

Il Progetto Finalizzato Robotica, iniziato nel 1989 si é articolato in un primo Programma Esecutivo Triennale e in un successivo Programma Biennale iniziato nel maggio del 1992.

Questo volume, che raccoglie gli atti del 4° Convegno Annuale del Progetto Finalizzato Robotica, fa il punto a metà della seconda fase, raccogliendo quindi i risultati intermedi del Secondo Programma Esecutivo.

L'impostazione del biennio finale é stata fatta in modo da enfatizzare la sperimentazione e la validazione dei componenti ottenuti come risultati dell'attività del primo triennio, in alcuni sistemi o ambienti completi, la cui realizzazione é appunto l'obiettivo principale della seconda fase.

L'articolazione della seconda fase é quindi su 5 direttrici:

- Struttura dei Robot
- Governo dei Robot
- Sensori e Attuatori
- Controllo dei Robot
- Applicazioni non Industriali.

Su questa base si é arrivati ad attivare delle applicazioni non orientate al settore manifatturiero.

Le aree individuate, cioè quelle dell'ausilio ai disabili e dell'agricoltura, risultano quelle concordemente indicate come le più promettenti in termini di sviluppo di mercato e quindi possono costituire validi mercati potenziali per l'industria nazionale. In questo ambito è inoltre proseguito lo sviluppo del sistema mano a elevata destrezza, che integra sotto un aspetto essenzialmente sistemico e orientato alla funzione un sottosistema tipico per applicazioni in ambiente prevalentemente non manifatturiero.

ISBN 88-7259-036-1



9 788872 590362

Cod. 59-036-1

Lire 45.000



Consiglio Nazionale delle ricerche



Progetto Finalizzato ROBOTICA

PROGETTO FINALIZZATO ROBOTICA - ATTI DEL 4° CONVEGNO

LC Call n.

TJ210

# Progetto Finalizzato ROBOTICA

## ATTI DEL 4° CONVEGNO

2-3 dicembre 1993

a cura di Umberto Cugini

© CittàStudi

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Progetto finalizzato  
ROBOTICA

**Atti  
del  
4° CONVEGNO**

**2-3 dicembre 1993**

a cura di Umberto Cugini

©CittàStudi

Umberto Cugini (a cura di)  
Atti del 4° Convegno del Progetto Finalizzato Robotica

Coordinamento redazionale: Daria Pietosi  
Impaginazione elettronica: VideoType

Copyright © 1994 CittàStudi Edizioni s.r.l.  
Redazione: piazza Leonardo da Vinci, 7 – 20133 Milano  
tel. 02/70.63.48.44

ISBN 88-7259-036-1

prima edizione: maggio 1994

ristampa  
III II I 0 1994 1995 1996 1997

È vietata la riproduzione, anche parziale,  
con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la fotocopia,  
anche a uso didattico, se non autorizzata.

Stampato presso le  
Arti Grafiche Bianca & Volta,  
via Gran Sasso, 8 – Truccazzano, (Mi)  
per conto di CittàStudi Edizioni s.r.l.,  
via P. Giuria, 20 – Torino

## Indice

PRESENTAZIONE	IX
ORGANIGRAMMA DIRETTIVO DEL PROGETTO FINALIZZATO ROBOTICA	XI
STRUTTURAZIONE DEL PROGETTO	XV
<b>PARTE PRIMA</b>	
SOTTOPROGETTO 1 – STRUTTURA DEI ROBOT	1
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>ROBOT IN FIBRA DI CARBONIO</b>	<b>5</b>
Introduzione	5
Robot originale a elevate prestazioni: studio, realizzazione e identificazione dinamica	7
Identificazione del braccio a struttura mista alluminio carbonio	8
Robot cartesiano in fibra di carbonio	8
Bibliografia	12
<b>COMPONENTI MECCANICI</b>	<b>15</b>
Polso a basso livello di degenerazione	15
Termomanipolatori multiscopo con azionamenti pneumatici	18
Attuatori pneumatici per termomanipolatori	21
Robot a elevata dinamica con motori immobili	24
Giunto sferico a tre gradi di libertà con sensori di forza coppia a sei componenti integrato	25
<b>STUDIO DEL PROCESSO DI PRESA DI OGGETTI NON PREDEFINITI IN AMBIENTE SEMISTRUTTURATO</b>	<b>27</b>
Descrizione generale dell'obiettivo	27
Organi di presa a elevata destrezza	27
Algoritmo di ottimizzazione della presa	28
Esempio 3d: presa di un oggetto sferico	34
Stato di avanzamento dei lavori	42
Programma di ricerca	42
Bibliografia	43
<b>OTTIMIZZAZIONE FUNZIONALE DEI ROBOT</b>	<b>45</b>
Introduzione e finalità	45
Pianificazione – ottimizzazione del movimento	47
Studio di trasmissioni meccaniche innovative	52
Un sistema monoasse controllato a elevate prestazioni	54
Bibliografia	56

<b>ANALISI FUNZIONALE DI SISTEMI RIDONDANTI</b>	<b>59</b>
Introduzione	59
Struttura dell'obiettivo	60
Stato di sviluppo dell'obiettivo	61
Lavori futuri	69
Bibliografia	69
<b>STRUMENTAZIONE ROBOTICA IN NEUROCHIRURGIA</b>	<b>71</b>
Introduzione	71
L'intervento chirurgico assistito dal robot	72
Analisi delle soluzioni attuali: stato dell'arte	73
Soluzione proposta (telerobot)	74
Situazione attuale del progetto	77
Conclusioni e prospettive	83
Bibliografia	83
<b>PARTE SECONDA</b>	
<b>SOTTOPROGETTO 2 – GOVERNO DEI ROBOT</b>	<b>85</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>87</b>
<b>UNA ARCHITETTURA SOFTWARE PER LA PIANIFICAZIONE DI COMPITI DI NAVIGAZIONE E MANIPOLAZIONE</b>	<b>93</b>
Il dimostratore dell'obiettivo Manuel: finalità e architettura	93
Contributi delle singole unità operative al dimostratore	97
Contributi delle singole unità operative agli esperimenti della "open house"	100
Ringraziamenti	104
Partecipanti al progetto di ricerca	104
Bibliografia	105
<b>COMPONENTI HARDWARE DELL'OBIETTIVO MANUEL E LORO INTEGRAZIONE</b>	<b>107</b>
Introduzione	107
Software di comunicazione per sistemi in tempo reale distribuiti	109
Un sistema per l'elaborazione di immagini in ambiente robotico	111
Bibliografia	118
<b>PROGETTO E REALIZZAZIONE DEL DIMOSTRATORE MIME</b>	<b>119</b>
Introduzione	119
Progetto Prora	120
Ambiente di validazione	123
Architettura del sistema	124
L'assemblaggio robotizzato	126
La pianificazione della sequenza	128
Dalla simulazione alla cella robotizzata	133
Conclusioni	136
Bibliografia	137

<b>UN APPROCCIO BASATO SULLA CONOSCENZA PER LA DIAGNOSI PREVENTIVA DI SISTEMI INDUSTRIALI</b>	<b>139</b>
Introduzione	139
Diagnosi preventiva basata sulla conoscenza: il prototipo Astra	141
Altri approcci e tecniche diagnostiche: i prototipi Omyssis e Dynamis	146
Un ambiente di simulazione esperto	149
Bibliografia	151
<b>PARTE TERZA</b>	
<b>SOTTOPROGETTO 3 – SENSORI E ATTUATORI</b>	<b>153</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>155</b>
<b>SENSORI FINALIZZATI ALLA MISURA E AL CONTROLLO DI SISTEMI ROBOTICI</b>	<b>157</b>
Introduzione	157
Sensori di visione	159
Sensori tattili	163
Sensori di forza, di microspostamenti, di temperatura	165
Bibliografia	166
<b>SISTEMA SENSORIALE INTEGRATO PER MISURE DI FORZA E COPPIA</b>	<b>169</b>
Descrizione generale dell'obiettivo	169
Determinazione dell'ipervolume di misura	172
Le interazioni tra le componenti	174
Conclusioni	177
Bibliografia	177
<b>ATTUATORI</b>	<b>179</b>
Attuatori elettrici	179
Attuatori pseudomuscolari	190
<b>AZIONAMENTI</b>	<b>199</b>
Introduzione	199
Azionamento brushless senza sensori elettromeccanici	200
Controllo degli azionamenti in applicazioni robotiche	204
Azionamenti innovativi per la robotica	207
Software e hardware avanzati per il controllo di giunti robotici industriali	210
<b>ALGORITMI DI CONTROLLO PER LA PROVA DI AZIONAMENTI SU UN SIMULATORE MECCANICO</b>	<b>215</b>
Obiettivi della ricerca	215
Attività svolta nel primo anno del biennio finale	215
Prova di diversi tipi di motori	216
Verifica di algoritmi di regolazione innovativi	222
Conclusioni	226

<b>SVILUPPO E APPLICAZIONI DI UN SISTEMA DI VISIONE INTEGRATO</b>	<b>229</b>
Premesse	229
Un sensore di visione integrato	229
Le linee di sviluppo del progetto	231
Lo sviluppo del prototipo di base	231
Applicazioni industriali del sensore	232
Definizione di algoritmi e architetture	233
Applicazione delle ricerche a un caso specifico	234
Prospettive e sviluppi futuri del progetto	235
<b>UN PROTOTIPO DI SISTEMA PER VISIONE ROBOTICA AD ARCHITETTURA APERTA</b>	<b>237</b>
Un'architettura aperta per il processo di visione	237
Breve richiamo del meccanismo client/server nella rappresentazione gerarchica	240
Integrazione dei sistemi di visione nei processi industriali	241
Un prototipo di sistema di visione	242
Risultati	245
Bibliografia	245
<b>PARTE QUARTA</b>	
SOTTOPROGETTO 4 – CONTROLLO DEI ROBOT	247
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>249</b>
<b>REALIZZAZIONE DI UN AMBIENTE DI SPERIMENTAZIONE PER CONTROLLO INTERAGENTE</b>	<b>253</b>
Generalità	253
Controllo digitale per il comando di motori a induzione in presa diretta sul giunto	255
Controllo assi per robot: studio, ideazione e realizzazione di sistemi di controllo per motori a induzione	256
Realizzazione di robot sperimentale a struttura antropomorfa predisposto per l'uso di motori asincroni	257
Realizzazione di prototipi industriali di robot mossi da motori a induzione a presa diretta	260
Bibliografia	262
<b>STRUTTURE ROBOTICHE COOPERANTI PER LAVORAZIONI DI FINITURA DI SUPERFICI METALLICHE</b>	<b>263</b>
Obiettivi della ricerca	263
Idee guida	264
Definizione dei compiti della cella	265
Ambienti di sperimentazione	266
Articolazione delle attività	273
Unità Operative	275

<b>MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI DI ROBOT INDUSTRIALI</b>	<b>277</b>
Descrizione generale dell'obiettivo	277
Modello del telegoniometro "ideale"	278
Modelli del telegoniometro "reale"	280
Identificazione e taratura	282
<b>IMPLEMENTAZIONE DEL CONTROLLO DI ROBOT NELLO SPAZIO OPERATIVO</b>	<b>285</b>
Obiettivi del progetto	285
Descrizione delle attività svolte	289
Conclusioni	295
Bibliografia	296
<b>CONFIGURAZIONE E PIANIFICAZIONE DEI COMPITI E DEI MOVIMENTI DI UNA CELLA CON ROBOT COOPERANTI</b>	<b>299</b>
Descrizione generale dell'obiettivo	299
Caratteristiche morfologiche e funzionali della cella	300
Articolazione delle attività	302
Unità operative	310
<b>OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE DELLE PARTI IN UN SISTEMA ROBOTIZZATO A DUE CELLE</b>	<b>311</b>
Inquadramento generale	311
Definizione degli elementi costitutivi del sistema	312
Il modello di ottimizzazione	318
L'attività svolta	321
<b>ROBOT INDUSTRIALI ARTICOLATI SU RUOTE</b>	<b>325</b>
Introduzione	325
Attività svolta	326
Risultati conseguiti	334
Programma di ricerca futuro	334
Rapporti tecnici e pubblicazioni	335
<b>ROBOT MOBILI SU GAMBE PER LA LOCOMOZIONE IN AMBIENTI NON STRUTTURATI</b>	<b>337</b>
Introduzione	337
"Legchair", veicolo quadrupede per la locomozione autonoma	337
Robot dotati di mezzi di locomozione bipede	343
Riferimenti e pubblicazioni	349
<b>PARTE QUINTA</b>	
LINEA TRASVERSALE – APPLICAZIONI NON INDUSTRIALI	351

<b>ANALISI DEL MERCATO DELLA ROBOTICA</b>	<b>353</b>
Premessa	353
Il mercato delle applicazioni legate alla sicurezza	353
Le applicazioni non industriali	358
L'offerta	360
<b>MANI ROBOTICHE A ELEVATA DESTREZZA INTEGRAZIONE DI SISTEMA E STUDI DI APPLICAZIONE</b>	<b>361</b>
Introduzione	361
Lo sviluppo della ub hand	361
Sviluppo di un ambiente di programmazione	366
Pianificazione e controllo della manipolazione	369
Conclusioni	373
Riferimenti bibliografici principali	374
<b>Progetto URMAD – Relazione sui risultati raggiunti</b>	<b>377</b>
Obiettivi della ricerca	377
Interfaccia utente	379
Sottosistema di navigazione	380
Base mobile	382
Sottosistema di visione per la localizzazione di oggetti	382
Sottosistema di manipolazione	383
Conclusioni	389
<b>PROGETTO AGROBOT</b>	<b>391</b>
Introduzione	391
Obiettivi generali del progetto agrobot	392
L'obiettivo automazione in serra	392
Il sistema di visione	394
Il braccio	396
Il sistema di manipolazione	398
Il veicolo mobile	400
Il sistema di movimentazione delle telecamere	401
Riferimenti bibliografici	402
<b>ROBOTIZZAZIONE DELLA RACCOLTA DEGLI ASPARAGI</b>	<b>403</b>
Descrizione generale dell'obiettivo	403
Robotica avanzata nelle applicazioni agricole: raccolta selettiva dell'asparago	403
Mani di presa per agricoltura	405
Sviluppo di struttura robotica con caratteristiche di interfacciabilità avanzata: specializzazione all'ambiente agricolo	407
Integrazione sensoriale delle misure di forza e coppia per la raccolta selettiva degli asparagi	408
<b>TAVOLE A COLORI</b>	<b>409</b>

## PRESENTAZIONE

U. Cugini

*Direttore del Progetto Finalizzato Robotica*

Il Progetto Finalizzato Robotica, iniziato nel 1989 si é articolato in un primo Programma Esecutivo Triennale e in un successivo Programma Biennale iniziato nel maggio del 1992. Di fatto la preparazione del P.F. Robotica era partita molto tempo addietro, nel lontano 1981, con un primo studio di prefattibilità. Nella prima fase triennale l'impostazione del Progetto é stata orientata alla realizzazione di prototipi di componenti che avessero, oltre a una loro applicabilità diretta come componenti di un sistema robotico, la possibilità di essere integrati e aggregati in sistemi completi.

Il Progetto é stato articolato su quattro Sottoprogetti dedicati a:

- Struttura dei Robot
- Governo dei Robot
- Sensori e Attuatori
- Controllo dei Robot

La prima fase triennale ha coinvolto più di 150 Unità operative universitarie, industriali e del C.N.R., più di 630 ricercatori ogni anno, per un totale di più di 550 anni uomo equivalenti nel triennio, con un finanziamento diretto da parte del C.N.R. di più di 31 miliardi di lire, e indiretto da parte delle aziende di circa 15 miliardi di lire.

Questo imponente investimento, almeno sul piano nazionale, ha prodotto alla fine della prima fase triennale più di 700 pubblicazioni scientifiche in ambiente internazionale, 6 brevetti, più di 100 prototipi fisici e altrettanti pacchetti software.

L'impostazione del biennio finale é stata fatta in modo da enfatizzare la sperimentazione e la validazione dei componenti ottenuti come risultati dell'attività del primo triennio, in alcuni sistemi o ambienti completi, la cui realizzazione é appunto l'obiettivo principale della seconda fase.

Questa seconda fase, definita dal Secondo Programma Esecutivo, é caratterizzata, oltre che dalla finalità di completare lo sviluppo degli obiettivi che avevano una possibile estensione quinquennale, dall'accorpamento delle attività svolte nel primo triennio in attività più orientate alla loro validazione in sistemi o sottosistemi indirizzati ad applicazioni specifiche.

Si é però deciso di dedicare circa un quarto delle risorse finanziarie ad alcuni obiettivi trasversali che avessero un taglio diverso dall'impostazione globale del Progetto, che prevedeva un orientamento alle tecnologie di base e alla robotica per applicazioni industriali.

Su questa base si é arrivati ad attivare delle applicazioni non orientate al settore manifatturiero.

Le aree individuate, cioè quelle dell'ausilio ai disabili e dell'agricoltura, risultano quelle concordemente indicate come le più promettenti in termini di sviluppo di mercato e quindi possono costituire validi mercati potenziali per l'industria nazionale. In questo ambito è inoltre proseguito lo sviluppo del sistema mano a elevata destrezza, che integra sotto un aspetto essenzialmente sistemico e orientato alla funzione un sottosistema tipico per applicazioni in ambiente prevalentemente non manifatturiero.

Queste operazioni di accorpamento delle varie tematiche di ricerca, in modo da convergere sempre più su prototipi operativi, ha portato due tipi di sinergie.

- Sinergie di area: nel senso che Unità operative attive in Obiettivi differenti, ma nell'ambito dello stesso Sottoprogetto, sono state portate a integrarsi in Obiettivi più ampi.
- Sinergie tra aree diverse: nel senso che Unità operative, attive in Sottoprogetti diversi, si sono integrate apportando i risultati e le competenze raggiunte in Obiettivi più ampi. Oltre a questo, diverse Unità operative sono migrate negli Obiettivi trasversali, di cui si è detto, apportando competenze, ma anche prototipi e risultati intermedi.

L'articolazione della seconda fase é quindi su 5 direttrici:

- Struttura dei Robot
- Governo dei Robot
- Sensori e Attuatori
- Controllo dei Robot
- Applicazioni non Industriali

L'articolazione è su 27 Obiettivi per un totale di 146 Unità operative, con un finanziamento diretto da parte del C.N.R. di circa 26 miliardi di lire.

Questo volume, che raccoglie gli atti del 4° Convegno Annuale del Progetto Finalizzato Robotica, fa il punto a metà della seconda fase, raccoglie quindi i risultati intermedi del Secondo Programma Esecutivo.

I lavori raccolti nel presente volume, organizzati per Obiettivi, sono il risultato delle attività di tutti i ricercatori coinvolti, ma bisogna ricordare che il loro lavoro è stato reso possibile da tutti quanti hanno collaborato a rendere operativo il Progetto: Il Comitato di Consulenza di Ingegneria e Architettura, il Comitato di Progetto, il Consiglio degli Utenti, i Coordinatori dei singoli Sottoprogetti, i Coordinatori degli Obiettivi, il personale della Direzione sia tecnico che amministrativo.

A tutti loro, oltre che ovviamente a tutti i ricercatori, va il mio più caloroso ringraziamento per lo spirito di collaborazione che ha sempre animato tutti per la migliore riuscita del Progetto.