

Sergio Savino

Dipartimento di Ingegneria Industriale “Federico II” Napoli

Studio, progettazione e sviluppo di una mano mecatronica sotto attuata

L'attività di ricerca ha avuto come obiettivo lo studio, la progettazione e lo sviluppo di una mano meccanica sotto attuata che potesse anche essere utilizzata come protesi. Il dispositivo messo a punto è dotato di cinque dita azionate per mezzo di tendini anelastici, e ha 15 gradi di libertà, tutti attuati da un unico motore. Un sistema differenziale costituito da pulegge scorrevoli, ripartisce la forza di trazione tra le cinque dita, mentre un analogo sistema differenziale realizzato con bilancieri e tendini anelastici ripartisce la forza di richiamo, consentendo alle dita stesse di adattarsi all'oggetto da afferrare. I tendini principali, attuatore e antagonista, sono collegati allo stesso motore lavorando in verso opposto: quando il tendine attuatore è tirato, quello antagonista è rilasciato e viceversa. La differenza di spostamento tra i due tendini è compensata dalla presenza di un elemento elastico nel tendine antagonista.

Modellazione e simulazione

Lo sviluppo di modelli ha consentito di studiare il comportamento del meccanismo giocando un ruolo decisivo nella scelta dei parametri progettuali dei diversi componenti. Oggetto di studio sono la funzionalità della mano, la sequenza di chiusura delle dita, la capacità di presa delle dita e quella dell'intera mano, figura 1.

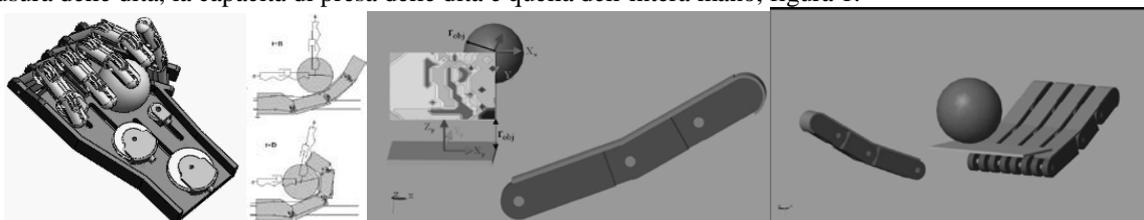


Fig. 1 – Modelli sviluppati per lo studio della mano

Prototipazione e sperimentazione

La prototipazione della mano è stata realizzata per mezzo di stampa 3D, favorendo in maniera rapida la modifica e lo sviluppo dei componenti, nonché la sperimentazione su di essi e sull'intera mano, figura 2.



Fig. 2 – Prototipi e sperimentazione

Gestione e controllo

L'unico motore presente nella mano è stato gestito con un microcontrollore, mentre l'interfaccia uomo-meccanismo è stata studiata e sviluppata per mezzo di segnali EMG. Diverse logiche di controllo sono state implementate per garantire l'operabilità della mano da parte dell'utente, figura 3.

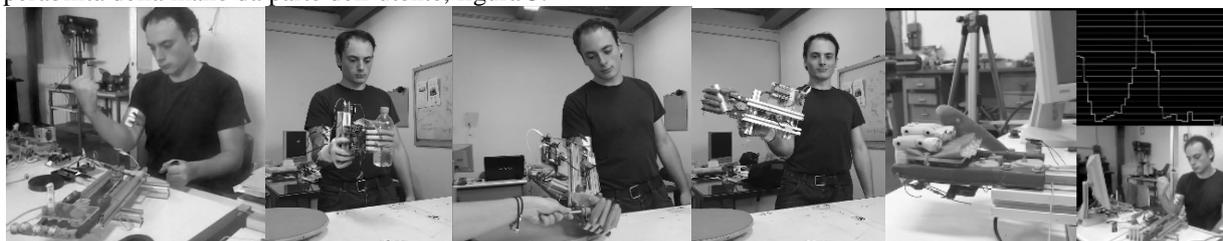


Fig. 3 – Esempi di gestione della mano

Lavori più rappresentativi:

1. Rossi C., Savino S., “An underactuated multi-finger grasping device”, International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 11, issue 1, Article number 20, 2014
2. Niola V., Rossi C., Savino S., Troncone S., “A Study of a Robotic Hand with Tendon Driven Fingers”, Robotica, vol. 33, issue 5, pp. 1034-1048, 2015.
3. Niola V., Penta F., Rossi C., Savino S. “An underactuated mechanical hand: Theoretical studies and prototyping”, International Journal of Mechanics and Control, vol. 16, issue 1, pp. 11-19, 2015.
4. Niola V., Rossi C., Savino S., “Dynamical model and prototype tests of a self-adaptive mechanical hand”, International Review on Modelling and Simulations, vol. 9, issue 2, pp. 97-104, 2016.
5. Savino S., “Underactuated mechanical hand control by EMG sensors”, International Journal of Mechanics and Control, vol 17, issue 1, pp. 67-76, 2016.

Lorenzo Scappaticci

Università degli Studi Guglielmo Marconi

Caratterizzazione di fenomeni NVH mediante ammortizzatore trasparente

Esigenze sempre più stringenti in termini di comfort acustico all'interno della vettura, rendono necessaria una progettazione ottimizzata anche in questo senso e gli ammortizzatori, responsabili del trasferimento di rumore dalla strada al telaio, rappresentano di certo un componente critico. Fenomeni indesiderati di rumore possono insorgere a causa della cavitazione del fluido, posizioni indefinite delle valvole, frizione secca durante inversioni di moto.

Il “knocking noise” rappresenta una delle problematiche più sentite; si tratta di un rumore strutturale transitorio innescato da vibrazioni dello stelo dell’ammortizzatore che vengono trasferite al telaio.

In quest’attività di ricerca si propone in sintesi lo sviluppo di un prototipo di ammortizzatore da ricerca ad accesso ottico che permette di correlare i rilievi vibrazionali ad eventuali moti indesiderati delle valvole o del fluido. Il dispositivo, supportato da un modello matematico di tipo fisico validato sperimentalmente, è strumentato con quattro sensori di pressione, accelerometri e sensore di posizione del pistone.

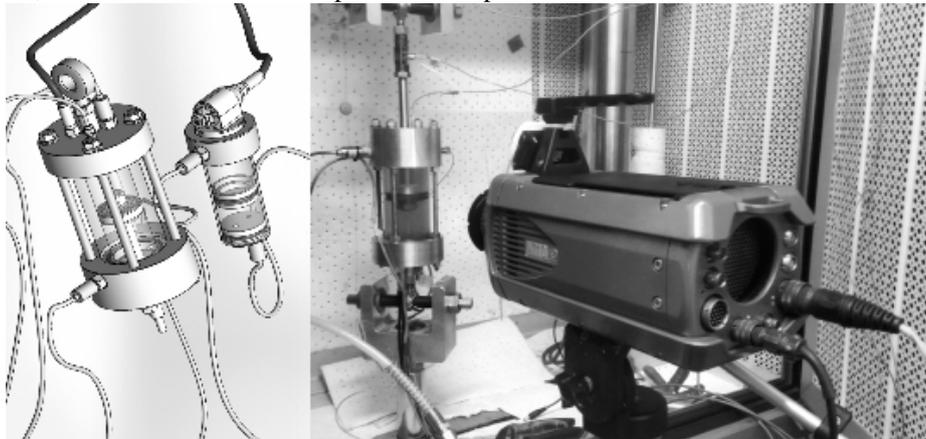


Fig. 1 – L’ammortizzatore ed un esempio di test su banco MTS con telecamera ad alta velocità (Phantom V710)

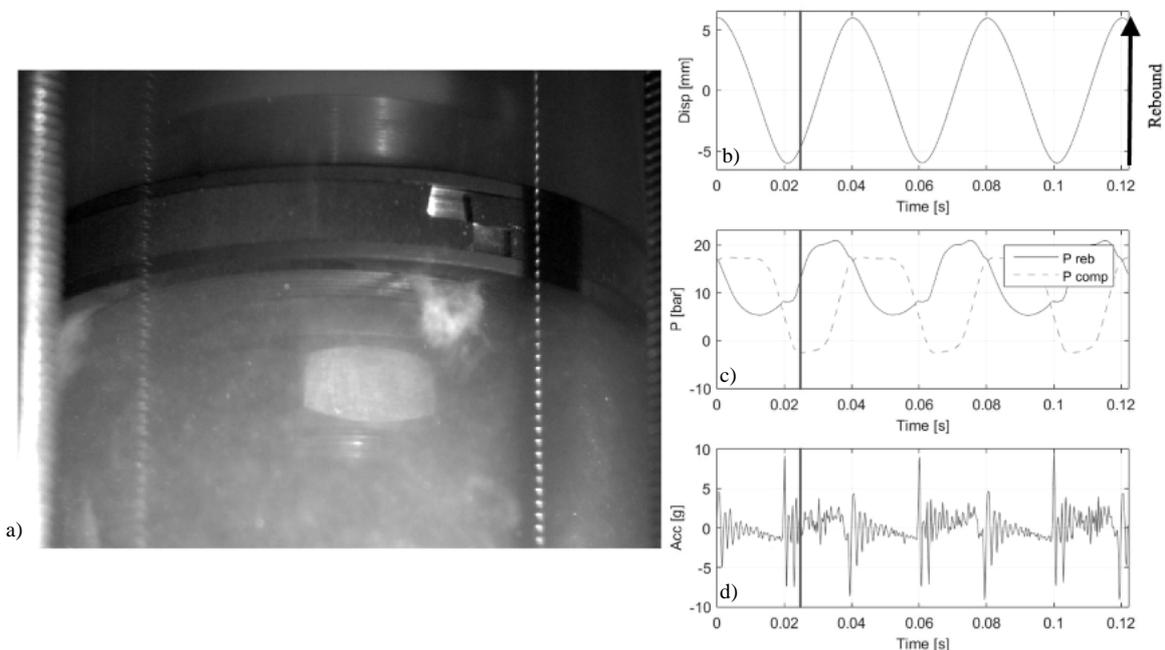


Fig. 2 – a) Frame relativo all’istante 0,024 s, sincronizzato con: b) Segnale di spostamento, c) Pressioni nelle camere a monte e valle del pistone, d) Accelerazione stelo

L’approccio sperimentale e ottico al problema del knocking noise, unico ad oggi, conferma le conclusioni della più recente letteratura internazionale.

Lavori più rappresentativi:

1. Bartolini, N., Scappaticci, L., Castellani, F., Garinei, A. “The Knocking Noise on Twin Tube Shock Absorbers: Individuation and Analysis of the Phenomenon”, SAE Technical Paper. (2016).

Lorenzo Scappaticci

Università degli Studi Guglielmo Marconi, Roma

Vibrazioni indotte dai vortici su strutture meccaniche

I gravity damper sono dispositivi di sicurezza impiegati nel trattamento dell'aria che permettono di prevenire sovrappressioni all'interno del sistema. Si tratta di valvole normalmente chiuse per effetto della forza di gravità, che, sotto l'azione della portata d'aria incidente, permettono di smaltire l'eventuale massa in eccesso. Chiaramente, pur essendo dei dispositivi piuttosto semplici e pertanto affidabili, le condizioni di funzionamento possono risultare gravose, soprattutto nel caso in cui siano applicati ad impianti di trasformazione dell'energia, quali i turbogas; ciò a causa principalmente della necessità di elaborare ingenti masse d'aria a velocità anche elevate. In questa sintesi si descrive una sperimentazione effettuata su un gravity damper progettato per essere installato in un turbogas. La caratterizzazione è eseguita dapprima in ambiente numerico, valutando sia le forme modali che le frequenze proprie del dispositivo in condizione di funzionamento (FEM), nonché eventuali fenomeni di distacco della vena fluida in grado di innescare una scia di vortici (CFD) e successivamente validata in galleria del vento.

In particolare si vuole porre l'attenzione sul fatto che, dopo un'analisi di sensitività del modello CFD alla modellazione dello strato limite, sia stata messa in evidenza la possibilità di innescare fenomeni di distacco della vena fluida le cui frequenze risultano prossime a quelle proprie della struttura in analisi, nella banda considerata.

La sperimentazione in galleria del vento integrata ad un'analisi vibrazionale a regime di flusso ha di fatto permesso di identificare il fenomeno di lock-in aerodinamico. Le frequenze indotte sulla struttura sono state monitorate con un accelerometro posizionato nella mezzeria dell'elemento oggetto di analisi.

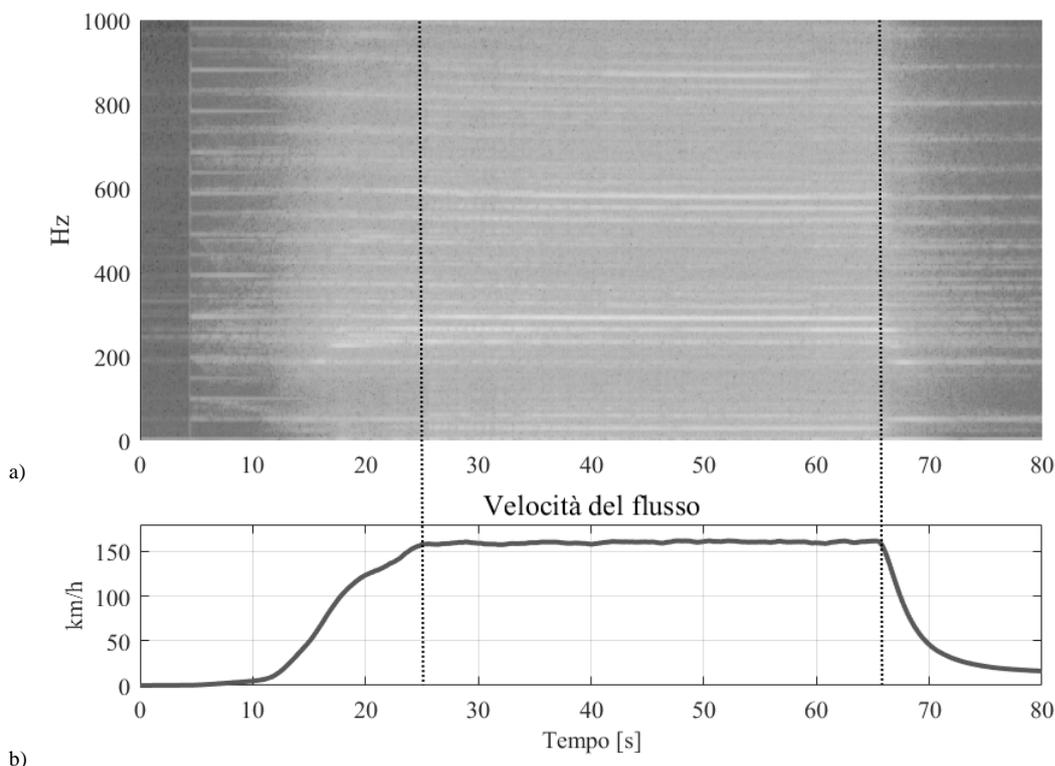


Fig. 1 – a) Trasformata Wavelet del segnale dell'accelerometro solidale al componente in prova, sincronizzato con b) velocità del flusso in galleria del vento

L'analisi condotta ha messo in evidenza il fatto che il contributo principale alla vibrazione indotta sembra essere dovuto per lo più alla forma del componente ed al suo orientamento, la cui combinazione in condizioni di lock-in aerodinamico comporta l'insorgere di sollecitazioni estreme.

Lavori più rappresentativi:

1. Scappaticci, L., Mariani, F., Bartolini, N., Risi, F., Garinei, A. (2015). Dynamic effects of wind loads on a gravity damper. Procedia Engineering, 109, 162-170.

Massimiliano Solazzi
PERCRO Lab, Istituto TeCIP, Scuola Superiore Sant'Anna
Sviluppo di sistemi robotici indossabili

L'obiettivo dell'attività di ricerca è lo sviluppo di sistemi robotici portabili o indossabili in grado di fornire un ritorno di forza all'utente. Il campo di applicazione è l'interazione con ambienti virtuali, la riabilitazione assistita da robot e la teleoperazione bilaterale.

Riguardo l'interazione con ambienti virtuali, lo sviluppo di interfacce aptiche indossabili permette di fornire più facilmente il ritorno di forza in punti di contatto multipli e di non avere i limiti di workspace di un'interfaccia tradizionale. In particolare dispositivi robotici montati sulle dita dell'utente in grado di fornire *feedback* cutaneo sui polpastrelli possono simulare in maniera più realistica in ambienti virtuali la manipolazione fine di oggetti con le dita. D'altra parte la progettazione di simili dispositivi presenta come complessità i requisiti stringenti di leggerezza e compattezza e l'elevato numero di gradi di libertà necessario per replicare il *feedback* cutaneo.

Figura 1 mostra diversi prototipi di interfaccia aptica sviluppati durante l'attività di ricerca, dalla prima versione realizzata nel 2009 agli ultimi dispositivi in grado di simulare le forze di contatto in ogni direzione tramite cinematica parallela o di simulare l'orientazione e la *texture* della superficie di contatto tramite un attuatore ad alte prestazioni dinamiche.

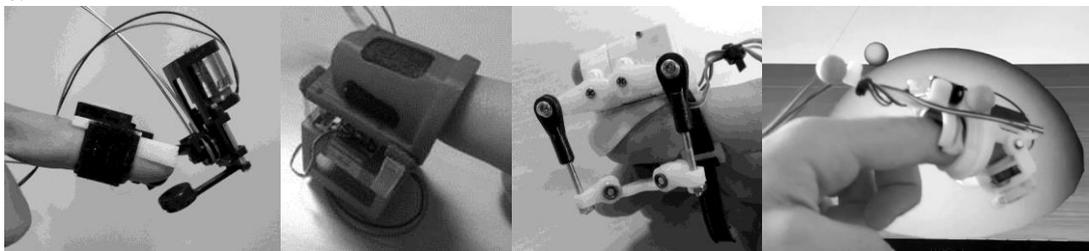


Fig. 1 – Evoluzione dei prototipi di interfaccia aptica per le dita

Un'ulteriore tipologia di sistemi robotici indossabili sviluppati durante l'attività di ricerca sono gli esoscheletri per gli arti superiori e per la mano. Figura 2 mostra un esoscheletro per braccio dotato di sensori di coppia ai giunti e un prototipo di esoscheletro sottoattuato per mano. La cinematica di quest'ultimo è stata progettata per adattarsi automaticamente a diverse taglie di mano e all'afferraggio di oggetti di forma generica, lasciando alla mano la completa libertà di movimento.

Gli esoscheletri per braccio e mano verranno utilizzati per realizzare l'interfaccia di comando con ritorno di forza per la teleoperazione bilaterale di un robot durante operazioni complesse di manipolazione, all'interno del progetto europeo "Centauro".

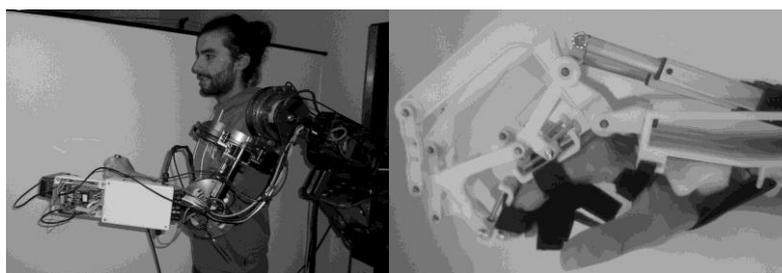


Fig. 2 – Esoscheletri per braccio e mano

Lavori più rappresentativi:

1. M. Gabardi, M. Solazzi, D. Leonardis and A. Frisoli, "A new wearable fingertip haptic interface for the rendering of virtual shapes and surface features," IEEE Haptics Symposium, Philadelphia, PA, 2016, pp. 140-146.
2. D. Leonardis, M. Solazzi, I. Bortone and A. Frisoli, "A wearable fingertip haptic device with 3 DoF asymmetric 3-RSR kinematics," World Haptics Conference (WHC), 2015 IEEE, Evanston, IL, 2015, pp. 388-393
3. D. Leonardis, M. Barsotti, C. Loconsole, M. Solazzi, M. Troncossi, C. Mazzotti, V. P. Castelli, C. Procopio, G. Lamola, C. Chisari, M. Bergamasco and A. Frisoli, "An EMG-Controlled Robotic Hand Exoskeleton for Bilateral Rehabilitation," in IEEE Transactions on Haptics, vol. 8, no. 2, pp. 140-151, April-June 1 2015.
4. M. Solazzi, W. R. Provancher, A. Frisoli and M. Bergamasco, "Design of a SMA actuated 2-DoF tactile device for displaying tangential skin displacement," World Haptics Conference (WHC), IEEE, Istanbul, 2011, pp. 31-36
5. A. Frisoli, M. Solazzi, M. Reiner and M. Bergamasco, "The contribution of cutaneous and kinesthetic sensory modalities in haptic perception of orientation", Brain Research Bulletin, Volume 85, Issue 5, 30 June 2011, pp 260-266
6. A. Frisoli, M. Solazzi, D. Pellegrinetti, M. Bergamasco, "A new screw theory method for the estimation of position accuracy in spatial parallel manipulators with revolute joint clearances", Mechanism and Machine Theory, Volume 46, Issue 12, December 2011, pp. 1929-1949

Salvatore Strano
Università degli Studi di Napoli Federico II
Monitoraggio e controllo di sistemi vibranti

L'attività di ricerca si sviluppa nell'ambito del monitoraggio e controllo di sistemi vibranti. In tale contesto, sono state affrontate varie tematiche descritte brevemente nel seguito. Uno dei temi di ricerca riguarda la progettazione, modellazione e validazione sperimentale di isolatori sismici innovativi [1] e di sistemi antivibranti semi-attivi (Fig. 1a). Lo sviluppo di tali dispositivi ha comportato l'approfondimento di varie tematiche come ad esempio la modellazione non-lineare dell'isteresi attraverso l'utilizzo di modelli di tipo "semi-fisico" (ad esempio il modello di Bouc-Wen, [2]) e la modellazione con approccio multi-fisico. Allo scopo di validare sperimentalmente le prestazioni di sistemi antivibranti passivi e semi-attivi sono stati progettati alcuni impianti di prova opportunamente controllati in base alle specifiche condizioni operative. Ad esempio, è stato progettato un banco prova sperimentale utilizzabile sia per prove dinamiche biassiali su sistemi antivibranti, sia per prove dinamiche su strutture leggere isolate alla base (Fig. 1b). Uno dei punti chiave dell'impianto in oggetto è la possibilità di adottare varie strategie di controllo in base alle necessità di utilizzo. In tale contesto, sono state esaminate tecniche di controllo moderno implementate in real-time con una scheda "DSpace DS1103": controllo misto con compensazione della *dead-zone* nella valvola proporzionale dell'impianto idraulico, controllo adattativo (Fig. 1c, [3]), controllo ottimo e controllo robusto.



Fig. 1 – a) Dispositivo integrato composto da una molla ad aria ed uno smorzatore magnetoreologico; b) Impianto sperimentale per prove dinamiche su strutture isolate alla base; c) Schema di un controllo adattativo

Un altro tema di ricerca di interesse riguarda lo sviluppo e la validazione di algoritmi di identificazione parametrica basati su osservatori non-lineari: *EKF*, *UKF*, *UKF* con vincoli su stati e parametri, *UKF* adattativo e filtro *SDRE-based*. A titolo di esempio, nell'ambito del *damage-detection*, è stato sviluppato uno stimatore *EKF-based* per identificare in real-time un eventuale danneggiamento in una struttura isolata alla base [4], (Fig. 2a). Alcuni osservatori non-lineari sono stati impiegati in altre applicazioni quali ad esempio la stima delle forze di interazione pneumatico-strada e l'identificazione dell'impedenza del braccio umano nell'interazione uomo-robot.

Nell'ambito dello sviluppo di metodologie di sperimentazione innovative per la valutazione delle prestazioni di sistemi antivibranti è stata studiata la tecnica ibrida che consente di simulare un sistema composto da parti fisiche e parti modellate numericamente che interagiscono in real-time [5]. Le parti fisiche, scelte principalmente per la loro difficoltà di modellazione (per esempio sistemi con un comportamento fortemente non-lineare), scambiano con le parti numeriche spostamenti e/o forze, grazie ad opportuni sistemi di attuazione e di misura (Fig. 2b). A titolo di esempio, in Fig. 2c è riportato uno schema di simulazione ibrida per una struttura isolata alla base soggetta ad un'azione sismica [6].

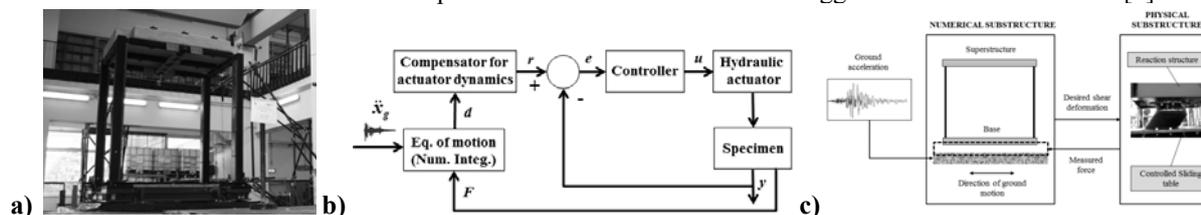


Fig. 2 – a) Struttura isolata alla quale è stato applicato un algoritmo di damage-detection; b) Schema di un test ibrido; c) Simulazione ibrida per una struttura isolata alla base soggetta ad un'azione sismica

Lavori più rappresentativi:

1. Calabrese, A., Serino, G., Strano, S., Terzo, M. "Experimental investigation of a low-cost elastomeric anti-seismic device using recycled rubber," (2015) *Meccanica*, 50 (9), pp. 2201-2218.
2. Chang, C. M., Strano, S., Terzo, M. "Modelling of Hysteresis in Vibration Control Systems by means of the Bouc-Wen Model," (2016) *Shock and Vibration*, art. no. 3424191.
3. Di Massa, G., Russo, R., Strano, S., Terzo, M. "System structure identification and adaptive control of a seismic isolator test rig," (2013) *Mechanical Systems and Signal Processing*, 40 (2), pp. 736-753.
4. Calabrese, A., Strano, S., Terzo, M. "Parameter estimation method for damage detection in torsionally coupled base-isolated structures," (2016) *Meccanica*, 51 (4), pp. 785-797.
5. Calabrese, A., Strano, S., Terzo, M. "Real-time hybrid simulations vs shaking table tests: Case study of a fibre-reinforced bearings isolated building under seismic loading," (2015) *Structural Control and Health Monitoring*, 22 (3), pp. 535-556.
6. Strano, S., Terzo, M. "Actuator dynamics compensation for real-time hybrid simulation: an adaptive approach by means of a nonlinear estimator," (2016) *Nonlinear Dynamics*, pp. 1-16. Article in Press.

I sistemi di tipo ibrido elettrico stanno sempre più prendendo piede in diversi settori nell'ottica di migliorare l'efficienza di tutti quei mezzi che utilizzano come fonte primaria di energia quella proveniente da idrocarburi. Differenti sono gli studi effettuati dal gruppo di ricerca del dipartimento di meccanica in tale settore: se ne riportano di seguito alcune applicazioni.

Autoveicoli per il trasporto persone e beni. In tale ambito sono state sviluppate differenti tipologie di veicoli: il più semplice prevede la realizzazione di un veicolo completamente elettrico andando a sostituire tutto il power train convenzionale con uno di tipo elettrico. È stato successivamente sviluppato un veicolo ibrido a struttura parallela modificando un veicolo dalla struttura convenzionale. Tale veicolo, realizzato nel 2007, consentiva di percorrere sino a 40km sfruttando unicamente l'energia immagazzinata nelle batterie lasciando inalterate le prestazioni del power train convenzionale [1]. Su tale autoveicolo sono poi state studiate numerose strategie di controllo per massimizzarne l'efficienza riducendone i consumi [2]. Il medesimo approccio è stato applicato su veicoli commerciali da 3,5ton, consentendo notevoli riduzioni di consumi, soprattutto nel percorso urbano tipico della consegna ultimo miglio [3].

Macchine operatrici. Nell'ambito delle macchine operatrici (come ad esempio trattori agricoli, mezzi da cantiere, ...) l'energia necessaria a eseguire le proprie specifiche funzioni viene prelevata su una presa di forza del motore a combustione interna, spesso utilizzato anche per la trazione, utilizzando pompe idrauliche che alimentano poi motori/attuatori idraulici. Sostituendo la componentistica idraulica con azionamenti elettrici è possibile ottenere sistemi di trasmissione a efficienza superiore, offrendo inoltre la possibilità di lavorare con il motore termico spento, nel caso in cui fra motore e generatore elettrico si interponga un opportuno sistema di accumulo energetico. Tale struttura è stata utilizzata su mezzi per il trasporto calcestruzzo, sistemi per il trasporto mangimi nonché su trattori agricoli.

Autobus per il trasporto pubblico. Ad oggi numerosi sono i modelli di autobus elettrici disponibili per il trasporto pubblico. Tali mezzi hanno oggi due grossi limiti: il primo è legato alla dimensione/peso del pacco batterie necessario a garantire il servizio richiesto, il secondo è legato al costo di esercizio delle batterie che una volta arrivate a fine vite vanno sostituite. Da qui lo studio di autobus elettrici alimentati da un sistema di accumulo ibrido costituito da batterie e supercondensatori, in modo da contenere pesi e volumi a bordo autobus e ridurre l'invecchiamento delle batterie. Per ottenere tale obiettivo sono quindi state studiate differenti strategie di gestione dell'energia a bordo mezzo [5].



Fig. 1 – Esempi di mezzi realizzati: autoveicolo ibrido parallelo per il trasporto persone, veicolo per il trasporto merci e macchina operatrice per il trasporto calcestruzzo

Per tutti i mezzi sviluppati è stato seguito lo stesso approccio: a partire da modelli di simulazione meccanici ed energetici si sono scelti i componenti per poi passare alla fase di sperimentazione prima su opportuni banchi prova ed infine sui mezzi prototipo al fine di validare i modelli di simulazione e di verificare che le prestazioni effettive rispondano a quelle previste in fase di progettazione. Per la componentistica necessaria alla realizzazione dei mezzi prototipali sono stati reperiti sul mercato, ove esistenti; sono invece state sviluppate apposite schede elettroniche in grado di controllare in tempo reale lo stato del mezzo.

Lavori più rappresentativi:

1. Mapelli, F.L., Tarsitano, D., Mauri, M., Plug-in hybrid electric vehicle: Modeling, prototype realization, and inverter losses reduction analysis (2010) IEEE Transactions on Industrial Electronics, 57 (2), art. no. 5208256, pp. 598-607.
2. Mapelli, F., Mauri, M., Tarsitano, D., Energy control strategies comparison for a city car plug-in HEV (2009) IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), art. no. 5415113, pp. 3729-3734.
3. Mapelli, F.L., Tarsitano, D., Agostoni, S., Plug-in hybrid electrical commercial vehicle: Modeling and prototype realization (2012) 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference, IEVC 2012, art. no. 6183179.
4. Mapelli, F.L., Tarsitano, D., Annese, D., Pirri, N., Zorzi, E., Study of a concrete mixer hybrid truck, (2013) ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), 6 A.
5. Arrigoni, S., Tarsitano, D., Cheli, F., Comparison between different energy management algorithms for an urban electric bus with hybrid energy storage system based on battery and supercapacitors (2016) International Journal of Heavy Vehicle Systems,

Mario Terzo
Università degli Studi di Napoli Federico II
Sistemi Smart e Meccatronica

L'attività di ricerca è incentrata sui sistemi smart quali, ad esempio, i sistemi controllabili basati sull'impiego di fluidi magnetoreologici. Attraverso un approccio teorico/sperimentale, si è condotta la progettazione e lo sviluppo di sistemi per la trasmissione di potenza, come frizioni e dispositivi per il controllo di ausiliari motore. In particolare, l'attività ha condotto alla realizzazione di un prototipo di frizione magnetoreologica e di un dispositivo per il controllo della pompa del circuito di raffreddamento di un motore alternativo a combustione interna (Fig. 1a)). Inoltre, è stato realizzato un prototipo di differenziale automobilistico semi-attivo il quale, attraverso l'impiego di fluido magnetoreologico, è in grado di ripartire la coppia motrice in maniera differenziata sulle ruote (Figg. 1b), 1c)). Il filone di ricerca in oggetto ha comportato l'approfondimento di tematiche inerenti la modellazione dei sistemi smart mediante approccio multifisico e la sintesi di osservatori di stato e controllori per la gestione degli stessi [1, 2].

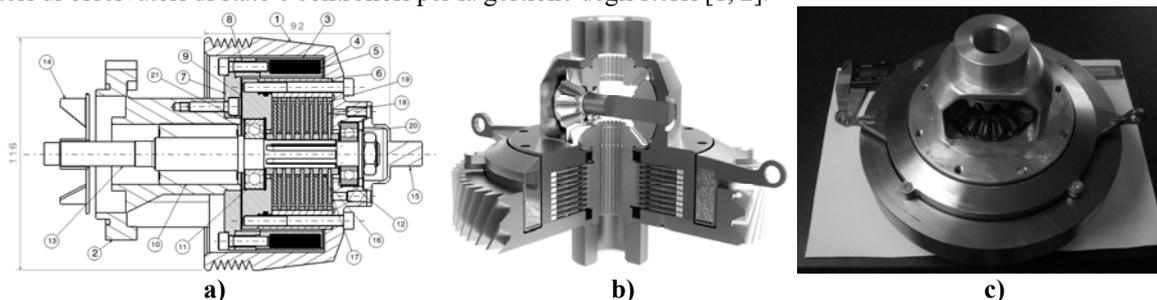


Fig. 1 – Sistemi smart basati sull'impiego di fluido magnetoreologico: a) pompa circuito raffreddamento di un m.a.c.i. con dispositivo magnetoreologico; b), c) prototipo di differenziale semi-attivo

Alcune delle tematiche di ricerca approfondite nell'ambito dei sistemi smart sono migrate verso un altro filone di ricerca, condotto parallelamente, e inerente la dinamica e il controllo dei sistemi meccanici. A titolo d'esempio, si citano due principali linee direttrici secondo le quali la ricerca si è articolata. La prima attiene i veicoli terrestri [3, 4], con particolare riferimento allo sviluppo di tecniche di controllo del momento imbarcante, al controllo di prototipi innovativi di biciclette a pedalata assistita e di simulatori di guida (Figg. 2a), 2b)). La seconda attiene i sistemi meccanici caratterizzati da non linearità di tipo *hard* come, ad esempio, attuatori idraulici in presenza di "zona morta" (Fig. 2c)). Per tali sistemi le classiche tecniche di osservazione e controllo, basate su linearizzazione locale, mostrano prestazioni limitate e si è, pertanto, focalizzata l'attenzione su tecniche non lineari del tipo *model based* [5, 6].

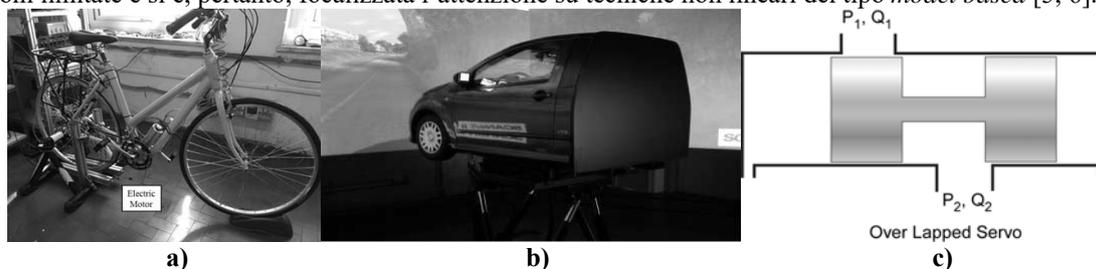


Fig. 2 – Attività inerenti il filone di ricerca di dinamica e controllo dei sistemi meccanici: a) prototipo innovativo di bicicletta a pedalata assistita; b) simulatore di guida per lo svolgimento di manovre del tipo *on centre*; c) sistemi meccanici con non linearità di tipo *hard* (zona morta)

Lavori più rappresentativi:

1. R. Russo, M. Terzo "Design of an adaptive control for a magnetorheological fluid brake with model parameters depending on temperature and speed," *Smart Materials and Structures*, 20 (11) (2011), 115003 (9 pp.).
2. A. Lanzotti, F. Renno, M. Russo, R. Russo, M. Terzo "Design and development of an automotive magnetorheological semi-active differential," *Mechatronics*, 24 (5) (2014), pp. 426 – 435.
3. R. Russo, S. Strano, M. Terzo "Enhancement of vehicle dynamics via an innovative magnetorheological fluid limited slip differential," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 70 – 71 (2016), pp. 1193 – 1208.
4. M. Cardone, S. Strano, M. Terzo "Optimal power-assistance system for a new pedelec model," *Proc. IMechE, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, DOI: 10.1177/0954406215604657, in press.
5. S. Strano, M. Terzo "Accurate state estimation for a hydraulic actuator via a SDRE nonlinear filter," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 75 (2016), pp. 576 – 588.
6. S. Strano, M. Terzo "A SDRE-based tracking control for a hydraulic actuation system," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 60 – 61 (2015), pp. 715 – 726.

Francesco Timpone
Università di Napoli Federico II

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Modelli per l'analisi e la simulazione della Dinamica del Veicolo

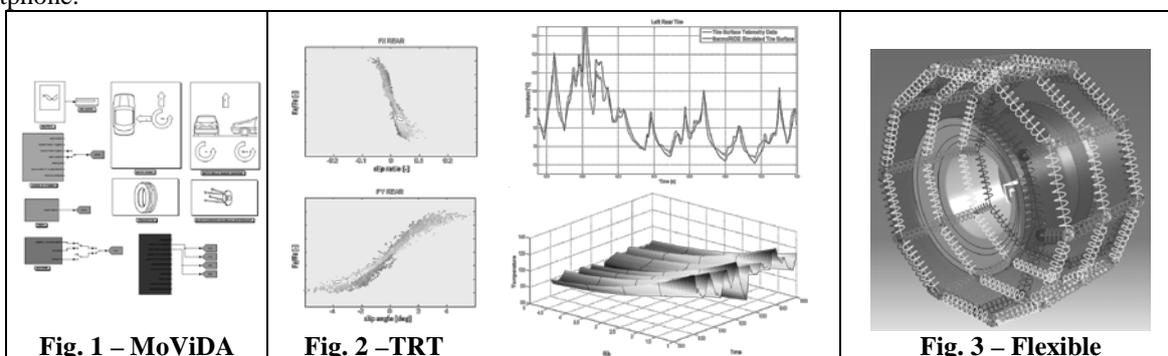
L'innovazione dei processi di sviluppo di nuovi veicoli sta comportando una costante tendenza a trasferire, per quanto possibile, le attività dal mondo reale al mondo virtuale, ampliando le possibilità di virtual testing e virtual driving, con l'obiettivo di innovare gli scenari di mobilità e di incrementare la sicurezza e le prestazioni. Per conseguire tale obiettivo è necessario poter disporre di modelli di simulazione affidabili, veloci e predittivi.

Alla luce di tali esigenze di innovazione, nell'ambito delle attività di ricerca riguardanti la Dinamica del Veicolo si sono sviluppati modelli, sia real-time sia non real-time, per l'analisi e la simulazione della dinamica dell'intero veicolo e dei suoi sottocomponenti. Alcune attività sono nate sulla base di specifiche richieste da parte delle diverse realtà industriali con cui si sono instaurati rapporti di collaborazione.

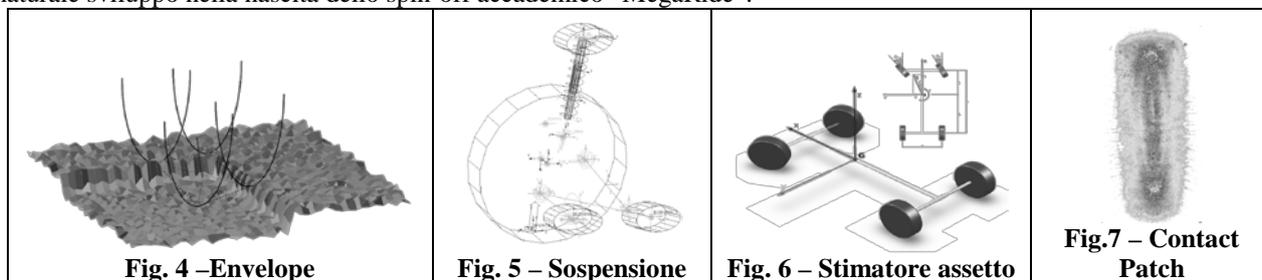
Si è scelto di conservare un approccio scientifico sviluppando modelli fisico-analitici, cercando al contempo di rispettare i requisiti di predittività, affidabilità e rapidità. Le attività sono iniziate su veicoli a quattro ruote del settore motorsport ed alto-prestazionali e si stanno estendendo ai veicoli a due ruote della stessa categoria ed ai veicoli stradali. Si è partiti da un modello completo e modulare di Dinamica Veicolo, MoViDA, a 14 gradi di libertà in grado di interagire con diversi modelli di sottocomponenti, nel quale possono essere integrati anche i sistemi di controllo della Dinamica del Veicolo.

Progressivamente si sono sviluppati modelli fisico-analitici dei vari sottocomponenti: modelli per lo studio elastico-cinematico dei diversi tipi di sospensione a ruote indipendenti; logiche di controllo della Dinamica del Veicolo, anche in ambito ADAS; un modello fisico-analitico per la simulazione del comportamento termico dell'intero pneumatico in tutte le condizioni di funzionamento sia per veicoli a quattro ruote che per veicoli a due ruote (TRT), un algoritmo di stima dell'angolo di assetto del veicolo a quattro ruote; un modello per lo studio del comportamento dell'interazione pneumatico strada in condizioni di strada irregolare (Envelope) (utilizzato ad esempio per studiare il contatto quando ci si trova a transitare sui cordoli in gara); un modello multibody a parametri concentrati (Flexible) di pneumatico per gli studi NVH e del contatto nelle diverse condizioni di funzionamento.

Sono in corso di sviluppo uno studio relativo all'impronta di contatto pneumatico-strada ed una applicazione mobile per smartphone.



Le attività descritte, unitamente ad altre attività di ricerca del gruppo riguardanti, tra l'altro, usura e grip, hanno trovato naturale sviluppo nella nascita dello spin-off accademico "MegaRide".



1. Farroni, F. Spena, M.R., Timpone, F., "Virtual testing of advanced driving assistance systems", International Journal of Mechanics, Volume 9, 2015, Pages 300-308.
2. Farroni F., Giordano D., Russo M., Timpone F., "TRT: Thermo Racing Tyre - A Physical Model to Predict the Tyre Temperature Distribution", Meccanica, Vol. 49, n. 3, pp 707-723, 2014.
3. Russo, R., Terzo, M., Timpone, F., "Software-in-the-loop development and validation of a cornering brake control logic", Vehicle System Dynamics Volume 45, Issue 2, February 2007, Pages 149-163.
4. Calabrese, F., Farroni, F., Timpone, F., "A flexible ring tyre model for normal interaction", International Review on Modelling and Simulations Volume 6, Issue 4, 2013, Pages 1301-1306.

Pier Paolo Valentini
Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"
Principali tematiche di ricerca dell'ultimo biennio (2015-2016)

Le attività di ricerca sono state incentrate su quattro principali tematiche:

- 1) Modelli computazionali avanzati di sistemi biomeccanici. In particolare sono stati studiati metodi per la simulazione dettagliata di articolazioni, per la stima del comportamento vibrazionale del rachide e per la predizione degli effetti dannosi degli impatti a bassa velocità. Sono state anche proposte metodi di valutazione dell'ergonomia del gesto lavorativo mediante sistemi a basso costo ed invasività.
- 2) Metodologie di simulazione di trasmissioni meccaniche. Particolare attenzione è stata rivolta ai rotismi e alla loro efficienza, ai giunti utilizzati nel settore automobilistico, ai meccanismi azionati ad alta velocità e a quelli per applicazioni speciali. L'obiettivo è stato quello di sviluppare innovativi modelli numerici per la valutazione delle prestazioni cinematiche, dinamiche e di efficienza, sia nelle condizioni di idealità, sia in presenza di errori di costruzione, sia in presenza di fenomeni di attrito.
- 3) Metodologie di analisi ed ottimizzazione di meccanismi cedevoli. L'attività di ricerca è incentrata sullo sviluppo di modelli simulativi per risolvere i problemi di sintesi geometrica e assegnazione delle tolleranze di costruzione. I modelli proposti ma fanno principalmente uso della formulazione delle *spline dinamiche* sviluppata dallo stesso autore nel 2011.
- 4) Metodologie di simulazione interattiva dei meccanismi. L'attività di ricerca è incentrata sulla messa a punto di metodologie innovative basate sull'impiego delle tecnologie emergenti per l'implementazione di simulazioni dinamiche interattive. L'idea di base è quella di combinare i vantaggi della realtà aumentata e delle interfacce aptiche per permettere all'utente di immergersi nell'ambiente simulativo e interagire con le entità simulate, mantenendo un lato livello di realismo e una accuratezza compatibile per le applicazioni ingegneristiche.

La Figura 1 illustra tre immagini rappresentative degli studi condotti.

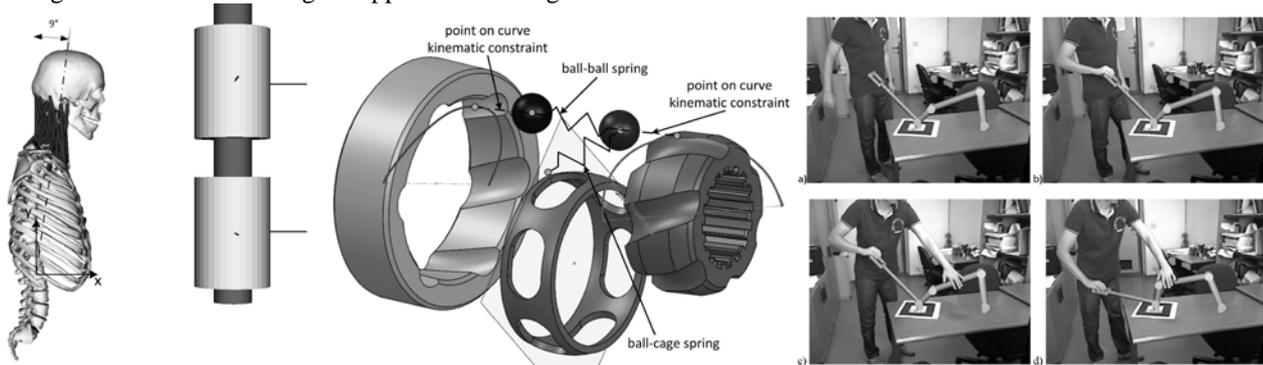


Figura 1: Esempi di investigazioni: un manichino virtuale per impatti a bassa velocità (a sinistra); un giunto Rzeppa modellato secondo l'approccio multibody dynamics con corpi rigidi e cedevolezze concentrate (al centro); una simulazione in realtà aumentata di un azionamento a quadrilatero articolato in cui l'interazione è naturale senza sensori invasivi (a destra)

Lavori più rappresentativi delle tematiche (limitati all'ultimo biennio):

1. G. Lamberto, V. Richard, R. Dumas, P.P. Valentini, E. Pennestrì, T.-W. Lu, V. Camomilla, A. Cappozzo, "Modeling the human tibiofemoral joint using ex vivo determined compliance matrices", ASME Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 138(6), 2016.
2. P.P. Valentini, E. Pennestrì, "An improved three-dimensional multibody model of the human spine for vibrational investigations", Multibody System Dynamics, Vol. 36, pp. 363-375, 2016
3. E. Pennestrì, L. Quattrocchi, P.P. Valentini, "Biomechanical model for simulating impacts against protective padding of sport facility", Sports Engineering, Vol.19(1), pp. 47-57, 2016
4. A. Patrizi, E. Pennestrì, P.P. Valentini, "Comparison between low-cost marker-less and high-end marker-based motion capture systems for the computer-aided assessment of working ergonomics", Ergonomics, Vol.59(1), pp.155-162, 2016.
5. M. Mollica, E. Pennestrì, P.P. Valentini, "Detailed elasto-kinematic multibody model for simulating stability tests of the human knee", Proc. of ECCOMAS Multibody Dynamics Congress, Barcelona, Spain, 29 June-2 July 2015.
6. E. Pennestrì, V. Rossi, P. Salvini, P.P. Valentini, "Review and comparison of dry friction force models", Nonlinear Dynamics, Vol. 83(4), pp. 1785-1801, 2016
7. E. Pennestrì, P.P. Valentini, "Kinematics and Enumeration of Combined Harmonic Drive Gearing", ASME Journal of Mechanical Design, vol. 137(12), paper 122303, 2015
8. E. Pennestrì, V. Rossi, P. Salvini, P.P. Valentini, F. Pulvirenti, "Review and kinematics of Rzeppa-type homokinetic joints with straight crossed tracks", Mechanism and Machine Theory, Vol. 90, pp. 142-161, 2015.
9. P.P. Valentini, E. Pezzuti, "Computer-aided tolerance allocation of compliant ortho-planar spring mechanism", International Journal of Computer Application in Technology, Vol 53, No. 4, pp. 369-374, 2016
10. P.P. Valentini, E. Pezzuti, "Accuracy in fingertip tracking using Leap Motion Controller for interactive virtual applications", International Journal on Interactive Design and Manufacturing, in press

Rocco Vertechy
Università di Bologna

Robotics, Compliant Mechanisms and Dielectric Elastomer Transducers

Research activities on spatial multi-degree-of-freedom *robots*:

- Kinematic, static and stiffness analysis/synthesis and model-based control of parallel manipulators;
- Design, implementation and model-based interaction-force control of active exoskeletons with joint torque sensors;
- Integrated design and implementation of serial tracked mobile robots with variable-stiffness joint actuators.



Fig. 1 – Robotics research: parallel manipulators (left); actuated exoskeletons (center); snake-like robots (right)

Research activities on planar and spherical *compliant mechanisms*:

- Analytic, finite element and experimental methods for stiffness analysis and synthesis;
- Pseudo-rigid-body and finite element models for motion analysis and synthesis in large-deflection regimes.

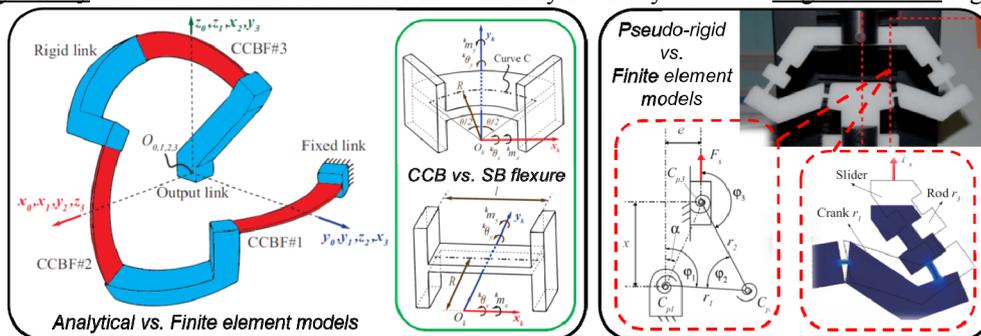


Fig. 2 – Compliant mechanisms research: spherical mechanisms (left); planar linkages (right)

Research activities on *dielectric elastomer transducers* (actuators and generators):

- Integrated design, implementation, model-based control and field applications;
- Experimental characterization and constitutive modelling of materials and systems.

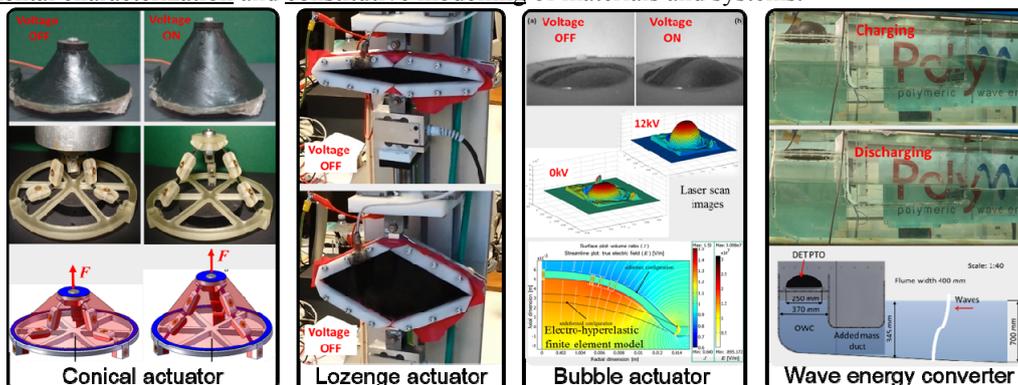


Fig. 3 – Dielectric elastomer transducers research: actuators and generators for mechatronic applications

Lavori più rappresentativi:

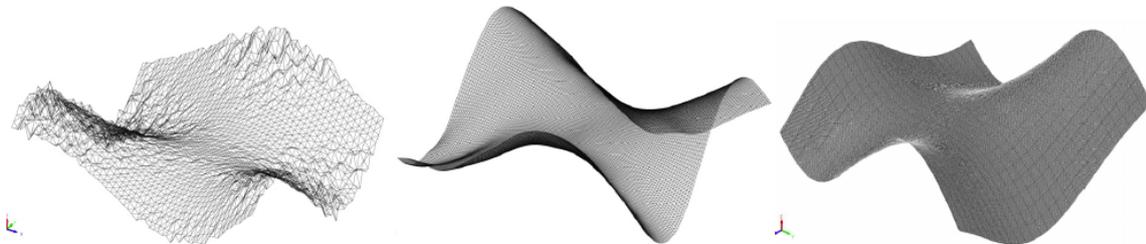
1. Menon, Vertechy, Markót, Parenti-Castelli “Geometrical optimization of parallel mechanisms based on natural frequency evaluation: Application to a spherical mechanism for future space applications” (2009) *IEEE Trans. on Robotics*, 25, pp. 12-24.
2. Parvari Rad, Berselli, Vertechy, Parenti-Castelli “Design and stiffness analysis of a compliant spherical chain with three degrees of freedom”, *Precision Engineering*, Available online 27 June 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.precisioneng.2016.06.011>.
3. Berselli, Vertechy, Vassura, Parenti-Castelli “Optimal synthesis of conically shaped dielectric elastomer linear actuators: Design methodology and experimental validation” (2011) *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 16(1), pp. 67-79.

Alessandro Zanmarini

DIN – Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bologna

Towards Experimental Full Field Modal Analysis

Risultati del progetto europeo FP7 TEFFMA @ TU-WIEN, Austria



Esempio di forme modali ad alta risoluzione spaziale estratte da SLDV, Hi-Speed DIC, Dynamic ESPI

I miglioramenti nell'elettronica delle moderne telecamere hanno aumentato l'attenzione sulle tecnologie di misura basate sulle immagini, in particolare verso il rilievo di forme complesse dovute alle vibrazioni, ben oltre il campo proprio dell'Olografia. L'avvento dei sensori digitali ha infatti portato al successo strumenti basati sulla tecnologia ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry). Inoltre, la commercializzazione di telecamere digitali ad alta velocità di acquisizione ha innalzato la tecnologia DIC (Digital Image Correlation) al ruolo di altro competitore nelle misure dinamiche a campo pieno. Finora, grazie alla sua abilità di campionare le misure su di una griglia superficiale, la tecnologia di riferimento per le misure senza contatto nell'analisi strutturale di componenti leggeri è stata la vibrometria a scansione SLDV (Scanning Laser Doppler Vibrometry). Le metodologie di indagine si sono quindi evolute per usare la SLDV esattamente come prima facevano coi singoli trasduttori, tuttavia non sfruttando a pieno le potenzialità delle tecnologie ottiche emergenti, ancora da indagare compiutamente.

All'Istituto di Meccanica e Meccatronica del Politecnico di Vienna (TU-Wien) sono installati nel laboratorio di misura ottica di vibrazioni strumenti basati sulle tecnologie sopracitate, in parte prototipi e mai prima testati sulle misure ad ampio spettro di frequenza e concomitante alta risoluzione spaziale. Il progetto di ricerca di base TEFFMA, finanziato dalla Commissione Europea con le iniziative IEF-PEOPLE-2011 che hanno premiato solo una ventina di progetti di ingegneria in tutta Europa, ha permesso la concretizzazione di numerose idee e metodologie sviluppate dall'autore fin dal 2004, durante il postdottorato *Speckle Interferometry for Industrial Needs*, tra cui:

- Mettere a punto protocolli e software di misura con tecniche ottiche concorrenti per un loro reale confronto
- Stima di modelli sperimentali (FRF) da diverse tecnologie per verificarne l'attendibilità
- Derivazione di nuove grandezze sperimentali (rdofs, strains) in un ampio spettro di frequenze
- Utilizzo dei risultati dalle tecnologie emergenti (DIC, ESPI) nei classici strumenti dell'analisi NVH & EMA
- Stima delle mappe di stress dinamico dai soli risultati sperimentali a campo pieno e dal modello costitutivo
- Applicazione senza FEM della dinamica strutturale sperimentale al calcolo della vita a fatica
- Estrazione di forme modali ad alta risoluzione spaziale da tutte le tecniche ottiche emergenti
- Confronto delle basi modali sperimentali con quelle da modelli numerici per la calibrazione o model updating

Lavori più rappresentativi:

- A. Zanmarini, 2015, Comparative studies on full field FRFs estimation from competing optical instruments, ICoEV2015
- A. Zanmarini, 2015, Accurate FRFs estimation of derivative quantities from different full field measuring technologies, ICoEV2015
- A. Zanmarini, 2015, Full field experimental modelling in spectral approaches to fatigue predictions, ICoEV2015
- A. Zanmarini, 2015, Model updating from full field optical experimental datasets, ICoEV2015
- A. Zanmarini, 2014, Dynamic strain & stresses for enhanced reliability: from full field optical measurements to simulations, ICAIM14
- A. Zanmarini, 2014, On the estimation of frequency response functions, dynamic rotational degrees of freedom and strain maps from different full field optical techniques, Proceedings of the ISMA2014 including USD2014
- A. Zanmarini, 2014, On the role of spatial resolution in advanced vibration measurements for operational modal analysis and model updating, ISMA14
- A. Zanmarini, 2011, Full field optical measurements for advanced structural dynamics: first outcomes, GEF2010
- A. Zanmarini, 2011, Dynamic strain & stresses for enhanced reliability: from full field optical measurements to simulations, ICAIM11
- A. Zanmarini, 2009, Full-field ESPI techniques in structural dynamics, GEF2008
- A. Zanmarini, 2008, Full field ESPI vibration measurements to predict fatigue behaviour, Proceedings of the IMECE2008 ASME
- A. Zanmarini, 2008, ESPI measurements in structural dynamics: fatigue life assessment, Dantec Dynamics 15th IC&UM
- A. Zanmarini, 2008, Fatigue life assessment by means of full field ESPI vibration measurements, ISMA2008
- A. Zanmarini, 2007, Full field ESPI measurements on a plate: challenging experimental modal analysis, XXV IMAC
- A. Zanmarini, 2005, Dynamic behaviour characterization of a brake disc by means of electronic speckle pattern interferometry measurements, ASME
- A. Zanmarini, 2005, Damage location assessment in a composite panel by means of electronic speckle pattern interferometry measurements, ASME