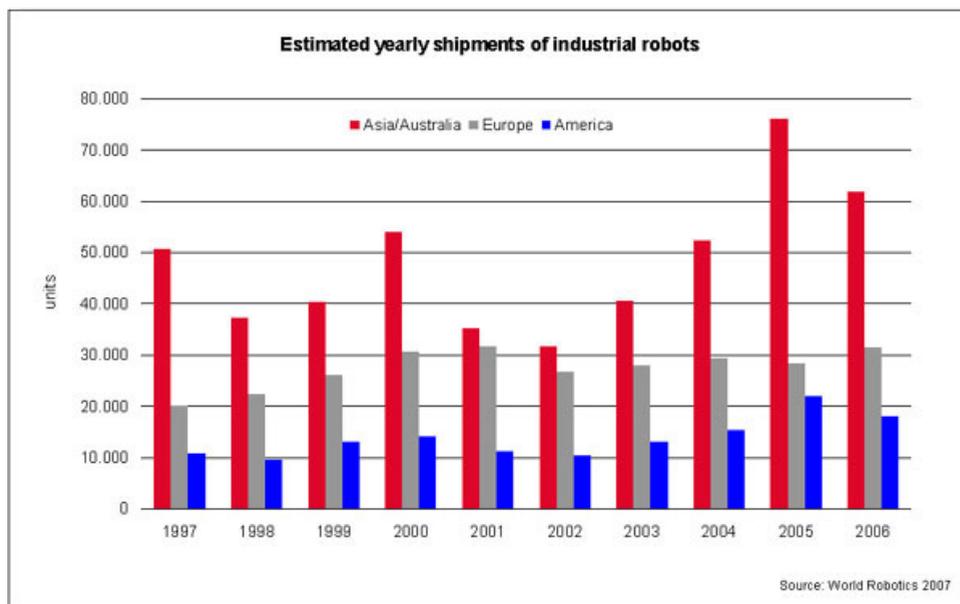


Fig. 25 - Andamento del mercato dei robot industriali [3.11]

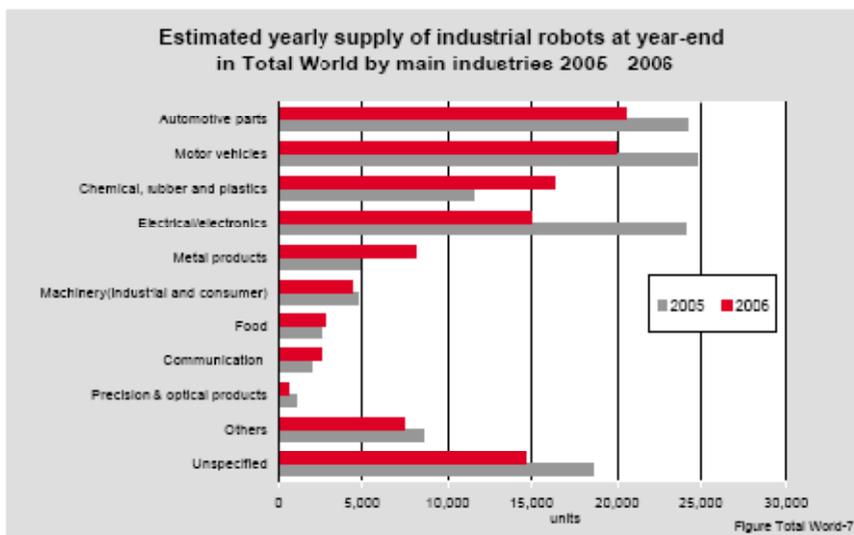


Fig. 26 - Vendite di robot per comparto industriale 2005-2006 [3.11]

Nella figura 26 sono riportati gli andamenti per settore.

Il documento citato fornisce anche delle stime relative al periodo 2007-2010: in particolare, si prevede che il mercato mondiale dei robot industriali passerà delle 112.200 unità del 2006 a 123.100 nel 2007, con una crescita del 10%, e che dal 2008 al 2010 raggiungerà le 139.300 unità, con una crescita media del 4,2% annuo.

In termini di unità, si stima che a livello mondiale lo stock di robot industriali crescerà da circa 951.000 unità alla fine del 2006 a 1.173.300 al termine del 2010, con una crescita media annuale del 5,5%.

I due grafici della figura 27 mostrano, rispettivamente, il numero totale dei robot industriali installati e l'incremento annuale per i mercati giapponese, americano, europeo e resto del mondo. L'Europa ha presentato invece un lieve recupero, dopo la crisi dell'anno precedente.

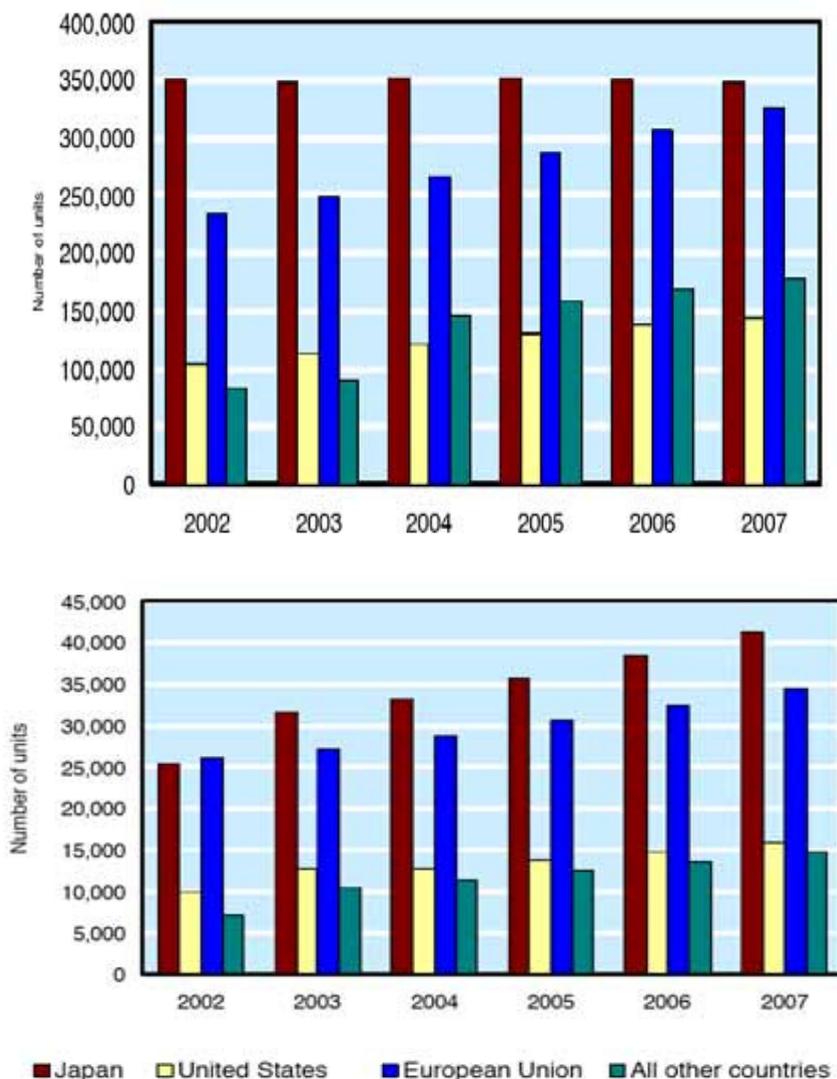


Fig. 27 - Grafico in alto: numero totale dei robot industriali; grafico in basso: incremento annuale dei robot industriali [2.2]

3.3.2 Mercato della robotica di servizio

Durante gli anni 80 e all'inizio degli anni 90 i miglioramenti nella tecnologia dei sensori, del controllo dei computer e dei servomeccanismi hanno portato a più di 200 applicazioni nel campo della robotica non manifatturiera, inclusi gli ambiti della terapia chirurgica, costruzioni, manutenzioni ed ispezioni, riabilitazione fisiatica e cura della casa.

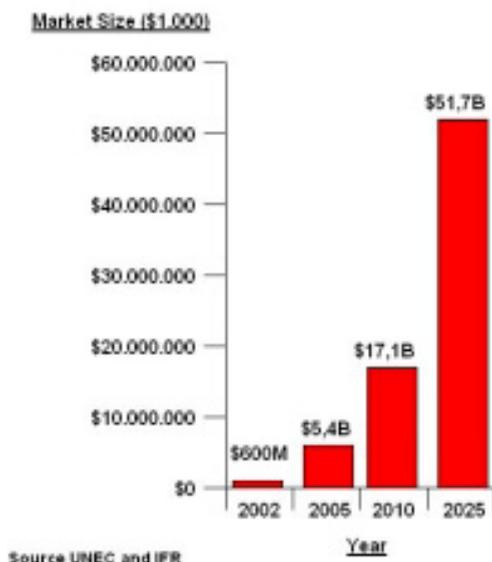


Fig. 28 - Previsioni di crescita del mercato dei robot di servizio fino al 2025 [3.10]

Attualmente l'aumentato bisogno di servizi connesso con il crescente invecchiamento della popolazione dei paesi sviluppati e il contestuale sviluppo delle tecnologie fanno presagire una notevole crescita del mercato dei robot di servizio nei prossimi anni.

Nella figura 28 sono riportate le previsioni di crescita fino all'anno 2025 del mercato dei robot di servizio che, ancorché giovane, presenta trend di crescita molto interessanti.

La figura 29 seguente mostra invece lo stato dell'arte e l'evoluzione prevista per le diverse categorie di robot di servizio.

L'analisi della situazione attuale della robotica di servizio mondiale, oltre ad una stima dei possibili sviluppi nel periodo 2007-2010, è contenuta nel documento dell'IFR "World Robotics 2007" [3.11], già citato in precedenza a proposito della robotica industriale.

In particolare, per quanto riguarda i robot di servizio professionali, sono state installate 39.900 nuove unità nel 2006, di cui 9095 per applicazioni di difesa, soccorso e sicurezza (circa il 23% del totale); seguono i robot agricoli, principalmente per la mungitura, con il 16%, i robot per la pulizia e i sistemi sottomarini, entrambi con il 14%, i robot da costruzione e demolizione con il 10%, quelli medicali con il 9% e le piattaforme robotizzate mobili per usi generali con il 8,4%.

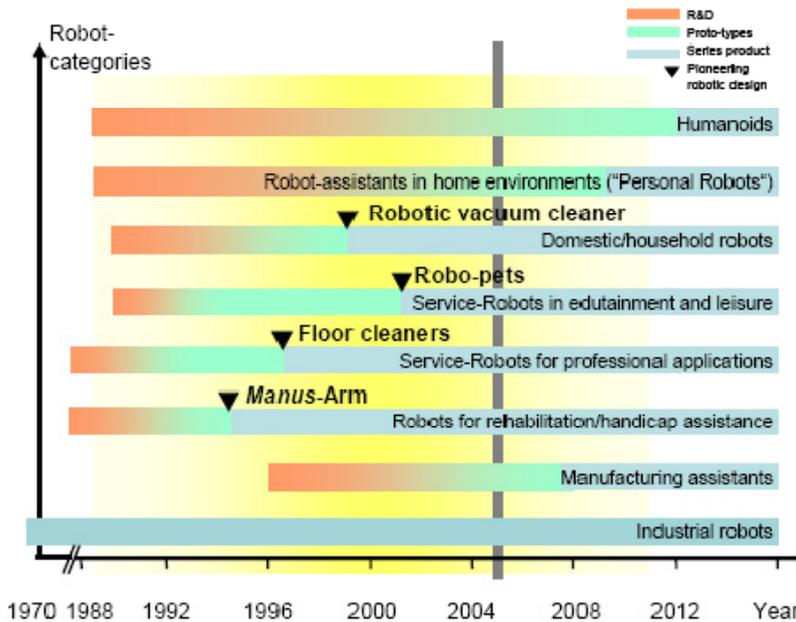


Fig. 29 - Stato dell'arte e roadmap per i robot di servizio [3.10]

Percentuali minori sono state calcolate per i sistemi logistici, per le ispezioni e per le pubbliche relazioni. Le proiezioni per il periodo 2007-2010 stimano l'ammontare complessivo mondiale delle nuove installazioni di robot per servizio professionale in circa 35.500 nuovi robot.

Tra le aree a maggior crescita prevista è possibile individuare i sistemi per la difesa, il soccorso e la sicurezza, i robot agricoli, per la pulizia professionale, medicali e le piattaforme robotizzate per uso multiplo.

Nell'ambito dei robot per uso personale e privato si è giunti a più di 3,5 milioni di unità venduti nel 2006, con 2,44 milioni di unità per uso domestico (principalmente aspirapolvere e tagliaerba) e circa 1,1 milioni di unità per intrattenimento (robot giocattolo, per l'educazione e il tempo libero).

Il mercato dei robot per assistenza e supporto a persone con handicap è ancora poco sviluppato, ma si prevede che possa raddoppiare nel periodo 2007-2010; anche i robot per trasporto personale, sicurezza e sorveglianza domestica vedranno aumentare la loro diffusione in futuro.

Per i robot personali le previsioni, sempre per il periodo 2007-2010, stimano che le vendite raggiungeranno i 3,6 milioni di unità: in particolare, i robot domestici raggiungeranno 1,34 milioni di unità, e i robot da intrattenimento raggiungeranno la quota di 2,2 milioni di unità.

Nelle figure 30 e 31 vengono mostrati il numero di robot di servizio per uso sia professionale che privato al 2006 e le previsioni fino al 2010.

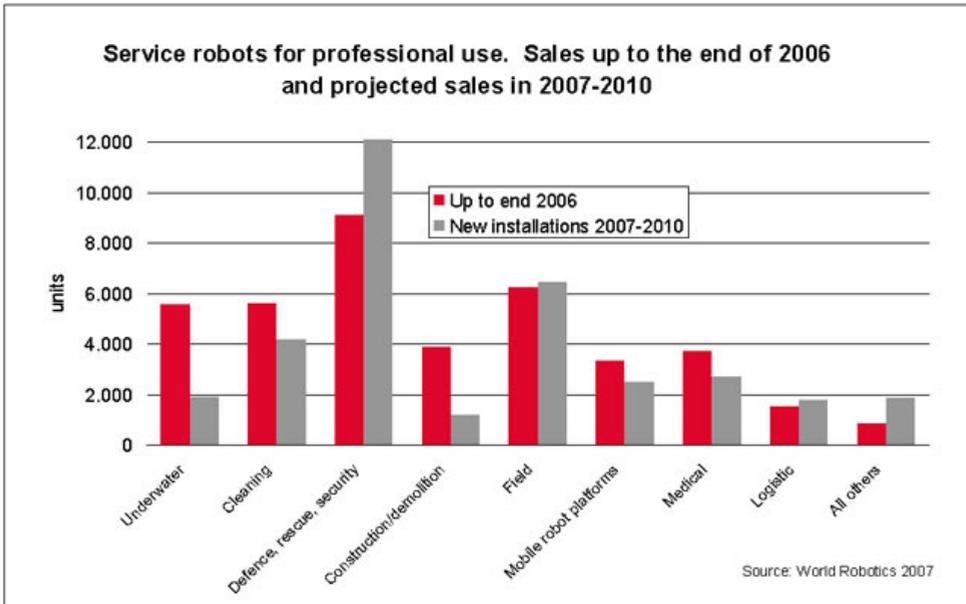


Fig. 30 - Robot di servizio professionali: vendite a fine 2006 e previsioni 2007-2010 [3.13]

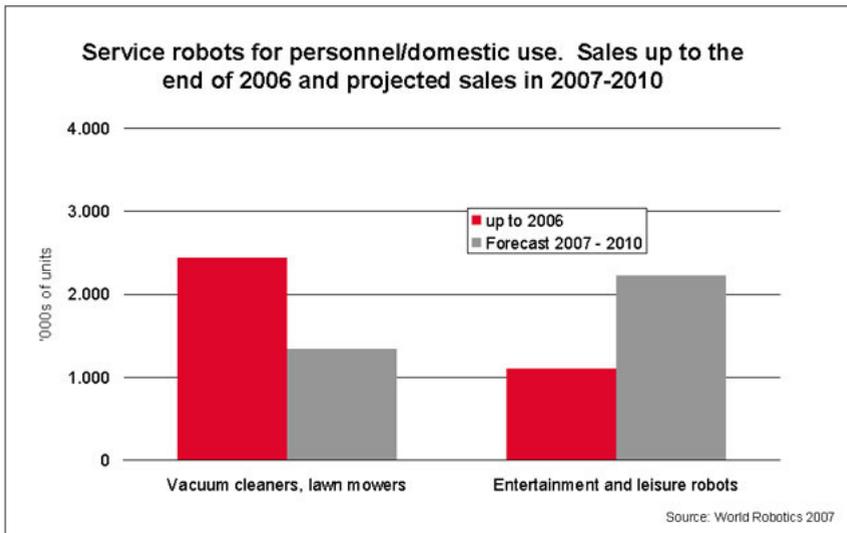


Fig. 31 - Robot di servizio personali: vendite a fine 2006 e previsioni 2007-2010 [3.13]

3.3.3 Previsioni di investimento e fonti di finanziamento

Come accennato precedentemente, in Giappone la strategia nazionale è quella di creare nuove industrie in sette aree di interesse strategico tra cui la robotica. In quest'ultimo settore, la *Japanese Robotic Association* (JARA) ha lanciato iniziative per circa 300 milioni di Euro. In Corea la robotica è stata indicata come una delle dieci nuove vie di sviluppo della nuova generazione di tecnologia; le ricerche sono in continuo avanzamento e l'industria robotica è inserita in un programma di ricerca strategica di circa 400 milioni di euro [3.6].

Negli USA, senza tener conto del programma FCS *Future Combat System*, lanciato nel 2002 con un budget previsto di 150 miliardi di dollari, risulta che il governo spenderà circa 1,7 miliardi di dollari in robot militari fra il 2006 ed il 2012 per un consorzio di 160 compagnie, università e laboratori governativi. A questi vanno aggiunti, ad esempio, 730.000 dollari forniti dalla Fondazione W.M. Keck di Los Angeles California ad una sola università.

È difficile reperire dati globali sui finanziamenti americani: da una parte il governo federale finanzia prevalentemente il settore militare, dall'altra un forte flusso di danaro proviene da varie fondazioni locali e spesso i beneficiari sono sempre gli stessi istituti, che percepiscono fondi da ambedue i tipi di soggetti finanziatori, spesso per gli stessi programmi.

In Europa la situazione dei finanziamenti è simile a quella degli USA, con le stesse difficoltà di reperire informazioni complete: i finanziamenti interni di ogni Stato sono di fatto difficili da individuare e quantificare perché spesso indiretti.

Oltre a questi, particolare rilevanza assumono i finanziamenti comunitari, che per la ricerca afferiscono ai programmi quadro pluriennali.

Lo stanziamento per la robotica nel *VII programma quadro UE 2007-2013* è inserito nell'ambito del programma *Cooperazione*, tema *ICT – Information and communication technologies*, e riguarda l'obiettivo *Cognitive Systems, Interaction and Robotics*. L'ammontare del finanziamento è di circa 96 milioni di euro per il 2007 e 97 milioni di euro per il 2008.

Inoltre, accanto alle aree di ricerca e sviluppo specifiche, è prevista un'attività permanente di monitoraggio e ricerca di tematiche "di confine", potenzialmente interessanti anche per le altre aree di ricerca, denominata FET (*Future and Emerging Technologies*).

FET Open coinvolge il più ampio spettro delle tematiche di ricerca legate alle ICT. Le tematiche non sono predefinite nel Work Programme della Commissione, ma devono essere individuate dagli stessi proponenti secondo un principio *bottom-up*; devono essere preferibilmente molto innovative e ad alto rischio, favorire la nascita di comunità di ricerca e prevedere cooperazione internazionale e attività di coordinamento. Lo stanziamento previsto è di circa 65 milioni di euro.

FET Proactive si riferisce a sfide a lungo termine nel campo delle ICT che saranno fondamentali per il futuro sviluppo tecnologico europeo; coinvolge tematiche che hanno già rivelato un notevole potenziale, ma dove particolari ostacoli scientifici e tecnologici richiedono interventi multidisciplinari a livello di ricerca di base prima di poter passare alla ricerca di tipo industriale.

Tra i vari obiettivi, in particolare si cita il tema che riguarda l'“embodied intelligence”, per cui si richiede di sviluppare nuove tecnologie e approcci per la realizzazione di agenti fisici intelligenti con i seguenti obiettivi:

- ✓ “mind-body co-development and co-evolution”, attraverso una interazione degli agenti fisici con l'ambiente fisico e sociale. Il fine è quello di comprendere meglio il ruolo dell'interazione con l'ambiente in un processo di apprendimento senza fine e di adattamento che include anche le modifiche della morfologia degli agenti nello sviluppo della percezione, cognizione, cooperazione e intelligenza sociale.
- ✓ “morphology and behaviour”, che include nuovi principi di disegno di sensori, attuatori, locomozione e architetture dei robot sulla base di una migliore comprensione del ruolo della morfologia e delle proprietà materiali nello sviluppo del comportamento e dei modi in cui queste intervengono nelle interazioni e relazioni con l'ambiente e con altri agenti;
- ✓ “design for emergence”, che riguarda lo sviluppo di nuovi paradigmi di disegno per agenti il cui comportamento non è strettamente programmato ma “emerge” dall'interazione tra le varie componenti (ognuna dotata di intelligenza locale), l'ambiente e le risorse informative “ubique”. Saranno sviluppati componenti intelligenti per il disegno di classi di sistemi robotici scalabili che incorporino ove possibile una conoscenza “a priori” dei compiti e dell'ambiente, lasciando tuttavia lo spazio necessario per l'“emergenza” e l'adattamento.

Lo stanziamento previsto è di circa 120 milioni di euro, di cui circa 20 milioni per il tema “embodied intelligence”.

Per un maggior dettaglio si veda il documento *ICT Work Programme 2007-08* [3.14].

4 STATO DELL'ARTE DELLA RICERCA IN ROBOTICA

In questo capitolo si presenta una breve sintesi di alcune sfide che il settore della robotica deve affrontare per rispondere alla crescente domanda di automazione complessa che proviene dai segmenti di mercato emergenti, con particolare riferimento alla robotica di servizio.

Oltre a ciò si offre un panorama di alcuni degli ambiti di ricerca in cui nuovi paradigmi e nuove tecnologie si sviluppano al fine di realizzare artefatti con comportamenti avanzati.

4.1 Le sfide da fronteggiare

La robotica è giunta a un punto di svolta. Per oltre trent'anni ha rappresentato un fattore chiave per l'aumento della produttività industriale. Come si è accennato nel capitolo precedente, si prevede una espansione senza precedenti dei domini di applicazione dei sistemi robotici, che spazia dai settori medico-biologici all'esplorazione dello spazio e ai compiti in ambienti ostili e pericolosi per scopi di sicurezza e salvataggio, dai robot per l'assistenza personale e domestica fino ai compagni di giochi. Lo sviluppo e diffusione massiccia di robot di servizio, quali "assistenti" degli esseri umani sia in ambienti di lavoro che domestici include, quindi, lo sviluppo di:

- ✓ *robot assistenti negli ambienti di lavoro*, in grado di cooperare con i lavoratori in tutti i settori industriali, manifatturieri e non, e di servizio quali la medicina, il trasporto, l'esplorazione sottomarina, la sorveglianza ambientale ecc.;
- ✓ *robot "compagni"* per l'assistenza ad infermi ed anziani entro le mura domestiche;
- ✓ *robot domestici* per la cura e la pulizia delle case;
- ✓ *robot assistenti per l'esplorazione dello spazio* e per l'azione in ambienti ostili e pericolosi.

La pervasività dei robot nel prossimo futuro sarà, quindi, tale da trasformare non solo i processi industriali ma anche la vita quotidiana di larghi strati della popolazione così da produrre un cambiamento il cui impatto è paragonabile a quello che alla fine del secolo precedente è stato provocato dalla diffusione capillare delle tecnologie internet.

La visione per la robotica futura è la realizzazione di robot che lavorano con gli uomini, interagiscono con loro in modo facile ed intuitivo, svolgono attività individuali o collettive cooperando anche con altri robot, sono in grado di adattare il loro comportamento ai compiti a loro affidati e all'ambiente, per lo più non strutturato, in cui operano. Oggi, viceversa, i robot sono ben lontani dal capire e ragionare sull'ambiente con cui interagiscono, sui propri obiettivi e sulle proprie capacità.

Se tale suggestione sarà confermata è evidente che la maggiore sfida che la comunità di robotica deve affrontare è quella di sviluppare sistemi capaci di percepire e interagire con il mondo umano e operare in un ambiente non strutturato con una accresciuta ricchezza e flessibilità di compiti.

Da un punto di vista sociale le maggiori sfide sono legate ad aspetti socio-economici comuni alle massime potenze industriali, quali l'invecchiamento della popolazione e l'aumento della competitività, aspetti sui quali lo sviluppo della robotica può giocare un ruolo chiave.

Questi obiettivi si possono riassumere nei seguenti requisiti per i futuri sistemi robotici:

- ✓ sistemi in grado di interagire con il mondo umano in maniera semplice ed intuitiva e con un elevato grado di affidabilità;
- ✓ sistemi in grado di svolgere compiti complessi con un alto grado di autonomia, in ambienti per lo più non strutturati.

A ciò si deve aggiungere l'ulteriore requisito di economicità. È necessario, infatti, sviluppare tecnologie a "basso costo" che consentano di superare gli attuali limiti di diffusione dei robot prevalentemente impiegati solo nelle grandi industrie a causa dell'elevato costo di produzione e rispondere alla richiesta sempre crescente di utilizzo sia nell'ambito delle PMI che tra le mura domestiche. Ciò implica tra l'altro la standardizzazione delle soluzioni sviluppate per un settore per un loro utilizzo su "larga scala" e la "riusabilità" per l'utilizzo in altri settori.

Queste esigenze richiedono di potenziare e sviluppare nuove tecnologie relativamente ai seguenti aspetti:

- ✓ migliorare la capacità di *afferrare e maneggiare* oggetti in modo sicuro con un migliore rapporto carico utile/peso per assicurare operazioni nel settore dei servizi e personale;
- ✓ potenziare *l'autonomia e affidabilità* dei robot necessarie per affrontare compiti diversificati, in grado di rilevare situazioni impreviste e agire di conseguenza in modo controllato anche per garantire la sicurezza degli esseri umani con cui cooperano;
- ✓ realizzare un'*interazione uomo-robot* intuitiva, che comprende il trasferimento di informazioni e istruzioni tra uomini e robot in modo semplice ed efficiente come avviene per la comunicazione tra esseri umani, dotando i robot di interfacce *user-friendly* che richiedano un semplice addestramento e siano socialmente accettabili;
- ✓ raffinare *la percezione e il controllo*, che consentono soprattutto negli ambiti di servizio nella vita quotidiana di sviluppare "capacità cognitive" del robot, ovvero acquisire una sufficiente "conoscenza" dell'ambiente, essere "consapevole" delle situazioni, rilevare oggetti e persone, con un semplice addestramento e con alta precisione. Ciò

richiede capacità sensoriali raffinate e l'utilizzo "intelligente" di tali informazioni per il controllo;

- ✓ sviluppare *ambienti intelligenti distribuiti*, per cui i sistemi robotici siano integrati con le tecnologie ICT, per costruire agenti (o reti di agenti) fisici in grado di agire individualmente o collettivamente e acquisire nuove capacità e servizi dalla rete.
- ✓ implementare il *disegno ingegneristico* che può riguardare sia aspetti specifici, quali il minor consumo energetico per consentire una operatività autonoma su maggiori intervalli o il disegno di sistemi più efficienti di propulsione e comunicazione, che principi generali di disegno e sviluppo secondo canoni di modularizzazione e riuso di componenti e loro integrazione con architetture HW e SW standard;
- ✓ sviluppare ulteriormente *la miniaturizzazione* di componenti e/o di sistemi robotici che possono trovare vaste applicazioni in diversi settori; un esempio per tutti è quello chirurgico.

Ricapitolando, i principali obiettivi su cui si focalizza la ricerca avanzata sono i seguenti:

- ✓ ampliamento delle *capacità cognitive* dei robot;
- ✓ sviluppo di *comportamenti collettivi*;
- ✓ arricchimento delle *capacità sensoriali e di movimento*;
- ✓ miglioramento delle *capacità di azione e di controllo real-time*;
- ✓ sviluppo di *micro e nano robot*.

Di alcuni aspetti si tratterà nei prossimi paragrafi; in particolare si citeranno alcuni esempi di nuovi paradigmi e ricerche di punta nella robotica e le ultime risultanze dell'evoluzione dai microsistemi e microrobot verso i nanosistemi e la nanorobotica, che apre nuovi importanti ambiti di applicazione.

4.2 Nuove frontiere nella robotica

In questo paragrafo si riporta una panoramica di alcuni ambiti in cui converge la ricerca nel settore della robotica.

In particolare alcune sfide sono concentrate sulla ricerca di nuovi paradigmi per dotare i robot di una maggiore autonomia e quindi di maggiori capacità cognitive.

Nei primi paragrafi si riportano alcune tecniche e paradigmi di sviluppo della robotica ispirati all'osservazione degli organismi viventi. In particolare lo sviluppo di robot auto-configurabili si ispira alla adattabilità ed auto-organizzazione degli esseri viventi che consente loro di modificare la propria morfologia a seconda degli stimoli sensoriali ricevuti dall'ambiente.

Un ulteriore filone di ricerca si focalizza sul tentativo di simulare i meccanismi dell'evoluzione che hanno portato allo sviluppo di specie cui si riconosce il possesso di facoltà intellettive superiori; altro ambito di sviluppo riguarda la simulazione e riproduzione di comportamenti intelligenti che emergono dalla cooperazione di una miriade di agenti elementari come si riscontra nell'osservazione dei comportamenti degli insetti sociali.

Un ulteriore paragrafo è dedicato alla biomeccanica tattile che promette larghi impieghi in diversi settori applicativi.

Viene infine effettuata una breve analisi dei micro robot accennando inoltre alle problematiche di scala ad essi connesse e alla ricerca orientata ai nanorobot e alle nanomanipolazioni.

4.2.1 Robot auto-riconfigurabili e Networked Robot

Il settore dei robot auto-riconfigurabili riguarda il disegno, la costruzione, la pianificazione del movimento, il controllo della cinematica di macchine con una morfologia variabile. In altre parole, questa tipologia di robot può cambiare la propria forma, ri assemblandosi in modo da adattarsi alle nuove necessità o ai nuovi compiti o riparare i danni.

Una sorgente di ispirazione per lo sviluppo di questi robot si origina dall'osservazione dei sistemi biologici, che, pur costituiti da un repertorio relativamente limitato di blocchi elementari (cellule, aminoacidi ecc.), dimostrano una straordinaria capacità di adattamento e di autoreplicazione, crescita e autoriparazione. Queste caratteristiche possono essere desiderabili anche in ambiti ingegneristici per molte e diverse applicazioni.

Normalmente i robot modulari sono costituiti da blocchi multipli (relativamente semplici) con un'interfaccia uniforme di assemblaggio. I robot modulari auto-riconfigurabili sono sistemi classificati in gruppi architeturali diversi, a seconda dell'organizzazione geometrica delle loro unità costituenti, nel modo seguente [4.1]:

- ✓ *architettura a reticolo* – questi tipi di architettura hanno unità che si assemblano e si connettono in pattern regolari tridimensionali, come semplici griglie cubiche o esagonali. Il controllo e il moto possono essere eseguiti in parallelo;
- ✓ *architettura a catena o ad albero* – questi sistemi hanno unità connesse a formare una catena o una topologia ad albero. Attraverso l'articolazione queste catene possono raggiungere ogni punto e orientarsi nello spazio e di conseguenza essere più versatili, ma l'architettura sottostante è seriale e la complessità computazionale intrinseca nel controllo è maggiore;
- ✓ *architettura mobile* – i sistemi ad architettura mobile sono più versatili e possono unirsi in catene, alberi o muoversi singolarmente in modo coordinato formando un network.

Il controllo dei robot riconfigurabili può essere centralizzato o distribuito tra i moduli e può essere eseguito in modo seriale o parallelo.

Un altro tipo di classificazione è legata al modo in cui le unità si riconfigurano:

- ✓ *riconfigurazione deterministica* – questi tipi di sistemi sono spesso macrosistemi la cui riconfigurazione risulta dalla riconfigurazione delle singole unità la cui posizione è perfettamente conosciuta e calcolabile in ogni istante;
- ✓ *riconfigurazione stocastica* – questa architettura si basa su unità in movimento usando processi statistici (come il moto Browniano). La collocazione esatta di ogni unità è conosciuta solo quando essa è connessa alla struttura principale ma può intraprendere percorsi non prevedibili nel movimento tra posizioni diverse. I tempi necessari per la riconfigurazione possono essere garantiti solo statisticamente. Queste architetture sono tipiche dei sistemi robotici a livello microscopico.

Nelle figure 32, 33a) e 33b) sono mostrati tre esempi di robot autoriconfigurabili appartenenti ad architetture diverse.

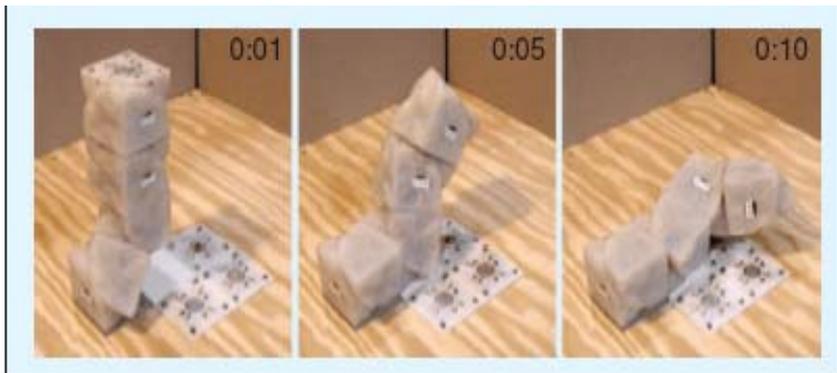
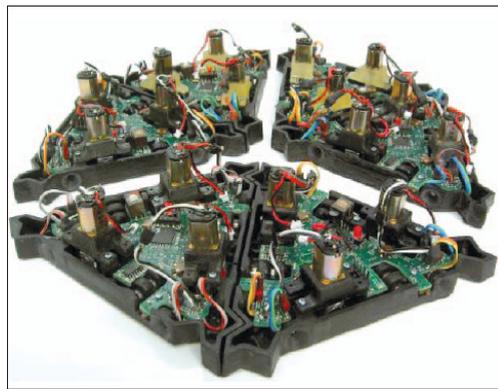
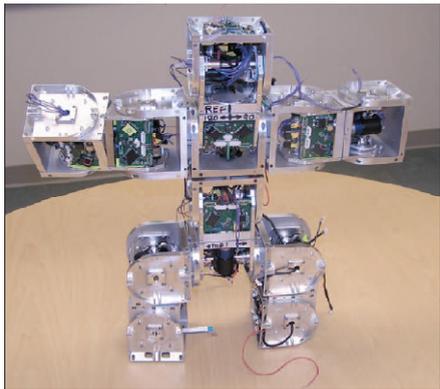


Fig. 32 - Architettura a catena (Cornell University)

Le caratteristiche principali dei robot auto-configurabili sono le seguenti:

- ✓ *versatilità*, in quanto potenzialmente più adattabili dei sistemi robotici convenzionali. La capacità di modificare la propria morfologia consente loro di adattarsi a compiti diversi;
- ✓ *robustezza*. La presenza di componenti intercambiabili permette di sostituire componenti danneggiati con altri integri per proseguire nello svolgimento dei compiti senza un degrado eccessivo o una impossibilità a svolgere il lavoro assegnato;
- ✓ *bassi costi*. La possibilità di costruire sistemi anche complessi a partire dall'assemblaggio di molte unità elementari di relativamente poche tipologie consente, in linea di principio, di sviluppare in modo massivo i singoli componenti limitando i costi complessivi di produzione.



**Fig. 33 - a) Architettura a reticolo: Superbot
(University of Southern California)**

**b) Riconfigurazione stocastica
(Washington University)**

Tuttavia, questi vantaggi in molti casi sono apparenti. Per esempio, la maggiore versatilità spesso richiede una maggiore complessità meccanica e computazionale rispetto alle architetture tradizionali; oltre a ciò la maggiore versatilità spesso comporta minori prestazioni nel singolo compito specifico rispetto al robot tradizionale costruito specificatamente allo scopo.

Le aree di applicazione possibili, grazie alla versatilità di tali architetture, possono essere molteplici. Una delle più promettenti è certamente l'esplorazione dello spazio. Nelle missioni di lunga durata è necessario, infatti, disporre di sistemi in grado di autoripararsi e di svolgere compiti diversi in situazioni impreviste. I robot autoconfigurabili, per le loro caratteristiche di robustezza e versatilità e adattabilità, si prestano meglio allo scopo rispetto a sistemi a configurazione fissa.

Esiste anche un altro tipo di robot auto-configurabile, definito NR (*Networked Robot*). Con questo termine [2.2] ci si riferisce a robot multipli operanti in modo cooperativo, in grado di svolgere compiti ben al di là delle capacità di un singolo robot.

Questi robot possono accoppiarsi per svolgere compiti di locomozione (si veda la figura 34, in cui i moduli robotici possono essere riconfigurati in diverse morfologie per diversi sistemi di locomozione, rispettivamente a serpentina, a quattro zampe, rotatorio).

Ma il maggiore vantaggio di questa tipologia di robot è la possibilità di connettere e sfruttare al meglio i singoli robot o componenti robotici specifici anche se fisicamente "distanti". Per esemplificare, un robot mobile può reagire ad informazioni percepite da altro robot situato in un altro ambiente, robot industriali possono adattare i loro *end-effector* alle nuove parti che vengono fabbricate a monte lungo la catena di montaggio, esseri umani possono usare robot remoti comunicando con loro attraverso la rete.



Fig. 34 - Esempio di Networked Robot riconfigurabile

Una ulteriore caratteristica dei NR è una maggiore efficienza del sistema che, lavorando in parallelo, può ottenere in tempo più breve informazioni diffuse. Inoltre i NR sono più resistenti ai potenziali malfunzionamenti progettuali, avendo la capacità di riconfigurarsi dinamicamente attraverso il network. Infine possono sviluppare una grande sinergia associandosi ad altri componenti con capacità complementari in modo che l'insieme sia più efficace di ogni singola parte.

Secondo la IEEE Robotics and Automation Society, un NR è un insieme anche eterogeneo di dispositivi robotici connessi attraverso una rete di comunicazione (come Internet o una LAN) "wired" o "wireless". Esistono due sottoclassi di NR:

- ✓ teleoperati, dove supervisor umani inviano comandi e ricevono risposte attraverso la rete;
- ✓ autonomi, per cui robot e sensori scambiano dati attraverso la rete. In tal modo la rete di sensori estende le effettive capacità di percezione dei robot permettendo loro di comunicare anche a grande distanza e coordinare le proprie attività. I robot possono distribuire, gestire e riparare la rete di sensori aumentando la loro longevità e il grado di utilizzo.

Se si riflette sul fatto che tali robot o reti di robot debbono interagire con l'ambiente in cui operano e con gli stessi esseri umani, è evidente che la complessità nella realizzazione di questi sistemi, per i quali oggi si utilizza spesso il termine Network Robot Systems (NRS) si accresce, dovendo riguardarsi la rete di robot e/o componenti robotici come un sistema a sua volta costituito da sistemi complessi la cui struttura si evolve e le cui proprietà dipendono dalla struttura medesima.

Il denominatore comune [3.9] di questi sistemi è, infatti, basato sul concetto di sistema di sistemi. In tutti i casi ci sono componenti diverse; oltre ai dispositivi fisici che includono sensori e veicoli robotici è necessario considerare anche gli operatori umani con cui i dispositivi stessi interagiscono, che sono a loro volta sistemi complessi.

Questi sistemi complessi sono a loro volta componenti del sistema complessivo entro il quale si manifestano delle proprietà di cui alcune sono previste nel disegno altre sono “emergenti” (frutto dell’interazione dinamica tra parti in continua evoluzione) con un comportamento risultante in molti casi imprevedibile.

Questo settore è tuttora oggetto di studi, in quanto sono ancora molte le sfide concettuali e tecnologiche da affrontare e molti sono gli ostacoli da superare.

Tra questi si cita la difficoltà di realizzare strutture meccaniche flessibili in grado di autoconfigurarsi, autoassemblarsi e interconnettersi tra loro in modo flessibile; ancor oggi la maggioranza delle strutture sono statiche e connesse tra loro in una topologia fissa.

Un altro problema riguarda la decomposizione automatica dei compiti e il problema del controllo in presenza di componenti altamente eterogenee.

Infine, i problemi connessi al disegno distribuito dei meccanismi di percezione e di controllo sono ancora largamente irrisolti; a questo proposito, di recente si è posta una grande attenzione sulla fusione delle informazioni (“data fusion”) provenienti dai vari componenti il sistema e dall’esterno e sulla necessità di ottenerle in tempo reale e di sviluppare algoritmi efficienti per la loro elaborazione, per rispondere a domande del tipo: chi deve comunicare con chi? Quali informazioni deve produrre? Come il team deve acquisire le informazioni e aggregarle?

Alcuni autori hanno introdotto il termine di *ubiquitous robot* ([4.2], [4.3]) come una ulteriore evoluzione dei *networked robot*, con l’obiettivo di realizzare assistenti in grado di rendere disponibili i servizi richiesti dall’utente in qualsiasi momento e in ogni luogo. Sostanzialmente, la linea *ubiquitous robotics* si affianca ed è trainata dal grande sviluppo dell’*ubiquitous computing* (la possibilità di usare reti di computer simultaneamente con grandi potenze di calcolo distribuite). Estendendo tale concetto è possibile sviluppare sistemi robotici multipli utilizzando reti a banda larga basate sui protocolli di comunicazione standard.

Infatti, dopo lo sviluppo dei robot di prima generazione sostanzialmente finalizzati all’ambito industriale, la comparsa dei robot per scopi personali o di servizio in grado di svolgere un’ampia gamma di servizi ha rappresentato una innovazione, tuttavia sempre limitata ad un unico dispositivo robotico, spazialmente localizzato sia per quanto riguarda l’azione e soprattutto per quanto riguarda la percezione, in quanto la sensoristica era fisicamente parte integrante del robot con conseguenti limitazioni nelle capacità percettive e nei servizi resi.

L’idea alla base dell’*ubiquitous robotics* è di ridefinire le tre componenti fondamentali (intelligenza, percezione e azione) attraverso tre tipi di componenti distinte: robot software intelligenti, una rete di robot percettivi immersi nell’ambiente e una rete di robot mobili fisicamente attivi nell’ambiente, interconnessi attraverso la rete.

La linea *ubiquitous robotics* rappresenta a detta degli autori una evoluzione dei *networked robotics* in quanto mentre l'approccio tradizionale è focalizzato prevalentemente sulla teleoperazione orientata al comportamento di dispositivi robotici remoti preprogrammati per ambienti specifici, con lo scopo di superare i limiti spaziali e temporali, l'*ubiquitous robotics* invece si prefigge di realizzare sistemi robotici distribuiti, autonomamente interoperabili, con sensori e attuatori distribuiti senza una rigida programmazione dei compiti.

4.2.2 *La robotica evuzionistica e gli swarm robotici*

In questo paragrafo si fa cenno ad alcuni dei filoni di ricerca in robotica che si ispirano all'osservazione di fenomeni riguardanti gli esseri viventi, con particolare riguardo alla teoria dell'evoluzione della specie e al comportamento sociale degli insetti.

Le ragioni di questo interesse derivano dal tentativo di sviluppare robot il cui disegno e i cui compiti non siano rigidamente predeterminati dal progettista; nell'interazione con un ambiente dinamico, infatti, la risposta motoria agli stimoli esterni è difficilmente predeterminabile in quanto funzione sia degli stimoli ricevuti che degli atti motori precedenti. Questo problema ha portato diversi studiosi a ricercare soluzioni per la realizzazione di sistemi che si adattino autonomamente attraverso un processo di auto-organizzazione, come avviene per gli organismi biologici, in grado di auto-organizzarsi sviluppando strategie che permettono la sopravvivenza e la riproduzione.

Un primo cambiamento di prospettiva è stato propugnato, all'inizio degli anni 90, da Rodney Brooks del MIT, che propose un approccio basato non sulla decomposizione funzionale ma sulla decomposizione del comportamento desiderato. L'idea era quella di identificare comportamenti indipendenti e di implementare tali comportamenti in strutture giustapposte a partire da comportamenti "semplici" la cui integrazione producesse comportamenti più complessi. Anche in questo approccio, tuttavia, rimaneva irrisolto il problema di decomporre il sistema in strutture che corrispondessero a comportamenti elementari e la difficoltà di modellizzare l'interazione tra le componenti.

L'approccio evolutivo, su cui si basa la Robotica Evuzionistica (*Evolutionary Robotics*), si fonda sul principio dell'auto-organizzazione e si pone come obiettivo quello di lasciare scegliere al sistema stesso non solo il modo in cui risolvere il compito dato, ma anche la struttura interna adatta a tale fine, in quanto se non si conosce in anticipo il tipo di soluzione che il sistema troverà non si può determinare nemmeno l'architettura interna più adatta ad implementare tale soluzione.

La Robotica Evuzionistica [4.4] è, quindi, il tentativo di sviluppare robot, e i relativi sistemi di controllo e senso-motori, attraverso un processo di disegno fondato sull'evoluzione artificiale.

L'approccio è generalmente basato sul principio degli algoritmi genetici, che risalgono alla metà degli anni 70 del secolo scorso. Una popolazione iniziale di differenti genotipi viene creata a caso. Ogni robot viene valutato nell'ambiente e ad ognuno è assegnato un punteggio, che misura la *fitness*, ovvero l'abilità a svolgere il compito desiderato. Quei robot che hanno ottenuto punteggi più alti possono riprodursi generando copie dei loro genotipi con alcune possibili mutazioni. Ripetendo questo processo per molte generazioni si può osservare un progresso nei valori di fitness della popolazione. In definitiva, attraverso il processo di selezione e mutazione, come avviene nell'evoluzione biologica, in linea di principio si possono ottenere "individui" progressivamente più efficienti.

Sulla base di tale principio sono stati proposti diversi metodi per la realizzazione dell'evoluzione delle architetture di controllo dei robot, basati per l'appunto sugli algoritmi genetici, ma soprattutto sulle reti neurali (potendo queste ultime sfruttare varie forme di apprendimento che velocizzano il processo evolutivo).

Sebbene questo settore abbia visto il fiorire di numerosi studi ed esperimenti, si sono presentate diverse difficoltà realizzative. In particolare l'elevato numero di individui delle popolazioni e il numero di generazioni richieste per far emergere forme di comportamento efficienti richiedono una notevole quantità di tempo, per cui spesso molti esperimenti di robotica evolutiva si sono di fatto ridotti a simulazioni su computer.

Inoltre tale approccio pone vincoli e difficoltà nuove nella costruzione del robot fisico. La scelta di rimandare la struttura di controllo del robot al processo di selezione e mutazione non determina né le caratteristiche né le condizioni di sufficienza funzionale dei sensori e attuatori; una posizione condivisa è che sia preferibile dotare i robot di componenti molto semplici, in particolare di sensori numerosi ed eventualmente ridondanti, delegando al meccanismo evolutivo il compito di combinare le varie misure ottenute per ricavare le informazioni necessarie al funzionamento del sistema.

Infine, le tecniche evolutivistiche dovrebbero applicarsi sia al controllo, che è la componente che governa il comportamento, sia alla morfologia del sistema, ovvero la struttura fisica consentendo una loro co-evoluzione (come avviene in natura dove le due componenti biologiche sono costituite dal cervello e dal corpo). Tuttavia, ciò comporta un ulteriore livello di complessità; è intuitivo che sia più facile studiare tecniche evolutivistiche limitatamente al controllo prima di usarle per far evolvere anche la morfologia dei sistemi.

Tra i diversi lavori, si citano alcuni esperimenti condotti da Nolfi e Floreano [4.4], [4.5] sull'evoluzione dei controlli per veicoli robotici dotati di ruote utilizzando reti neurali.

Un ulteriore sviluppo condotto alla Cornell University [4.6] ha riguardato, per una macchina particolarmente semplice, l'applicazione delle tecniche evolutivistiche sia al controllo che alla morfologia dei robot.

Gli elementi base di tale macchina erano costituiti da un solo neurone (elemento costitutivo dell'architettura di controllo) e un singola sbarra monodimensionale con un attuatore lineare come elemento costitutivo della struttura. Le sbarre connesse tra loro da giunture potevano formare strutture articolate. In modo analogo si potevano connettere i singoli neuroni attraverso connessioni sinaptiche per formare le strutture di controllo e per connetterli alle sbarre, la cui lunghezza era governata dall'output del neurone mediante un attuatore lineare. Gli operatori di variazione utilizzati nel processo evuzionistico potevano connettere, disconnettere, aggiungere e rimuovere o modificare qualsiasi componente.

Partendo con una popolazione iniziale di 200 macchine comprendenti 0 neuroni e 0 sbarre è stata simulata la loro evoluzione. La fitness di una macchina era determinata dalla sua abilità nella locomozione sopra un piano orizzontale infinito. Questo processo evuzionistico, attraverso centinaia di generazioni, selezionava le macchine più "adatte", aggiungendo, modificando e rimuovendo i componenti elementari in modo che sia il corpo (la morfologia) sia il cervello (il controllo) subissero una co-evoluzione. Dopo parecchie decine di generazioni si è determinato il primo movimento della struttura.

Malgrado la semplicità dello studio (un compito semplice in un ambiente ideale) sono state selezionate molte diverse soluzioni con una significativa ridondanza (probabilmente per rendere le eventuali mutazioni meno catastrofiche) che esibivano tutte una certa simmetria, evidentemente in quanto tale struttura le rendeva più adatte al movimento in linea retta.

Un secondo filone di ricerca riguarda lo sviluppo di "comunità" di robot elementari in grado di assumere comportamenti collettivi ed esplicare compiti che il singolo robot non sarebbe in grado di compiere sulla falsariga dei comportamenti "avanzati" osservati nelle comunità di insetti sociali.

L'approccio basato sulla riproduzione delle comunità di insetti sociali prende il termine di *swarm* robotico (*swarm robotics*).

Lo *swarm* robotico si fonda su una tecnica di intelligenza artificiale detta "*swarm intelligence*" ispirata allo studio del comportamento collettivo di sistemi autoorganizzanti. Questo termine è stato coniato alla fine degli anni 80 da Gerardo Beni nel contesto dei sistemi robotici basati sugli automi cellulari. Il meccanismo osservato è il comportamento degli insetti sociali, in grado di sviluppare comportamenti e azioni collettive che nascono dalla interazione di organismi semplici e che presentano gradi di complessità che sono al di là delle capacità dei singoli agenti. In questo senso si parla di "*swarm intelligence*" come una proprietà collettiva che emerge dalla interazione di un grande numero di agenti elementari non intelligenti.

L'intelligenza *swarm* rappresenta, dunque, una zona d'incontro tra biologia dei sistemi complessi ed ingegneria. In tempi recenti biologi ed ricercatori impegnati nel settore della "Vita Artificiale" (*Artificial Life*) hanno studiato come modellare uno "*swarm behavior*" per comprendere come gli animali sociali (api, formiche ecc.) possano interagire, ottenere risultati ed evolversi.

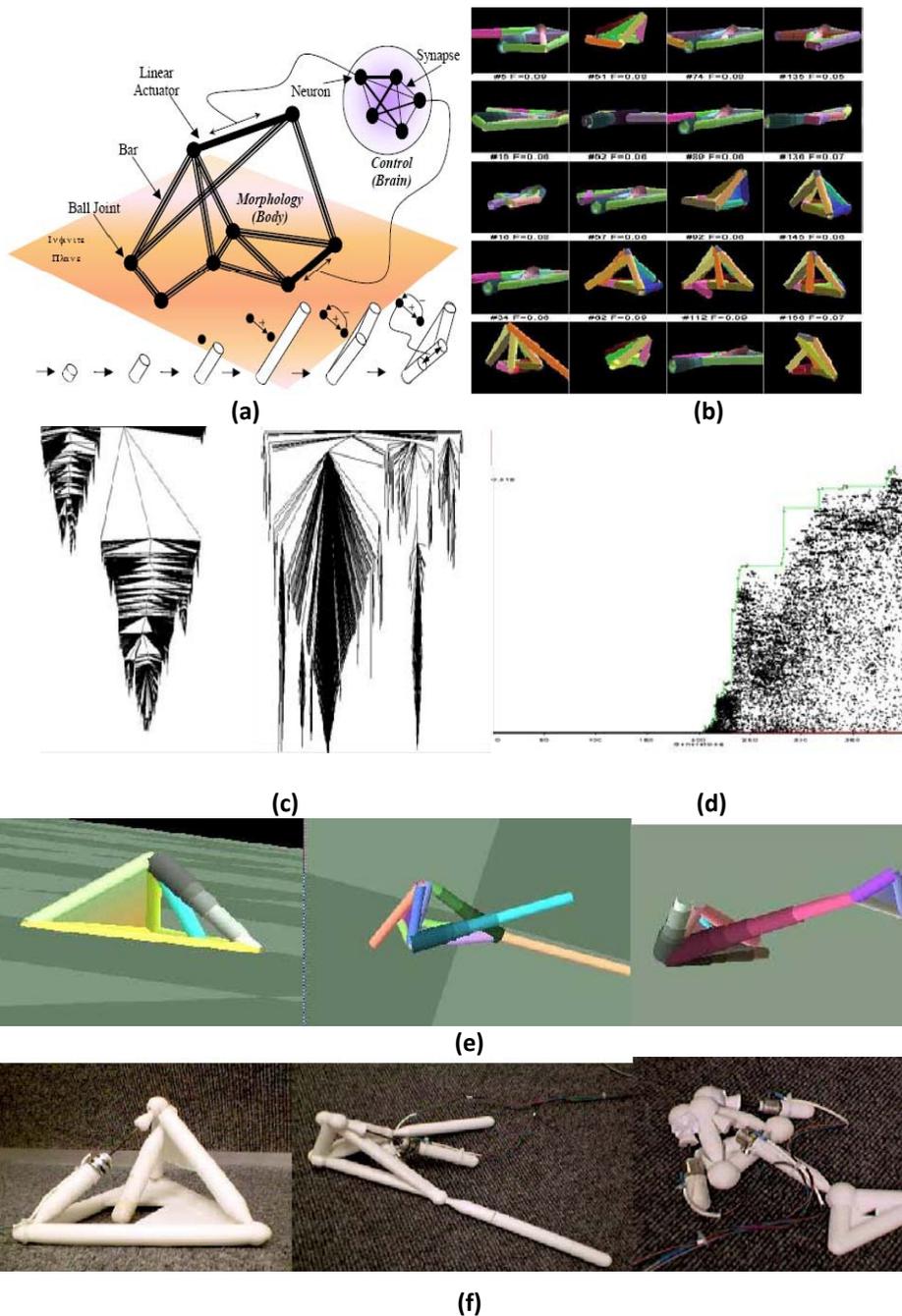


Fig. 35 - Corpi e cervelli che si evolvono - (a) Illustrazione schematica di un robot che si evolve; (b) Un esempio arbitrario di una istanza di un'intera generazione; (c) Alberi filogenetici di due differenti *run* evolvuzionistici, che mostrano istanze di speciazione ed estinzioni massive; (d) Progresso della "fitness" in funzione della generazione per uno specifico *run*. Ogni punto rappresenta un robot; (e) Tre robot che si sono evoluti in simulazione; (f) Gli stessi riprodotti nella realtà usando tecniche di prototipazione rapida

Anche gli ingegneri sono interessati a questo filone di ricerca, in quanto l'intelligenza *swarm* può essere applicata all'ottimizzazione di sistemi complessi come: le telecomunicazioni, la robotica, andamenti di traffico, trasporti ecc.

L'obiettivo è la realizzazione di sistemi aventi ottime prestazioni di gruppo e alta affidabilità, con unità di bassa complessità e costi più bassi rispetto ad un sistema robotico tradizionale; senza considerare che la *swarm robotics* è in grado di compiere alcuni compiti di fatto impossibili ad un solo robot. La *swarm robotics* può trovare diversi settori di applicazione, quali sistemi di manifattura flessibile, costruzioni spaziali, ispezioni/manutenzioni, costruzioni, agricoltura e medicina.

Nel tempo sono stati proposti molti modelli di *swarm* [4.7], dallo stesso Beni (1989), che ha introdotto il concetto di sistemi robotici cellulari, che consistono di un insieme di robot autonomi, non sincronizzati, non intelligenti, cooperanti in uno "spazio cellulare" a n dimensioni sotto un controllo distribuito; da Mataric (1992) che ha studiato popolazioni omogenee di robot in diverse condizioni di cooperazione verificando che quanto più migliora la comunicazione tra i robot tanto più emergono comportamenti complessi.

Tra i progetti più recenti in questo settore, oltre al già citato progetto *I-SWARM* del VI Programma Quadro dell'Unione Europea, si può citare il Progetto *Swarmanoid* finanziato dal Programma FET-OPEN, cui partecipa l'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione - Laboratorio di Robotica e Vita Artificiale del CNR. Questo progetto prosegue le ricerche iniziate con il precedente progetto *Swarm-Bots* [4.8], completato nel 2005, e il suo principale obiettivo è il disegno e la realizzazione di un sistema robotico distribuito, composto da circa 60 robots autonomi, connessi dinamicamente, di tre tipi: *eye-bots*, *handbots*, and *foot-bots*.

4.2.3 Percezioni e manipolazioni tattili

Quest'area di ricerca, denominata anche *haptics*, si riferisce allo studio delle interazioni tattili, connesse sia alla percezione che alla manipolazione di oggetti. Negli anni 70-80 del XX secolo molti sforzi di ricerca si sono concentrati sulla manipolazione e percezione da contatto. Ai fini dello sviluppo di robot autonomi, i ricercatori hanno dovuto cimentarsi con il compito, più complesso del previsto, di realizzare robot con sofisticate capacità di manipolazione e percezione simili a quelle degli esseri viventi, i quali utilizzano feedback tattili per identificare oggetti ed esplorare l'ambiente circostante.

Lo studio della sensibilità tattile si concentra sulla biomeccanica del tatto, ovvero sulla percezione umana del tocco di un oggetto. Si cerca innanzi tutto di modellare le caratteristiche della pelle umana in termini di resistenza alle pressioni, elasticità, deformabilità.

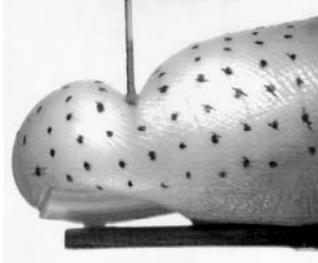


Fig. 36 - Biomeccanica tattile del polpastrello

La pelle infatti è una struttura a strati molto complessa e dotata di particolarità notevoli. Il polpastrello (figura 36) è il primo punto di contatto tra gli oggetti e la percezione che ne ricaviamo, ed è importante capire come le deformazioni che esso subisce al contatto vengono tradotte in impulsi nervosi. Quello che si percepisce, infatti, non è l'oggetto in sé, ma la deformazione e la pressione rilevata dal polpastrello, il quale ha le sue caratteristiche statiche e dinamiche non lineari. Ad esempio, è stato provato che la compressibilità del polpastrello varia con la pressione esercitata secondo una legge non ancora definita; oppure che la variazione di volume del dito a seguito di uno stimolo sinusoidale presenta una isteresi, e che a parità di intensità della vibrazione la variazione volumetrica aumenta nel tempo. Non è ancora stato spiegato il legame di queste non linearità con la frequenza dello stimolo.

In questi ambiti di ricerca molto attivo è il MIT Touch Lab (*Laboratorio per haptics umana e robotica*) [4.9], che sviluppa un approccio interdisciplinare, ricorrendo a competenze di biomeccanica, neurofisiologia, psicologia e computer science per lo studio della percezione e manipolazione tattile.

Obiettivo delle ricerche è lo studio della sensibilità tattile umana e il tentativo di riprodurla artificialmente, sviluppando macchine "aptiche" che permettano all'utilizzatore di toccare e percepire realtà virtuali.

Progetti di ricerca riguardano la misura delle capacità umane in specifici compiti manuali impiegando dispositivi elettromeccanici controllati da computer e la determinazione dei meccanismi biomeccanici, neurali e percettivi che sono alla base delle prestazioni nei vari compiti.

Le possibili applicazioni di tali ricerche spaziano dalla terapia manuale al disegno di protesi intelligenti, fino allo sviluppo di robot autonomi in grado di rimpiazzare gli esseri umani in compiti da svolgere in ambienti non strutturati.

Un esempio di sviluppo interessante riguarda la messa a punto di una tecnologia robotica avanzata presso il Goddard Space Flight Center nel campo dell'esplorazione spaziale [4.10]. In particolare, il tecnologo della NASA Vladimir Lumelsky sta cercando di sviluppare nelle sue "creature" una sensibilità quasi-umana in risposta all'ambiente in cui si trovano immersi.

Lo sviluppo di tale tecnologia, chiamata *High-Tech Skin*, è considerata essenziale per il futuro dell'esplorazione spaziale perchè consentirà a robot e umani di lavorare a stretto contatto nelle più svariate condizioni. "I robot si muovono egregiamente per proprio conto soprattutto quando non incontrano niente lungo il cammino", dice Lumelsky. Ma quando l'ambiente muta e sorgono degli ostacoli, cominciano i problemi. "Dobbiamo insegnargli a reagire di fronte a ciò che non conoscono, i robot attuali ancora non possono farlo", spiega Lumelsky.

Sebbene si siano compiuti notevoli progressi nel campo della visione artificiale, non è ancora sufficiente. Gli esseri umani possono sopravvivere anche senza la vista, ma non senza il senso tattile. La pelle è, infatti, l'organo più esteso ed uno dei più importanti del nostro corpo. E potrebbe esser vista come un vasto sensore. L'idea, dunque, è di fornire il robot di una "pelle sensorizzata" con cui ricoprire il corpo metallico, provvista di un migliaio di sensori agli infrarossi in grado di rilevare gli oggetti circostanti e convogliare le informazioni al cervello del robot, che provvederà ad elaborarle e a reagire nel modo appropriato nel giro di qualche millisecondo. I prototipi futuri avranno maggiori densità di sensori sulla pelle migliorando di gran lunga le abilità dei robot. Ulteriori test tenderanno a verificare la effettiva resistenza alle radiazioni e ai cambiamenti subitanei di luce e temperatura, come quelli che avvengono su altri pianeti.

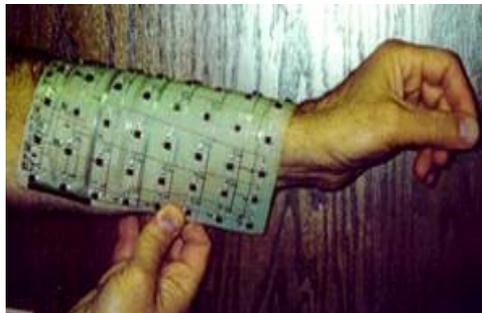


Fig. 37 - Pelle artificiale (NASA)

4.2.4 Microrobot

Negli ultimi anni si è assistito ad un processo di miniaturizzazione dei robot, con una conseguente diminuzione dei prezzi. Le forze portanti di questa rivoluzione sono stati il basso costo della potenza di calcolo e l'accresciuta capacità d'integrazione di sensori ed attuatori. Nel campo della microrobotica i maggiori costi sono legati, allo stato attuale, alla capacità d'integrazione che grava sul costo totale, in alcuni casi fino al 60% del costo degli stessi componenti.

In questo settore di notevole importanza, presso la divisione di microrobotica del CSEM (*Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA*) partner del MCCS (*Micro Center Central Switzerland*) si stanno portando avanti progetti per sviluppare tecnologie atte ad ottenere l'assemblaggio automatico dei MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) e dei MOEMS (*Micro Optical Electro Mechanical System*). (Per maggiori informazioni si veda [4.12]).

Tra gli ambiti oggetto di sviluppi si citano i seguenti:

- ✓ tecnologia robotica avanzata per il microassemblaggio
- ✓ messa a punto di dispositivi optoelettronici
- ✓ messa a punto di biosensori.

Un aspetto critico nello sviluppo di microrobot è dovuto alla dipendenza dei microsistemi dalle condizioni ambientali quali la temperatura e l'umidità, che possono influenzare le forze di adesione, gli stessi materiali e le proprietà microtribologiche dei microcomponenti del sistema. Per poter avere una completa comprensione delle tecnologie di microassemblaggio è essenziale prima che si studi l'influenza di tali condizioni sui processi di montaggio del sistema.

Diversi sono gli ambiti di applicazione della microrobotica. Microrobot delle dimensioni di poche decine di micron sono usati per la misura di superfici metalliche di qualsiasi inclinazione e, se dotati di una punta di diamante, per il taglio di precisione di pareti di materiale ferromagnetico. Per il moto in piccoli tubi sono stati progettati microrobot "vermiformi" composti da molte unità che possono allungarsi o restringersi opportunamente, mediante un FMA (attuatore micro flessibile) di gomma. Altri micro robot autonomi sono progettati per "nuotare" in un liquido, altri per muoversi nel corpo umano, altri per camminare sui soffitti o sui muri verticali.

Nella figura 38 viene mostrato un microrobot magnetico messo a punto dall'Istituto Federale di Tecnologia (ETH) di Zurigo.



Fig. 38 - Microrobot guidato magneticamente *in vivo* realizzato dall'Istituto Federale di Tecnologia (ETH) di Zurigo

La tecnologia MEMS può essere usata per produrre strutture, strumenti e sistemi di scala micrometrica. Un MEMS rappresenta la combinazione di semiconduttori, processi e di ingegneria meccanica su scala molto piccola e costituisce una delle punte d'avanguardia della tecnologia attuale conosciuta come MST (*microsystem technology*).

Tipicamente i MEMS variano fra il nanometro ed il centimetro e sono l'integrazione di elementi meccanici, come sensori ed attuatori, con l'elettronica su di un substrato comune di silicio. Con i MEMS possono essere costruiti microrobot se ad essi, ad esempio, vengono assemblate gambe o ruote.

Spesso all'interno di un millimetro cubico, usando la migliore tecnologia disponibile di batterie, l'energia totale disponibile è dell'ordine di 1 joule e pertanto è la risorsa più preziosa e critica. Un microrobot che cammina può consumare solo una decina di microwatt della potenza generata da una cella solare posta su di esso, ma può trasportare circa 130 volte il suo peso.

Sfortunatamente il costo di fabbricazione di MEMS è ancora proibitivo per molte università, o centri di ricerca ed anche piccole e medie industrie.

Le problematiche connesse con la miniaturizzazione di un sistema sono profondamente legate alla buona comprensione delle proprietà di scala, dei materiali e del processo di fabbricazione in se stesso.

In generale si può affermare che tutti i MEMS hanno un limite di dimensione dovuto al fatto che devono essere insensibili o non interagenti in presenza di fenomeni particolari (per es. l'agitazione termica). Il limite fondamentale di molti sensori in sistemi MEMS appare proprio il rumore termico.

I limiti della microrobotica sono, allo stato dei fatti, definiti dalle sole limitazioni tecnico-costruttive che possono verificarsi a questi livelli di volume. Ricordiamo che stiamo parlando di robot il cui volume è dell'ordine del cm^3 .

Nella successiva figura 39 sono mostrati alcuni esemplari di MARS, un microrobot autonomo costruito dalla Nagoya University. MARS consiste di un microprocessore, due motori a step, diversi sensori, unità di comunicazione, batterie ed interfacce. MARS può effettuare diversi moti in funzione di un programma scaricato da un operatore.



Fig. 39 - Microrobot MARS della Nagoya University

Allo stato attuale il robot più piccolo del mondo completamente autonomo e controllabile è stato costruito negli USA presso il Dartmouth College in Hanover, New Hampshire.

Nella figura 40 sono mostrate due foto del micro manufatto. Esso compie balzi di 10 nm. Il robot misura 60 x 250 micron; contiene due micro-attuatori indipendenti, uno per il movimento in avanti e l'altro per girarsi; non è pre-programmato ma è telecomandato ed alimentato da una rete di elettrodi.

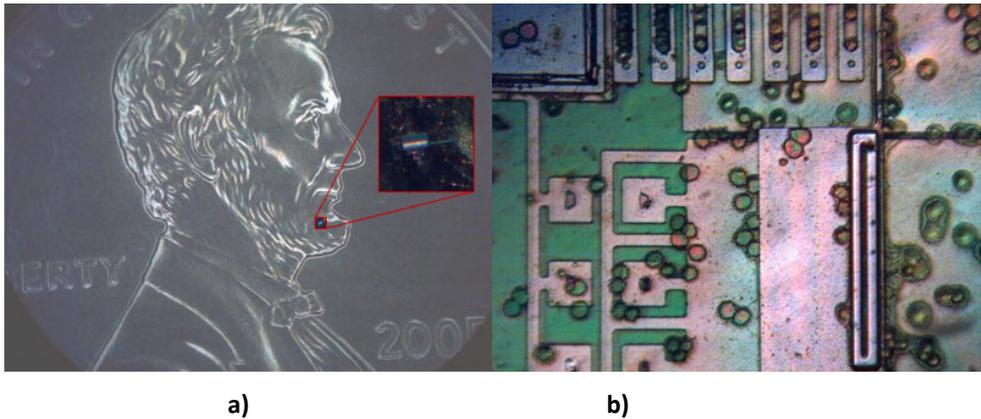


Fig. 40 - a) Il microrobot su un penny; b) Immagine ingrandita: globuli rossi sul microrobot

4.2.5 Nanorobot

Al termine di questo excursus sulle nuove sfide tecnologiche, non può mancare un cenno alle ricerche che a partire dalla fine degli anni 80 del secolo scorso si vanno sviluppando nel campo della nanorobotica.

La nano-robotica, spesso anche chiamata robotica molecolare, è un'area di ricerca emergente.

I settori sui quali attualmente si concentrano gli studi sono i seguenti [4.13]:

- a) disegno, simulazione, controllo e coordinazione di nanorobot. Tali sistemi hanno dimensioni di norma al di sotto del micron ed i loro componenti tra 1-100 nm. La maggior parte delle ricerche condotte in quest'area è ancora teorica a causa delle difficoltà di effettiva fabbricazione di tali robot. Tuttavia, a livello di nanoscala esistono in natura sistemi biologici nanorobotici ed è per questo motivo che la realizzazione di nanorobot è stata esplorata principalmente nel contesto biologico della nanomedicina;
- b) manipolazione e/o assemblaggio di nanocomponenti con strumenti microscopici o macroscopici. La manipolazione a livello di nanoscala è anch'essa una scienza in divenire, in quanto i fenomeni fisici e chimici a questi livelli non sono ancora completamente compresi, ma può giocare un ruolo cruciale nello sviluppo futuro di nanorobot.

La maggior parte delle ricerche condotte nell'area della realizzazione di nanorobot è ispirata alle strutture esistenti a livello biologico. Un obiettivo è quello di utilizzare i vari elementi biologici – le cui funzioni a livello cellulare creano movimento, forze, segnali – come le componenti di un sistema nanorobotico, da usare in risposta a stimoli fisicochimici generati artificialmente. In tal modo strutture biologiche, come le proteine, potrebbero agire come motori, elementi di trasmissione, sensori ecc. e potrebbero essere assemblate per formare dei nanodispositivi con molti gradi di libertà in grado di manipolare oggetti a livello di nanoscala.

In effetti, alcune proteine (Kinesine e Miosine e Dineine) trasportano “carichi” come organelli, lipidi e proteine all’interno delle cellule del corpo, convertendo l’energia chimica in energia meccanica e spesso hanno un ruolo chiave nel guidare il movimento dei muscoli; inoltre, questi “motori” biomolecolari sono molto efficienti e possono autoripararsi.

Ciò ha attratto l’attenzione di molti ricercatori prefigurando nuove frontiere per l’applicazione in campo medico. Possibili applicazioni potrebbero riguardare un loro utilizzo per rilevare e distruggere cellule patogene agendo come anticorpi nel sistema immunitario, per curare malattie che non rispondono ai metodi convenzionali, riparare tessuti danneggiati, liberare arterie da ostruzioni, ricostruire parti di organi. Alcuni studiosi ritengono che questi sviluppi causerebbero, in ambito sanitario, addirittura un cambio di paradigma: dal trattamento della patologia alla sua prevenzione.

Poiché la ricerca per la realizzazione di sistemi nanorobotici è ancora ai primissimi passi, fioriscono diversi studi teorici: la valutazione di possibili disegni ed algoritmi di controllo attraverso l’uso di stime e di ambienti virtuali (Ummat et al. 2004); l’utilizzo dello studio di simulazioni di dinamica molecolare e realtà virtuale (Sharma et al. 2003) per comprendere sia le strutture che i meccanismi a livello di nanoscala. Dubey (2003) ha studiato un motore molecolare noto con il nome di VPL (proteina virale lineare), essenzialmente un attuatore che produce moti di circa 10 nm attraverso cambiamenti conformazionali.

Altri studi sono stati sviluppati nel campo della coordinazione e del controllo di un gran numero (*swarms*) di nanorobot. In particolare in [4.1] si citano una simulazione in ambiente virtuale 3D in cui i nanorobot interagiscono tra loro e la cui locomozione è ispirata a quella di un sottomarino (Cavalcanti, 2003), e una successiva simulazione analoga (2004) per il controllo di un robot medicale in un’arteria per trattare la stenosi. Ulteriori studi (Cavalcanti e Freitas, 2005) hanno presentato alcune strategie di controllo collettivo utilizzando algoritmi genetici e reti neurali, per un gruppo di nanorobot che dovevano effettuare un compito specifico.

Anche nel settore della nanomanipolazione e del nanoassemblaggio le attività sono concentrate sugli aspetti di studio teorico, in quanto alla scala nanometrica i fenomeni fisici e chimici coinvolti non sono stati ancora completamente compresi.

La nanomanipolazione consiste essenzialmente nella manipolazione controllata di nano-oggetti attraverso l’azione diretta di forze e di campi elettrici e si avvale di tecnologie già consolidate quali i microscopi, e trova applicazioni svariate, soprattutto per riparare o modificare strutture biologiche. I lavori in quest’area sono focalizzati sull’uso dei dispositivi SPM (Scanning Probe Microscopy), per depositare o rimuovere piccole quantità di materiale.

Infatti, sebbene tali dispositivi siano nati come microscopi per immagini, essi sono stati successivamente utilizzati anche per la modificazione opportuna dei materiali, considerato che l'interazione tra il cannone del microscopio e il campione può creare cambiamenti sia nell'uno che nell'altro. In questo senso si è iniziato a utilizzare il microscopio come un robot con tre gradi di libertà e il cannone come un braccio robotico. Moto, percezione, *end-effector* e programmazione sono aree in cui si stanno orientando le ricerche.

Di seguito si riportano brevemente le caratteristiche dei due tipi di dispositivi SPM:

a) *STM – Microscopio a scansione tunnel*

L'STM può analizzare campioni al disotto del livello molecolare fino al livello atomico. Funziona sulla base del noto effetto tunnel alla scala dell'Angstrom (10^{-8} cm), la corrente di tunneling è dell'ordine di poche nanoampere; si possono ottenere immagini in modo più rapido se si utilizza la metodologia ad assetto costante in cui il campione è analizzato in un piano parallelo alla porzione di superficie.

b) *AFM – Microscopio a scansione di forza atomica*

L'AFM è considerato lo spin-off industriale del STM; il primo infatti può essere usato solo su materiali conduttivi, mentre AFM è nato per materiali non conduttivi.

Esso si basa sulle forze inter-atomiche anziché sull'effetto tunnel, le forze in gioco sono dell'ordine dei piconewton.

L'AFM ha tre modi normali di operare:

- ✓ *a contatto*: il campione viene analizzato quando si giunge a contatto della superficie (pochi Å), si usa una forza sia costante che variabile per deflettere il campione;
- ✓ *non a contatto*: il fascio oscilla molto vicino alla superficie (alcuni nm) senza toccarla, la punta viene fatta vibrare quasi alla frequenza di risonanza del fascio (circa 1 kHz), la forza di attrazione tra la punta ed il campione causa una variazione nell'ampiezza e nella frequenza di risonanza del fascio. Tali variazioni possono essere usate per formare l'immagine del campione. La risoluzione di questa modalità di operazione è peggiore di quella a contatto, ma può essere usata per campioni particolarmente delicati;
- ✓ *ad intermittenza*: questa tecnica di fatto sfrutta i vantaggi di ambedue i metodi precedenti, per cui le immagini raggiungono risoluzioni molto più elevate del precedente metodo e rappresenta la tecnica preferita per molte applicazioni.

In conclusione, sebbene la effettiva realizzazione di nanorobot sia ancora un traguardo da raggiungere, i nanorobot potrebbero dimostrarsi molto utili nella nanomedicina, in casi in cui il danno è molto selettivo e il tempo di intervento diventa un fattore rilevante.

Secondo i ricercatori impegnati nel settore, infatti, le caratteristiche dei futuri nanorobot consentirebbero trattamenti medici più immediati, una maggiore versatilità e precisione e provocherebbero minori effetti collaterali.

5 LA SITUAZIONE ITALIANA

In questo capitolo vengono riportate alcune informazioni sullo stato della robotica italiana, sia riguardo alla robotica industriale, come delineata dalla UCIMU-Sistemi per produrre nel documento presentato a Cernobbio sulla situazione riferita al 2006, sia relativamente alle attività condotte dai principali centri di ricerca rilevate anche attraverso un'indagine che ha fornito dati interessanti ed incoraggianti sulla ricerca italiana, la quale appare attiva e concorrenziale con il livello internazionale.

Nell'ambito dei centri di ricerca vengono descritti con un certo dettaglio le realtà specifiche operanti nell'ambito del Consiglio Nazionale delle Ricerche, del polo S. Anna Valdera della scuola superiore S. Anna di Pisa e dell'Università di Genova, fermo restando che sul territorio nazionale operano altre realtà significative di cui si riportano in sintesi alcune attività.

Per quanto riguarda l'area industriale si citano, come esempi di eccellenza, le attività delle principali grandi industrie del settore, la COMAU, la Galileo Avionica e la Thales Alenia del gruppo Finmeccanica.

Segue un cenno alla realtà rappresentata dalle PMI con alcuni esempi significativi del loro impegno nella robotica.

Infine si riportano alcuni casi esemplari di cooperazione tra diverse realtà industriali e accademiche che sviluppano congiuntamente attività di ricerca e sviluppo nel settore della robotica a livello regionale.

5.1 Considerazioni sullo stato della robotica in Italia

L'industria italiana dei robot e dell'automazione ha avuto un forte sviluppo a partire dagli anni 70 e ha raggiunto una posizione rilevante come produttore ed esportatore con un parco robot installato di rilievo mondiale.

La maggioranza delle imprese della meccanica strumentale italiana ha dimensione piccola o media e bassi livelli di integrazione verticale, ma è in grado di sviluppare grande flessibilità e capacità di adeguamento alle esigenze del cliente e di fornire prodotti personalizzati.

Il basso livello di integrazione verticale delle imprese trova compensazione nella rete di interrelazioni all'interno dei distretti produttivi in cui è organizzato il settore e nella cooperazione interaziendale sui programmi di ricerca e di assistenza; tutto ciò consente di mantenere un alto livello di qualità della produzione.

Il punto attuale del comparto dei robot industriali è stato fatto dall'UCIMU-Sistemi per Produrre a Cernobbio nel 2007. Di seguito si riportano i dati estratti dal rapporto [5.1].

Il 2006 è stato un anno positivo per l'industria italiana della robotica, inclusi i bracci meccanici; la produzione del comparto, infatti, ha registrato un incremento del 10,3% rispetto all'anno precedente, attestandosi ad un valore di 438 milioni di euro.

I ROBOT (esclusi bracci meccanici)						
Valori in milioni di euro						
	2005		2006		Var.% 06/05	
	Numero	Valore	Numero	Valore	Numero	Valore
<i>Produzione</i>	4.019	389,5	4.545	430,1	+13,1	+10,4
<i>Esportazioni</i>	1.199	116,8	1.406	119,7	+17,2	+2,5
<i>Importazioni</i>	3.062	176,9	3.120	192,7	+1,9	+9,0
<i>Consumo</i>	5.882	449,6	6.259	503,1	+6,4	+11,9
<i>Export/Produzione</i>		30,0		27,8		
<i>Import/Consumo</i>		39,3		38,3		

Tab. 12 - Unità e valore dei robot industriali

Anche la robotica in senso stretto (escludendo dal computo i bracci meccanici) evidenzia una performance positiva. Come riportato nella tabella 12, la produzione ha registrato un incremento del 10,4%, le esportazioni del 2,5%, le importazioni del 9% e il consumo dell'11,9%. Anche in termini di unità i dati sono positivi: +13,1% la produzione, +17,2% l'export, +1,9% l'import e +6,4% il consumo.

Per quanto riguarda la localizzazione delle industrie di robot (tabella 13), la Lombardia è la regione a più alta densità di produttori di robot con il 58,3% delle imprese e il 40,8% di addetti. È il Piemonte, però, ad avere la maggior percentuale di fatturato (43,3%). Tale risultato è determinato dal fatto che nella regione vi è un'alta concentrazione di imprese di grandi dimensioni.

LOCALIZZAZIONE DEI PRODUTTORI ITALIANI DI ROBOT			
ANNO 2006. Quote %			
	Imprese	Addetti	Fatturato
Lombardia	58,3	40,8	34,1
Piemonte	8,4	32,4	43,3
Emilia	16,7	15,6	15,5
Marche	8,3	5,0	2,3
Veneto	8,3	6,2	4,8
TOTALE	100,0	100,0	100,0

Tab. 13 - Localizzazione delle industrie

NUMERO TOTALE DI ROBOT INSTALLATI IN ITALIA PER TIPOLOGIA DI PRODOTTO. DATI CUMULATI AL 2006 (esclusi bracci meccanici)		
<i>Applicazioni</i>	<i>N. macchine</i>	<i>Quota %</i>
<i>Manipolazione e carico/scarico</i>	45.223	54,4
<i>Saldatura *</i>	17.583	21,1
<i>Taglio</i>	2.482	3,0
<i>Montaggio</i>	5.623	6,8
<i>Misura</i>	1.990	2,4
<i>Applicazione materiali</i>	5.193	6,2
<i>Altre applicazioni</i>	5.097	6,1
TOTALE	83.192	100,0

Tab. 14 - Robot installati per tipologia

Nel 2006 i robot installati in Italia hanno registrato un incremento del 6,4% rispetto all'anno precedente, per un totale di 6.259 unità.

Come mostrato nella tabella 14, a livello complessivo il parco robot risulta pari a 83.192 unità. Il montaggio, la saldatura e l'applicazione materiali hanno registrato un incremento, le altre applicazioni sono risultate in calo.

Sebbene l'Italia sia tra i leader a livello mondiale per l'automazione avanzata, esiste una debolezza generale nel settore dei prodotti ad alto contenuto tecnologico la cui ragione va ricercata nelle numerose criticità del tessuto industriale italiano tra le quali è opportuno sottolineare le seguenti:

- ✓ limitata dimensione delle imprese;
- ✓ bassa percentuale di valore aggiunto e bassa occupazione nel settore "high tech" rispetto all'intero settore produttivo;
- ✓ scarsa utilizzazione di processi di trasferimento tecnologico per l'utilizzo di nuova conoscenza;
- ✓ scarsa propensione a generare brevetti o altre forme di tutela della proprietà intellettuale.

Un ulteriore elemento di debolezza deriva dalla ridotta interconnessione tra industria e gruppi di ricerca, con la conseguente difficoltà a operare una reale innovazione di prodotto.

Per quanto riguarda il settore della ricerca e sviluppo, malgrado i limiti suddetti e la mancanza di un piano nazionale della robotica, la situazione presenta comunque diverse aree di eccellenza.

Poiché in tale settore non risultano disponibili indagini esaustive, quali quelle condotte da UCIMU per il settore industriale, l'ENEA ha promosso un'indagine conoscitiva delle attività di ricerca e sviluppo, rivolta ai principali Enti di ricerca e Centri accademici e ad alcune aziende private.

Sebbene i risultati dell'indagine siano inevitabilmente parziali in quanto solo un campione ristretto degli interpellati ha risposto ai quesiti posti e non sempre le informazioni di natura finanziaria sono presenti e omogenee tra loro, i dati elaborati a partire dalle risposte pervenute forniscono indicazioni interessanti sulle aree applicative maggiormente presidiate, sulle tipologie e sulla rilevanza dei finanziamenti nei settori specifici.

In particolare, la tabella 15 mette in evidenza che, anche se il maggior numero di progetti viene condotto dall'Università di Genova e dalla Scuola Superiore S. Anna di Pisa (e relative spin-off), molte realtà accademiche sono attive nel campo della ricerca in robotica, apportando un contributo rilevante e qualificato.

Numero progetti per settore/organizzazione												
	Sicurezza	Personali	Medicali	Ricerca generale	Servizio	Difesa	Veicoli robotici	Veicoli sotto marini	Robot spaziali	Umanoidi	Industriali	
Università La Sapienza - Roma	3	1										4
Università di Verona			1	1	1							3
CHR						1	1	1				3
Politecnico di Milano										1		1
Università di Genova	4			5	7			3	2		7	28
Università di Cassino				2								2
Politecnico di Torino					2							2
Università di Napoli Federico II				1								1
Università di Bologna			2	1							2	5
Università di Parma	3			1			1					5
Università di Perugia							1					1
Università di Brescia											4	4
Scuola superiore S. Anna - Pisa		1	10	5	1		1			1		19
	10	2	13	16	11	1	4	4	2	2	13	

Tab. 15 - Numero dei progetti per settore/organizzazione

Costi per settore (in keuro)							
	EU	Internazionale	Nazionale	Regionale	Fondi Interni	Vari	
Sicurezza	56000	900	170	4000			61070
Personali			1000				1000
Medicali	25100	21500	4500			500	51600
Ricerca generale	28000		10			600	28610
Servizio	30500				50		30550
Difesa				800			800
Veicoli robotici	4000	11000			n.d.	100	15100
Veicoli sottomarini	5000			300	n.d.		5300
Robot spaziali		n.d.	50				50
Umanoidi						150	150
Industriali	50000		1000	1800		n.d.	52800
	198600	33400	6730	6900	50	1350	

Tab. 16 - Costi per settore (in migliaia di euro)

Per quanto riguarda gli ambiti di interesse, le attività si riferiscono principalmente a progetti di ricerca generale e ad applicazioni nel campo dei robot industriali, medicali, di servizio o per la sicurezza, con conseguente predominanza dei finanziamenti in questi settori; notevoli finanziamenti, tuttavia, riguardano anche la ricerca nel campo dei veicoli robotici.

Nella tabella 16 vengono riportati i costi delle attività, ripartiti per settore e tipo di finanziamento, da cui appare evidente come i finanziamenti legati ai Programmi dell'Unione Europea siano predominanti

La successiva tabella 17 riporta invece la numerosità dei progetti per organizzazione e tipo di finanziamento, e sottolinea come le organizzazioni più impegnate nei programmi a finanziamento europeo coincidano con i centri di eccellenza della ricerca robotica in Italia.

Numero progetti per tipo di finanziamento/organizzazione							
	EU	Internazionale	Nazionale	Regionale	Fondi Interni	Vari	
Università La Sapienza - Roma	1	1	2				4
Università di Verona	3						3
CHR				1	2		3
Politecnico di Milano						1	1
Università di Genova	18	1	3	6			28
Università di Cassino						2	2
Politecnico di Torino					1	1	2
Università di Napoli Federico II	1						1
Università di Bologna	1		3	1			5
Università di Parma	1	3	1				5
Università di Perugia						1	1
Università di Brescia						4	4
Scuola superiore S. Anna - Pisa	12	1	3			3	19
	37	6	12	8	3	12	

Tab. 17 - Numero progetti per tipo di finanziamento/organizzazione

5.2 I centri di ricerca

Come si è detto il risultato dell'indagine relativamente alle Organizzazioni di ricerca fotografa una situazione incoraggiante per quanto riguarda le attività di ricerca e sviluppo nel campo della robotica. Di seguito viene fornita una breve descrizione delle realtà che vantano una consolidata leadership nel settore e una cospicua disponibilità di risorse qualificate in tale ambito, come si evidenzia anche dai risultati dell'indagine effettuata.

Si sottolinea, infine, che in molti casi questi soggetti hanno sviluppato forme di aggregazione tipicamente regionali, che vedono coinvolte, oltre alle organizzazioni di ricerca pubblica quali Enti e Università, imprese private di diversa dimensione, e rappresentano una nuova e vantaggiosa opportunità di sviluppo della robotica e della sua applicazione industriale.

5.2.1 Il Consiglio Nazionale delle Ricerche

Diversi Istituti del CNR svolgono attività di ricerca nel settore della robotica e della visione artificiale. Si citano in particolare:

a) *L'ITIA (Istituto di Tecnologie Industriali ed Automazione)* [5.2].

Uno dei più antichi centri di ricerca italiani, l'ITIA di Milano ha da sempre sviluppato automazione e robotica industriale come supporto avanzato per il sistema manifatturiero italiano.

L'Istituto nasce nel 1963 come Consorzio (CEMU) tra CNR e 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. A partire dal 1986, le attività di ricerca scientifica e tecnologica si estendono allo studio di nuove metodologie e strumenti di concezione e gestione di processi di produzione e relative tecnologie avanzate. L'Istituto, inoltre, dà vita ad un osservatorio permanente per studi strategici e potenzia le proprie attività passando anche alla concezione, coordinamento e gestione di programmi nazionali e sovranazionali (Eureka-Famos), attivando servizi per l'innovazione tecnologica ed implementando le attività di formazione per la ricerca ed innovazione industriale.

Nel 1999, nell'ambito del riordino del CNR, viene elaborata e presentata la "Proposta di Costituzione di un Istituto di Ricerca Scientifica e Tecnologica di livello internazionale per la Competitività e Sostenibilità del Manifatturiero", basata sulle visioni strategiche e attività sviluppate nell'Istituto in alleanza con le università, le imprese europee ed italiane e in rapporto continuo con le istituzioni europee ed italiane deputate alla ricerca. L'Istituto in questi 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 quello biomedicale ed in quello della produzione di massa (elettrodomestici e *automotive*).

Le attività di ricerca hanno interessato nello specifico: strumenti di progettazione, macchine operatrici, sistemi e relativi servizi; metodologie e strumenti virtuali di simulazione 3D di prodotto, processo e impresa; strumenti di configurazione, simulazione ed ottimizzazione di processi logistici aziendali (sia interni che esterni); tecnologie e piattaforme per il controllo, la supervisione, il monitoraggio e l'integrazione dei processi produttivi (pianificazione e gestione della produzione) ed organizzativi aziendali; studi strategici sul futuro del manifatturiero ad alto valore aggiunto e delle relative tecnologie abilitanti, a supporto della Piattaforma Europea "Manu-future" e di quella italiana.

Nel seguito si riportano due recenti realizzazioni robotiche:

- ✓ Celerius: robot a cinematica parallela a 5 assi per operazioni di fresatura. Celerius, la prima PKM (Parallel Kinematic Machine) italiana a 5 assi per operazioni di fresatura, è un'unità modulare di lavorazione a cinematica parallela costruita nell'ambito del programma nazionale d'innovazione e ricerca su *Sistemi di Produzione Innovativi* (SPI1) promosso dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR).



Fig. 41 - Il robot Celerius

- ✓ Morpheum: robot modulare e riconfigurabile a cinematica parallela. Concepito e realizzato interamente da ITIA-CNR, Morpheum (*Modular Reconfigurable Parallel Upgradeable Machine*) è un robot a cinematica parallela per operazioni di assemblaggio e "pick and place", che unisce una struttura meccanica altamente modulare e riconfigurabile ad un'elevata dinamica e ad una capacità di carico variabile pensata per rispondere ai continui cambiamenti nei lotti di produzione. La riconfigurabilità della macchina consiste nella possibilità di espandere la configurazione minima per raggiungere un numero superiore di gradi di libertà. Tutto ciò avviene in modo sistematico conducendo a configurazioni ottimali a seconda delle esigenze dell'utente finale. La modularità della macchina consiste nella possibilità di effettuare la riconfigurazione descritta mediante pezzi meccanici tutti identici e intercambiabili tra loro.



Fig. 42 - Il robot Morpheum

b) L'ISSIA (Istituto di studi sui sistemi intelligenti per l'automazione) [5.3].

Articolato sulle sedi di Bari, Genova e Palermo, si occupa di robotica e visione artificiale; si dedica allo studio e la sperimentazione di sistemi robotici complessi, dotati di organi di senso, propulsione e manipolazione, in grado di operare in ambienti caratterizzati da incertezza. L'attività è focalizzata sui seguenti argomenti: navigazione, guida e controllo di veicoli; modellistica ed identificazione di sistemi dinamici complessi; visione ottico/acustica per la ricostruzione dell'ambiente e la navigazione; architetture di controllo in tempo reale; sistemi ad eventi discreti; ambiente di simulazione e sviluppo distribuito in tempo reale; Internet robotics; architetture di controllo della manipolazione e controllo ibrido di posizione/forza; interfaccia uomo-macchina; elaborazione di immagini.

Presso la sede di Genova si sviluppa una linea di ricerca rivolta a studiare metodologie innovative per lo sviluppo di un veicolo autonomo intelligente, capace di apprendere anche in modo automatico l'ambiente operativo (abitazioni, ospedali, musei, aeroporti, zone pubbliche presidiate ecc.), capace di navigare imitando alcune funzioni umane che consentono l'apprendimento incrementale di un ambiente che si modifica dinamicamente senza una conoscenza a priori dello stesso (controllo adattivo), capace di determinare ed evitare gli ostacoli e raggiungere finalmente l'obiettivo senza una pianificazione predefinita (navigazione reattiva). Lo scopo è quello di far apprendere al robot comportamenti che si adattino alla dinamica dell'ambiente, per una data tipologia di sensori ed attuatori, senza che il robot stesso venga riprogrammato.

Un'altra area di ricerca è dedicata allo sviluppo di macchine intelligenti di visione, finalizzate al monitoraggio di manufatti industriali durante la loro lavorazione, all'ispezione e localizzazione di difetti delle rotaie ferroviarie, alla ricostruzione e tracking di oggetti 3D attraverso l'analisi di sequenze di immagini ad alta frequenza temporale.

L'Istituto, in risposta all'indagine promossa dall'ENEA, ha indicato in particolare 3 Progetti in corso, riguardanti il settore della sicurezza e finanziati dal CNR e dalla Regione Liguria, relativamente a studi di fattibilità e sviluppo di piattaforme robotiche mobili prototipali per l'ambiente marino nell'ambito dell'anti-intrusione costiera, e all'implementazione di algoritmi per la guida e il trasporto di veicoli marini autonomi.

5.2.2 Il Polo S. Anna Valdera

Il Polo Sant'Anna Valdera (PSV) è il parco scientifico della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, fondato su attività di ricerca e di formazione proiettate verso l'esterno.

Ospita i Laboratori della Scuola Superiore Sant'Anna che svolgono ricerca avanzata nel campo delle nuove tecnologie – robotica, bioingegneria, biotecnologie, ambienti virtuali, informatica – nonché nell'innovazione e nel marketing territoriale. I Laboratori della Scuola sono inseriti in reti internazionali di eccellenza e vantano una consolidata esperienza di collaborazione con imprese, enti locali e amministrazioni pubbliche. Maggiori informazioni sono disponibili in [5.4].

Tra i vari laboratori presenti si citano i seguenti:

- ARTS Lab (*Advanced Robotics Technology and System laboratory*). Fondato nel 1989, è stato uno dei primi laboratori di ricerca attivato presso la Scuola Superiore Sant'Anna. L'ARTS Lab è focalizzato sulla ricerca fondamentale nei settori della bioingegneria, della robotica e della mecatronica con un approccio fortemente multidisciplinare ed interdisciplinare. Una delle sue peculiarità è quella di esplorare soluzioni tecniche di tipo biomorfo e antropomorfo per l'applicazione nel campo della robotica e dell'automazione. Svolge attività didattica e di ricerca principalmente nei settori della robotica biomedica, delle misure elettroniche biomediche, della biomeccanica e della bioingegneria della riabilitazione.
- CRIM (*Center for Applied research in Micro and Nano Engineering*). Studia metodi di progettazione e tecnologie di fabbricazione di microcomponenti, microsistemi e micromacchine di dimensioni comprese fra il centimetro e qualche decina di micron. Il CRIM, adottando un approccio multidisciplinare, studia e realizza dispositivi e macchine integrate e miniaturizzate per una vasta gamma di applicazioni, la maggior parte delle quali nel settore biomedico. Esempi di tali dispositivi e macchine sono

rappresentati da microendoscopi autonomi che integrano microtelecamere, sensori per diagnostica e monitoraggio, attuatori intelligenti capaci di muoversi in ambienti difficilmente accessibili. In particolare il CRIM studia sistemi per la chirurgia e la terapia minimamente invasiva, strumenti intelligenti per l'endoscopia, sensori per il monitoraggio della salute, microstrumentazione per la caratterizzazione di tessuti biologici e microrobot per l'assemblaggio di micromacchine.

- Il Laboratorio Congiunto sulla Robotica Umanoide. Da una partnership tra Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa e Waseda University, Università del Giappone, è nato il laboratorio RoboCasa, con sede a Tokyo, progetto congiunto sulla robotica umanoide a cui lavorano in sinergia l'ARTS LAB di Pisa e l'Humanoid Robotic Institute giapponese. Tale collaborazione ha già permesso di ottenere alcuni risultati: l'Emotion Expression Humanoid Robot, un androide costruito all'Università Waseda, il cui volto è capace di esprimere tristezza, stupore o imbarazzo coordinandosi con i gesti della mano italiana costruita all'ARTS LAB. L'esperienza, rivelatasi più che positiva, ha ispirato l'istituzione di "RoboCasa Italy", un laboratorio congiunto di robotica umanoide e personale che avrà sede presso il Polo Sant'Anna Valdera. L'obiettivo iniziale di "Robocasa Italy" sarà realizzare la versione italiana di Wabian-2, il primo robot al mondo che cammina come un essere umano, messo a punto dalla Waseda University per simulare le patologie sul cammino bipede e testare gli ausilii per la locomozione.



Fig. 43 - Il robot Wabian-2 messo a punto dalla Waseda University

Nell'ambito delle attività internazionali è stato siglato un accordo di collaborazione con l'ateneo di Chongqing, sito nella più importante realtà economica della Cina occidentale. Tale accordo è stato promosso e sostenuto da due grandi industrie del settore dei motoveicoli, Piaggio & C. SpA e Zhongshen Industrial Group, che hanno voluto affiancare alla propria joint venture industriale un'intesa tra le due Università.

Nell'ambito delle attività di robotica, numerosissimi sono stati i premi e gli attestati guadagnati dalla Scuola. Ultimo in ordine di tempo è il "Well-Tech Award 2007", ovvero il "Premio per l'innovazione che migliora la qualità della vita" ottenuto con la realizzazione della capsula EMILOC, messa a punto dal laboratorio CRIM, che consente di rendere l'esame endoscopico del tratto gastro-intestinale dell'uomo una pratica routinaria e indolore. EMILOC è una capsula robotica ingeribile in grado di diagnosticare precocemente patologie gastrointestinali a livello premaligno. Tale capsula può muoversi attivamente e in modo indolore all'interno dell'intero tratto intestinale grazie alle otto zampe di cui è dotata e al sistema di controllo manovrabile dal medico. Essendo equipaggiata di telecamera e sistema di illuminazione autonomo, consente l'acquisizione di immagini endoscopiche di qualità comparabile a quella che forniscono i colonscopi attualmente disponibili sul mercato. Le capsule attuali viaggiano passivamente grazie alla peristalsi, e non sono in grado di fermarsi e di muoversi in zone di particolare interesse. Grazie agli studi in corso questo limite potrà presto essere superato.

A tale proposito il laboratorio CRIM coordina tutte le attività di progettazione e realizzazione previste da un ambizioso progetto finanziato dalla Commissione Europea per quasi 10 milioni di euro e una durata di 4 anni (iniziato il 1 settembre 2006). Si tratta del Progetto VECTOR -*Versatile Endoscopic Capsule for gastrointestinal TumOr Recognition and therapy*, il cui obiettivo è quello di combattere i tumori gastrointestinali mediante l'uso di microtecnologie dalle caratteristiche innovative. Con queste nuove capsule il medico avrà la possibilità di direzionare la telecamera in modo attivo e controllato, visualizzando l'eventuale presenza di zone sospette di neoplasia e intervenendo localmente all'occorrenza. Operazioni, queste, del tutto indolori, a differenza di quanto accade per le normali colonscopie, procedure ancora oggi molto dolorose e psicologicamente traumatiche.

Un interessante risultato, presentato alla conferenza mondiale di robotica ICRA '07 tenutasi nel 2007 a Roma, è Stickybot, un robot ispirato al gecko, in grado di arrampicarsi verticalmente su superfici lisce quali il vetro o la plastica (figura 44).

Stickybot riesce a far questo grazie all'utilizzo di migliaia di microscopiche spatole di materiale elastomerico integrate nelle proprie zampe. La realizzazione di Stickybot è frutto di una collaborazione con il laboratorio di robotica biomimetica BDML della Stanford University.

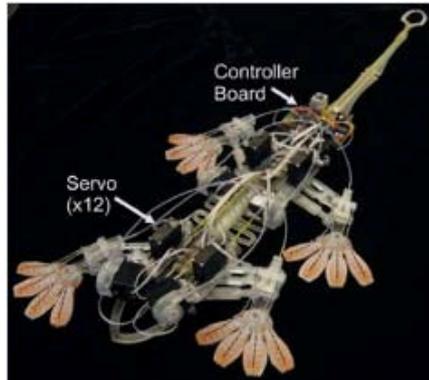


Fig. 44 - Il robot Stickybot

Dall'indagine promossa dall'ENEA risulta che il S. Anna è coinvolto in 19 Progetti finanziati prevalentemente dall'Unione Europea tra i quali il già menzionato Progetto NEUROBOTICS nell'ambito dell'iniziativa FET del VI Programma Quadro dell'Unione Europea.

5.3.3 L'Università di Genova

Presso l'università di Genova operano diversi laboratori attivi nel settore della robotica. In particolare:

a) Il LIRA Lab (Laboratorio Integrato di Robotica Avanzata), nell'ambito del DIST (Dipartimento di Informatica Sistemistica e Telematica). Maggiori informazioni sono disponibili in [5.5].

Il principale tema di ricerca del LIRA Lab riguarda la visione artificiale e il coordinamento senso-motorio, a partire da una prospettiva di neuroscienze computazionali. L'obiettivo è la comprensione di come il cervello dei sistemi viventi trasforma gli input sensoriali in movimento e funzioni cognitive implementando modelli fisici di comportamenti senso-motori.

Specificatamente le attività di ricerca del LIRA-Lab hanno come oggetto:

- ✓ studio del funzionamento e dello sviluppo dei meccanismi di coordinamento occhio-testa-mano nell'uomo e nei robot;
- ✓ sistemi di visione basati su "retine artificiali" antropomorfe;
- ✓ dispositivi di ausilio ai disabili (videotelefonia per audiolesi);
- ✓ sistemi di controllo qualità e automazione delle serre basati su microcamere a colori;
- ✓ sistemi di visione per la guida di robot in ambienti ostili non strutturati.

Uno dei risultati più famosi ottenuti dal LIRA Lab è Babybot, un piccolo robot all'avanguardia rispetto ai suoi concorrenti creati al Medialab del MIT di Boston o nei centri di ricerca della Sony.

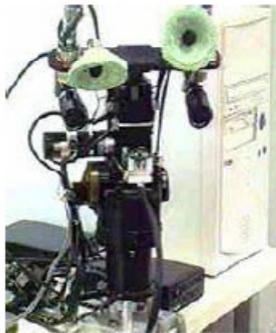


Fig. 45 - Il Babybot del LIRA Lab

La struttura di Babybot è composta da diversi organi meccanici che gli permettono di muoversi con disinvoltura sia a destra che a sinistra. La base di appoggio è costituita da un piccolo cilindro. Ma la sua peculiarità sono gli occhi artificiali che producono una risoluzione identica a quella delle più moderne macchine fotografiche digitali, dai tre ai quattro milioni di pixel.

L'apparato visivo di Babybot è riconducibile alla struttura retinica. Infatti, i ricercatori sono riusciti a mettere a punto degli occhi che danno la possibilità al robot di afferrare, ad esempio, con il braccio meccanico, un oggetto lanciato verso di lui. Una prestazione molto complessa che Babybot può eseguire con disinvoltura grazie a un sostanziale ridimensionamento dei dati da elaborare con una conseguente semplificazione degli algoritmi di calcolo.

Il LIRA Lab è uno dei laboratori in cui si effettua ricerca di punta e con il Polo S. Anna Valdera è tra i più conosciuti in ambito internazionale. Nel panel report del WTEC 2006 [2.2] sulla robotica, tra i centri di ricerca visitati dal gruppo di esperti chiamati a redigere il rapporto sono incluse entrambe le strutture di ricerca italiane.

Diversi sono i Progetti in cui il laboratorio è coinvolto e per alcuni sono state fornite indicazioni specifiche in risposta all'indagine condotta dall'ENEA. Tra questi Progetti, tutti finanziati nell'ambito del VI PQ dell'Unione Europea, si riportano i seguenti:

- ✓ *CONTACT - Learning and development of Contextual Action*. L'obiettivo è investigare lo sviluppo parallelo delle capacità di manipolazione degli oggetti e della parola, per verificare l'ipotesi che i meccanismi fondamentali coinvolti in queste due funzioni siano simili, ipotesi suggerita dall'evidenza che il cervello umano interpreta i movimenti delle persone nello stesso modo indipendentemente dal fatto che l'azione comporti un discorso o un atto motorio;

- ✓ *CogVis - Cognitive Vision Systems*. Obiettivo di tale attività è lo sviluppo di tecniche che consentano la costruzione di sistemi di visione orientate ai compiti di categorizzazione e riconoscimento di oggetti ed eventi, in modo da realizzare agenti mobili in grado di interpretare l'azione degli esseri umani e interagire con l'ambiente per effettuare compiti quali afferrare e portare oggetti in un ambiente domestico.
- ✓ *MIRROR -Mirror neuRons based ROBOT recognition Project Synopsis*. I principali obiettivi del progetto riguardano la realizzazione di un sistema artificiale che impari a comunicare attraverso la gestualità per investigare i meccanismi usati dal cervello per imparare e rappresentare le azioni di manipolazione. Il punto di partenza è l'esistenza dei neuroni "specchio" che si attivano sia durante l'esecuzione di azioni che nel corso dell'osservazione di azioni simili fatte da altri.
- ✓ *ADAPT - Artificial Development Approach to Presence Technologies*. L'obiettivo principale è lo studio del processo di costruzione di una rappresentazione coerente delle sensazioni visive, uditive e tattili e come tale rappresentazione possa essere utilizzata per descrivere il senso della "presenza". A tale scopo vengono studiati i meccanismi usati dal cervello per costruire tale rappresentazione "unificata", sia utilizzando gli studi effettuati sui bambini che realizzando robot, come dimostratori delle teorie di percezione-azione-rappresentazione, attraverso la modellazione di quegli aspetti dei sistemi biologici assunti come i meccanismi fondamentali del comportamento intelligente e applicandoli al disegno di artefatti intelligenti.

Infine, si riporta il già citato progetto RobotCub [5.6], frutto di una collaborazione con diversi organismi internazionali (la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, l'Università britannica di Stanford, quella di Lisbona, quella di Tokio e il Massachusetts Institute of Technology) per la realizzazione di un robot che riprende forma e dimensioni di un bambino di circa due anni e mezzo di età.



Fig. 46 – RobotCub

Le caratteristiche principali di RobotCub da un punto di vista scientifico e progettuale comprendono la ricerca di intelligenza artificiale (cervello ibrido fra biologico ed elettronico) capace di interagire con l'ambiente, grazie alla sua capacità di apprendere e creare risposte all'ambiente sempre nuove e contestualizzate.

Il primo prototipo sviluppato ha un'intelligenza ancora legata a chip elettronici 'tradizionali', ma si stanno sviluppando reti neuronali utilizzando tecniche che consentono di 'incollare' sinapsi su piastre di vetro e silicio in grado di riprodurre in modo sempre più complesso l'intelligenza; le parti di RobotCub saranno costruite con nuovi materiali (molliti, flessibili, resistenti, elastici) in modo da dotare il corpo di una resistenza e una capacità di movimento sempre più ampia, l'intelligenza sarà direttamente correlata alla capacità di 'manipolare' l'ambiente esterno. RobotCub avrà anche la capacità di autoriparare i suoi tessuti principali, novità assoluta che consentirà al robot, per esempio, di compiere missioni in luoghi remoti. Tra i possibili compiti che RobotCub potrà eseguire vi sono l'assistenza e il supporto automatizzati e lo studio di metodologie che consentono di aggirare o ripristinare il tessuto nervoso danneggiato al fine di restituire capacità motorie a soggetti invalidi.

Una caratteristica specifica del progetto è realizzare una piattaforma robotica "aperta" che possa liberamente essere utilizzata dalla comunità della ricerca per ulteriori e successivi sviluppi di sistemi cognitivi umanoidi.

b) il GRAAL (*Genoa Robotics And Automation Laboratory*) del Dipartimento DIST [5.7]. Interessante realtà dell'ambiente accademico genovese, il GRAAL opera nei settori della teoria del controllo e della robotica. Tra i Progetti segnalati da questo laboratorio, finanziati prevalentemente da fondi regionali e orientati ad applicazioni di tipo industriale, si cita il progetto di sviluppo di strutture robotiche complesse automaticamente connesse in rete locale con caratteristiche di operatività "plug and play" auto-organizzanti. Tale laboratorio, inoltre, partecipa al progetto europeo EPOCH (*European research network on Excellence in Processing Open Cultural Heritage*), per lo sviluppo di tecnologie anche robotiche a supporto di applicazioni finalizzate alla salvaguardia e diffusione intelligente del patrimonio culturale.

c) PMARLab (*Laboratory of design and measurement for automation and robotics*) del Dipartimento DIMEC (*Dipartimento di meccanica e costruzione delle macchine*) [5.8].

Storicamente attivo da oltre 20 anni nell'ambito della robotica, si occupa di soluzioni avanzate per robot industriali, di servizio e veicoli mobili sottomarini. Tra i Progetti segnalati dal laboratorio, si cita il progetto europeo del V PQ, Roboclimber - *Development of a tele-operated climbing robot for slope consolidation and landslide monitoring*, concluso nel 2004, il cui obiettivo era

lo sviluppo di un sistema robotico mobile in grado di arrampicarsi in luoghi ostili e pericolosi per l'uomo per attività di ispezione e consolidamento di pareti rocciose. Su questo tema, un ulteriore sviluppo in corso è rappresentato dal progetto SAFERDRILL, finanziato dall'UE, per la realizzazione di un sistema robotico dotato di funzionalità più estese per il consolidamento delle pareti rocciose.

Altre attività sono connesse allo sviluppo di robot per usi industriali (nel tessile e per il taglio intelligente delle pietre ornamentali) e di servizio (per bonifiche di discariche e prosciugamento di terreni e per il monitoraggio di condotte sommerse).

5.2.4 Altri centri accademici

Diverse Università sono attive nel settore della robotica. Alcuni esempi di attività di ricerca e sviluppo emergono dai risultati dell'indagine svolta presso gli organismi di ricerca e accademici:

- ✓ l'Università "La Sapienza" di Roma ha segnalato 3 progetti, finanziati a livello nazionale, riguardanti la security (realizzazione di robot per il supporto a operatori di soccorso per emergenze post terremoto e per l'esplorazione di ambienti interni per la rilevazione di situazioni di emergenza) e l'intrattenimento (prototipo di robot in grado di giocare a calcio secondo le regole previste in RoboCup);
- ✓ l'Università di Bologna, Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica, è attiva nel settore dello sviluppo di robot industriali a basso costo, in ricerche nel settore medicale per la riabilitazione e il supporto in generale ad anziani e disabili, in studi di interfaccia haptic per l'interazione di non vedenti con il personal computer ecc.;
- ✓ l'Università di Brescia si occupa di studi di metodologie di calibrazione cinematica per robot industriali, della dinamica di manipolatori industriali interagenti con l'ambiente, dello sviluppo di sistemi di controllo per la contornatura robotizzata di oggetti dalla forma incognita nell'ambito dello studio dei manipolatori industriali il cui controllo si basa sulla misura e stima delle forze di contatto tra manipolatore e mondo esterno;
- ✓ presso l'Università di Parma, il laboratorio *VisLab* è focalizzato su ricerche e sviluppi di visione mono e stereo per l'individuazione e classificazione di ostacoli e di data-fusion tra radar e telecamere. Sviluppa progetti nel settore della sicurezza nei trasporti.

Un elenco dei principali Organismi di ricerca e laboratori attivi sulla robotica è disponibile in [5.9].

5.3 Le realtà industriali

Come esempio dei grandi gruppi industriali avanzati presenti in Italia si riportano di seguito alcuni dati significativi relativi alla COMAU, la Galileo Avionica e la Thales Alenia.

5.3.1 COMAU SpA

COMAU (Consorzio MACchine Utensili) nasce negli anni 70 a Torino come consorzio di imprese [5.10]. Gli anni 90, con l'acquisizione di COMAU da parte del Gruppo FIAT, ne vedono l'espansione a livello intercontinentale, con sedi in Francia, Spagna, India, America, Sud Africa, Polonia, attraverso l'acquisizione di nuove consociate.

Il nuovo millennio vede l'azienda espandersi in Cina, Spagna, Germania, Australia, Russia e Svezia.

Oggi COMAU è diventato uno dei pochi fornitori "globali" nel campo dell'automazione per l'industria di autoveicoli, potendo garantire una gamma completa di servizi, dall'ingegneria di prodotto e di processo ai sistemi di produzione, fino all'avvio produttivo delle linee e dei macchinari e ai sistemi di manutenzione per un corretto e costante funzionamento degli impianti industriali. La sua ampia gamma di soluzioni robotizzate si rivolge sia ai colossi dell'industria autoveicolistica che alle piccole-medie imprese. La sua dimensione si aggira intorno ai 12000 addetti in 19 nazioni, con un fatturato di oltre 1,2 miliardi di euro nel 2006.

La sua divisione robotica, COMAU Robotics, produce robot industriali dal 1978, anno di produzione del suo primo robot oleodinamico, POLAR, equipaggiato con unità di controllo CRC; a questo hanno fatto seguito famiglie di robot via via più complessi (SMART S2, SMART S3, TRICEPT HP, SNAP MH1, SMART H, SMART M, SMART X1, SMART SiX), unità di controllo sempre più sofisticate (MCS, C3G 900, C3G 901, C3G Plus, C4G) e terminali di programmazione dei robot (teach pendant) sempre più semplici da usare.

Per rispondere all'esigenza di una soluzione robotizzata adatta sia al settore automobilistico sia all'industria in generale, COMAU Robotics nel 2007 ha realizzato Smart NJ, una famiglia di robot adatta a tutte le applicazioni dedicate alla manipolazione pesante e alle lavorazioni meccaniche, caratterizzata da una struttura con grande capacità di carico, ridotto ingombro della base, elevata rigidità e massima precisione di movimento e posizionamento.

La serie robotizzata Smart NJ propone un modello base, con portata di 370 kg e un raggio massimo di 2,7 m e una versione "long", con capacità di carico di 290 kg e uno sbraccio di 3 m. Nonostante l'elevata capacità di carico, i robot a sei assi Smart NJ presentano ingombri ridotti al minimo, con un'innovativa struttura a parallelogramma priva di contrappeso, e una soluzione per la riduzione dell'impronta della base completamente sovrapponibile a quella della serie NH da 220 kg.



Fig. 47 - Robot COMAU della serie SMART NJ

Il buon successo riscontrato sul mercato da questi due modelli ha portato COMAU Robotics a estendere ed evolvere ulteriormente la serie NJ con altri 4 modelli, usciti anch'essi nel 2007: Smart NJ 370 e Smart NJ 420, con raggio di lavoro orizzontale 3 m, Smart NJ 450 e Smart NJ 500, con *reach* massimo di 2,7 m.

Esistono quattro versioni di questa famiglia dedicate alla fonderia e agli ambienti cosiddetti aggressivi, ideali per le lavorazioni dove il robot può supportare l'operatore nelle lavorazioni più rischiose e migliorare la sicurezza, aumentando la produttività e riducendo il tempo-ciclo. Tra le caratteristiche che hanno portato la famiglia Smart NJ a conquistare il favore delle aziende figurano la leadership nel proprio segmento per rapporto capacità di carico/sbraccio, l'alta affidabilità e i bassi costi di manutenzione. I robot Smart NJ sono in grado di lavorare con la massima precisione e accuratezza grazie all'impiego dell'unità di controllo C4G, cinquanta volte più potente del precedente modello C3G e di motori da 600 V; possono inoltre disporre dei terminali di programmazione TP4i, disponibili anche in versione wireless, e di software dedicato ad ogni applicazione. Il loro campo di utilizzo si estende a molteplici e differenziate applicazioni industriali (saldatura, saldatura ad arco, manipolazione, incollaggio, pressatura, fonderia, operazioni di carico e scarico).

Altra innovazione che sta rivoluzionando il mondo della saldatura laser è lo Smart Laser, un robot che permette la saldatura remota (a una distanza che varia tra i 750 e i 1100 mm) con elevate caratteristiche di velocità, precisione e accessibilità a punti di saldatura difficilmente raggiungibili. Si tratta di un robot e un braccio modificato, all'interno del quale è presente un'ottica mobile con un sistema di lenti in grado di far variare diametro e intensità del raggio laser e di indirizzarlo, tramite una serie di specchi mobili, sul pezzo in lavorazione.

Inoltre, come accennato in precedenza, COMAU è membro di EUROP, la piattaforma europea che riunisce i principali centri di ricerca nel campo della robotica e le maggiori industrie del settore. In tale ambito COMAU Robotics partecipa all'iniziativa SMERobot, progetto di ricerca europeo integrato per la realizzazione di una nuova generazione di robot industriali modulari, interattivi, di rapida installazione e facile utilizzo, i quali, grazie ad una progettazione a basso costo, hanno l'intento di rendere disponibile il potenziale competitivo della tecnologia d'automazione alle piccole e medie imprese europee.

5.3.2 Galileo Avionica

Galileo Avionica SpA, del gruppo Finmeccanica, è la principale azienda italiana nel settore avionico con oltre 7.200 dipendenti, di cui 3.100 in Italia e 4.100 nel Regno Unito [5.11]. Progetta, sviluppa e produce sistemi avionici ed elettro-ottici, equipaggiamenti spaziali per piattaforme e satelliti.

È tra i leader mondiali per radar avionici e radiobersagli, sviluppa e produce velivoli tattici senza pilota e simulatori di volo e partecipa ai principali programmi aeronautici di cooperazione europei (Eurofighter, NH-90, EH-101). Oltre alla progettazione e integrazione di sistemi avionici completi ad architettura aperta, integrata e modulare, ha sviluppato ATOS (*Airborne Tactical Observation and Surveillance*), sistema di missione avanzato e flessibile per velivoli da pattugliamento marittimo, concepito per essere installato e rimosso con facilità sia su velivoli ad ala rotante che ad ala fissa.

Galileo Avionica realizza camere termiche per applicazioni avioniche, terrestri e navali e una famiglia di sensori, denominati EOST, di sorveglianza elettro-ottica per velivoli ad ala fissa, rotante e UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), precedentemente denominati *droni*.

Inoltre produce sonar aeroportati e ricopre il ruolo di capo commessa per la fornitura di questi ultimi nella versione antisom degli elicotteri NH-90 della Marina Militare italiana e olandese. La società figura tra i più importanti produttori di sistemi UAV di sorveglianza e ricognizione.

Tra i suoi prodotti di ultima generazione, si citano il sistema UAV di sorveglianza Falco e il sistema Nibbio per la ricognizione veloce in profondità. I settori di attività più avanzati riguardano sensori ed emettitori elettro-ottici, sensori radar, simulatori e equipaggiamenti per UAV, sensori di assetto, sensori multispettrali. Particolarmente interessanti sono le potenziali applicazioni nei contesti della sicurezza e della sorveglianza del territorio.

Inoltre, l'azienda si è aggiudicata il premio Frost & Sullivan "Product Differentiation Innovation" 2006 per l'UAV Falco, sistema teleguidato di sorveglianza tattica, per l'eccellenza tecnologica raggiunta nello sviluppo di una tecnologia UAV innovativa rispetto ai classici sistemi TUAV (*Tactical Unmanned Aerial Vehicle*) e ai complessi ma costosi sistemi MALE (*Medium Altitude Long Endurance*).



Fig. 48 - Il veicolo aereo senza pilota Falco

Nella figura 48 è mostrato il drone Falco.

Galileo Avionica ha partecipato ai principali programmi spaziali dell’Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e dell’Agenzia Spaziale Europea (ESA), ed è tuttora impegnata nei principali programmi europei per l’esplorazione planetaria e la robotica spaziale, tra cui Rosetta, ExoMars, Dexarm e Eurobot.

In particolare, ha sviluppato il sistema robotico “EUROPA” (External Use of Robotics for Payloads Automation) per eseguire esperimenti scientifici all’esterno della Stazione Spaziale Internazionale (ISS), che si basa sulla tecnologia “Spide”, un braccio robotico con sette gradi di libertà. Tutte le operazioni di EUROPA, robot a basso costo ed alte prestazioni, sono programmate a terra e vengono eseguite automaticamente in orbita, sotto il controllo del Centro di Robotica Spaziale dell’ASI a Matera, senza la necessità di rischiose e costose attività in ambiente extra veicolare da parte degli astronauti. La figura 49 mostra l’aspetto del robot EUROPA e la sua struttura interna.

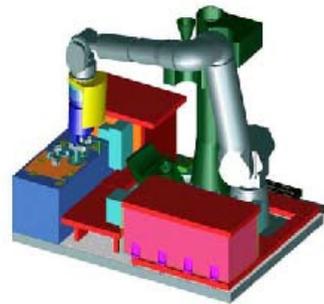


Fig. 49 - Il robot spaziale EUROPA

Galileo Avionica partecipa al progetto svedese “Prisma Rendezvous Robots” che prevede la realizzazione di due satelliti, uno principale e uno “target” più piccolo, la cui messa in orbita è prevista nel 2008. I due satelliti compiranno particolari manovre di allontanamento, riconoscimento, agganciamento in volo, servendosi di un nuovo sistema di navigazione, guida e controllo di assetto.

Il progetto, nato per iniziativa della *Swedish Space Corporation* in collaborazione con la *Swedish National Space Board*, i due centri di eccellenza dell’industria aerospaziale svedese, è finalizzato allo sviluppo di nuove tecnologie spaziali per future missioni che prevedano il volo in formazione o l’agganciamento di satelliti in orbita; Galileo Avionica fornirà i generatori solari per l’alimentazione elettrica del veicolo e degli strumenti presenti a bordo che dovranno resistere ad importanti carichi statici, dinamici e termici tipici dell’ambiente spaziale.

Infine, la società ha industrializzato una strumentazione diagnostica, portatile e non invasiva, denominata TRIMprob (*Tissue Resonance Interfero-Meter Probe*), che consente di evidenziare in tempo reale e in maniera decisamente precoce diverse patologie, dagli stati infiammatori alle formazioni tumorali. Lo strumento, di semplicissimo utilizzo, consente di esaminare i diversi distretti del corpo umano in pochi minuti, senza la necessità di rimuovere gli indumenti e senza provocare il minimo disagio per il paziente.

L’apparecchiatura è composta da una sottile sonda cilindrica della lunghezza di circa 30 centimetri alimentata a batterie e da un ricevitore; un applicativo software appositamente elaborato è deputato all’acquisizione, alla lettura e alla gestione dei dati diagnostici. Al fine di certificarne la validità medico/diagnostica sono stati condotti e conclusi diversi protocolli di sperimentazione relativi a distretti clinici specifici, che hanno fornito risultati promettenti in termini di sensibilità, specificità e accuratezza della metodica. Nella figura 50 si riporta un esempio di Trimprob.



Fig. 50 - Trimprob: sensore e scatola di controllo

5.3.3 Thales Alenia Space

Come la Galileo Avionica, anche la Thales Alenia Space [5.12] fa parte del Gruppo Finmeccanica, holding italiana nei settori dell'aeronautica, dell'elicotteristica, dello spazio e della difesa.

Il Gruppo è il primo in Italia nell'alta tecnologia e terzo in Europa tra le società che operano in tali settori. Registra ricavi pari a oltre 12 miliardi di euro e un totale consolidato di oltre 58.000 addetti e dispone di asset produttivi importanti all'estero, in particolare nel Regno Unito, in Francia e negli Stati Uniti.

I settori di mercato in cui Finmeccanica è presente includono i sistemi civili, la fabbrica automatica, i sistemi di comando e controllo, la missilistica, le apparecchiature biomedicali, la robotica complessa, la componentistica microelettronica negli ambiti dell'energia, trasporti, impiantistica industriale, aerospazio. Il Gruppo fa parte di EUROP, la piattaforma europea per la robotica.

In particolare la società Thales Alenia Space, di proprietà congiunta Finmeccanica-Thales, si occupa dello sviluppo e della ricerca tecnologica nel campo della robotica, specialmente per i *payload* scientifici, la robotica spaziale, l'osservazione e la navigazione satellitare, le infrastrutture orbitanti.

Nel settore dell'esplorazione planetaria gli sviluppi su automazione e robotica, principalmente nel campo della visione e dell'elaborazione delle immagini, hanno consentito la progettazione di veicoli di esplorazione planetaria autonomi, utilizzati in diversi programmi europei.

Infatti nell'ambito delle infrastrutture orbitanti e della loro manutenzione, Alenia partecipa allo sviluppo del progetto europeo Eurobot, che nasce dalla necessità di portare in orbita uno strumento che possa operare sia in autonomia sia in supporto agli astronauti durante le complesse e dispendiose operazioni extraveicolari (EVA) alla Stazione Spaziale internazionale. Attualmente è stato realizzato da Alenia un modello subacqueo (Eurobot WET model – EWM) che consente di effettuare prove funzionali in acqua, simulando così le condizioni di assenza di gravità (figura 51).

L'evoluzione futura di Eurobot prevede lo sviluppo di un prodotto in grado di svolgere alcuni dei compiti che di solito spettano agli astronauti, dalle semplici operazioni di sollevamento e spostamento a bordo della Stazione Spaziale Internazionale fino al lavoro su superfici planetarie e alla costruzione di basi abitate.

Inoltre, nell'ambito del contratto firmato con l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), Thales Alenia Spazio ha avviato la progettazione della missione ExoMars, destinata ad esplorare la superficie di Marte. Con un budget di circa 600 milioni di euro, ExoMars è uno dei principali programmi di esplorazione dei prossimi anni, ed è la prima missione robotica dell'ESA ad essere sviluppata nell'ambito del programma Aurora, il cui scopo è l'individuazione e lo sviluppo di attività automatiche o umane di esplorazione del sistema solare.

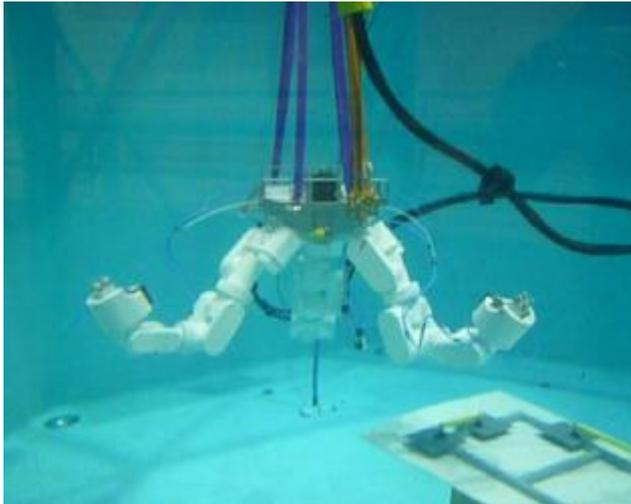


Fig. 51 - Eurobot WET della Thales Alenia Space

Essa prevede l'utilizzo di una navicella spaziale robotica dotata di pannelli solari per generare elettricità e navigare in modo autonomo con l'aiuto di software e sensori ottici; una volta giunta sul pianeta, la navicella sgancerà un veicolo robot che trasporta un laboratorio in grado di analizzare campioni di terra e rocce per rilevare segni di vita presente o passata.

5.4 Il ruolo delle Piccole e Medie Imprese nella robotica

Negli ultimi dieci anni il sistema produttivo italiano si è trasformato strutturalmente, con una divisione del lavoro più articolata tra imprese grandi, medie e piccole, e con un progressivo affidamento della funzione di fabbricazione a unità specializzate di dimensione minore e intermedia.

Questo è il quadro che emerge da uno studio dell'UCIMU, presentato all'inizio del 2007, sul parco macchine e i sistemi di produzione dell'industria italiana [5.13], realizzato avvalendosi di strumenti statistici complessi e di una massiccia analisi sul campo su un campione stratificato di imprese.

La traccia più evidente di questa trasformazione è la diminuzione della quota di macchine installata nelle unità produttive di maggiori dimensioni e l'incremento della quota rilevata nelle unità più piccole, come risulta dalla tabella 18.

	1984	1996	2005
Da 20 a 49 addetti	33,9%	43,5%	52,8%
Da 50 a 199 addetti	30,6%	28,5%	33,6%
200 addetti e oltre	35,5%	27,9%	13,5%

Tab. 18 - Distribuzione del parco macchine per classi dimensionali

Oltre la metà del parco macchine si trova presso imprese con meno di 50 addetti: vent'anni fa erano circa un terzo. Per contro, le macchine installate presso imprese con 200 addetti e oltre, che vent'anni or sono erano oltre un terzo delle macchine totali, oggi sono scese al 13,5%. La causa più rilevante sembra essere l'affidamento della funzione di fabbricazione a unità specializzate di dimensione minore.

Tuttavia, se le grandi imprese hanno visto diminuire il numero di macchine installate presso di loro, in compenso impiegano macchine e sistemi di produzione più recenti, più robotizzati, più integrati.

Infatti, i robot rappresentano l'1,7% del parco delle piccole imprese e il 13,7% di quello degli stabilimenti di maggiori dimensioni, come risulta dalla tabella 19.

	da 20 a 49 addetti	da 50 a 99 addetti	da 100 a 199 addetti	200 addetti e oltre	Totale
Macchine a asportazione	74,6%	72,7%	64,9%	69,2%	72,2%
Macchine a deformazione	18,6%	20,7%	23,9%	13,4%	19,0%
Macchine utensili non convenzionali	3,8%	3,1%	2,7%	1,7%	3,2%
Robot	1,7%	2,0%	6,6%	13,7%	4,0%
Macchine di misura	1,2%	1,4%	1,9%	2,0%	1,5%
Totale	100%	100%	100%	100%	100%

Tab. 19 - Composizione del parco macchine per classi dimensionali

Per quanto riguarda le attività di ricerca e produzione nei diversi settori della robotica, in Italia esistono numerose PMI attive nel campo. Alcune di esse sono "spin-off" di dipartimenti universitari ed operano soprattutto in progetti di ricerca, altre hanno trovato una loro nicchia di mercato in prodotti altamente specializzati, altre ancora hanno allargato i loro interessi a campi più tipicamente industriali (automazione e macchine speciali). Ad oggi, però, nessuna di loro ha immesso sul mercato un prodotto che possa essere considerato un "sistema robot". Gli investimenti necessari, in termini di sviluppo, ingegnerizzazione, produzione, marketing, organizzazione ecc., sono infatti troppo elevati per le possibilità finanziarie di una PMI, mentre sono alla portata delle grandi aziende che sono in grado di individuare, definire e realizzare un prodotto appetibile dal mercato anche attraverso il ricorso a fonti di finanziamento nazionali ed internazionali.

Le PMI possono comunque dare un notevole contributo nella realizzazione di soluzioni tecnologiche specifiche nel settore di competenza grazie anche alla consuetudine ad operare in stretto contatto con Università e Centri di Ricerca, realizzando e trasferendo nella pratica gli studi, le idee e le ricerche che le Università portano avanti su un piano teorico.

Oltre a ciò, di norma, dimostrano flessibilità e interesse verso problematiche nuove e capacità di aggregarsi in cluster per disporre di un ampio spettro di competenze al fine di superare gli ambiti specifici di ciascuna di esse.

Come esempio del ruolo svolto da alcune PMI nell'ambito della robotica italiana e delle potenzialità e capacità d'integrazione con grandi aziende o centri di ricerca, si cita il caso della ditta TELEROBOT Srl [5.14].

Telerobot fornisce ingegneria nel campo dell'automazione meccatronica e robotica rivolta soprattutto a:

- ✓ industrie manifatturiere di prodotto, imprese ed enti del settore telecomunicazioni, spaziale, difesa, produttori di macchine operatrici automatiche, macchine utensili e robot;
- ✓ grandi società di ingegneria del settore off-shore, segnatamente per quelle attività quali installazione, riparazione, disinstallazione e messa in sicurezza di pozzi e gasdotti ove si rendono necessari mezzi ed attrezzature teleoperate;
- ✓ istituti di ricerca avanzata sperimentale ed università.

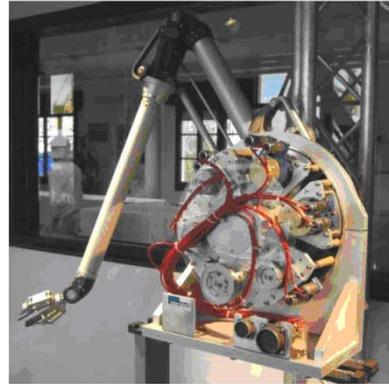
Telerobot opera, inoltre, nel settore della robotica avanzata particolarmente in collaborazione con Enti di Ricerca ed Università; infatti è uno dei soci fondatori del Polo della Robotica di Genova.

Progetti di particolare rilievo in cui Telerobot è stata ed è attualmente impegnata sono:

- ✓ Progettazione e sviluppo di un umanoide per lo studio dello sviluppo cognitivo infantile nell'ambito del progetto europeo "RobotCub" in partnership con 10 centri universitari e istituti di ricerca in tutta Europa;
- ✓ Progetto di braccio ("Manipulation Tool Module") da utilizzarsi sulla parte frontale del "Cobra System", veicolo per esplorazione all'interno di condotte marine (diametro max 550 mm), sviluppato per SAIPEM SpA (gruppo ENI);
- ✓ Progetto e realizzazione di un dispositivo di presa flessibile a cinque dita con pollice opponibile per un totale di sedici gradi di libertà complessivi, da utilizzare per compiti di ricerca nella coordinazione visione-movimento, sviluppato in collaborazione con il DIST (Dip. Informatica, Sistemistica e Telematica - Università di Genova);
- ✓ Progetto e realizzazione di una testa robotizzata nell'ambito di un progetto di ricerca ASI (Agenzia Spaziale Italiana);
- ✓ Sviluppo di un set-up antropomorfo (testa/busto/ spalla/braccio/mano) per società giapponese leader mondiale nella robotica e nell'*automotive*;
- ✓ Riprogettazione di un telemanipolatore a 7 gradi di libertà denominato MASCOT (progetto MASCOT 2000) per ENEA.



a)



b)

Fig. 52 - a) Dispositivo di presa flessibile a cinque dita b) Telemanipolatore MASCOT

5.5 Alcuni esempi di cooperazione e di realtà emergenti

In questi ultimi anni si assiste ad una serie di iniziative a livello regionale che coniugano le attività delle strutture industriali con i centri di ricerca presenti sul territorio, dando vita a forme di collaborazione preziose sia per il tessuto industriale che per le stesse attività di ricerca.

Si riportano, a titolo di esempio, tre interessanti forme di cooperazione tra realtà diverse operanti rispettivamente in Liguria, in Piemonte e in Emilia Romagna.

5.5.1 Il Polo della Robotica e l'IIT di Genova

Un esempio interessante di queste forme di aggregazione è rappresentato dal Polo della Robotica di Genova [5.15], associazione di piccole e medie imprese affermate a livello nazionale ed internazionale attive nei settori dell'elettronica, automazione industriale, telecomunicazioni, materiali, sensoristica, informatica, mecatronica e bioingegneria, operanti in stretta collaborazione per le attività di ricerca con i dipartimenti scientifici dell'Università di Genova e con altri centri di ricerca nazionali ed internazionali.

Soci e promotori istituzionali sono, oltre all'Università di Genova, la CCIAA di Genova, il Parco Scientifico e Tecnologico della Liguria, l'Associazione Industriali di Genova e il DIXET (Distretto Elettronica e Tecnologie Avanzate di Genova - Club d'Imprese).

Forte del particolare background industriale e culturale del territorio, il Polo della Robotica, nato nel 2002, aggrega produttori e fornitori di tecnologie di base del settore della robotica, integratori di sistemi complessi, utilizzatori di sistemi robotici.

Il know how, l'esperienza e l'interdisciplinarietà del Polo consentono di offrire al mercato industriale e della ricerca competenze, servizi e prodotti nei settori:

- ✓ building automation
- ✓ robotica mobile
- ✓ robotica industriale
- ✓ robotica antropomorfa
- ✓ ingegneria hi tech.

La particolare flessibilità della compagine organizzativa permette di fornire una risposta in grado di soddisfare la domanda sempre più complessa proveniente dai nuovi mercati e dai diversi settori, attraverso la creazione di consorzi temporanei d'impresa con competenze specifiche per lo sviluppo di particolari progetti.

Il "Polo della Robotica" si sta affermando anche come marchio di prodotti robotici innovativi specialmente nel campo sottomarino con i prototipi Romeo e Folaga (per l'archeologia marina) e con la realizzazione di Phantom, un ROV (Remotely Operated Vehicle) in grado di seguire gli oleodotti in maniera autonoma alla ricerca di danni alla struttura, messi a punto dall'ISME (*Centro Interuniversitario dei sistemi integrati per l'ambiente marino*) (figure 53 e 54).

Un'altra realtà emergente nel territorio genovese è l'Istituto Italiano di Tecnologia. Istituito nel 2003 dal Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e dal Ministro dell'Economia e delle Finanze, l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) è una Fondazione che ha lo scopo di promuovere la ricerca scientifica, lo sviluppo tecnologico e l'alta formazione tecnologica in Italia.



Fig. 53 – Romeo, il robot del Robotlab CNR di Genova



Fig. 54 - Phantom per il controllo degli oleodotti sottomarini (Prog ISME)

Dopo mesi di preparazione in cui la Fondazione ha predisposto un piano di studio e previsto l'avvio del programma di ricerca su tre diverse piattaforme tecnologiche (Neuroscienze, Nanobioteconologie e Robotica), l'Istituto ha attivato una rete di competenze e laboratori. In particolare, sono stati designati quattro direttori delle Unità di Ricerca e delineati nove centri scientifici italiani. I direttori, selezionati tra una rosa di scienziati di fama mondiale che eccellono nel campo della robotica e delle nanotecnologie, sono: Darwin Caldwell, Jean Guy Fontaine, Giulio Sandini, Fabio Benfenati.

I nove poli, dislocati su tutto il territorio nazionale, sono:

- ✓ la Scuola Internazionale di Studi Superiori Avanzati (SISSA) di Trieste, per la competenza nelle neuroscienze cognitive;
- ✓ il Politecnico di Milano, per un contributo che va dalla nanotecnologia alle biotecnologie, alla robotica per gli handicap;
- ✓ il San Raffaele di Milano, per le neuroscienze;
- ✓ l'IFOM-SEMM di Milano, per la medicina molecolare;
- ✓ la Scuola Normale Superiore di Pisa, per la biofisica molecolare;
- ✓ la Scuola Superiore S. Anna di Pisa, per le competenze di micro-robotica;
- ✓ l'EBRI (European Brain Research Institute) di Roma, per il sistema nervoso centrale, il funzionamento del cervello e le dinamiche dell'apprendimento;
- ✓ l'Università Federico II di Napoli, per lo studio sui tessuti artificiali;
- ✓ il Laboratorio Nazionale di Nanotecnologia del CNR di Lecce, per le nanoparticelle per diagnostica e le nanobioteconologie.

5.5.2 L'Associazione Robotica Piemontese

Il distretto di Torino si trova al centro geografico di un network di eccellenza robotica formato tra gli altri da Lione e Grenoble in Francia, Losanna e Neuchatel in Svizzera, Milano, Genova e Pisa in Italia. Questa collocazione e la presenza della FIAT fanno del Piemonte una delle regioni a più alto tasso di sviluppo nel settore; per di più in Piemonte è presente una forte concentrazione di piccole e medie imprese attive nel campo della robotica e dell'automazione industriale, con circa 250 aziende che occupano all'incirca 8.600 addetti [5.16].

In questo contesto nel 2004 è nata l'Associazione Robotica Piemontese, fondata da un gruppo di interesse formato da Università degli Studi e Politecnico di Torino, Confindustria Piemonte, Istituto Superiore Mario Boella, ANIPLA-Associazione Nazionale per l'Automazione, CSEA, CREA-Centro Ricerche Europeo Amada, CSP, Prima Industrie ed ERXA.

La nuova associazione lavora nel solco di una tradizione decennale che ha fatto del Piemonte una importante realtà a livello internazionale nella robotica, anche se negli ultimi anni a causa della mancanza di fondi e di strategie per l'innovazione sono subentrate alcune difficoltà.

L'associazione vuole essere così il polo attorno al quale rilanciare la competitività e lo sviluppo del settore.

Primo appuntamento in agenda è stato la competizione internazionale Robocup, che partendo dal gioco del calcio offre l'opportunità di sperimentare nuove tecnologie applicate ai robot e presentare i risultati di attività di ricerca che potranno poi avere effetti rilevanti anche in campo industriale. Dalla dimensione ludica di una partita di calcio tra robot si possono ottenere risultati nel medio periodo nei settori della meccanica, dell'elettronica, dell'elettrotecnica, dell'automazione, dell'informatica e delle telecomunicazioni, con il duplice obiettivo di rafforzare l'attività della ricerca e promuovere l'immagine delle imprese e delle istituzioni del territorio e favorire la partecipazione a grandi progetti di ricerca e sviluppo.

Nella figura 55 vengono mostrate due fasi della Robocup.

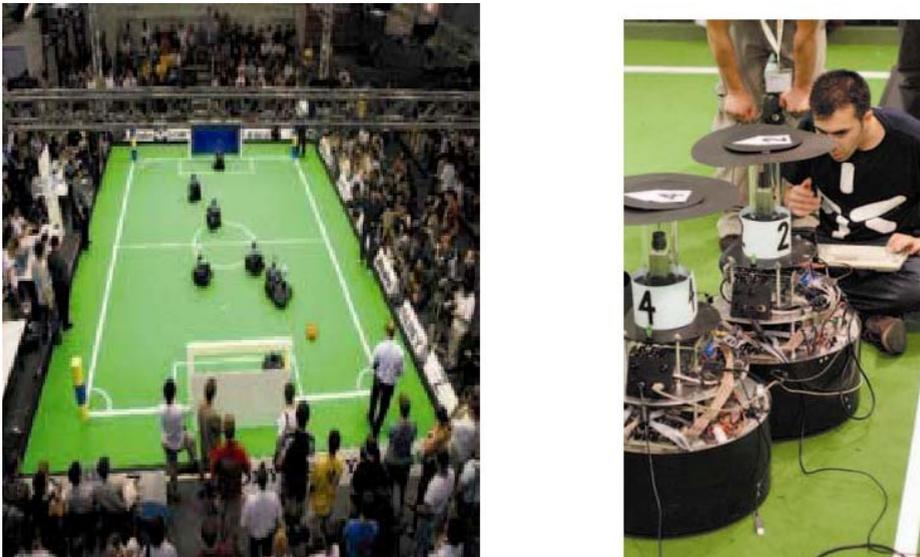


Fig. 55 - Due fasi della Robocup

Proprio in vista della partecipazione alla Robocup è “nato” il primo robot umanoide di costruzione italiana, di nome Isaac, frutto della collaborazione tra il Politecnico di Torino e la multinazionale tedesca Siemens. I processi costruttivi utilizzati sono di ultima generazione ed utilizzano materiali tecnologicamente avanzati: il peso ridotto, solo 14 kg, ne è la dimostrazione. Isaac ha 18 gradi di libertà totali (6 per ogni gamba, 2 per ogni braccio e 2 sul collo), una videocamera USB per la visione, e 23 sensori di movimento; i comandi possono essere inviati al robot, che utilizza un sistema operativo basato su Linux, grazie ad un modulo wireless fornito proprio da Siemens. L'alimentazione è affidata ad una batteria da 25v. Maggiori informazioni sono contenute in [5.17].

La realtà piemontese comprende anche importanti rappresentanti della robotica industriale come la *COMAU*, la rappresentanza italiana della *ABB* e della *Kuka Roboters* ed altri ancora.

Nella figura successiva vengono mostrati i diversi campi di competenza delle PMI piemontesi o dei centri di ricerca ad esse associati, come il *SiTI* (Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali e l'Innovazione) del Politecnico di Torino. Come si può notare, la realtà piemontese nel campo della robotica copre quasi tutto lo spettro possibile della robotica moderna, industriale, di servizio, spaziale fino ai robot umanoidi ecc.

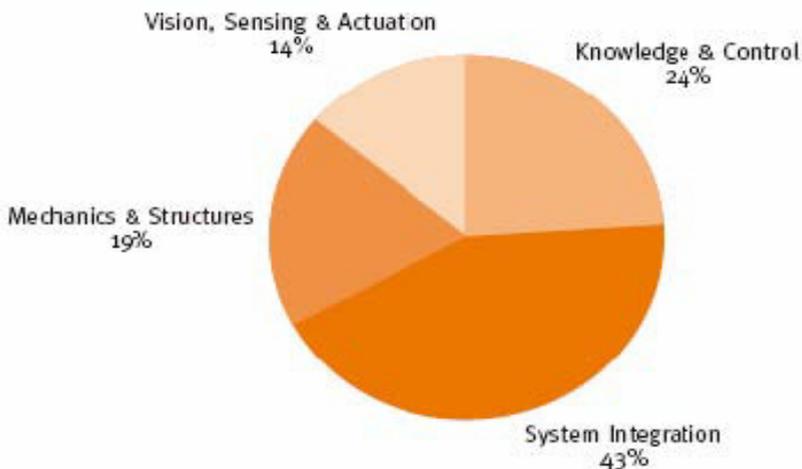


Fig. 56 - Campi di competenza delle PMI piemontesi [5.18]

5.5.3 L'HI-MEC dell'Emilia Romagna

Una prima esperienza di integrazione tra strutture di ricerca e trasferimento tecnologico e imprese è stata realizzata attraverso la costituzione del Distretto Tecnologico HI-MEC sulla meccanica avanzata, nato nel 2003 da una collaborazione della Regione Emilia-Romagna con le Università di Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Parma, Piacenza, CNR, INFN, ENEA, ASTER e le associazioni imprenditoriali presenti sul territorio [5.19].

L'iniziativa è stata selezionata nell'ambito dell'azione "Distretti Tecnologici" del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR), che ha lo scopo di sviluppare poli regionali di ricerca e innovazione di eccellenza, incentrati su settori specifici, concepiti per attrarre risorse economiche e scientifiche e accrescere la competitività, lo sviluppo e le capacità tecnico-industriali ed economiche del territorio.

La scelta è caduta sul settore meccanico, fondamentale per lo sviluppo tecnologico della regione Emilia-Romagna in quanto rappresenta il 42% dell'industria manifatturiera a livello regionale ed il 55% dell'export; per di più, con oltre 28.000 imprese, costituisce una delle più alte concentrazioni industriali del Paese, in particolare nella produzione di macchine per l'industria (17,3% della produzione totale nazionale), nella filiera *automotive* e nella robotica (6,1% della produzione totale nazionale), ed esprime quasi il 70% della domanda di ricerca del settore industriale.

L'idea che sta alla base del Distretto Hi-Mech è quella di utilizzare la ricerca come volano dell'economia regionale, in un settore come la meccanica avanzata che, pur se tradizionalmente competitivo, necessita di impulsi innovativi per mantenersi tale, aggregando le competenze tecnico scientifiche e industriali presenti sul territorio con le finalità di:

- ✓ stimolare l'industria regionale ad utilizzare la ricerca e l'innovazione per migliorare la propria competitività;
- ✓ indirizzare il sistema della ricerca verso il trasferimento dei risultati all'industria per velocizzare il processo di modernizzazione produttivo regionale;
- ✓ creare una massa critica della ricerca capace di competere a livello internazionale.

Il Distretto si delinea come un polo di ricerca e innovazione concentrato su tre ambiti tecnologici (o cluster): “Metodi innovativi per l'ingegneria meccanica”, “Sistemi meccanici intelligenti”, “Materiali, superfici e nanofabbricazione”.

In ciascun ambito tecnologico sono state individuate alcune aree di ricerca, alle quali corrispondono dei laboratori a rete (o Net-Lab), insiemi di laboratori e competenze tecnico-scientifiche messe in rete che costituiscono lo strumento operativo con cui l'attività di ricerca viene realizzata, ed operano all'interno di filoni progettuali ben precisi.

Il loro principale valore aggiunto è quello di integrare i risultati sviluppati dai singoli gruppi di ricerca, ottenendo una effettiva tecnologia innovativa trasferibile all'industria.

In particolare, all'interno del cluster “Sistemi meccanici intelligenti” è stato definito il Net-Lab “Automazione”, la cui missione è incentrata sullo sviluppo di metodologie e applicazioni nell'ambito dell'automazione industriale, con particolare riferimento alle aree *automotive*, robotica e macchine automatiche.

Il programma del Net-Lab “Automazione” si basa prevalentemente sullo sviluppo di tre filoni progettuali:

- ✓ Studio e sperimentazione di sistemi di controllo *embedded* su architetture distribuite con applicazioni in campo *automotive*, robotica e macchine automatiche, che riguarda le attività di progettazione, sperimentazione e valutazione delle prestazioni dei sistemi “*embedded*” e , più in generale, dei sistemi di elaborazione e controllo del movimento operanti in tempo reale.
- ✓ Sviluppo di tecniche diagnostiche per sistemi di automazione fault-tolerant in campo *automotive*, robotica e macchine automatiche, che si riferisce al problema della diagnosi e dell’isolamento dei guasti su sensori, attuatori e componenti, e alla successiva riconfigurazione del sistema per garantire comunque prestazioni soddisfacenti.
- ✓ Sviluppo di sistemi robotici ad elevata interazione con l’ambiente, con particolare riferimento alla telemanipolazione, alle interfacce evolute ed alla navigazione autonoma (sensoristica di forza, tatto e visione, interfacce evolute “tattili” uomo-macchina), che riguarda lo studio, la progettazione e la sperimentazione di sistemi meccanici a più gradi di libertà, controllati secondo leggi di moto programmabili.

Lo schema del cluster descritto viene mostrato nella figura 57.

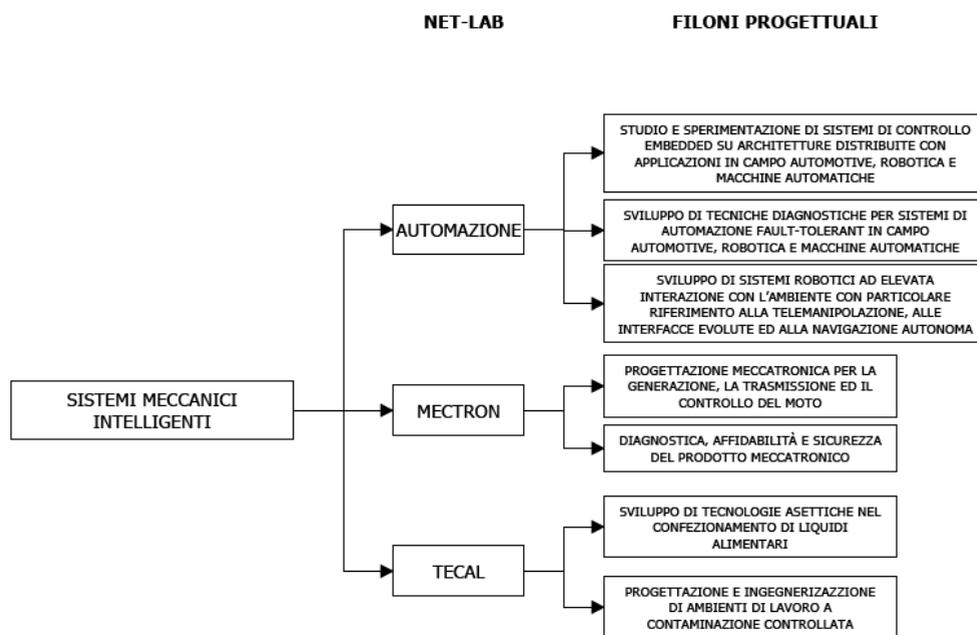


Fig. 57 - Schema del cluster “Sistemi meccanici intelligenti”

6. IL RUOLO DELL'ENEA

In questo capitolo si passa brevemente in rassegna il ruolo che l'ENEA svolge nell'ambito della robotica sia a livello nazionale che in ambito internazionale, i diversi settori di sviluppo in cui l'Ente si è impegnato a partire dalle origini (anni 60), gli ambiti tecnologici in cui si è maggiormente focalizzata la ricerca e lo sviluppo di soluzioni innovative, i principali beneficiari di tali soluzioni, con particolare riferimento sia al tradizionale settore industriale (in particolare le PMI) che al settore emergente dei robot di servizio.

6.1 Origini e motivazioni della robotica in ENEA

La robotica nasce in CNEN nel 1959 con un progetto mirato alla realizzazione di un sistema di manipolazione remotizzata delle sostanze radioattive necessarie per la realizzazione del reattore a fissione nucleare, oggetto del programma dell'ente di ricerca, poi trasformatosi in ENEA a seguito della legge di riforma del 1982.

Il Mascot fu sviluppato in cinque versioni nel corso di quarant'anni, in competizione dapprima con gli Argonne National Laboratories statunitensi che per primi, nel 1958, avevano concepito questo tipo di sviluppo tecnologico e successivamente con il francese CEA, che sviluppò il proprio servomanipolatore MA-23 e lo propose all'EURATOM in competizione proprio con il Mascot (che prevalse come scelta nella maggior parte dei casi).

Lo sviluppo dei servomanipolatori dapprima e dei teleoperatori poi (quando la tecnologia microelettronica rese possibile la digitalizzazione dei sistemi di controllo) segna la vera e propria nascita della robotica mondiale che si svilupperà prima nelle industrie manifatturiere ed in particolare sulle cosiddette "catene di montaggio" e via via in applicazioni e per task sempre più complessi e sofisticati.

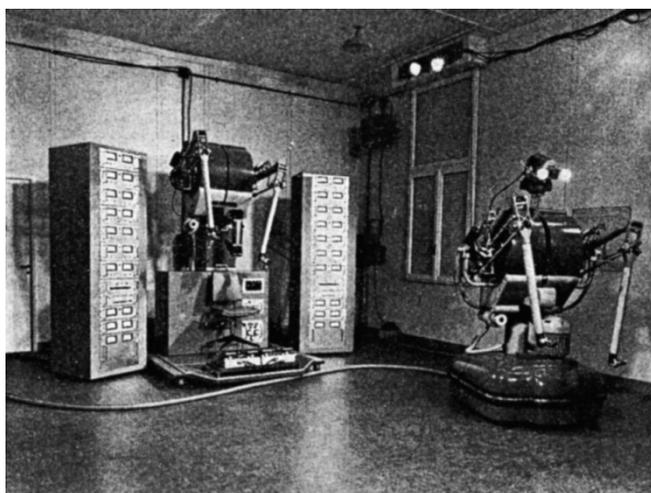


Fig. 58 - Il primo teleoperatore ENEA - Mascot I (fonte: ENEA)



Fig. 59 - Prova del Mascot IV nel 1996 – installazione del Divertore MK.II.a (fonte: ENEA)

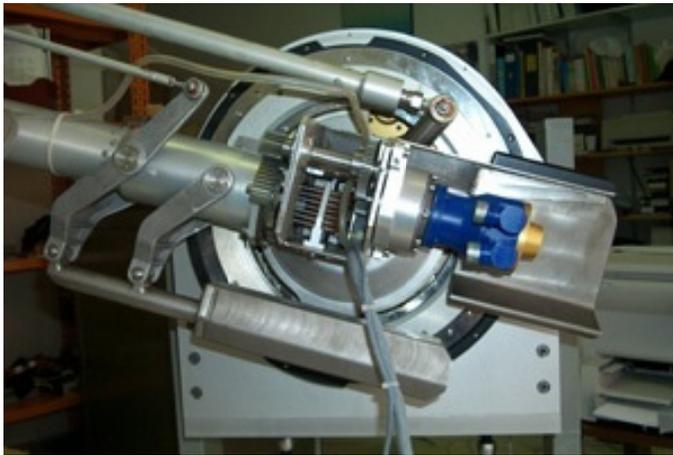


Fig. 60 - Mascot 2000 - impiega moderni motori brushless (fonte: ENEA)

La robotica ENEA ha seguito questa evoluzione a partire dal 1987, anno in cui i responsabili del reattore sperimentale a fusione nucleare *JET* (Joint European Torus), il principale impianto che utilizzava la linea Mascot negli anni 70, commissionarono lo sviluppo di una versione del teleoperatore che fosse soggetta a controllo tramite un sistema di microprocessori. L'ENEA, insieme con la società ELSAG, sviluppò il nuovo controllo dotato di caratteristiche del tutto innovative rispetto al precedente.

Il gruppo dedicato alla robotica, nato da un precedente gruppo di controllistica prevalentemente finalizzato all'interfaccia uomo-macchina, si è successivamente ampliato, grazie a una politica mirata di assunzioni, e ha progressivamente esteso la propria attività dapprima in ambiti ostili alla permanenza dell'uomo (spazio 1990, Antartide 1992) e quindi ad applicazioni in supporto dell'industria nazionale (trasferimento tecnologico), dedicandosi agli aspetti di mobilità terrestre e marina e successivamente estendendo queste competenze sino a introdurre nel proprio skill gli aspetti di cooperazione robotica di gruppi complessi di Dependability.



**Fig. 61 - Prove preliminari svolte in Antartide per RAS
(Robot Antartico di Superficie) (fonte: ENEA)**

6.2 Posizionamento sotto l'aspetto tecnologico

Le tre attuali direttrici di robotica sulle quali l'ENEA concentra le proprie attività riguardano:

- ✓ robotica sottomarina (tecnologie marine, navigazione, controlli avanzati);
- ✓ robotica terrestre (navigazione, controlli avanzati);
- ✓ percezione dell'ambiente (sensoristica, data fusion);
- ✓ agenti e sistemi robotici multiagente.

Le realizzazioni sviluppate dall'Unità di robotica sottendono principalmente competenze di carattere controllistico, di Intelligenza Artificiale (sebbene nei limiti in cui tale tecnologia è stata sino ad ora applicata al mondo della robotica) di progettazione meccanica (sino a quando l'impoverimento di risorse umane dell'ENEA, mai sostituite, non ha reso indisponibili queste competenze) e soprattutto di integrazione di sistema.

Per una galleria fotografica di alcune delle molte realizzazioni robotiche sviluppate dall'Unità di Robotica dell'ENEA si rimanda all'Appendice (pag. 137).

L'Unità ha prodotto anche una significativa quantità di pubblicazioni, anche se l'impostazione iniziale data alle competenze era fortemente rivolta verso gli aspetti realizzativi, lasciando poco margine per le tradizionali attività di tipo scientifico, incluse le pubblicazioni scientifiche. La maggiore attenzione verso questi aspetti è stata quindi frutto di una deliberata svolta operata a ridosso del 2000.

6.2.1 Robotica sottomarina

L'ENEA ha realizzato importanti robot sottomarini per applicazioni di ricerca scientifica e di monitoraggio ambientale quali SARA, SAM, MELBA e MEDUSA.

Il prototipo SARA (Sottomarino Autonomo Robotizzato Antartico) è un robot autonomo sottomarino progettato per l'esplorazione del mare antartico mediante la raccolta di dati scientifici, finanziato dal Programma Nazionale Ricerche in Antartide e messo a punto in collaborazione con altri partner ed enti di ricerca: Tecnomare SpA, D'Appolonia, DUNE, CNR-IAN, Università di Roma III, Università di Roma I, Università di Pavia, Università di Parma.

Una tipica missione di SARA comporta la raccolta di dati relativi a caratteristiche:

- ✓ idrologiche (conduttività, temperatura, profondità, correnti ecc.);
- ✓ chimiche (torpidità, Ph, contenuto d'ossigeno ecc.);
- ✓ biologiche (contenuti di clorofilla, fattori nutrienti ecc.);
- ✓ geologiche (studio della morfologia del fondo marino, topografia del lato sommerso di una banchisa polare ecc.).

Il sistema SARA è stato testato in Antartide immediatamente prima della sospensione del finanziamento delle attività dovuta alla modifica statutaria del sistema di gestione del Programma Nazionale, sospensione che nei suoi effetti è durata per l'ENEA diversi anni.

Il ruolo specifico dell'ENEA è stato, oltre quello di curare gli aspetti sistemistici, quello di sviluppare il software di controllo e simulazione eseguibile su sistemi operativi diversi, che è stato testato in particolare nei Centri ENEA di Brindisi e della Casaccia.

Da metà del 2007 è fermo presso i laboratori della Casaccia per esigenza di costose manutenzioni che richiedono disponibilità di fondi accessibili solo attraverso finanziamenti basati su progetto.

Il prototipo SAM (Sottomarino Autonomo Mediterraneo) è un robot autonomo sottomarino finalizzato a svolgere ricerche nel Mediterraneo fino alla profondità operativa massima di 3000 m e realizzato in collaborazione con Tecnomare SpA e DUNE.

Le missioni di SAM prevedono la raccolta di dati scientifici in maniera simile a quella di SARA,

SAM è uno sviluppo di SARA che ha subito, per adattarsi alle caratteristiche morfologiche del Mediterraneo, alcune importanti modifiche e completamenti come la comunicazione acustica bidirezionale con la eventuale nave appoggio per uno scambio dati immediato, l'idrofono di sicurezza anticollisioni e la sezione pressurizzata realizzata in più parti separate.

Il prototipo MEDUSA (MEDiterranean Unmaned vehicle for Submerged Archaeology) è un piccolo robot sottomarino dedicato all'esplorazione, ai rilievi e alla manutenzione dei reperti archeologici sommersi. La sua caratterizzazione principale è il basso costo realizzativo che ne condiziona ovviamente le prestazioni, ma che lo mette in grado di operare laddove l'utenza non dispone delle risorse finanziarie per utilizzare mezzi più performanti (archeologia sottomarina, sorveglianza di siti archeologici ecc.).

Ha pertanto strumentazione in grado di consentire ispezioni *in situ*, di rendere fruibili opere recuperate dai siti geografici in cui sono attualmente disperse, di perfezionare le tecniche di restauro, di rendere accessibile l'opera anche quando questa non possa essere rimossa dal sito originale o quando sembri preferibile limitare l'accesso del pubblico alle aree di interesse come nel caso dei parchi sottomarini.

Il robot è stato progettato e realizzato nell'ambito del progetto Tectis in collaborazione con partner privati: Centro Laser – Bari, CEOM – Catania, ACS – Matera, Mel System e con partner pubblici: Università di Catania e di Bari, CNR – IMIP, CNR – IC, CNR – ISSIA.

6.2.2 Robotica terrestre

RAS (Robot Antartico di Superficie) è un robot mobile, in grado di spostarsi sia in modalità autonoma che teleoperata sul suolo antartico ed è in grado di svolgere una serie di compiti tanto in appoggio alle attività di ricerca scientifica quanto di logistica che includono tra gli altri:

- ✓ capacità di manipolazione (utilizzo del teleoperatore Mascot),
- ✓ capacità di esplorare il terreno (radar geopenetrante – GPR),
- ✓ capacità di rilevare ostacoli e obiettivi della missione (visione artificiale)
- ✓ capacità di autolocalizzarsi (GPS, sistemi intelligenti di posizionamento ecc.).

Tra le attività di ricerca individuate e per le quali la *facility* è stata pensata si citano la ricerca di meteoriti incapsulate nel plateau, lo svolgimento di compiti autonomi di logistica quali la preparazione delle piste di atterraggio per gli aerei e l'attività di appoggio al robot antartico sottomarino SARA

I partner di ENEA che hanno collaborato alla realizzazione del prototipo RAS sono: Fiat Spazio, Oto Melara, Telerobot, D'Appolonia, DUNE, Università di Genova, Università di Pavia, Università di Roma III, Università di Parma.

Il prototipo operante non implementa alcune delle capacità previste e teoricamente disponibili in quanto il finanziamento effettivamente erogato è stato di gran lunga inferiore alle previsioni iniziali sottoscritte dal PNRA (Programma Nazionale Ricerche in Antartide), non riuscendo a coprire nemmeno i costi vivi di molte infrastrutture. L'ENEA ha pertanto operato al meglio per garantire il massimo delle funzionalità ed il sistema è stato comunque sperimentato con successo sia in Antartide sia successivamente in Italia.

PRASSI (Piattaforma Robotica Autonoma per Sicurezza e Sorveglianza di Impianti).

Questo progetto ha riguardato la progettazione e realizzazione di un prototipo di sistema di calcolo parallelo appositamente studiato per una sua installazione a bordo di sistemi robotici mobili. Tale sistema "embedded" è stato utilizzato per realizzare un prototipo di sistema integrato di pianificazione - navigazione - fusione multisensoriale - controllo di un veicolo autonomo sperimentale adibito alla sorveglianza di impianti ad alto rischio e grande estensione (per es. raffinerie, impianti chimici, depositi). Il sistema di calcolo, peraltro aggiornato e potenziato dopo la sua prima realizzazione, è basato attualmente su un sistema Intel biprocessore integrale e fornisce la potenza necessaria per l'elaborazione in tempo reale dei dati multisensoriali, la ricostruzione dell'ambiente in cui il robot si muove, la pianificazione dei percorsi e la navigazione, il rilevamento di situazioni anomale o di pericolo, la pianificazione di eventuali interventi. Il sistema multisensoriale è stato

installato ed integrato a bordo di un veicolo mobile di basso costo procurato sul mercato.

Tale veicolo è stato utilizzato in qualità di dimostratore delle tecnologie sviluppate per la sorveglianza e la sicurezza di impianti ad alto rischio.

A tal fine sono state svolte prove di funzionamento in un ambiente reale simulando una missione comprendente una prima fase di navigazione autonoma verso un sito dell'impianto ed una seconda fase di individuazione autonoma, sul sito raggiunto, di parti dell'impianto su cui intervenire (flange, valvole ecc.) che prevede anche una forma di intervento di tipo semplice (non comprendente cioè manipolazione).

Tra l'altro sono state anche sviluppate tecniche di ripresa di immagini e metodi di elaborazione per estrarre dalle immagini le direzioni libere per il moto, costruire dinamicamente una mappa del mondo e far navigare in essa il robot. I metodi sono stati estesi all'ambiente esterno cittadino, su percorsi caratterizzati da strade ed edifici.

I partner di ENEA in questo progetto sono stati: Nergal Srl, Tecnomare SpA, CNR-IAN, Università di Pavia, Università di Roma II (DEI e DISP), Università di Parma, Università di Perugia, Università di Milano-Bicocca, Politecnico di Milano, Università di Padova.

6.2.3 Percezione dell'ambiente

SIRO (SImulatore Robotico).

Il progetto, concluso da diversi anni, si è proposto l'obiettivo di stimolare presso l'industria e gli operatori di ricerca nazionali lo sviluppo di competenze e prodotti che sfruttino le nuove tecnologie del calcolo parallelo applicandole alle tematiche della simulazione di sistemi robotici sia dal punto di vista cinematico/dinamico che da quello del rendering grafico. Una attività specifica è stata, inoltre, condotta sulla simulazione dei flussi di fabbrica gestiti da sistemi robotici, attività, questa, che richiede risorse che crescono con esplosione combinatoria (particolarmente per quanto riguarda la richiesta di memoria) con l'aumentare della complessità del sistema di produzione considerato.

L'incrocio di tecniche che usano la realtà virtuale e la simulazione e la integrano con i sistemi di controllo di attrezzature reali offrono uno strumento insostituibile per lo sviluppo e l'addestramento di sistemi robotici. Fra i molti problemi affrontati si segnalano i prototipi costruiti nell'ambito del progetto anche dai partner, che sono alla base di sviluppi ulteriori, quali la teleoperazione chirurgica e la simulazione di arti umani per la robotica umanoide. I partner di ENEA sono stati: INTECS SpA, CS Italia SpA, CNR-LADSEB, Università di Parma, Università di Genova, Università di Pisa, Università di Roma II, Università di Roma III, Politecnico di Milano, Università di Padova.

Questo progetto ha consentito anche il consolidamento di una rete di alleanze e accordi di collaborazione che costituiscono un risultato non meno interessante, in ottica nazionale, degli aspetti scientifici realizzati.

All'interno di SIRO sono state anche gettate le basi di un prodotto ENEA fortemente innovativo e poi perfezionato nel progetto TECSIS (TECnologie diagnostiche e Sistemi Intelligenti per lo sviluppo dei parchi archeologici del Sud d'Italia) che è il WiRo, robot azionato per mezzo di "tendini" d'acciaio, secondo algoritmi di controllo di nuova concezione.

MIAO (Microsistemi per Ambienti Ostili).

Il progetto prevede lo sviluppo di tecnologie per la realizzazione di microsistemi sensoriali concepiti per ambienti estremi, ad esempio basati su microlaser, sistemi ottici miniaturizzati o sistemi multisensoriali distribuiti. Fra le applicazioni di spicco si cita la sensoristica dedicata all'esplorazione planetaria, glaciale e subglaciale nel caso di catastrofi ambientali, e in condizioni di minore ostilità ambientale su linee di produzione industriale.

Il progetto prevede la collaborazione di unità dell'ENEA e del CNR, di centri di ricerca industriali e dell'industria nazionale, per impostare un'attività di ricerca e sviluppo dei microcomponenti più critici (microsorgenti, microottiche, microrivelatori) per le condizioni estreme previste. In parallelo la ricerca di base prospettata è indirizzata verso i dispositivi attualmente non maturi ma promettenti per applicazioni specifiche di interesse del progetto.

Per le tecnologie portate a maturazione nel corso del progetto è prevista la realizzazione dei sistemi sensoriali su scala mini o micro e il loro test in condizioni reali, utilizzando *carrier* realizzati ad hoc oppure sviluppati in progetti collaterali e nelle stazioni sperimentali degli end-user.

Partner privati: Centro Laser – Bari, Centro Ricerche FIAT, Centro Sviluppo Materiali SpA, Quanta System SRL

Partner pubblici: ENEA, Consiglio Nazionale delle Ricerche, ITC-IRST.

6.2.4 Agenti e sistemi robotici multiagente

I robot autonomi possono essere visti come agenti fisici che conducono un'interazione continuativa con il loro ambiente. Importanti problemi di ricerca sono lo sfruttamento delle informazioni contenute nei dati sensoriali, e la cooperazione e il coordinamento nei sistemi che coinvolgono svariati agenti con diverse conoscenze e punti di vista sull'ambiente.

Di recente l'Unità di robotica si è impegnata in uno studio avanzato basato su un concetto di sistemi sottomarini multipli in grado di offrire una soluzione simultaneamente al problema della comunicazione sottomarina su medie distanze (fino a qualche chilometro) ed al problema della lentezza e del costo dei sistemi di esplorazione dei fondali costieri basati sull'impiego di navi (sorveglianza costiera, controllo degli inquinanti marini, monitoraggio degli habitat costieri e salvaguardia dei biosistemi).

Tale concetto ha trovato la risposta di altre unità di ricerca dell'area romana (Università di Tor Vergata e CNR) e si sta valutando ora la fattibilità di istituire un Consorzio di ricerca tra i tre enti che possa dare un impulso significativo a questa tecnologia totalmente innovativa e ancora una novità a livello mondiale.

6.3 Ruolo dell'ENEA in ambito nazionale

Nel corso della sua storia più che ventennale l'Unità di Robotica dell'ENEA ha svolto un ruolo di cardine di diversi sistemi del tessuto produttivo e di ricerca nazionale, tanto da consentire all'ENEA di assumere per molti anni un ruolo di leadership indiscussa in ambito nazionale.

Va detto che l'eccellenza tecnologica assoluta è stata appannaggio di varie Università, soprattutto in ragione di un sistema mirato a favorire la ricerca accademica rispetto a quella istituzionale (si pensi al grande numero di ricercatori, oltre cinquanta nei periodi migliori, che è stato possibile concentrare sulla robotica presso l'università di Pisa grazie al meccanismo delle borse di studio) mentre gli istituti di ricerca venivano progressivamente paralizzati a causa dei meccanismi indifferenziati di blocco delle assunzioni nel settore pubblico.

Per contro l'ENEA ha offerto l'unico elemento di raccordo tra mondo accademico e industria attraverso una contemporanea e felice simultaneità di molti elementi tra i quali si citano:

- ✓ una capacità innovativa di livello elevato che ha consentito di alimentare il patrimonio di risorse intellettuali sia pubbliche che private con un flusso di progetti di alto livello qualitativo e di spessore finanziario non trascurabile;
- ✓ un livello tecnologico interno comunque eccellente, che ha portato a realizzazioni di prim'ordine e di consistenza superiore a quella realizzabile dalla maggior parte degli Atenei;
- ✓ una garanzia di affidabilità sotto l'aspetto istituzionale e di correttezza formale che è stata elemento insostituibile per la collaborazione di gruppi altrimenti in forte competizione tra loro;
- ✓ una capacità di gestire simultaneamente i rapporti con l'industria e con l'accademia realizzando sinergie inattuabili per molti anni.

In questo senso l'ENEA ha svolto nella robotica un ruolo storicamente prezioso che tuttavia si va riducendo a causa del progressivo intensificarsi dei rapporti diretti tra la grande industria e molti atenei.

Nondimeno, va sottolineato che mentre lo svolgimento di queste attività subiva il contraccolpo di un progressivo azzeramento del finanziamento pubblico verso gli enti di ricerca, il credito acquisito grazie alle attività svolte costituisce tutt'ora un asset tutt'altro che marginale, rendendo assai agevole agli operatori dell'Ente l'aggregazione di diversi gruppi di tutti i livelli (grande

industria, piccola e media e ricerca) persino nelle attuali condizioni di grande scarsità di risorse finanziarie pubbliche destinate alla ricerca sotto qualsiasi forma.

In un passato recente l'ENEA si è fatto promotore di diversi eventi di aggregazione a livello nazionale ottenendo un successo assoluto tanto che la comunità scientifica sta richiedendo la ripetizione di eventi come la Conferenza Nazionale di Robotica che dovrebbe vedere il prossimo anno la sua seconda edizione e che non si propone tanto la dimostrazione dell'eccellenza scientifica della rete nazionale di laboratori (ampiamente dimostrata dal rilievo che le ricerche italiane assumono in ambito internazionale - si pensi che la direzione del prestigioso IEEE RAS (Robotics and Automation Society) è andata per due periodi consecutivi a ricercatori italiani) quanto l'identificazione di strategie comuni da perseguire per affermare l'importanza che questa disciplina riveste e rivestirà con sempre maggiore spessore nel prossimo futuro della società umana.

Lo scorso anno, il Workshop internazionale sulla Dependability robotica, organizzato dall'unità di Robotica in collaborazione con il Campus biomedico romano ha visto un successo di partecipazione elevatissimo, triplicando il numero di partecipazioni degli eventi precedenti (ed anche significativamente maggiore di quello ottenuto quest'anno in California) e con la partecipazione di tutti i maggiori ricercatori mondiali del settore, praticamente nessuno escluso.

Nel seguito si fornisce un elenco significativo degli operatori di ricerca con cui l'ENEA si è trovato ad operare:

Università e partner con cui ENEA ha lavorato su tematiche di robotica sottomarina

- ✓ Tecnomare SpA
- ✓ D'appolonia,
- ✓ DUNE
- ✓ CNR-IAN
- ✓ Università di Roma III
- ✓ Università di Roma I
- ✓ Università di Pavia
- ✓ Università di Parma.

Università e partner con cui ENEA ha lavorato su tematiche di robotica terrestre

- ✓ Fiat Spazio
- ✓ Oto Melara
- ✓ Telerobot
- ✓ D'Appolonia
- ✓ ANSALDO

- ✓ ELSAG
- ✓ CRF
- ✓ DUNE
- ✓ Università di Genova
- ✓ Università di Pavia
- ✓ Università di Roma III
- ✓ Università di Parma.

Ed inoltre:

- ✓ Nergal Srl per l'elettronica di navigazione e la piattaforma di calcolo parallelo
- ✓ Tecnomare SpA per il *range finder* ottico
- ✓ CNR-IAN per l'elaborazione dati ultrasonici
- ✓ Università di Roma II - DEI per l'elettronica di bordo
- ✓ Università di Roma II - DISP per l'algoritmo di fusione dati
- ✓ Università di Perugia per il sistema di navigazione e pianificazione della missione
- ✓ Università di Milano-Bicocca, il Politecnico di Milano e l'Università di Padova per lo sviluppo di un sensore di visione omni-direzionale e relativa elaborazione immagini.

Università e partner con cui ENEA ha lavorato su tematiche di percezione dell'ambiente

- ✓ CNR (IC) per la caratterizzazione di superfici in ambiente terrestre
- ✓ CNR (IMIP) per la caratterizzazione di superfici in ambiente terrestre
- ✓ CNR/CSCP (sez. Bari) - Università di Bari/Dip. Chimica per la caratterizzazione di superfici in ambiente marino e per la pulitura ottica di superfici con diagnostica on-line e modellizzazione
- ✓ Università di Bari/Dip. Chimica per la caratterizzazione di superfici in ambiente marino e per la pulitura ottica di superfici con diagnostica on-line e modellizzazione
- ✓ Centro Laser - per la pulitura ottica di superfici con diagnostica on-line e modellizzazione
- ✓ CNR/IESI - Centro Laser per l'attività di ricerca e campagne dimostrative su terreno emerso
- ✓ CEOM per l'identificazione e la caratterizzazione di siti sottomarini, ricerca e campagne sperimentali
- ✓ Università di Catania/DEES per l'individuazione e caratterizzazione di reperti sottomarini
- ✓ CNR/IESI per l'individuazione e caratterizzazione di reperti sottomarini.

6.4 Ruolo dell'ENEA in ambito mondiale

Nel settore della robotica la competizione, in termini di prodotto offerto, di ampiezza delle alleanze e di possibilità di indirizzo strategico e di mercato, avviene su scala mondiale ed è su tale dimensione che l'ENEA deve operare per assicurarsi un ruolo di rilievo.

Entrando nel dettaglio delle linee di attività condotte appare, tuttavia, opportuno separare l'area europea, dove naturalmente si svolge la maggior parte delle relazioni, da quella che coinvolge gli altri continenti e le organizzazioni più rappresentative, segnatamente appartenenti a Stati Uniti, Giappone, Corea ed Australia ed appare anche necessario riassumere brevemente la situazione al contorno per meglio focalizzare il ruolo e la posizione dell'Ente.

L'Europa ha attraversato da circa il 1990 sino almeno al 2003 un periodo storico-culturale in cui la concezione del sistema meccanico intelligente come elemento di affiancamento dell'uomo nella sua vita quotidiana era fieramente avversato.

Le motivazioni di questa ripulsa, che non ha trovato eguali in altre parti del mondo, sono in parte strettamente connesse al vissuto culturale europeo, in cui dominava la figura del golem come elemento negativo e ostile all'uomo ed alla sua umanità, ed in parte legate ad un'analisi economica molto superficiale di cui l'equazione robot industriale = dieci posti di lavoro in meno costituiva l'elemento dominante.

Lo sviluppo dello stato dei servizi, ma soprattutto dell'industria di servizi e la pressione culturale di altre civiltà, quella giapponese in particolare, hanno da un lato rimosso le motivazioni economiche e dall'altro attenuato la ripulsa culturale. Di rilievo è stata anche l'azione degli elementi più illuminati ed attivi del sistema della ricerca e del sistema industriale europeo, e delle principali attività di ricerca finanziate dalla Commissione Europea.

In questo momento l'Europa primeggia in molti settori della robotica ponendosi come una sorgente di idee e iniziative non inferiore nemmeno al Giappone. Gli strumenti principali che hanno consentito questa rimonta culturale sono state due "excellence networks" approvate negli anni 90: la più ampia, EURON, di cui si è già detto in precedenza, ha visto la coesione di quasi 400 istituti di ricerca europei, mentre la seconda, più ristretta, denominata CLAWAR ha visto un maggiore coinvolgimento industriale, con la presa di coscienza che anche nella robotica matura diventano indispensabili per un adeguato impatto sul mercato piattaforme standard, come ormai largamente diffuse in tutti gli altri settori industriali, "in primis" l'informatica e l'industria automobilistica.

Affermare che in questo contesto ENEA abbia svolto un ruolo centrale sarebbe inesatto e pretenzioso. Un tale posizionamento è stato impossibile a causa soprattutto della particolare posizione italiana nel contesto europeo.

L'Italia infatti, insieme alla Francia e se possibile ancor più di questa, ha costituito l'elemento culturale più tradizionalista ed ostile alla introduzione della robotica nel tessuto sociale ed ancora oggi, mentre l'Europa si è avviata con decisione sulla strada di una diffusione della robotica nel tessuto sociale, l'Italia osteggia questa scelta con tutte le sue componenti amministrative.

Si pensi che nel 2006 l'unico progetto di robotica approvato come tale è stato un PRIN (Programmi di Ricerca di rilevante Interesse Nazionale) del MIUR e la situazione non è cambiata nel 2007. A tutto ciò si somma la scarsa attenzione del ceto dirigente italiano verso la ricerca, vista non come una risorsa del futuro (nonostante le molte dichiarazioni in tal senso), ma come un sovrappiù non eliminabile del tutto solo perché gli altri paesi vi investono massicciamente.

Di conseguenza alla struttura di ricerca dell'ENEA è venuto a mancare il ricambio, le risorse finanziarie, e, in termini culturali, l'approvazione ed il sostegno interno.

Date le condizioni al contorno, il ruolo dell'Ente, sotto l'aspetto della partecipazione alle iniziative europee è stato comunque importante e si citano di seguito le posizioni e le azioni condotte negli ultimi anni:

- ✓ partecipazione alla rete di ricerca EURON e contributo alla definizione della politica europea che quella rete ha consentito. Al momento ENEA sta attivamente collaborando per valutare un nuovo ruolo per la rete di eccellenza, che potrebbe ancora svolgere compiti molto significativi per la promozione della tecnologia robotica in ambito continentale;
- ✓ contributo significativo alla creazione di EUROP, la piattaforma tecnologica europea per la robotica, attraverso il suo rappresentante governativo in ambito IARP (di cui si parlerà più avanti) che ha fornito un importante supporto nel formare la rete italiana (la più significativa d'Europa!) di *stakeholder* e, ovviamente, adesione alla struttura organizzativa di EUROP stessa;
- ✓ avvio, proprio nel 2008, di una ampia iniziativa che vede ENEA coordinato con altre risorse ed operatori nazionali, per valorizzare le potenzialità delle tecnologie di robotica nel campo della sicurezza e della sorveglianza, un problema che è ormai da molti anni all'attenzione dei governi e che ha indotto anche l'amministrazione europea a stanziare ingenti risorse per migliorare la sicurezza civile dei cittadini e la capacità militare di rispondere ad attacchi ostili di tipo paramilitare (terrorismo).

Se la posizione europea dell'Ente dimostra molti punti di forza, legati soprattutto alle iniziative personali del gruppo di ricerca, ancora migliore è la posizione in ambito extraeuropeo, soprattutto per la natura governativa del mandato di cui ENEA è stato investito nel 1986 con l'avvio della ormai storica iniziativa congiunta Reagan-Mitterrand per la ricerca internazionale, stipulata a Versailles, che diede luogo ad una serie di gruppi di lavoro internazionali di cui quello per la robotica, denominato IARP (International Advanced Robotics Program), è rimasto, grazie alle iniziative ed alla statura scientifica ed internazionale dei suoi fondatori (per l'Italia, l'ing. Barabaschi, già responsabile dello sviluppo del telemanipolatore Mascot) l'unico programma attivo.

Obiettivo dichiarato e sostenuto del programma è la diffusione della cooperazione internazionale nel settore della robotica usando come strumenti gli "IARP workshops", meeting internazionali ad alto livello di tipo gratuito (organizzazione supportata dai membri IARP), che radunano i rappresentanti più alti della tecnologia mondiale per valutare le prospettive future ed orientare gli sforzi a livello globale, i "Working Groups", organizzazioni volontarie di ricercatori di alto livello che si propongono di promuovere specifiche azioni di collaborazione su tematiche specifiche e le "Study Missions" per mezzo delle quali gruppi di ricercatori di altre nazioni possono visitare siti di ricerca prestigiosi o comunque di particolare interesse.

IARP inoltre produce ogni anno, attraverso il lavoro dei suoi membri, un rapporto ragionato di attività di ricerca che dipinge un quadro mondiale della disciplina di settore e lo diffonde a livello ufficiale (rappresentanze governative, Comunità Europea ecc.).

L'ENEA è presente in tale programma in posizione di leadership dal 1998, succedendo ad ELSAG che ne aveva curato la rappresentanza sino a quell'anno. Grazie a tale membership, offerta all'Ente per la sua azione di promozione svolta per tanti anni, ed alla conseguente investitura ufficiale governativa, in rappresentanza della nazione, l'ENEA sin dall'inizio ha svolto per mezzo di questo strumento una ampia opera di promozione della tecnologia nazionale, affiancando e promuovendo altre forze nazionali per la diffusione della tecnologia e consentendo l'instaurarsi di diverse alleanze a livello internazionale.

6.5 Prospettive

In conclusione della panoramica sul ruolo assunto dall'ENEA nel settore della robotica, si riportano di seguito alcune indicazioni utili per valorizzare e potenziare le competenze, il personale ed il patrimonio di realizzazioni che l'ENEA possiede in questo settore, avendo come obiettivi generali il miglioramento della competitività del sistema Italia ed il miglioramento della qualità di vita sotto l'aspetto sociale.

La prima osservazione, che emerge anche dalla lettura dello scenario mondiale, è che la caratteristica del "sistema ricerca" nazionale è la polverizzazione delle competenze in moltissimi piccoli gruppi ognuno dei quali (o almeno molti dei quali) possiede competenze di eccellenza in alcuni campi, ma non è in grado di affrontare problemi di grandi dimensioni a causa della limitatezza delle risorse interne.

Per esemplificare il problema la sola Università di Sydney dispone sulla robotica di un gruppo di circa 200 ricercatori (tra personale interno, docenti e borsisti) e simili dimensioni caratterizzano i gruppi del KIST (Corea), del LAAS (Francia), del KAIST (Corea), dell'Università di Tokio, dell'IFREMER (solo sul mare, Francia), del Fraunhofer (Germania), persino dell'Automation Technology Laboratory dell'Università di Helsinki che conta un centinaio di addetti tra ricercatori, tecnici e master, per non parlare del JPL (Jet Propulsion Laboratory della California) e di moltissime altre organizzazioni con le quali l'ENEA ha avuto frequenti contatti.

Le organizzazioni italiane, con l'unica eccezione del centro Piaggio di Pisa (comunque su dimensioni inferiori) e sperabilmente del IIT (Istituto Italiano di Tecnologia) ancora però in formazione, sono invece affette da una sorta di nanismo che rende impossibile rispondere ai livelli di competitività richiesti. Gli italiani eccellono per gli aspetti teorici e per spirito di iniziativa e capacità di stimolare nuove ricerche, ma, come già detto, la mancanza di politiche generali della ricerca italiana impedisce la realizzazione di grandi piattaforme tecnologiche lasciando perciò tutto il vantaggio accumulato nelle mani dei competitori stranieri.

Una possibile soluzione che l'ENEA potrebbe intraprendere come contributo a risolvere il problema è rappresentata dalla costituzione di una "rete di operatori della ricerca" alla quale potrebbero rivolgersi utenti (tipicamente le PMI) che hanno la necessità di risolvere problemi tecnologici complessi e multidisciplinari, ma che non dispongono delle risorse economiche né di personale per affrontare queste tipologie di problemi.

Al contrario della iniziativa IIT, per la quale è necessario creare tutto, dai laboratori al personale di ricerca, questa soluzione punta su risorse già esistenti e sulla provata disponibilità dei laboratori a collaborare.

L'ENEA, come ente di ricerca di riferimento, potrebbe costituire il polo centrale o almeno uno dei poli centrali, e consentire lo smistamento dei progetti industriali e dei finanziamenti. Le soluzioni formali possibili sono molte, compresa la forma consorziale, ed i primi contatti con il CNR, intrapresi già molti anni fa, hanno dato indicazioni estremamente incoraggianti, poi rese ardue dalle ripetute riorganizzazioni dei due Enti e soprattutto per le ripetute sostituzioni dei responsabili.

Una soluzione meno impegnativa è quella di costituire una semplice rete di laboratori, che per essere efficace in termini di immagine e in termini operativi nei confronti delle PMI richiede comunque una visibilità per i potenziali utenti e una distinguibilità dagli enti che la compongono e che ne fanno parte: quindi dovrebbe avere un proprio logo, un proprio portale web, un proprio telefono e simili elementi distintivi.

È necessario creare una aspettativa di fiducia nei confronti del Network che è uno degli elementi base mancanti nell'attuale tessuto industriale della nazione. Sarebbe necessario adottare, di volta in volta ed a seconda della problematica da risolvere, strutture di riferimento flessibili non solo per la comunicazione ma anche operative che prevedano la messa a disposizione di locali e di strumentazione e lo scambio di personale. Locali e strumentazione potrebbero anche essere resi disponibili alle aziende, sullo stile di quanto realizzato in Germania dagli istituti Fraunhofer.

Questa impostazione richiede un'organizzazione non trascurabile, ma potrebbe minimizzare gli investimenti necessari basandosi in buona misura su infrastrutture esistenti e demandando all'utenza i costi di gestione. Ovviamente l'intera organizzazione dovrebbe essere no-profit, investendo perciò tutto il ricavato per rifinanziare ulteriori infrastrutture, per esplicito accordo tra gli enti partecipanti, destinate alla disponibilità delle funzioni della rete/consorzio/istituto. Dai primi sondaggi svolti, è ragionevole ritenere che non ci dovrebbero essere particolari difficoltà ad acquisire il consenso.

La necessità di una struttura di coordinamento con qualche potere di richiesta di risorse presso i vari associati è ovvia, ma il problema si dovrebbe risolvere in fase di definizione della rete medesima.

BIBLIOGRAFIA

[1.1] Valerie Thompson, Small Times Correspondent – “New microsystems applications drive fast growth, study says”, 2002
http://www.smalltimes.com/articles/article_display.cfm?Section=ARCHI&C=RD&ARTICLE_ID=267742&p=109

[2.1] Infonaut: <http://www.slideshare.net/infonaut/welcome-to-robotland-visions-of-the-next-social-revolution/>

[2.2] “International Assessment on Research and Development in Robotics”, WTEC (World Technology Evaluation Center), 2006
<http://www.wtec.org/robotics/report/robotics-report.pdf>

[2.3] Classificazione IFR (International Federation of Robotics)
<http://www.ifr.org/pictureGallery/robType.htm>

[2.4] “Quelques verrous scientifiques et techniques en robotique médicale”, Etienne Dombre, Lirmm (Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier), Seminario InTech'Sophia, 2007
http://www-sop.inria.fr/intech/robotique/slide_lirmm.pdf

[3.1] E. Garcia, M.A. Jimenez, P.G. De Santos, M. Armada , “The evolution of Robotics Research”, Robotics & Automation Magazine, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), 2007
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/100/4141014/04141037.pdf?tp=&arnumber=4141037&isnumber=4141014>

[3.2] “Trends in the Japanese Robotics Industry”, Japan Economic Monthly, JETRO (Japan External Trade Organization), 2006
http://www.jetro.go.jp/en/market/report/pdf/2006_15_c.pdf

[3.3] “Korea Status Report 2003”, IARP (International Advanced Robotics Programme), 2003
http://www.nsf.gov/eng/roboticsorg/documents/KOREA_2003.pdf

[3.4] “Headlines@Hopkins - News release”, Johns Hopkins University, 2006
http://www.jhu.edu/news_info/news/home06/dec06/taylor.html

[3.5] “Microrobot Heartlander”, ECplanet, 2007
<http://www.ecplanet.com/canale/tecnologia-2/robotica-2/0/0/30840/it/ecplanet.rxd>

[3.6] “White Paper - Industrial Robot Automation”, DR. 14.1, EURON (European Robotic Network), 2005
<http://www.euron.org/miscdocs/docs/euron2/year2/dr-14-1-industry.pdf>

- [3.7] IST (Information Society Technologies) – European Robotics Platform
http://cordis.europa.eu/ist/europ/home_en.html
- [3.8] “Robotics-related Projects in IST and the Framework Programme”, IST (Information Society Technologies), 2006
<ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/so/advanced-robotics/proj-relat-1.pdf>
- [3.9] “Research Roadmap V.1”, DR.1.1, EURON (European Robotic Network), 2005
<http://www.euron.org/miscdocs/docs/euron2/year2/dr-1-1-roadmap.pdf>
- [3.10] “Sectorial Report on Service Robotics”, EUROP (European Robotic Platform), 2005
<ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/europ/rob-plat-4.pdf>
- [3.11] “World Robotics 2007 – Executive Summary”, IFR Statistical Department (International Federation of Robotics), 2007
http://www.ifrstat.org/downloads/2007_Executive_Summary.pdf
- [3.12] “World Robotics 2006 – Executive Summary”, IFR Statistical Department (International Federation of Robotics), 2006
<http://www.euron.org/miscdocs/stats06.pdf>
- [3.13] “World Robotics 2007 – Press information: charts”, IFR Statistical Department (International Federation of Robotics), 2007
http://www.ifrstat.org/downloads/20071023_Pressinfo_charts.pdf
- [3.14] “ICT Work Programme 2007-2008”, European Commission
ftp://ftp.cordis.lu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2007-08_en.pdf
- [4.1] M. Yim et al., Modular self-reconfigurable robot systems, IEEE Robotics Automation Magazine (March 2007)
<http://www.isi.edu/robots/prl/RA-Magazine-2007.pdf>
- [4.2] J. Kim et al., The third generation of robotics: Ubiquitous Robot, 2nd International conference on autonomous robots and agents, Palmerston North, New Zealand, Dec 2004
http://www-ist.massey.ac.nz/conferences/icara2004/files/Papers/Paper01_ICARA2004_001_007.pdf
- [4.3] J Kim et al., Ubiquitous robot: a new paradigm for integrated services, 2007 IEEE International Conference on Robotics and automation, Roma, Italia, Apr 2007
<https://ras.papercept.net/conferences/scripts/abstract.pl?ConfID=4&Number=1205>
- [4.4] Nolfi S. (1998). Evolutionary Robotics: Exploiting the full power of self-organization. *Connection Science*, (10) 3-4:167-183
<http://laral.istc.cnr.it/nolfi/papers/nolfi.evo-rob.pdf>

[4.5] Baldassarre G., Trianni V., Bonani M., Mondada F., Dorigo M., Nolfi S. (in press). Self-organised coordinated motion in groups of physically connected robots. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (2006)
<http://laral.istc.cnr.it/nolfi/papers/nolfi.evo-rob.pdf>

[4.6] H. Lipson, evolutionary robotics and open-ended design automation
http://ccsl.mae.cornell.edu/papers/Biomimetics05_Lipson.pdf

[4.7] Y. Liu et al. Swarm Intelligence: literature overview, 2000
<http://www.ece.osu.edu/~passino/swarms.pdf>

[4.8] La home page del progetto è disponibile a: <http://www.swarm-bots.org/>
Numerose pubblicazioni sono presenti all'indirizzo
<http://www.swarm-bots.org/index.php?main=2>

[4.9] La home page del Touch Lab del MIT è disponibile all'indirizzo:
<http://touchlab.mit.edu/>

[4.10] Informazioni reperibili all'indirizzo:
<http://www.nasa.gov/vision/earth/everydaylife/vladskin.html>

[4.11] La home page del John Hopkins Medicine:
<http://www.hopkinsmedicine.org/CardiacSurgery/PatientCare/robot.html>

[4.12] Scientific and technical report 2006, CSEM
<http://www.csem.ch/corporate/Report2006/pdf/CSEM-SR06.pdf>

[4.13] N. A. Weir, D. P. Sierra, J. f. Jones: A review of research in the field of nanorobotics – Sandia report – Sandia National Laboratories (2005)
<http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp?purl=/875622-4rE04b/>

[5.1] Il settore della robotica in Italia nel 2006
http://www.ucimu.it/ucimu/tpl/visual_lib.cfm?DocDbId=1&ObjectId=3828&TypeLink=semplice&folder=ita

[5.2] Home page dell'ITIA: <http://www.itia.cnr.it/>

[5.3] Home page dell'ISSIA:
<http://www.issia.cnr.it/htdocs%20nuovo/home.html>

[5.4] Home page del Polo S. Anna Valdera
http://www.sssup.it/sssup/jsp/section.jsp?sec_id1=528&lang=it

[5.5] Home page del LIRA Lab dell'Università di Genova: <http://www.liralab.it/>

[5.6] Home page del Progetto ROBOTCub: <http://www.robotcub.org/>

- [5.7] Home page del laboratorio GRAAL:
<http://www.graal.dist.unige.it/frames.html>
- [5.8] Home page del laboratorio PMARLab:
<http://www.dimec.unige.it/PMAR/index.htm>
- [5.9] SIRI - Associazione Italiana di Robotica e Automazione
<http://www.robosiri.it/10-2-1.htm>
- [5.10] Home page di COMAU: <http://www.comau.com>
- [5.11] Home page di Galileo Avionica:
<http://www.galileoavionica.it/trimprob/index-ita.html>
- [5.12] Home page di Thales Alenia Space:
http://www.finmeccanica.it/Holding/IT/Business/Spazio/Alcatel_Alenia_Space/index.sdo
- [5.13] Sintesi del documento UCIMU "Il Parco Macchine utensili e sistemi di produzione dell'industria italiana":
http://www.ucimu.it/ucimu/tpl/visual_lib.cfm?DocDbId=1&ObjectId=3598&TypeLink=semplice&folder=ita
- [5.14] Home page di Telerobot: <http://www.telerobot.it/main.html>
- [5.15] Home page di Polo della robotica:
<http://www.polorobotica.it>
- [5.16] Home page dell'Associazione Robotica Piemonte:
<http://www.arp-to.it/>
- [5.17] Robotics in Piedmont: state of the art 2006, ITP, 2007:
http://www.itp-agency.org/pdf/ricerca_robotica.pdf
- [5.18] Robotics in Turin and Piedmont: the choice of success, ITP, 2007
http://www.itp-agency.org/ita/pdf/leaflet_robotica_07.pdf
- [5.19] Home page del Distretto HI-MEC : <http://www.hi-mech.it/hi-mech.html>

APPENDICE

Galleria fotografica di alcune realizzazioni robotiche in ENEA



Piattaforma hardware RAS: gatto delle nevi Kassboher PB260 D - versione lab

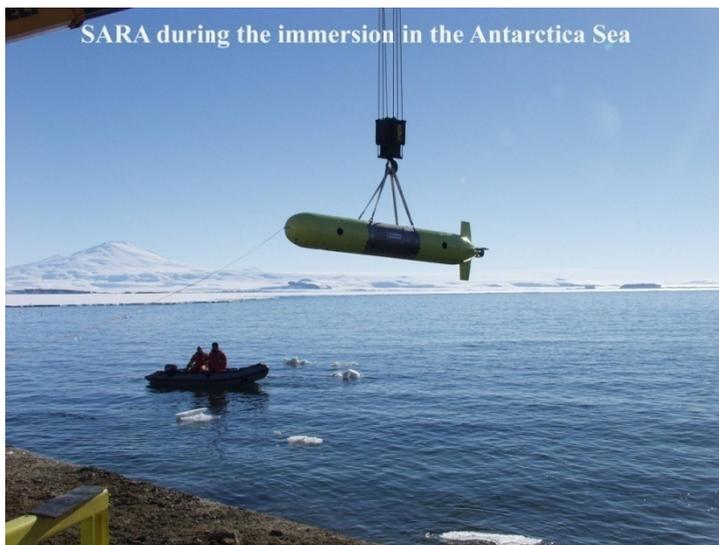
Dotazione sensoriale:

- telecamere per la visione artificiale
- coppia di range finder laser
- range finder radar (77 GHz)
- GPS
- centralina inerziale (DMU)
- podometri
- dispositivo laser di misura della velocità (Speed Over Ground)



Macchina a controllo numerico per la piegatura automatica a caldo di lamiere navali (processo altrimenti eseguito a freddo, mediante presse idrauliche, per approssimazioni successive)

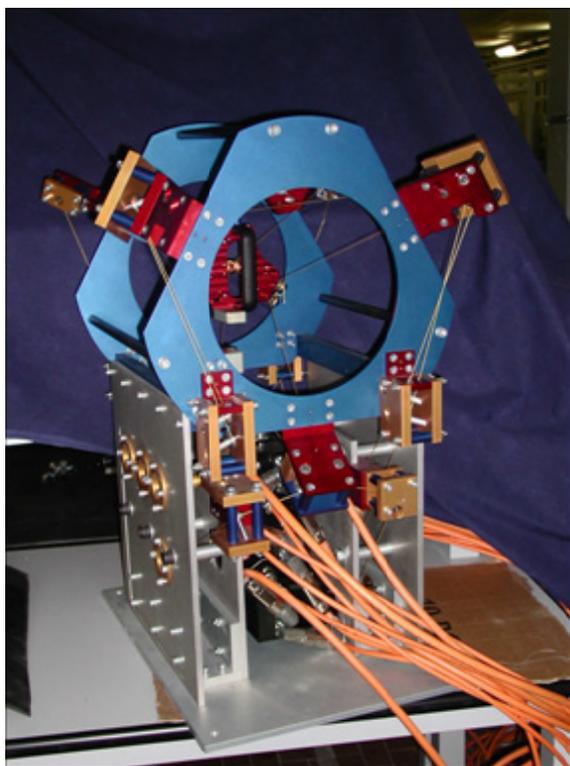
- teste indipendenti, recanti ciascuna 3 torce ossiacetileniche, movimentate secondo gli assi x-y da un carro ponte, per complessivi 22 gradi di libertà (2 carro ponte + 5/testa)
- lamiera da piegare poggiata su un letto di martinetti, che ne seguono la curvatura mediante sensori di forza
- sistema di controllo "basso livello" modulare, HW VME + RTOS VxWorks
- sistema di controllo "alto livello" UNIX: pianifica le traiettorie (indipendenti) delle 4 teste e quindi le linee di riscaldamento della lamiera, consentendo il raggiungimento delle forme volute



Il robot SARA

Progettato per missioni autonome sotto l'Ice Shelf del mare di Ross durante i suoi test in Antartide, è stato provato con successo anche in navigazione in territorio nazionale

Da metà del 2007 è fermo presso i laboratori della Casaccia per esigenza di costose manutenzioni che richiedono disponibilità di fondi accessibili solo attraverso finanziamenti basati su progetto



Il prototipo WiRo 6.3 realizzato in collaborazione con il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Torino (progettazione meccanica) mentre ENEA ha curato lo sviluppo degli algoritmi di soluzione della cinematica e della dinamica

Si tratta di un robot parallelo di nuova generazione, caratterizzato da una struttura non cartesiana, senza riduttori ed a bassissimo attrito. Il sistema è in grado di applicare una stiffness variabile a seconda della precisione di operazione che gli viene richiesta. È nato come sistema master per teleoperatori ad alte prestazioni, ma si è rivelato una piattaforma interessante per la stabilizzazione di sistemi oscillanti. Potrebbe trovare applicazioni (in versioni progettate ad hoc) sia nel settore enter-tainment, sia nello spazio



Campagna sperimentale realizzata presso il sito archeologico della Grotta dei Cervi in Puglia (immagine a sinistra)



Obiettivo della campagna era quello di utilizzare le tecnologie robotiche e sensoriali disponibili presso l'unità per individuare dalla superficie le propaggini della Grotta, non esplorabili da sotto la superficie a causa di crolli parziali che ne hanno ostruito gli accessi e probabilmente anche i passaggi

Per la campagna è stato utilizzato il robot PRASSI, la sua tecnologia di auto-localizzazione e il sistema GPR.

La strumentazione è stata in parte finanziata tramite il progetto TECSIS, tramite il progetto PRASSI, in parte tramite il progetto Antartide - RAS ed in parte tramite il progetto SIRO





Edito dall'ENEA
Unità Comunicazione
Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
www.enea.it

Edizione del volume a cura di Giuliano Ghisu
Copertina: Cristina Lanari, Bruno Giovannetti

Stampa: Primaprint (Viterbo)
Finito di stampare nel mese di dicembre 2008