

Curriculum dell'attività di ricerca, didattica e di servizio di

PAOLO FIORINI

Dipartimento di Informatica,
Università degli Studi di Verona,
Strada Le Grazie 15, Ca' Vignal 2,
37134 Verona (ITALY)

Tel.: (+39) 045 809 7963
Fax: (+39) 045 809 7068
E-mail: paolo.fiorini@univr.it
Web: <http://www.sci.univr.it/~fiorini>

1 Generalità

Nato a Verona, il 1 Febbraio 1953, e residente a Verona. Conoscenza fluente delle lingue Francese e Inglese.

2 Posizione Attuale

Professore Associato (II fascia) nel raggruppamento ING-INF/04 Automatica, dal Novembre 2000, presso il Dipartimento di Informatica della Facoltà di Scienze MM. FF. NN. dell'Università di Verona. Dichiarato idoneo al ruolo di Professore di II Fascia nella procedura di valutazione comparativa nel settore scientifico disciplinare K04X - bandita con D.R. 5717/D del 03/09/99 e pubblicata sulla G.U. n. 75 - IV serie speciale del 21/09/99.

3 Posizioni Precedenti

- (1985–2000) Ricercatore presso il Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena (CA-USA);
- (1982–1985) Progettista di sistemi di controllo presso la società Parker-Hannifin Corp., Irvine (CA-USA);
- (1980–1981) Analista presso lo Studio di Informatica, Milano (Italia);
- (1977–1980) Progettista di sistemi a microprocessore presso la società Zeltron, centro di ricerca Zanussi, Udine (Italia);

4 Formazione

- Doctor of Philosophy in Ingegneria Meccanica, University of California, Los Angeles (1994), titolo della dissertazione: *Robot Motion Planning among Moving Obstacles*. Questa ricerca ha sviluppato un metodo per il calcolo di manovre di aggiramento di ostacoli mobili, basato sul concetto di *Velocity Obstacle*, e cioè l'insieme di velocità che provocano una collisione tra un robot e gli ostacoli nell'ambiente circostante.
- Master of Science in Ingegneria Elettrica, University of California, Irvine (1982), titolo della tesi: *Study of Manipulator Models and Controls*.
- Laurea in Ingegneria Elettronica, Università degli Studi di Padova (1976), titolo della tesi: *Cross Assembler per il microprocessore Intel 8080*.

- Diploma di Maturità Scientifica (1971).

5 Attività Svolta

Il curriculum delle attività di ricerca, didattica e di servizio di Paolo Fiorini si divide in due parti, la prima riguardante gli anni precedenti al 2001, dalla laurea fino al termine del periodo negli Stati Uniti, e la seconda riguardante il periodo dopo il 2001, corrispondente alla presa di servizio come Professore Associato presso l'Università di Verona. Nel primo periodo, l'attività é stata principalmente di ricerca e progettazione, mentre nel secondo si é focalizzata inizialmente sull'organizzazione della didattica, del laboratorio e sull'acquisizione di fondi per la ricerca. Nel seguito, le varie attività verranno descritte in dettaglio.

5.1 Attività Scientifica

- *Robotica fissa.* In questa area di ricerca sono raggruppate le attività che riguardano lo sviluppo di sistemi per la teleoperazione, in particolare vengono analizzati gli algoritmi per il controllo del sistema complessivo di teleoperazione e dell'interazione con l'ambiente, per l'esecuzione autonoma di operazioni complesse (con riferimento alla chirurgia assistita da robot), vengono analizzate e sviluppate architetture software per gestire un sistema mater-slave di carattere generale, e sono studiati vari aspetti dell'interfaccia uomo-robot, con sistemi di video e grafica e con interfaccia a riflessione di forza (aptiche).
- *Robotica mobile.* La ricerca condotta in questa area si dedica allo sviluppo di algoritmi per la navigazione di robot mobili in ambienti dinamici, al calcolo di traiettorie ottime che soddisfino i vincoli ambientali, e allo sviluppo di metodi per la navigazione di robot saltatori, fino alla realizzazione di prototipi di sistemi robotici mobili per applicazioni di servizio e di esplorazione. In particolare è stato sviluppato un manipolatore mobile per il trasporto di pacchi e una famiglia di robot per l'esplorazione planetaria che si spostano saltando.
- *Sistemi di automazione.* Questa area di ricerca ha ricevuto molta attenzione nei primi anni di carriera con lo sviluppo di sistemi di controllo per azionamenti elettrici e pneumatici. Più recentemente, la partecipazione al progetto europeo MEDICATE, per il controllo della distribuzione di farmaci a casa, ha permesso di affrontare alcune problematiche dell'automazione domestica. Infine, in risposta a richieste da parte di aziende del territorio cittadino che richiedevano assistenza per il controllo di impianti per la produzione di prodotti agro-alimentari, si è iniziato lo studio delle problematiche dei sistemi discreti.
- *Didattica della Robotica.* La partecipazione al progetto FIRB denominato TIGER per lo sviluppo di una rete di laboratori robotica per l'insegnamento telematico, ha permesso di sviluppare degli esperimenti remotizzati via Web. A quest'area vanno aggiunte anche le iniziative didattiche e di divulgazione per motivare allo studio delle materie scientifiche e ingegneristiche gli studenti delle scuole medie superiori. Inoltre sono state attivate numerose iniziative (workshops, seminari, articoli su riviste) per il miglioramento e la promozione della didattica in robotica.

5.2 Attività Didattica Istituzionale

- (A.A. 2004-2005)
1. Corso di Laurea in Tecnologie dell'Informazione, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
 - *Sistemi e Segnali* 5 CFU.
 - *Laboratorio di Sistemi e Segnali* 2 CFU.
 - *Introduzione ai Controlli Automatici*, 4 CFU.
 2. Corso di Laurea Specialistica in Sistemi Intelligenti e Multimediali, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
 - *Teoria dei Sistemi* 5 CFU.
 - *Robotica* 5 CFU.

3. Corso di Laurea Specialistica in Scienze delle Attività Motorie Preventive ed Adattate, Facoltà di Scienze Motorie, Univ. di Verona.
 - *Bioingegneria Elettronica e Informatica* 3 CFU.
 4. Corso di Master in elaborazione informatica dei dati biomedici e telecontrollo in medicina, Facoltà di Medicina, Univ. di Verona. Organizzazione, supervisione e partecipazione ai seguenti corsi:
 - *Teoria dei Sistemi* 20 ore.
 - *Biomeccanica* 20 ore.
 - *BioRobotica* 20 ore.
- (A.A. 2003-2004)** 1. Corso di Laurea in Tecnologie dell'Informazione, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Sistemi e Segnali* 5 CFU,
 - *Laboratorio di Sistemi e Segnali* 2CFU.
 - *Introduzione ai Controlli Automatici*, 4 CFU.
2. Corso di Laurea Specialistica in Sistemi Intelligenti e Multimediali, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Teoria dei Sistemi* 5 CFU.
 - *Robotica* 5 CFU.
- (A.A. 2002-2003)** 1. Corso di Laurea in Tecnologie dell'Informazione, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Sistemi e Segnali* 5 CFU.
 - *Laboratorio di Sistemi e Segnali*,
2. Corso di Laurea Specialistica in Sistemi Intelligenti e Multimediali, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Teoria dei Sistemi* 5 CFU.
 - *Robotica* 5 CFU.
- (A.A. 2001-2002)** 1. Corso di Laurea in Informatica, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Metodi di Simulazione di Sistemi Complessi* 5 CFU
 - *Teoria dei Sistemi* 5 CFU.
 - *Robotica* 5 CFU.
- (A.A. 2000-2001)** 1. Corso di Laurea in Informatica, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Teoria dei Sistemi*, 1UD circa 60 ore.
 - *Robotica*, 1UD, circa 60 ore.
- (A.A. 1999-2000)** 1. Corso di Laurea in Informatica, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Teoria dei Sistemi*, 1UD circa 60 ore (docente a contratto).
 - *Robotica*, 1UD, circa 60 ore (docente a contratto).
- (A.A. 1998-1999)** 1. Corso di Laurea in Informatica, Facoltà di Scienze MM FF NN, Univ. di Verona.
- *Informatica Industriale*, 2UD circa 90 ore (docente a contratto).
- (A.A. 1992-1993)** 1. Corso di Laurea in Ingegneria Informatica, Facoltà di Ingegneria, Univ. di Padova.
- *Controlli Digitali*, semestrale (docente a contratto).

Tesi di Laurea coordinate . Laureato 30 studenti dal 1999 ad oggi.

5.3 Altre Attività Didattiche

- 2002-2004 Lezioni al corso di dottorato in informatica della Facoltà di Scienze dell'Univ. di Verona e alla scuola estiva di Bertinoro.
- 2001-2004 Scuole di dottorato organizzate:
- Dicembre 2003 Danik Gragic: Visual Tracking and Servoing.
- Luglio 2003 Kamal Gupta: Motion Planning, overview, state of the art and recent advances.
- Luglio 2003 Alfred Inselberg: Visualizing multidimensional geometry and its applications.
- Agosto 2002 Joel Burdick: Robotic Locomotion.
- Maggio 2002 Antal Bejczy: Advanced Teleoperation.
- Aprile 2002 Zvi Shiller: Modeling of Mobile Robots.
- 1995 Visiting Professor presso l'Università Nazionale di San Juan in Argentina, dove tiene il corso di Telerobotica [C8].
- 1993 Professore a contratto presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Padova, dove tiene il corso di Controlli Digitali.
- 1988-1999 Supervisione dei seguenti ricercatori inviati a trascorrere dei periodi di studio e lavoro al JPL: Ing. Massimo Bergamasco, Scuola San Anna di Pisa; Dr. Antonio Giancaspro, Università di Bari; Ing. Roberto Oboe, Università di Padova, prof. José Postigo, Univesitad Nacional de San Juan (San Juan, Argentina), e dr. Yuichi Tsumaki, Tohuku University, (Sendai Japan).
- 1985-1994 Lezioni alla School of Engineering della University of California, Los Angeles nei corsi di Introduzione alla Robotica, di Geometria Computazionale e Computer Aided Manufacturing (CAM).
- 1981-1982 *Teaching Assistant* per i corsi di Controlli Automatici, Progettazione Elettronica e Sistemi a Microprocessore alla University of California, Irvine.
- 1977-1979 Lezioni alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova nell'ambito del corso di Elettronica Industriale.

5.4 Attività di Servizio

1. Attività presso la Facoltà di Scienze MM FF NN
 - 2001-presente** Delegato di Facoltà per il programma Erasmus/Socrates.
 - 2002-presente** Delegato di Facoltà per gli Stage e Tirocini.
 - 2001-2003** Membro della giunta del Dipartimento di Informatica.
 - 2003-presente** Membro della Commissione Didattica dei Corsi di Laurea in Informatica e Tecnologie dell'Informazione.
2. Attività di organizzazione della ricerca
 - 2001-presente** Costituisce il laboratorio di ricerca *ALTAIR - A Laboratory for Teleoperation and Autonomous Intelligent Robots*, attrezzato con: 2 server, 10 PC, un robot fisso PUMA 560, un robot fisso PUMA 200, un robot mobile Nomad 200, un robot mobile Robotix 565, due joystick a riflessione di forza JPL-NASA, due pinze sensorizzate per robot JPL-NASA, un sensore laser di distanza SICK, un banco di misura per la teleoperazione, ed un'area per la realizzazione ed il collaudo di circuiti elettronici.
 - 2001-presente** Coordina il gruppo di ricerca in *Controlli Automatici e Robotica* presso il Dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Verona. Attualmente, il gruppo di ricerca è composto da due studenti di dottorato, da un post-dottorato e da un assegnista di ricerca.
3. Valutazione tesi di dottorato

- (a) Membro del comitato di valutazione della tesi di PhD in *Ingegneria* di José Postigo: *Teleoperacion de Manipuladores Roboticos con Referencias de Fuerza y Posicion*, presso l'Università Nazionale di San Juan (Argentina). La difesa della tesi si é svolta nel Novembre 1998.
- (b) Membro del comitato di valutazione della tesi di PhD in *Computer Science* di Boris Kluge: *Motion Coordination for a Mobile Robot in Dynamic Environments*, presso l'Università di Ulm (Germania). La difesa della tesi si é svolta nel giugno 2004.
- (c) Membro del comitato di valutazione della tesi di PhD in *Ingegneria Meccanica* di Pierre Lamont: *3D Position Tracking for All-Terrain Robots*, presso il Politecnico Federale di Losanna (Svizzera). La difesa della tesi si é svolta nel gennaio 2005.
- (d) Membro del comitato di valutazione della tesi di dottorato in *Ingegneria Informatica e dei Sistemi*, XVII ciclo, al Politecnico di Torino di David Prieto: *Robust drag free and attitude control for a low Earth orbiter*, e di Ahmad Zuheir: *Fast model predictive control implemented using set membership function approximation*. La difesa delle tesi si é svolta nell'aprile 2005.

4. Valutazione per la promozione a Professore Ordinario

- 2004 Membro del comitato di valutazione delle attività scientifica, didattica e di servizio di Debasish Ghose allo Indian Institute of Science, Bangalore (India).
- 2005 Membro del comitato di valutazione delle attività scientifica, didattica e di servizio di Roberto Cristi al Naval Postgraduate School (Monterey, CA).

5.4.1 Progetti di Ricerca

- (2000) Riceve un contratto da parte del Museo Civico di Rovereto per lo remotizzazione via Internet di un'aula per la didattica di esperimenti scientifici. Importo 6.000 Euro.
- (2001–04) È coordinatore della sede di Verona del progetto Europeo MEDICATE per il controllo della somministrazione dei farmaci solidi in ambiente domestico. Importo 325.000 Euro.
- (2000–03) È responsabile scientifico di un progetto finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana per lo sviluppo di algoritmi per la compensazione del ritardo di tempo nei sistemi di teleoperazione. Coordinatore del progetto é il centro di ricerca dell'ENEA alla Casaccia. Importo 39.000 Euro.
- (2002) È coordinatore della sede di Verona di un progetto finanziato dal centro ricerche ENEA della Casaccia sulle interfacce per i sistemi di telemanipolazione. Importo 25.000 Euro.
- (2002) Riceve due borse di studio da parte della Fondazione Giorgio Zanotto, per lo sviluppo di sistemi per la chirurgia robotizzata. Importo 28.000 Euro.
- (2002–03) È coordinatore della sede di Verona nel progetto finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana per lo sviluppo di un testa robotica teleoperata. Il coordinatore del progetto é l'Università di Genova. Importo 38.000 Euro.
- (2002–05) È coordinatore della sede di Verona nel progetto FIRB: *Tiger*. Il progetto, di durata triennale, coordinato dal Prof. Tommaso Leo di Ancona ha lo scopo di sviluppare un metodo di teledidattica per l'educazione permanente in robotica. Il progetto svilupperá un apposito curriculum e degli esperimenti di laboratorio accessibili via Internet. Importo 87.370 Euro.
- (2003–05) È responsabile scientifico per lo studio, finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea, di un piccolo robot saltante per l'esplorazione planetaria. Importo 10.000 Euro.
- (2003–2004) È responsabile del progetto commissionato dalla società GSK per lo sviluppo di un robot mobile autonomo per il trasporto di piccoli pacchi. Importo 120.000 Euro.
- (2004) È responsabile del progetto commissionato dalla società FGP per lo sviluppo di un tutore motorizzato per la riabilitazione del ginocchio. Importo 10.000 Euro.
- (2005) È responsabile del progetto commissionato dalla società Tecnica Elettronica per l'analisi del funzionamento degli impianti di produzione batch. Importo 20.000 Euro.

(2005) Riceve due borse di studio da parte della Fondazione Giorgio Zanotto, per lo sviluppo di sistemi per la chirurgia robotizzata. Importo 33.000 Euro.

(2006–2009) È coordinatore della sede di Verona del progetto XPERO commissionato dalla Comunità Europea per la ricerca in apprendimento automatico applicato alla robotica. Importo 370.000 Euro.

5.4.2 Organizzazione di Eventi Scientifici

- Segretario della *ICAR1997, International Conference on Advanced Robots*, Monterey California.
- Organizzatore del workshop sullo sminamento umanitario IEEE International Conference of Automation and Robotics (ICRA '98) a Leuven (Belgio)
- Organizzatore del workshop sullo sminamento umanitario all'International Advanced Robotics Programme (IARP 1998) a Toulouse (Francia).
- Membro del comitato di programma delle seguenti conferenze: *ICRA2000, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, San Francisco CA, USA; *ICRA2001, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Seoul, Corea del Sud; *IROS2001, International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Maui HI, USA; *ICAR2001, International Conference on Advanced Robots*, Budapest Ungheria; *ICRA2002, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Washington DC, USA; *IROS2002, International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Losanna, Svizzera; *ICRA2003, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Taipei, Taiwan; *IROS2003, International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Las Vegas NE, USA; *ICAR2003, International Conference on Advanced Robots*, Lisbona Portogallo; *ICRA2004, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, New Orleans, LA USA; *ICRA2005, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spagna; *IROS2005, International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Edmonton, Canada; *ICRA2006, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, FL USA; *IROS2006, International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Pechino, Cina;
- European Program Chair di *ICAR2005, International Conference on Advanced Robots*, Seattle, WA USA.
- Organizzatore e membro del comitato di programma di *SSRR2003 Search, Safety and Rescue Robots* workshop, Tampa, FL USA.
- General Chair, Local Chair e Program Chair di *ASER2003 Advances in Service Robotics* workshop, Bardolino, Italy.
- Organizzatore e Program Chair di *SSRR2004 Search, Safety and Rescue Robots* workshop, Bonn, Germany.
- Organizzatore e General Chair di *ASER2004 Advances in Service Robotics* workshop, Munich, Germany.
- Financial Chair di *BIOROB2006, IEEE International Conference on Biology and Robotics*, Pisa, Italy.
- Poster Chair di *ICRA2006, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando (FL USA).
- Organizzatore e co-Chair di *ASER2006 Advances in Service Robotics* workshop, Vienna, Austria.
- Financial Chair di *ICRA2007, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Roma, Italy.
- Program Chair di *ICAR2009, International Conference on Advanced Robots*, Munich, Germany.

5.5 Attività Editoriale e Contributi a Organizzazioni Scientifiche Internazionali

È stato Guest Editor di due numeri speciali della rivista *Autonomous Robots* dedicati ai robot per la casa e ai robot con mobilità inusuale. Ha fatto parte dell'Editorial Board del *Robotics and Automation Magazine* e attualmente è Associate Editor delle riviste: *IEEE Transaction of Automation Science and Engineering*, *Autonomous Robot*, and *Service Robotics*. È Guest Editor di un numero speciale delle *IEEE Transaction on Automation Science and Engineering* dedicato all'automazione domestica.

È stato eletto per due termini (2000-2003) e (2003-2006) al comitato direttivo della società internazionale *Robotics and Automation (RAS)* della IEEE, dove riveste la carica di responsabile dell'Education Committee. È anche responsabile di due Technical Committees della RAS: *Service Robotics* e *Search Safety and Rescue Robotics*. È presidente del Chapter Italiano della RAS e Branch Counselor dello Student Chapter della IEEE all'Università di Verona.

5.6 Premi Ricevuti

Ha ricevuto dieci *NASA Technical Awards* [D1]-[D10] e un Group Award per i contributi al progetto di Telerobotica della NASA.

È stato selezionato come finalista del *Best Student Paper* alla conferenza ICRA1993, e come *Best Conference Paper* alla conferenza ICRA2000.

5.7 Pubblicazioni più significative

Le presentazioni degli articoli più significativi vengono raggruppate in funzione dell'argomento trattato, secondo il breve sommario presentato in Sezione 5.1

5.7.1 Robotica Fissa

Gli studi in quest'area sono dedicati ai sistemi di telerobotica, in cui esiste anche una componente umana in grado di comandare, o di correggere, le operazioni del sistema robotico. In questa area di ricerca sono quindi inclusi quei lavori che trattano l'analisi dei sistemi robotici, ma anche le interfacce di operatore, i dispositivi di comando e le architetture per il controllo della telemanipolazione. I contributi più significativi in quest'area sono rappresentati dai lavori seguenti.

Il Manipolatore Sono stati affrontati alcuni aspetti metodologici e realizzativi dei manipolatori robotici, che sono brevemente riassunti nel seguito.

1. *Aspetti Metodologici.* Un problema affrontato è il calcolo efficiente e preciso dello spazio di lavoro di un manipolatore seriale. La soluzione proposta è descritta in [B58] in cui lo spazio di lavoro viene costruito in maniera iterativa mediante un processo di *rigid-sweep* dei volumi descritti dal movimento dei giunti del robot. Il problema della calibrazione di un robot è stato affrontato in [B52] considerando uno strumento di misura mobile (una telecamera). Questo metodo permette la calibrazione di un robot integrando le misure prese da una telecamera mobile, o da più telecamere fisse, ciascuna delle quali riprende solo una porzione limitata dello spazio di lavoro del robot. È stato sviluppato un nuovo modello cinematico che permette di separare i parametri relativi alla localizzazione da quelli relativi alla cinematica del manipolatore. Per ogni posizione della telecamera, vengono calcolate le pose del robot che soddisfano i vincoli di visibilità e di buon condizionamento dello Jacobiano del sistema, assicurando così una rapida convergenza dell'algoritmo di identificazione dei parametri cinematici.
2. *Aspetti Realizzativi.* La realizzazione di una pinza robotica intelligente è presentata in [A4]. La pinza può stringere un oggetto con una forza prestabilita e può raccogliere dati sulla forza di stringimento e sulle forze e le coppie esercitate dal manipolatore sull'ambiente circostante. Il controllo e l'acquisizione dati sono eseguite localmente alla pinza, e le dita della pinza possono essere controllate in posizione, velocità, impedenza o forza, mediante degli anelli di controllo distinti. In [A5] vengono descritte in dettaglio le operazioni e gli utensili usati negli esperimenti di teloperazione

condotti al JPL per verificare le prestazioni del sistema di teleoperazione sviluppato per applicazioni spaziali. Il sistema descritto in [A9] é un controllore per manipolatori ridondanti realizzato appunto con un personal computer (PC) commerciale. Le prestazioni di questo sistema sono paragonabili a quelle ottenute con computer multiprocessori di tipo VME, ad una frazione del costo. Un'applicazione medica é stata sviluppata in collaborazione con gli Istituti Ortopedici Rizzoli di Bologna e riguarda un prototipo di sistema robotizzato per la biopsia spinale [A13]. Questo sistema era basato sul manipolatore industriale PUMA 260, per il quale era stata sviluppata una nuova architettura di controllo in tempo reale e un controllo di forza in grado di posizionare accuratamente un ago in un simulatore di paziente.

L'Interfaccia Uomo-Macchina In quest'area sono stati affrontati alcuni aspetti relativi alla progettazione, controllo e validazione di dispositivi di comando per sistemi di teleoperazione.

1. *Aspetti Metodologici.* Uno degli obbiettivi di ricerca in questa area é quello di sviluppare dei metodi in grado di rendere l'interfaccia piú intelligente e cioè capace di assistere l'operatore durante una teleoperazione e di controllarne le prestazioni. In [A6] viene descritta una rete neurale sviluppata per riconoscere le fasi di un'operazione di *peg-in-hole* e per fornire all'operatore dei messaggi di conferma. La rete analizza in tempo reale i dati di forza e di coppia generati dall'operatore e identifica in tempo reale la fase della sequenza. La precisione dell'identificazione é solo del 60% e quindi in [B62] viene proposto un miglioramento del riconoscimento, in cui i parametri della sequenza di *peg-in-hole* teleoperata vengono estratti dai dati acquisiti mediante una procedura di classificazione che usa Hidden Markov Models e Support Vector Machines. I risultati sono confrontati con gli esperimenti precedenti, evidenziando un miglioramento di circa il 20% nella classificazione in tempo reale degli stati dell'operazione.
2. *Aspetti Realizzativi.* Le caratteristiche principali di una manopola a ritorno di forza per il comando di una pinza di un robot, sono descritti in [B6]. Il dispositivo é usato dall'operatore per muovere le dita di una pinza robotica mediante un grilletto a due gradi di libertà. Il movimento del grilletto replica la posizione delle dita della pinza. Il secondo grado di libertà é la rotazione della faccia del grilletto, proporzionale alla forza di stringimento della pinza. Il grilletto si muove soltanto azionato dal motore e quindi si comporta come un master isometrico. Le prestazioni di questo sistema sono state valutate mediante esperimenti di stringimento di oggetti virtuali. Alcuni aspetti realizzativi dell'interfaccia di comando del sistema di telemanipolazione sviluppato al JPL sono descritti in [A7]. Questa interfaccia include due joystick a riflessione di forza per il comando del movimento dei manipolatori, monitor per la simulazione grafica, la visualizzazione dei dati e l'inserimento dei parametri, e schermi video con le immagini del sito remoto. Il confronto delle caratteristiche di vari tipi di joystick commerciali, é riassunta in [B16] dove vengono identificati i requisiti principali per un sistema di telecomando a riflessione di forza per la teleoperazione.

Il Sistema di Teleoperazione In questa area sono stati affrontati alcuni dei problemi relativi ai sistemi di teleoperazione, quali, ad esempio, lo sviluppo di architetture software appropriate, alla compensazione del ritardo e della perdita di dati durante la trasmissione, e gli aspetti di percezione legati all'uso dei vari tipi di algoritmi.

1. *Aspetti Metodologici.* La diffusione capillare di Internet permette di considerare delle nuove applicazioni dei sistemi di teleoperazione, in cui il master e lo slave sono collegati da un tratto di Internet. Questo tipo di collegamento introduce un ritardo di comunicazione variabile nel collegamento tra il master e lo slave e la possibilità di perdita di pacchetti di dati. Entrambe queste condizioni possono creare instabilità in un sistema di teleoperazione. Lo studio di possibili metodi di compensazione é iniziato con un esame dei protocolli di comunicazione via Internet [B31], e poi é stata eseguita un'analisi sperimentale di Internet [B32] che ha indicato come la rete, in condizioni di carico normale, possa essere caratterizzata dai valori della media e della varianza del ritardo. Con queste premesse, si é proceduto alla progettazione di un controllore per un sistema di telerobotica a riflessione di forza per un tratto opportuno di Internet [A10], caratterizzato da una retroazione sullo stato che garantisce la stabilità del controllo di posizione con retroazione di forza nel caso di ritardo variabile della comunicazione tra master e slave. Per analizzare la variazione di

percezione di un operatore a seconda del metodo di compensazione del ritardo adottato, in [B46] viene effettuata un'analisi della relazione che esiste tra la stabilità del sistema di teleoperazione e la percezione dell'operatore in presenza di un ritardo nella comunicazione dei dati tra master e slave. Il caso della perdita di pacchetti di dati è affrontato in [B73], in cui si dimostra come questa situazione, in assenza di ritardo di comunicazione, sia equivalente al caso di un sistema discreto a tempo di campionamento variabile. Viene presentato un controllore opportuno che garantisce la stabilità del sistema di controllo anche in presenza di perdite elevate di pacchetti di dati. Per migliorare le prestazioni di un sistema di teleoperazione, possono essere aggiunte delle piccole doti di autonomia al manipolatore slave. In [B72], viene descritto un automa ibrido per il controllo a livello di task di un segmento di una sutura chirurgica. Il sistema ibrido include un controllo continuo (posizione o forza) in ciascun stato dell'automa, mentre la transizione tra stati viene effettuata in base al soddisfacimento di opportune condizioni logiche. La traiettoria nominale del task viene calcolata a priori soddisfacendo il Massimo Criterio di Pontryagin. Le simulazioni e gli esperimenti effettuati hanno dimostrato la fattibilità del metodo proposto.

2. *Verifiche Sperimentali*

Molti esperimenti sono stati condotti e documentati per verificare le prestazioni delle varie soluzioni proposte. In [B63], ad esempio, vengono confrontate tre prove di perforazione di una membrana mediante un sistema di teleoperazione. Nella prima serie di prove, il manipolatore è controllato da un controllore PID con parametri dimensionati su condizioni generali, nella seconda serie il manipolatore ha un controllo di impedenza, mentre nell'ultima serie di prove il controllo è di tipo ibrido, con due controllori attivati dal valore della forza di contatto sulla membrana. I risultati delle prove indicano che il controllore ibrido ottiene delle prestazioni migliori degli altri metodi, secondo le metriche definite.

5.7.2 Robotica Mobile

Per complementare gli aspetti di robotica teleoperata, sono stati affrontati alcuni argomenti nel campo della robotica autonoma, ed in particolare di quella mobile.

Pianificazione del Moto in Ambienti Dinamici Questo argomento è stato affrontato nella tesi di PhD all'UCLA [PhD] in cui ho sviluppato un nuovo metodo per la pianificazione della traiettoria di robot e veicoli intelligenti che evita gli ostacoli statici e quelli in movimento, minimizza la durata della traiettoria e soddisfa i vincoli sugli attuatori e la dinamica del sistema.

1. *Aspetti Metodologici.* Sono stati proposti gli *Ostacoli di Velocità* (VO) che, nel piano, rappresentano le velocità di un robot che generano una collisione futura con gli ostacoli fissi e mobili nell'ambiente [A11]. Una traiettoria senza collisioni può essere quindi calcolata scegliendo le velocità al di fuori di VO che soddisfano i vincoli dinamici del robot. A differenza dei metodi usati in precedenza, questo metodo è del *primo ordine*, perché le collisioni vengono calcolate senza usare esplicitamente l'evoluzione della posizione del robot e degli ostacoli, ma servendosi direttamente dei valori delle velocità. Per applicazioni in tempo reale, il calcolo della traiettoria del robot viene eseguito usando dei metodi euristici per scegliere la velocità del robot ad ogni istante di campionamento. Per applicazioni off-line, la traiettoria può venire calcolata in modo quasi-ottimo con un *depth-first search* e poi ottimizzata soddisfacendo le condizioni del Principio di Pontryagin con un algoritmo numerico di *steepest descent*, descritto in [A8]. Questo metodo combina i vantaggi della programmazione euristica con quelli dell'ottimizzazione dinamica. La parte euristica infatti, permette di considerare gli aspetti strutturali della traiettoria, come ad esempio, la sequenza di manovre, il tipo di manovre e la struttura globale della traiettoria. L'ottimizzazione dinamica, invece, assicura la fattibilità della soluzione e la sua correttezza locale, perché soddisfa la dinamica del sistema ed i vincoli sullo stato del robot.
2. *Aspetti Realizzativi.* In [B23] sono presentati i concetti generali dei VO e l'estensione di questo metodo allo spazio tridimensionale. L'articolo è stato scelto come finalista per il Best Student Paper alla Conferenza di Robotica e Automazione dell'IEEE nel 1993. In [B26] le soluzioni calcolate con il metodo euristico vengono confrontate a quelle prodotte dall'ottimizzazione, per valutarne la qualità.

3. *Validazione Sperimentale.* Gli algoritmi basati sui VO, sono stati usati in collaborazione con l'Università di Ulm (Germania) per sviluppare una carrozzina in grado di muoversi autonomamente in ambienti dinamici. Il sistema di navigazione della carrozzina permette il movimento autonomo in ambienti affollati, come la sala di accesso della stazione di Ulm, ed è descritto in [A12, B38, A16]. Il vantaggio di questo metodo rispetto ad altri, consiste nel fatto di includere nella pianificazione la velocità degli ostacoli e quindi di ottenere una predizione migliore della traiettoria da evitare.

Esplorazione Planetaria La ricerca condotta in quest'area ha portato allo sviluppo di robot mobili per l'esplorazione spaziale in particolare usando dei robot piccoli ed economici (massa inferiore ad 1.5 Kg). Il metodo di movimento di questi robot è il salto, e sono stati studiati vari prototipi.

1. *Aspetti Metodologici* In [A17] viene descritta l'evoluzione delle varie generazioni di robot saltatori e vengono date le motivazioni teoriche e pratiche della configurazione scelta per il robot saltatore. L'articolazione proposta crea una molla non lineare che ha un'efficienza molto elevata. Il robot è in grado di raddrizzarsi autonomamente dopo un atterraggio, di selezionare la direzione del salto, ed infine di spiccare un balzo. Tutte queste funzioni sono ottenute utilizzando un solo motore ed un'opportuna logica meccanica. Un altro aspetto importante è lo sviluppo di sensori adeguati, e in [B59] viene proposto e analizzato un sistema di visione stereoscopico realizzato con una lente omnidirezionale. Questa soluzione ha il vantaggio di avere un ingombro ed un peso molto ridotto e di poter essere realizzato con una sola ottica sfruttando il movimento del robot durante la fase di ricarica della molla di propulsione. In [A19] si affronta il problema della localizzazione del robot alla fine del salto. L'approccio proposto consiste nel predire *a posteriori* il punto di arrivo del robot, ricostruendo la traiettoria in aria e il movimento dovuto all'impatto con il terreno e le rocce mediante i dati raccolti dai sensori a bordo del robot.
2. *Aspetti Realizzativi* Il primo prototipo di sistema di esplorazione non-convenzionale è descritto in [B37] e consiste in un dispositivo sferico la cui parte inferiore viene spinta da una molla, provocando il sollevamento del dispositivo. Un secondo robot saltante è descritto in [B39] ed è costruito da un corpo tetraedrico posizionato su di una parallelogramma articolato azionato da una molla. L'articolo era stato scelto come finalista per il Best Conference Paper alla conferenza ICRA2000. In [B45] e [A18] viene proposta una soluzione al problema del movimento di precisione di un robot saltatore, che consiste nell'equipaggiare il robot con delle ruote retraibili che vengono sollevate prima del salto. Il prototipo descritto in questi lavori era anche in grado di eseguire comandi inviati per mezzo di un collegamento in RF e di un personal computer.

Coordinazione di Robot Mobili Questo problema viene affrontato in [B48] e la navigazione in formazione viene realizzata creando un sistema di molle virtuali che collegano, in modo fittizio, i membri della formazione. Le variazioni della posizione dei membri della formazione, dovute alla presenza di ostacoli o a cambiamenti di direzione del capo gruppo, vengono trasformate in forze che modificano le traiettorie originali dei membri della formazione. Terminate le sollecitazioni esterne, la formazione ritorna nella posizione di equilibrio determinata dai valori nominali dei collegamenti virtuali. Questo approccio non richiede un grande scambio di dati fra i membri della formazione, in quanto il calcolo degli spostamenti di ciascun membro viene fatto localmente da ciascun robot, utilizzando uno dei metodi classici per il calcolo della dinamica dei manipolatori. La formazione viene modellata con un certo numero di strutture seriali, con radice comune nel membro che funge da capogruppo, e ogni robot viene assegnato ad uno dei giunti dei manipolatori seriali. Il calcolo delle forze di interazione tra i giunti, eseguito localmente, permette di calcolare gli spostamenti dei membri della formazione.

Robotica di Servizio Sono state studiate anche delle applicazioni della robotica mobile. In [A14] e [A15] viene descritto lo stato dell'arte e della ricerca in quella che è l'applicazione di maggiore potenziale economico nella robotica di servizio e cioè i sistemi autonomi per la pulizia. In [B53] e [B55] vengono descritte le specifiche funzionali del sistema per la logistica leggera che è stato sviluppato nell'ambito del programma di ricerca finanziato dalla GlaxoSmithKline SpA di Verona. Questo sistema comprende un manipolatore mobile in grado di sollevare dei piccoli pacchi e di trasportarli in varie parti del magazzino. Dal punto di vista metodologico, questa area rappresenta il punto di integrazione di numerose discipline

scientifiche, mentre dal punto di vista realizzativo questi sistemi devono soddisfare criteri severi di affidabilità, manutenibilità e facilità d'uso. L'aspetto di ricerca più significativo è quello della manipolazione mobile guidata da sistemi di visione automatica. Algoritmi di questo tipo sono in corso di collaudo per il robot logistico, sul quale sono in corso di esecuzione le prove finali di collaudo. La descrizione del sistema realizzato e i risultati delle prove di validazione sono stati presentati in [B64].

5.7.3 Automazione

In questa area di ricerca confluiscono le attività che non sono direttamente legate alla robotica.

Azionamenti Elettrici Alla fine degli anni '70, l'uso dei microprocessori era ancora agli inizi, soprattutto nel campo dei sistemi di controllo. Per questo motivo, in [A1] vengono presentate le motivazioni principali all'uso di microprocessori per il controllo degli azionamenti elettrici ed alcuni aspetti progettuali di questi sistemi. In [A3, B2, B3] si descrivono i risultati della ricerca condotta con il Prof. Giuseppe Buja nell'ambito del 1° Progetto Finalizzato di Informatica del CNR, sottoprogetto Applicazioni Industriali per lo sviluppo di un controllore a microprocessore per invertitori a Pulse Width Modulation (PWM).

Automazione Domestica La pubblicazione [A2] descrive il sistema di controllo a microprocessore della lavatrice computerizzata della Zanussi, la prima prodotta in Europa.

In [B54] vengono descritte le caratteristiche complessive di un sistema per la distribuzione di farmaci solidi in ambiente domestico. Questa ricerca faceva parte del progetto MEDICATE finanziato dalla Comunità Europea per il periodo 2001-2004. In [B56] viene descritto in dettaglio il dispositivo automatico per la distribuzione dei farmaci. Il sistema completo si articola su tre componenti principali: un centro di controllo e di raccolta dati, un sistema di distribuzione dei farmaci, e un centro di assistenza. Il sistema di distribuzione dei farmaci è stato sviluppato a Verona e consiste in un sistema computerizzato che dispensa, tramite una unità portatile, i farmaci secondo la prescrizione scaricata via Internet dal centro di controllo. In caso di mancata assunzione del farmaco, o di assunzione ritardata, l'evento viene registrato dal distributore che informa il centro di controllo. Sono state eseguite le validazioni cliniche preliminari del sistema completo ed è in corso l'elaborazione dei risultati della sperimentazione.

5.7.4 Didattica della Robotica

La ricerca di metodi didattici innovativi per l'insegnamento della robotica ha portato allo sviluppo di un laboratorio di robotica che utilizza le costruzioni LEGO per la progettazione e realizzazione di piccoli manipolatori a tre gradi di libertà. Questo laboratorio, opportunamente adattato, viene usato nei corsi istituzionali, in quelli per le scuole superiori (programma Tandem) e nel Master in Informatica Medica offerto dalla Facoltà di Medicina. La struttura del corso e le soluzioni realizzate sono descritte in [B73].

Pubblicazioni

Lavori accettati su riviste internazionali

- [A1] G. Buja and P. Fiorini, *Controllo con microprocessore dei convertitori statici di energia elettrica*, Automazione e Strumentazione, Vol. 27, N. 4, pp. 269-274, April 1979.
- [A2] U. De Monte, P. Fiorini and others, *A Software Structure for Appliance Control*, Euromicro Journal, N. 6, pp. 17-19, 1980.
- [A3] G. Buja and P. Fiorini, *Microcomputer Control of PWM Inverters*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-29, N. 2, pp. 212-216, August 1982.
- [A4] P. Fiorini, *A Versatile Hand for Manipulators*, IEEE Control Systems Magazine, Vol. 8, N. 5, pp. 20-24, October 1988.
- [A5] H. Das and P. Fiorini, *Integrated Tools for Teleoperated Satellite Repair*, Automation in Construction, Vol. 2, N. 1, pp. 81-89, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, The Netherlands, 1993.

- [A6] P. Fiorini, A. Giancaspro, S. Losito and G. Pasquariello, *Neural Networks for the Segmentation of Teleoperation Tasks*, PRESENCE, Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 2, N. 1, pp. 1-13, MIT Press, 1993.
- [A7] P. Fiorini, A. Bejczy and P. Schenker, *Integrated Interface for Advanced Teleoperation*, IEEE Control System Magazine, Vol. 13, N. 5, pp. 15-20, October 1993.
- [A8] P. Fiorini and Z. Shiller, *Time Optimal Motion Planning in Dynamic Environments*, The International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, Vol.7, N. 2, pp. 101-126, June 1997.
- [A9] P. Fiorini, H. Seraji and M. Long *A PC-Based Configuration Controller for Dexterous Arms* IEEE Robotics and Automation Magazine, pp. 30-38, September 1997.
- [A10] R. Oboe and P. Fiorini *A Design Environment for Internet-Based Telerobotics*, The International Journal of Robotics Research, Vol. 17, No. 5, pp. 101-126, May 1998.
- [A11] P. Fiorini and Z. Shiller, *Motion Planning in Dynamic Environments using Velocity Obstacles*, The International Journal of Robotics Research, Vol. 17, No. 7, pp. 760-772, July 1998.
- [A12] E. Prassler, J. Scholz and P. Fiorini *Navigating a Robotic Wheelchair in a Railway Station during Rush Hour*, The International Journal of Robotics Research, Vol. 18, No. 7, pp. 711-727, July 1999.
- [A13] C. Casadei, S. Martelli and P. Fiorini, *A Workcell for the Development of Robot-Assisted Surgical Procedures*, The Journal of Intelligent and Robotic Systems, 28: 301-324, 2000. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [A14] P. Fiorini and E. Prassler *Cleaning and Household Robots: A Technology Survey*. Autonomous Robots, 9 227-235, 2000. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [A15] E. Prassler, A. Ritter, C. Shaeffer and P. Fiorini *A Short History of Cleaning Robots*. Autonomous Robots, 9 211-226, 2000. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [A16] E. Prassler, J. Scholz and P. Fiorini *MAid: A Robotic Wheelchair in Crowded Public Environments*. IEEE Robotics and Automation Magazine 2000. IEEE Press.
- [A17] J. Burdick and P. Fiorini *Minimalist Jumping Robots for Celestial Exploration*. The International Journal of Robotics Research 2003. Sage Publishers.
- [A18] P. Fiorini and J. Burdick *The Development of Hopping Capabilities for Small Robots*. Autonomous Robots 2003. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. Volume 14, Number 2 - 3, page: 239 - 254.
- [A19] P. Fiorini and C. Cosma and M. Confente *Localization and Sensing for Hopping Robots*. Autonomous Robots 2005. Springer Science+Business Media B.V., The Netherlands. ISSN: 0929-5593 (Paper) 1573-7527 (Online) DOI: 10.1007/s10514-005-0725-y, Issue: Volume 18, Number 2, March 2005, Pages: 185 - 200.
- [A20] A. Castellani, S. Galvan, D. Botturi, P. Fiorini *Advanced Teleoperation Architecture*. To appear in *Software Engineering for Experimental Robotics*, D. Brugali Ed., Springer Tracts on Advanced Robotics (STAR), Springer Verlag Publisher 2006.

Congressi internazionali con revisione

- [B1] G. Buja and P. Fiorini, *L'impiego dei microprocessori per il controllo dei sistemi di azionamento elettrico*, BIAS 1978, Milano (Italy), Vol. 1, October 1978.
- [B2] G. Buja and P. Fiorini, *A Microcomputer Based Quasi Continuous Output controller for PWM Inverters*, IEEE International Conference on Industrial Electronics, Philadelphia, PA, March 1980, pp.107-111.

- [B3] G. Buja, P. Fiorini, and others, *Improving the Performance of Microcomputer Based Controllers for PWM Inverters*, 8th Powercom, Dallas, TX, April 1982, pp. E1-3:1,E1-3:8.
- [B4] P. Fiorini and A. Stubberud, *Models and Controls for Manipulators*, Robotic Intelligence and Productivity Conference, Wayne State University, Detroit MI, November 1983, pp. 164-171.
- [B5] P. Fiorini, *Microprocessor Torque Control of Small Motors*, Abstracts of the International Workshop on Microprocessor Control of Small Motors, University of Padova, Padova Italy, July 1986.
- [B6] P. Fiorini, B. Hannaford, B. Jau, E. Kan and A. Bejczy, *Hand Trigger System for Bi-lateral Gripping Control in Teleoperation*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Raleigh, NC, March 1987, pp. 586-592.
- [B7] P. Fiorini, *Smart Hand for Manipulators*, IEEE Industrial Electronics Conference, Cambridge, MA, November 1987, pp. 572-580.
- [B8] P. Fiorini and A. Inselberg, *Parallel Coordinates : a New Representation for Robotics*, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Redundant Manipulators, Salò (Italy), June 27 - July 1 1988.
- [B9] B. Hannaford and P. Fiorini, *A Detailed Model of Bilateral Teleoperation*, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Beijing, China, August 1988, Vol. 2, pp. 117-122.
- [B10] P. Fiorini and J. Chang, *A Procedure Concept for Local Reflex Control of Grasping*, NASA Conference on Space Telerobotics, Pasadena, CA, January 31 - February 2 1989, Vol. 4, pp. 81-90.
- [B11] P. Fiorini and J. Chang, *Autonomous Organization of Grasping Tasks*, SPIE Symposia on Aerospace Sensing, Artificial Intelligence VII, Orlando, FL, March 27- 31 1989, pp. 591-602.
- [B12] P. Fiorini and A. Inselberg, *Configuration Space Representation in Parallel Coordinates*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Scottsdale AZ, May 14 - 19 1989, pp. 1215-1220.
- [B13] P. Fiorini, *Task Dependent Control of Electric Motors*, IEEE Workshop on Microprocessor Control of Electric Motors, Trieste (Italy), July 3 - 4 1989, pp. A6-1,A6-18.
- [B14] P. Fiorini, *Task-Driven Teleoperation Design for Servicing*, Satellite Services System Working Group, Meeting N.25, Pasadena, CA, November 6 1990.
- [B15] P. Fiorini, H. Das, H. Zak and A. Bejczy, *Teleoperated Repair in Space: A System for Baseline Testing*, International Advanced Robotics Programme (IARP), The First Workshop on Robotics in Space, Pisa (Italy), June 17-18 1991.
- [B16] D. McAfee and P. Fiorini, *Hand Controllers Design Requirements and Performance Issues in Telerobotics*, Fifth International Conference on Advanced Robotics (ICAR'91), Pisa (Italy), June 20-22 1991.
- [B17] P. Fiorini and A. Giancaspro, *A Procedure for the Frequency Analysis of Telerobotics Tasks Data*, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'92), Raleigh, NC, July 7-10 1992, pp. 873-880.
- [B18] P. Fiorini, H. Das and S. Lee, *Man-Machine Cooperation in Advanced Teleoperation*, 6th Annual Space Operation, Application and Research Symposium (SOAR'92), Houston, TX, August 4-6 1992.
- [B19] P. Fiorini, A. Giancaspro, S. Losito and G. Pasquariello, *Neural Networks for Off-Line Segmentation of Teleoperation Tasks*, International Symposium on Intelligent Control (ISIC-1992), Glasgow, UK, August 11-13 1992.
- [B20] P. Fiorini, A. Bejczy and P. Schenker, *Integrated Interface for Advanced Teleoperation*, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC'92), Chigago, IL, October 18-21 1992.

- [B21] H. Das and P. Fiorini, *Integrated Tools for Teleoperation*, International Symposium on Robotics and Manufacturing, Santa Fè, NM, November 11-13 1992.
- [B22] P. Fiorini, A. Giancaspro, S. Losito and G. Pasquariello, *Real-Time Classification of Teleoperation Data with a Neural Network*, 31st IEEE Conference on Decision and Control (CDC'92), Tucson, AZ, December 16-18 1992.
- [B23] P. Fiorini and Z. Shiller, *Motion Planning in Dynamic Environments Using the Relative Velocity Paradigm*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Atlanta GA, May 7-10 1993.
- [B24] A.K. Bejczy, P. Fiorini, W. Kim and P. Schenker, *Toward Integrated Operator Interface for Advanced teleoperation under Time-Delay*, IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems, Munich (Germany), September 12-16, 1994.
- [B25] W. Kim, P. Fiorini and H. Seraji, *Commercialization of JPL Virtual Reality Calibration and Redundant Manipulator Control Technologies*, 3rd International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics, and Automation in Space (i-SAIRAS'94), Pasadena (CA), October 18-20, 1994, pp. 23-26.
- [B26] P. Fiorini and Z. Shiller, *Motion Planning in Dynamic Environments*, 7th International Symposium of Robotics Research, Munich (Germany), October 1995, pp. 237-248.
- [B27] P. Fiorini and Z. Shiller, *Autonomous Negotiation of Freeway Traffic*, SPIE Symposium, Pittsburgh (PA), October 1995.
- [B28] P. Fiorini and Z. Shiller, *Time Optimal Trajectory Planning in Dynamic Environments*, IEEE International Conference of Robotics and Automation, April 1996, pp. 1553-1558.
- [B29] P. Fiorini, H. Seraji and M. Long, *A PC-Based Controller for Dexterous Arms*, IEEE International Conference of Robotics and Automation, April 1996, pp. 3689-3694.
- [B30] P. Fiorini, K. Ali and H. Seraji *Health Care Robotics: a Progress Report*, IEEE International Conference of Robotics and Automation, April 1997, pp. 1271-1276.
- [B31] P. Fiorini and R. Oboe, *Internet Based Telerobotics: Problems and Approaches*, 8th International Conference on Advanced Robotics (ICAR'97), July 1997. Monterey (CA, USA)
- [B32] R. Oboe and P. Fiorini, *Issues on Internet-Based Teleoperation*, 5th IFAC Symposium on Robot Control (Syroco'97), September 1997. Nantes (France).
- [B33] C. Casadei, P. Fiorini, S. Martelli, M. Montanari and A. Morri. *A PC-based Workstation for Robotic Discectomy*, IEEE International Conference of Robotics and Automation, May 1998. Leuven (Belgium).
- [B34] C. Casadei, P. Fiorini, M. Montanari and A. Morri. *Improving the Performance of PC-Based Controllers for Robot-Assisted Surgery*. IEEE International Conference on Control Applications. September 1998. Trieste (Italy).
- [B35] G. Caligiani, R. Chatila, P. Fiorini and others, *Hierarchical Subsurface Imaging for Site Characterization Using Airborne and Vehicle Mounted Ground Penetrating Radars*, IARP Workshop on Robotics for Humanitarian De-Mining, Toulouse, France, September 1998.
- [B36] P. Fiorini, J. Manzano and A. Castro *Ground-based Telerobotic Interfaces for Space Telescience* 5th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation (ASTRA'98), ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, December 1-3 1998.
- [B37] P. Fiorini, S. Hayati, M. Heverly, and J. Gensler, *A Hopping Rover for Planetary Exploration*, IEEE Aerospace Conference, Snowmass, CO, March 6-13 1999.
- [B38] E.Prassler, J. Scholz, and P. Fiorini, *A Robotic Wheelchair Roaming in a Railway Station*, 1999 IEEE International Conference on Field and Service Robotics, Pittsburgh, USA, 28-30 August 1999.

- [B39] E. Hale, N. Schara, J. Burdick, and P. Fiorini. *A Minimally Actuated Hopping Rover for Exploration of Celestial Bodies*. IEEE International Conference on Robotics and Automation 2000 (ICRA 2000), San Francisco (USA), May 2000.
- [B40] P. Fiorini, G. Calfant and Y. Tsumaki. *A Vision-Based Telepresence Interface for Anthropomorphic Robots*. IEEE International Conference on Robotics and Automation 2000 (ICRA 2000), San Francisco (USA), May 2000.
- [B41] P. Fiorini. *Ground Mobility Systems for Planetary Exploration*. IEEE International Conference on Robotics and Automation 2000 (ICRA 2000), San Francisco (USA), May 2000.
- [B42] G. Bianco, P. Fiorini and M. Guarnieri. *Analysis of the time-varying robustness of a dynamic navigation strategy*. International Conference on intelligent Autonomous Systems (IAS-6), Venice, July 25-27, 2000.
- [B43] G. Bianco and P. Fiorini. *Visual avoidance of moving obstacles based on vector field disturbances*. IEEE International Conference on Robotics and Automation 2001 (ICRA 2001), Seoul (Korea), May 2001
- [B44] A. Malvisi, M. Marcacci, S. Martelli, G. Campion and P. Fiorini. *A Robotic System for Total Knee Replacement*, 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 8-11 July 2001, Como (Italy).
- [B45] J. Burdick and P. Fiorini. *Hopper on Wheels: Evolving the Hopping Robot Concept*, 2001 International Conference on Field and Service Robots, 10-13 June 2001, Helsinki (Finland).
- [B46] M. Franchini and P. Fiorini. *Stability and Perception in Time Delay Teleoperation*. IEEE International Conference on Advanced Robotics. August 2001. Budapest (Hungary).
- [B47] J. Burdick and P. Fiorini. *Fine Mobility for Hopping Robots*. IEEE International Conference on Advanced Robotics. August 2001. Budapest (Hungary).
- [B48] M. Guarnieri and P. Fiorini. *Formation Control of Autonomous Robots*. Fourth IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV2001). September 2001. Sapporo (Japan).
- [B49] C. Benedetti, M. Franchini, P. Fiorini, J. Postigo, C. Garcia and R. Carelli. *Compensation Methods for Time-Delay Teleoperation*. IX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Santa Fé (Argentina). September 2001.
- [B50] G. Bianco and P. Fiorini. *Computational Principles for the development of Visual Skills in Robotics*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001), October 29 - November 3 2001, Maui, Haway, USA.
- [B51] C. Benedetti, M. Franchini and P. Fiorini. *Stable Tracking in Variable Time-delay Teleoperation*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001), October 29 - November 3 2001, Maui, Haway, USA.
- [B52] G. Campion and P. Fiorini. *Robot Calibration using Mobile Camera*. IEEE International Conference on Robotics and Automation 2002 (ICRA 2002), Washington D.C. (USA), May 2002.
- [B53] D. Botturi, P. Fiorini and S. Lonardi *Functional and Economic Justification for Service Robotics in the Pharmaceutical Industry*. The International Symposium on Robotics, Stockholm (Sweden), October 2002.
- [B54] D. Botturi P. Fiorini and C. Nugent. *Medical Home Automation: the Medicate Project: The control, Identification and delivery of prescribed medication*. The International Symposium on Robotics, Stockholm (Sweden), October 2002.
- [B55] V. Riva, C. Cosma, P. Fiorini, S. Lonardi, C. Cottini. *Mobile Manipulation for Warehouse Package Transfer*. The First Workshop on Advances in Service Robotics (ASER03) Bardolino, (Italy), March 2003.

- [B56] M. Governo, P. Fiorini, V. Riva and C. Nugent. *Medicate Teleassistance System*. The International Conference on Advanced Robotics (ICAR03), Coimbra (Portugal). July 2003.
- [B57] C. Cosma, P. Fiorini. *A localization algorithm for a hopping robot*. The International Conference on Advanced Robotics (ICAR03), Coimbra (Portugal). July 2003.
- [B58] D. Botturi, P. Fiorini. *A geometric method for robot workspace computation*. The International Conference on Advanced Robotics (ICAR03), Coimbra (Portugal). July 2003.
- [B59] M. Confente, P. Fiorini. *Stereo Omnidirectional Vision for a Hopping Robot*. The International Conference on Robotics and Automation (ICRA03), Taipei (Taiwan). September 2003.
- [B60] D. Botturi, M. Confente, C. Cosma, P. Fiorini. *Laboratory Tools for Robotics and Automation Education*. The International Conference on Robotics and Automation (ICRA03), Taipei (Taiwan). September 2003.
- [B61] D. Moschini, P. Fiorini. *Performance of robotic teleoperation system with flexible slave device*. The International Conference on Robotics and Automation (ICRA04), New Orleans (USA). April 2004.
- [B62] A. Castellani, D. Botturi, M. Bicego, P. Fiorini. *Hybrid HMM/SVM Model for the Analysis and Segmentation of Teleoperation Tasks*, The International Conference on Robotics and Automation (ICRA04), New Orleans (USA). April 2004.
- [B63] D. Botturi, A. Castellani, D. Moschini, P. Fiorini. *Performance Evaluation of Task Control in Teleoperation*, The International Conference on Robotics and Automation (ICRA04), New Orleans (USA). April 2004.
- [B64] C. Cosma, M. Confente, M. Governo and P. Fiorini. *Robotic Logistics: moving robotis from laboratories to warehouses*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004), Sendai, Japan.
- [B65] A. Castellani, D. Moschini, D. Botturi, P. Fiorini. *Performance Evaluation of Teleoperation Tasks with Time Delay*, III Jornadas Argentinas de Robotica, JAR'04, San Juan, Argentina, 3-4 Giugno 2004.
- [B66] P. Fiorini and M. Marchesi, *Robustness Concepts for Hopping Robots 8th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation (ASTRA'04)*, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, December 2004.
- [B67] P. Fiorini, D. Botturi, A. Castellani, D. Moschini, *Comparison of Control Methods in Time-delay Teleoperation 8th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation (ASTRA'04)*, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, December 2004.
- [B68] D. Moschini, A. Castellani, D. Botturi, P. Fiorini. *Advanced Architectures for Haptic Interfaces*. Poster Session at First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperation Systems, Pisa, March 2005.
- [B69] A. Castellani, D. Moschini, D. Botturi, P. Fiorini. *Advanced Teleoperation Architecture*. Workshop at IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Barcellona, April 2005.
- [B70] D. Botturi, A. Castellani, P. Fiorini. *Optimal Control Strategy for Hybrid Automata*. The International Conference on Advanced Robotics (ICAR05), Seattle (WA USA). July 2005.
- [B71] L. Benamati, C. Cosma, P. Fiorini. *Path Planning Using Flat Potential Field Approach*. The International Conference on Advanced Robotics (ICAR05), Seattle (WA USA). July 2005.
- [B72] D. Botturi, P. Fiorini. *Optimal Control for Autonomous Task Execution*. The 2005 Joint Conference on Decision and Control (CDC) and European Control Conference (ECC) 2005, Sevilla (Spain), December 2005.
- [B73] S. Galvan, D. Botturi, P. Fiorini. *Innovative Robotics Teaching Using Lego Sets*. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Barcellona, May 2006.

- [B73] A. Fedrigo, D. Botturi, P. Fiorini. *Innovative Robotics Teaching Using Lego Sets*. Submitted to 8th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO 2006, Bologna, Italy.
- [B74] F. Bertolli, P. Fiorini. *Mobile robot localization with environment mapping*. Submitted to 8th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO 2006, Bologna, Italy.

Tesi di Dottorato

- [PhD] P. Fiorini. *Robotic Motion Planning in Dynamic Environments*. PhD Thesis: University of California, Los Angeles 1994.

Rapporti Tecnici

- [C1] P. Fiorini, *Sensori Esterni per la manipolazione*, Atti dell’Agenzia Spaziale Italiana, 1989, A.S.I., viale Regina Margherita, 202, Roma (Italy), pp. 1-46.
- [C2] P. Fiorini, *Sensori Finalizzati al Task*, Atti dell’Agenzia Spaziale Italiana, 1989, A.S.I., viale Regina Margherita, 202, Roma (Italy), pp. 1-19.
- [C3] H. Stone and P. Fiorini, *Analisi della Integrazione Sensoristica*, Atti dell’Agenzia Spaziale Italiana, 1989, A.S.I., viale Regina Margherita, 202, Roma, (Italy), pp. 1-58.
- [C4] P. Fiorini and W. Zimmerman, *Code ST Evolution Planning for Advanced Development: Robotic Technology Assessment and Trade-off Methodology*, JPL working paper, 1988.
- [C5] H. Das, H. Zak, P. Fiorini, D. Diner, W. Kim and P. Lee, *Solar Maximum Satellite Repair Demonstration with the JPL Advanced Teleoperation System: First Phase Tasks and Experiments*, JPL Internal Report, JPL D-9112, November 5 1991.
- [C6] D. Diner, Z. Szakaly, H. Das and P. Fiorini, *The Eight Degree-of-Freedom Bilateral Force Reflecting JPL Teleoperation System*, JPL Internal Report, JPL D-9853, June 26 1992.
- [C7] P. Fiorini, *Robotic Motion Planning among Moving Obstacles*, JPL Internal Report, May 1995.
- [C8] P. Fiorini, *Introduction to Telerobotics and Advanced Teleoperation*, Class Notes, Instituto de Automatica, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, September 1995.
- [C9] P. Fiorini, R. Chatila, *Workshop on Robotics for Humanitarian Demining*, IEEE International Conference of Robotics and Automation, May 1998. Leuven (Belgium).
- [C9] P. Fiorini, E. Prassler, *Workshop on Robotic Cleaning*, IEEE International Conference of Robotics and Automation, May 2000. San Francisco (USA).

NASA Technical Briefs

- [D1] P. Fiorini and J. Chang, *Architecture for Intelligent Control of Robotic tasks*, NASA Technical Briefs Vol. 15, N. 8, April 1991, pp. 28-29.
- [D2] P. Fiorini and J. Chang, *More About Architecture for Intelligent Robotic Control*, NASA Technical Briefs, Vol. 16, N. 6, June 1992, pp. 40-41.
- [D3] M. Drews, P. Fiorini et al. *Telerobotics/EVA Joint Analysis System*. NASA Technical Briefs
- [D4] P. Fiorini, H. Das, H. Zak and A.K. Bejczy, *Teleoperated Repair in Space, a System for Baseline Testing*, NASA Technical Briefs, Vol. 17, N. 5, pp. 43-44.
- [D5] P. Fiorini and A. Giancaspro, *A Procedure for the Frequency Analysis of Telerobotic Task Data*, NASA Technical Briefs, Vol. 18, N. 3, March 1994, pg. 120.

- [D6] P. Fiorini, A. Giancaspro, S. Losito and G. Pasquariello, *Real Time Classification of Teleoperation Data with a Neural Network*, NASA Technical Briefs, Vol. 18, N. 4, April 1994, pg 78.
- [D7] P. Fiorini and Z. Shiller, *Motion Planning using Velocity Obstacles*, NASA Technical Briefs, Vol. 19, N. 4, April 1995.
- [D8] P. Fiorini, H. Seraji and M. Long, *A PC Based Controller for Dexterous Arms*, NASA Technical Briefs, October 1996.
- [D9] P. Fiorini and Z. Shiller, *Optimal Trajectory Planning in Dynamic Environments*, NASA Technical Briefs, October 1996.
- [D10] P. Fiorini, H Seraji, K. Ali and K. G. Engelhard. *Multi-modal Operator Interface for Personal Robots*, NASA Technical Briefs, October 1998.