

Mariano Di Bartolomeo

DIMA, Dipartimento Ingegneria Meccanica e Aeronautica, Università La Sapienza –Roma

Interplay between Local Frictional Contact Dynamics and Global Dynamics of a Mechanical System

During relative motion of bodies in frictional contact, contact waves propagate at both the interface and the bulk. Rupture fronts can be associated to interface waves and drive the local status of the contact, with slip and separation zones. This work is focused on the role of interface wave fields, in the local contact behaviour and in determining the macroscopic frictional response of the system.

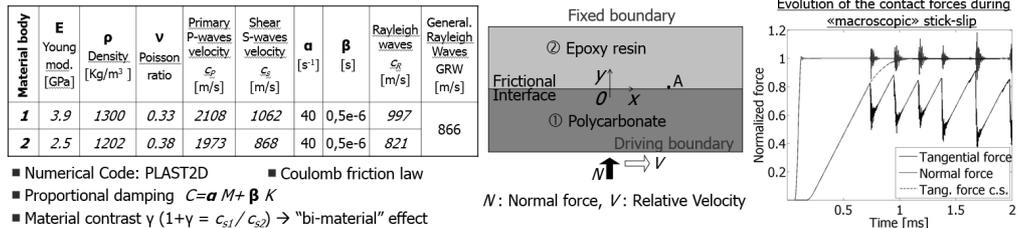


Fig. 1 – Numerical Model

Figure 1 shows the numerical model and a typical “stick-slip” force evolution, that is force ramps followed by sudden drops.

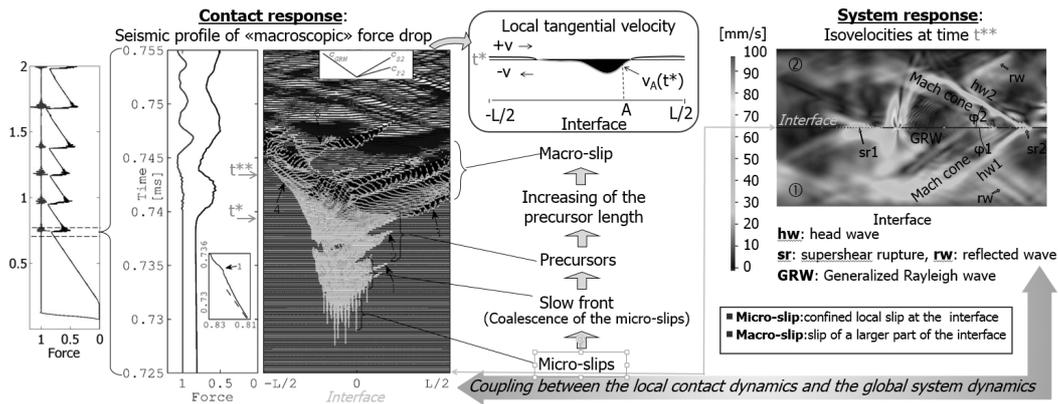


Fig. 2 – Rupture propagation – from the contact to the system

Figure 2 represents the evolution of the local contact dynamics at the interface i.e. wave generation and propagation.

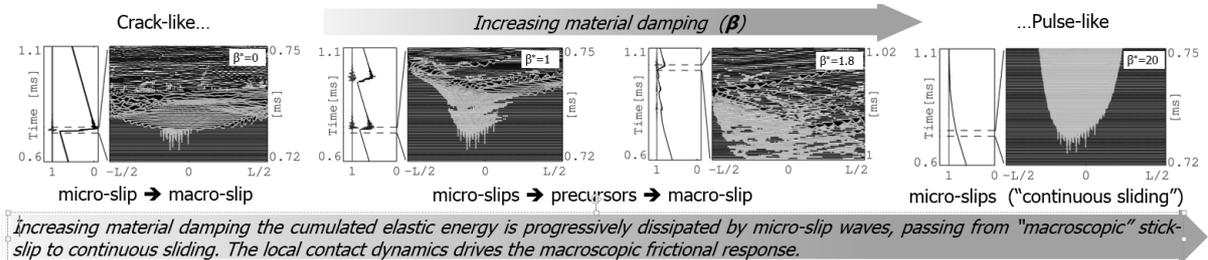


Fig. 3 – Frictional macroscopic behaviour - from stick-slip to continuous sliding

1. The onset and evolution of the sliding is characterized by different phases: micro-slips coalescence precursors macro-slip.
2. The different phases in the evolution of the «macroscopic» tangential force are related to the local dynamics evolution at the interface.
3. System parameters affect the local dynamics(Figure 3) that, vice-versa, affects the macroscopic frictional behaviour.
4. Continuous sliding = progressive dissipation of the energy by distribution of subsequent micro-slips and generated waves.

1. M. Di Bartolomeo, F.Massi et al. “Interplay between local frictional contact dynamics and global dynamics of a mechanical system” M. Di Bartolomeo, F. Massi et al.

Nonlinear Dynamics, Volume 1 Proceedings of the 33rd IMAC, A Conference and Exposition on Structural Dynamics, 2015.

2. M. Di Bartolomeo, F.Massi et al. "Wave and rupture propagation at frictional bimaterial sliding interfaces: From local to global dynamics, from stick-slip to continuous sliding"

Tribology International, Volume 52, Issue 9, August 2012, pages 117-131.

Francesco Durante
Università degli Studi dell'Aquila

Esoscheletri amplificatori di forza per ausilio o per riabilitazione motoria

Progettazione, prototipazione, sperimentazione di dispositivi robotici con struttura antropomorfa esoscheletrica, quindi da indossare, per l'ausilio di persone normodotate o disabili oppure per la riabilitazione motoria. Dispositivi attivi con sistema di controllo in grado di somministrare movimenti fisiologicamente corretti (riabilitazione) oppure di rilevare l'intenzione dell'utilizzatore e di assecondarlo nella sua volontà (ausilio).

Sviluppo di esoscheletro amplificatore di forza per riabilitazione alla deambulazione

Sistema antropomorfo arti inferiori, 10 gdl, 4 motorizzati, 6 regolati da molle. Attuatori a cilindro pneumatico (4), sensori angolari ai giunti. Deambulazione sul posto mediante tapis roulant e sgravio arti inferiori mediante sistema regolabile di pesi. Sistema di controllo (PC 104) con movimenti fisiologicamente corretti ricavati da traiettorie della caviglia rilevate sperimentalmente. Controllo con logica fuzzy, errore massimo sulla traiettoria imposta circa 2%.

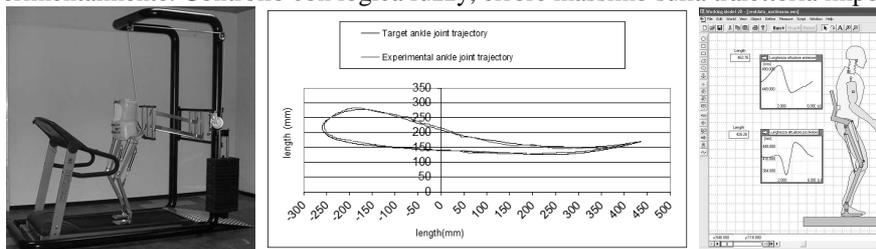


Fig. 1 – Esoscheletro per riabilitazione motoria alla deambulazione: sistema completo, traiettoria della caviglia (misurata), modello per la soluzione del problema cinematico inverso.

Ortesi attiva per arto inferiore

Dispositivo esoscheletrico per l'ausilio del ginocchio. Pensato per chi ha difficoltà nel sedersi o alzarsi da una sedia o a superare rampe di scale. Struttura in fibra di carbonio, 1 gdl motorizzato mediante attuatori a muscolo pneumatico. Sensori che rilevano l'intenzione dell'utilizzatore da attività muscolare, tipo a "sacchetta d'aria" o mioelettrici. Sistema di controllo comanda una forza proporzionale allo sforzo rilevato. Curva di apprendimento ridottissima, fornisce circa il 60 % della forza richiesta per i movimenti assistiti. Zainetto con compressore, batteria, hardware per il controllo (Arduino). Peso ortesi circa 2 kg, peso zainetto con componenti circa 4 kg.

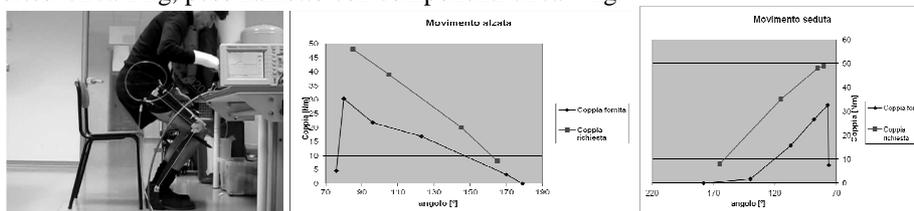


Fig. 2 – Ortesi attiva per arto inferiore, prestazione

Esoscheletro per ausilio del tronco nei movimenti per il sollevamento di carichi

Il dispositivo ha una struttura composta di due vertebre ed 1 gdl motorizzato mediante muscoli pneumatici. Ancorato alle spalle e al bacino, permette di scaricare la colonna vertebrale a livello della vertebra L5 S1. Peso complessivo di circa 2,5 kg. Sensori mioelettrici, forza di ausilio mediamente pari al 40 % della forza richiesta.



Fig. 3 – Esoscheletro per ausilio per la schiena, sensore mioelettrico, prestazione

Lavori più rappresentativi:

1. Natasa Koceska, Saso Koceski, Francesco Durante, Beomonte Zobel P, Terenziano Raparelli (2013). Control Architecture of a 10 DOF Lower Limbs Exoskeleton for Gait Rehabilitation. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ROBOTIC SYSTEMS, vol. 10, p. 1-11, ISSN: 1729-8806, doi: 10.5772/55032
2. L. Auriti, S. Chatzis, T. Raparelli, P. Beomonte Zobel, Durante F, G. Costanzo (2007). Development of an active orthosis of inferior limb in light structure. In: Applied research and education in bioengineering. p. 24-46, ISBN: 978-88-95408-00-2

Flavio Farroni, post-doctoral research fellow

DII – Dipartimento di Ingegneria Industriale – Sez. Meccanica ed Energetica

Università degli Studi di Napoli Federico II

UN TOOL PER L'ANALISI E LA SIMULAZIONE MULTIFISICA REAL-TIME DEI FENOMENI RIGUARDANTI L'INTERAZIONE PNEUMATICO-STRADA

La progressiva affermazione di sistemi di simulazione di guida real-time, legati a tematiche di virtual prototyping, subjective handling e smart mobility, ha comportato la necessità di riprodurre con modelli fisico/analitici i fenomeni legati all'interazione pneumatico-strada, sviluppati con la finalità di trasferire al driver le sensazioni legate alla guida su strada ed agli output del veicolo simulato un elevato livello di correlazione con la realtà sperimentale.

In tale area, riconducibile al più ampio ambito della dinamica dei veicoli terrestri, si sono articolate le attività in oggetto, volte alla realizzazione di un tool di analisi e simulazione, strutturato in quattro sub-modelli, modularmente integrati. Il **TRT** (Thermo Racing Tire), modello fisico real-time per la predizione della temperatura locale degli pneumatici, il **GrETA** (Grip Estimator for Tire Analysis), per la stima della friction dei tasselli di battistrada facenti parte della "contact patch", il **TRICK** (Tire/Road Interaction Characterization & Knowledge), stimatore delle forze di interazione ed il **TRIP-ID** (Tire/Road Interaction Parameters IDentification), identificatore di parametri per modelli Pacejka, costituiscono ad oggi uno strumento in grado di simulare in ambiente real-time feeling e fenomeni basati sul legame grip-temperatura e di effettuare complesse analisi inerenti la correlazione tra performance e variazioni di setup, che trovano ampio riscontro sia in ambito motorsport che in ottica safety enhancement.

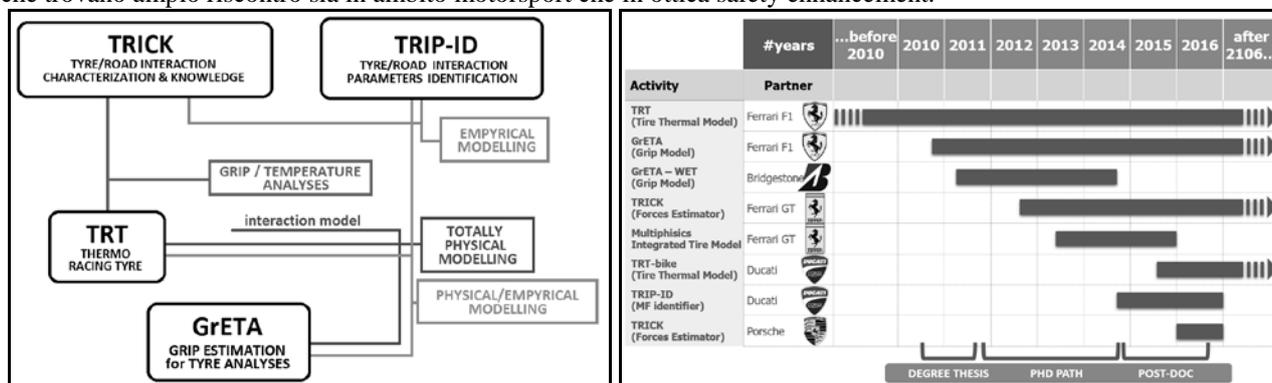


Fig. 1 – Overview sugli scenari di simulazione e sulle mutue interazioni tra i modelli sviluppati.

Fig. 2 – Chart sul progressivo sviluppo dei modelli costituenti il tool e delle relative collaborazioni.

Sviluppi attualmente in corso nell'ambito delle attività illustrate, sulla base delle quali ha inoltre recentemente trovato concretizzazione la costituzione dello spin-off accademico "MegaRide", riguardano gli effetti legati sia in ambito termico che tribologico a fenomeni di usura e la definizione di procedure non-distruttive per la determinazione delle caratteristiche strutturali e viscoelastiche di mescole confidenziali di battistrada.

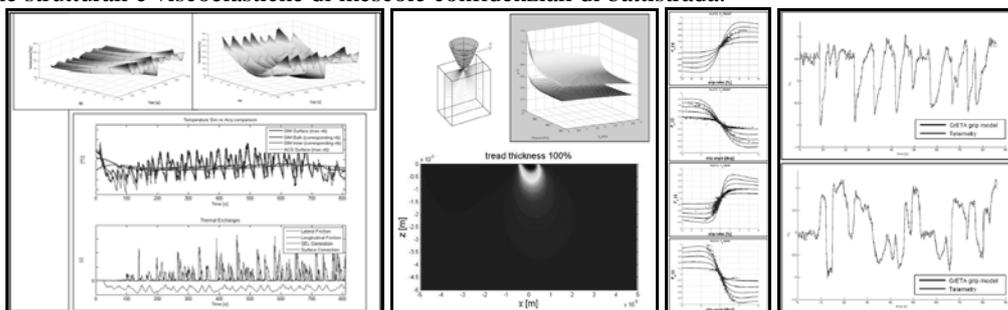


Fig. 3 – Risultati del TRT: temperature locali e flussi termici. Fig. 4 – Risultati del GrETA: mappe di friction.

Fig. 5 – Correlazione numerico/sperimentale tra curve di interazione. Fig. 6 – Simulazioni con modelli MF-evo

1. Farroni F. "T.R.I.C.K. - Tyre/Road Interaction Characterization & Knowledge - A Tool for the Evaluation of Tyre and Vehicle Performances in Outdoor Test Sessions", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 72-73, pp. 808-831, 2015.
2. Farroni F., Sakhnevych A., Timpone F. "Development of a Grip and Thermodynamics Sensitive Procedure for the Determination of Tyre/Road Interaction Curves Based on Outdoor Test Sessions", 4th International Tyre Colloquium of Surrey, Guildford, UK, pp. 332-341, 2015.
3. 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.
4. Farroni F., Russo M., Russo R., Timpone F. "A Physical Analytical Model for Local Grip Estimation of Tyre Rubber in Sliding Contact with Road Asperities", IMECHE Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol. 228, n. 8, pp. 958 - 972, 2014.

Marco Fontana
Istituto TeCIP, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa

Modellazione e progetto di macchine innovative per la produzione di elettricità da fonti rinnovabili

Marco Fontana (Ricercatore TD-A) conduce un gruppo di ricerca che lavora nell'ambito della modellazione e progettazione di macchine basate su sistemi meccatronici innovativi per la produzione di elettricità da fonti di energia rinnovabile. In particolare, la ricerca si concentra su: (1) Convertitori di Energia del Moto Ondoso (CEMO) basati su Generatori ad Elastomero Dielettrico (GED) e su (2) Convertitori di Energia da Venti di Alta Quota (CEVAQ).

L'obiettivo delle attività condotte nel primo dei due ambiti è quello di sviluppare una nuova generazione di CEMO basati su GED. I GED sono trasduttori che fanno uso di materiali altamente deformabili che, se sottoposti a forze/deformazioni oscillanti, sono in grado di convertire energia meccanica in energia elettrostatica in modo diretto. I GED risultano particolarmente promettenti nell'ambito dei CEMO visto che: il loro principio di funzionamento è intrinsecamente oscillante e presentano un basso costo, un'elevata densità di energia convertita ed un'elevata efficienza di conversione. In una prima fase delle attività, utilizzando metodologie della meccanica delle vibrazioni, sono stati sviluppati dei modelli matematici semplificati che descrivono il comportamento dinamico dei sistemi GED. Tali modelli sono stati inizialmente impiegati, per analizzare e confrontare le prestazioni di differenti architetture di CEMO [1], e successivamente utilizzati per il loro progetto e ottimizzazione [2,3]. Alcuni prototipi sono stati sviluppati e testati in apposite vasche navali disponibili presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Edimburgo (Fig.1-a). Questa ricerca è condotta in collaborazione con il gruppo di Meccanica Applicata alle Macchine dell'Università di Bologna ed è supportata da finanziamenti della Commissione Europea con i progetti PolyWEC (www.polywec.org) e WETFEET (www.wetfeet.eu) e dalla associazione Wave Energy Scotland (www.hie.co.uk).

L'obiettivo delle attività condotte nel secondo degli ambiti è quello di sviluppare e ottimizzare nuove architetture di CEVAQ, ovvero una nuova classe di generatori eolici basati su aeromobili a pilotaggio remoto [4]. Tali sistemi sono in grado di convertire l'energia dei venti che soffiano a quote elevate, e.g. superiori a 200 m da terra. Le attività di ricerca si concentrano sugli aspetti di modellazione ed analisi di sistemi CEVAQ installati su piattaforme galleggianti d'alto mare. Nello specifico, sono stati sviluppati modelli accoppiati che considerano l'effetto della dinamica del moto della piattaforma galleggiante sui CEVAQ e viceversa (Fig.1-b), con lo scopo di rendere disponibile uno strumento di simulazione e verifica di progetto di tali sistemi [2]. Questa ricerca è supportata con finanziamenti dell'azienda Sequoia Automation.

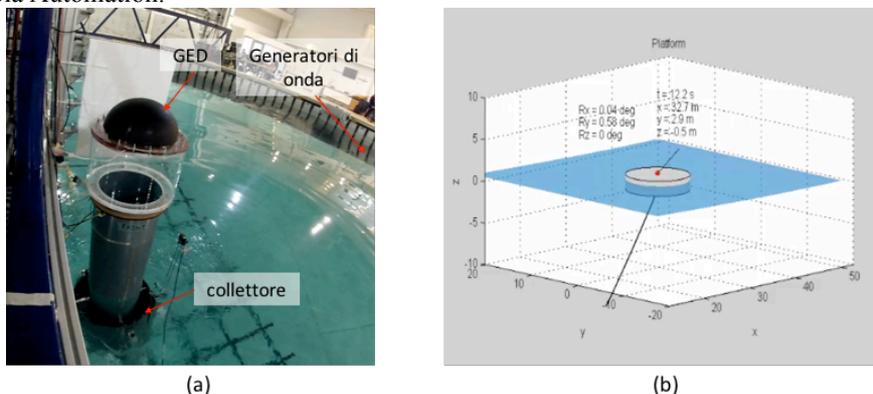


Fig. 1 – Prototipo di macchina per la produzione di elettricità da moto ondoso basato su generatori ad elastomero dielettrico (a); fotogramma di una simulazione dinamica di sistemi di conversione di energia del vento d'alta quota con basamento galleggiante (b).

Lavori più rappresentativi:

1. Vertechy R., Fontana M., Wave Energy Converters Based On Dielectric Elastomers, *ASME & AIAA Adaptive Structures & Material Systems Newsletter*, Spring 2014.
2. Moretti G., Fontana M., Vertechy R., Model-Based Design and Optimization of a Dielectric Elastomer Power Take-Off for Oscillating Wave Surge Energy Converters. *Meccanica*, 50 (11), November 2015.
3. Vertechy R., Rosati Papini G.P., Fontana M., Reduced Model And Application Of Inflating Circular Diaphragm Dielectric Elastomer Generators For Wave Energy Harvesting, *ASME Journal of Vibration and Acoustics*, 137(1), Feb 2015.
4. Cherubini A., Papini A., Vertechy R., Fontana M., Airborne Wind Energy Systems: A review of the technologies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 51, Nov 2015.
5. Cherubini A., Moretti G., Fontana M. Dynamic modeling of floating offshore airborne wind energy converters. *Airborne wind energy*. Springer Berlin Heidelberg. *In print*

Walter Franco

Politecnico di Torino- DIMEAS

Macchine Appropriate per lo Sviluppo Umano

Più di due miliardi di persone vivono con meno di tre dollari al giorno. Il 13% della popolazione mondiale non ha accesso diretto all'acqua potabile. Il 17% non ha una abitazione adeguata. L'80% del cibo è prodotto da aziende contadine familiari di piccola dimensione. Un contributo al miglioramento della qualità di vita e del benessere di un elevato numero di persone può venire dalla progettazione e sperimentazione di **tecnologie appropriate**, declinate sui bisogni specifici di piccole comunità. Si tratta di soluzioni caratterizzate da semplicità, basso costo, versatilità, efficienza dal punto di vista energetico, utilizzo di energie rinnovabili compresa quella muscolare ed animale, durabilità, manutenibilità da parte dagli stessi utilizzatori, appropriatezza rispetto al contesto sociale e ambientale. Con queste finalità, con i prof. C. Ferraresi e G. Quaglia, abbiamo costituito il gruppo *Appropriate Machines Lab-Engineering for Human Development* del DIMEAS-Polito che opera nel filone della *humanitarian engineering*.

Anpil Pay: imballatrice manuale per la produzione di balle di paglia per autocostruzione in paglia

La tecnica di costruzione in paglia è appropriata per migliorare le condizioni abitative in paesi in via di sviluppo. Laddove non sono disponibili combustibili fossili, e la distribuzione dell'energia elettrica è intermittente, sono necessarie macchine ad azionamento manuale per la realizzazione di balle di paglia ad elevata densità (90-120 kg/m³).

Una prima pressa, Anpil Pay 1.0 (Fig. 1a), è stata studiata e realizzata a supporto di un progetto dalla associazione Architetti Senza Frontiere Piemonte, finalizzato alla costruzione di un magazzino per il riso di una cooperativa di contadini di Haiti. In questo caso era richiesto di realizzare balle a densità di 90 kg/m³, adatte al riempimento di una struttura portante in legno. Il meccanismo della trasmissione della pressa è a biella manovella, la palla viene prodotta con azionamenti successivi del sistema di compattazione e riposizionamento del fondo della pressa.

Una secondo prototipo, Anpil Pay 2.0 (Fig. 1b) è stato progettato e realizzato nell'ambito di un **progetto studentesco** con lo scopo di migliorare le prestazioni della prima pressa. In particolare il secondo prototipo permette di realizzare balle a densità più elevata (120 kg/m³), adatte alle costruzioni in paglia portante. La formazione della palla è continua, e la dimensione della bocca di espulsione può essere regolata in modo da controllare, per attrito, la densità della palla.

La sintesi del meccanismo di compressione, sempre a biella manovella, è stata effettuata con un metodo energetico a partire da prove sperimentali di caratterizzazione del comportamento meccanico della paglia. La pressa è stata poi utilizzata e validata in un cantiere didattico con la costruzione di un modulo abitativo in paglia portante (Fig. 1c).



Fig. 1 – Imballatrice manuale: a) Anpil Pay 1.0; b) Anpil Pay 2.0; c) modulo abitativo in paglia portante

Avantreno polifunzionale a trazione animale per terreni montani di difficile accesso

Scopo del progetto è lo sviluppo di un avantreno a trazione animale a telaio leggero appositamente studiato per permettere piccole lavorazioni di aratura, semina, e diserbo meccanico in terreni montani di difficile accesso e ad elevata pendenza, e contestualmente consentire il trasporto dei prodotti agricoli e delle attrezzature lungo strade e mulattiere dissestate e a larghezza ridotta.

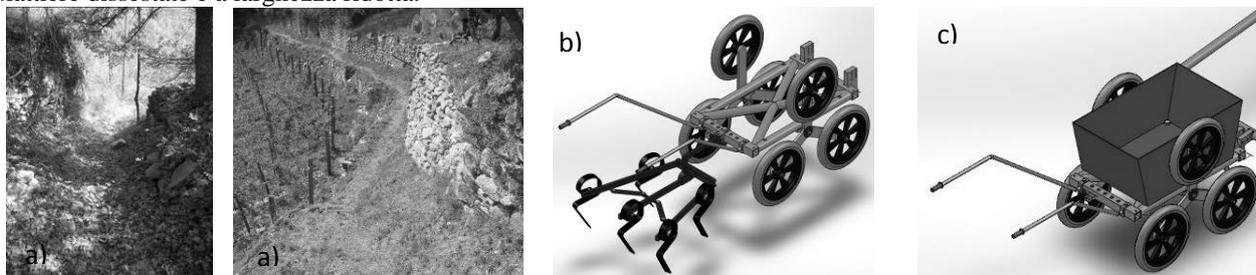


Fig. 2 – Avantreno polifunzionale a trazione animale: a) sentieri di accesso ai terreni; b) configurazione di lavoro; c) configurazione di trasporto

1. Walter Franco; Giuseppe Quaglia and Carlo Ferraresi, "Experimentally based design of a manually operated baler for straw bale construction", First International Conference of IFToMM Italy, Vicenza, 1-2 December 2016, Accettato.
2. Carlo Ferraresi, Walter Franco, Giuseppe Quaglia, "Meccanizzazione Appropriata per una Agricoltura Contadina in Contesti Alpini", ArchAlp n.11, 2016, Paesaggi della terra-agricoltura e architettura, https://issuu.com/archalpia/docs/archalp_11/95

Francesca Garescì
 Università degli Studi di Messina

Metamateriali: applicazioni in campo ingegneristico e Affidabilità di Power Devices

I metamateriali sono materiali che non si trovano in natura e vengono realizzati con determinate caratteristiche 'insolite', ad esempio in ottica sono stati creati metamateriali con indice di rifrazione negativo. L'argomento della ricerca si basa sia sulla modellizzazione del comportamento dinamico di metamateriali basati su sistemi periodici massa-in-massa per applicazioni sia nel campo dell'acustica e delle vibrazioni, sia nella ricerca applicata nel campo dell'ingegneria sismica. Con particolare risalto all'ultimo punto, sono state sviluppate delle soluzioni che possano essere direttamente trasferite alla tecnologia ad oggi in uso nell'ingegneria sismica stessa. Il primo sistema studiato è stato realizzato mediante l'inclusione di oscillatori isocroni all'interno di una struttura in calcestruzzo armato continua (figura 1-a). L'oscillatore è realizzato mediante una sfera che oscilla all'interno di un'inclusione con forma cicloidale. Le tracce temporali riportate in figura 1 (d,e,f,g) mostrano come l'onda che attraversa il meta materiale si attenui in ampiezza. La seconda soluzione specifica oggetto della ricerca è mirata ad essere un'alternativa valida ed a basso costo rispetto agli strumenti attualmente disponibili, dissipatori sismici e isolatori sismici, per la protezione di opere strutturali realizzate in zone sismiche. Tale soluzione chiamata "Fondazione Composita" è stata brevettata (INVENZIONE INDUSTRIALE N° ME2014A000001- PCT/IB2017/052126).

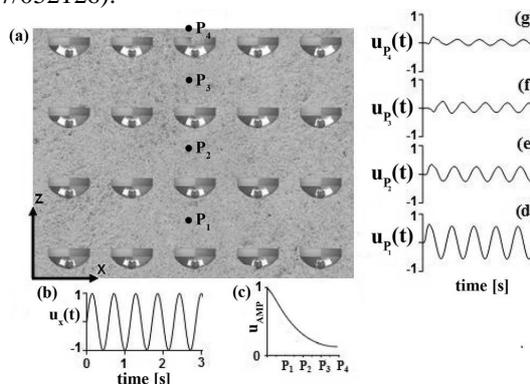


Fig. 1 - (a) Esempio di oscillatori isocroni all'interno di una struttura continua; (d-g) tracce temporali.

La caratterizzazione dell'affidabilità (reliability) può essere considerata una milestone durante la fase di progettazione di dispositivi di potenza che si trovano ad operare in condizioni in cui un'elevata 'robustezza' è un passaggio critico quale ad esempio il campo dell'automotive. Attualmente ci sono dei modelli matematici che permettono di descrivere la perdita/riduzione delle performance dei power device quando questi sono sottoposti a cicli di stress termo-meccanico. Il sistema per analisi di microstrutture (Polytec MSA-500-M) (figura 2, Laboratorio di Vibrometria – Dipartimento di Ingegneria- Università di Messina) consente la misura di vibrazioni out-of-plane di micro dispositivi fino a 24MHz. Questo sistema di acquisizione permette di ricavare sperimentalmente parametri utili, in termini di spostamento, per effettuare una modellizzazione efficiente dell'affidabilità dei power device. In figura 2 sono illustrate tre immagini acquisite a 0µs, a 300µs e a 600µs in seguito ad un input di I_{Dpk} pari a 70A.

La ricerca è in collaborazione con il prof. S. Patanè del MIFT - Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra dell'Università di Messina e con l'azienda ST-Microelectronics di Catania.

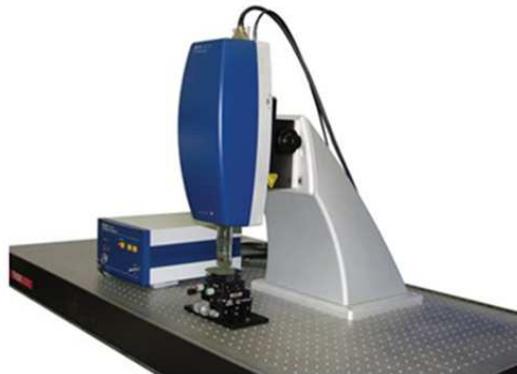


Fig. 2 - Sistema per analisi di microstrutture Polytec MSA-500-M che consente la misura di vibrazioni out-of-plane di micro dispositivi.

Laura Gastaldi
Politecnico di Torino

La biomeccanica applicata agli sport Paralimpici

Nell'ambito degli sport adattati la meccanica e la biomeccanica svolgono un ruolo importante nell'analisi e nello sviluppo del sistema integrato "atleta-attrezzatura sportiva". Esse consentono di determinare l'impatto della disabilità sulla pratica sportiva, di definire le prestazioni compatibili con i diversi handicap, ma soprattutto sono fondamentali per lo sviluppo di attrezzature sportive ed ausili personali (esoscheletri e/o protesi) che permettano la pratica dello sport agli atleti disabili. Le prestazioni sportive e funzionali sono valutate sia con test in laboratorio, sia sul campo di gara.

Lo svolgimento della ricerca e le sue applicazioni implicano competenze relative a sistemi multibody (analisi del movimento, individuazione funzionale dei giunti articolari, cinematica, dinamica) e ad azionamenti e servosistemi, nei quali sono integrate funzionalità dei sistemi articolati, degli organi di attuazione, dei dispositivi di sensorizzazione e degli elementi di controllo. La peculiarità dello sport paralimpico, se comparato allo sport normodotati, è l'elevata specificità dei singoli casi, cioè spesso si tratta di studi sport- e disabilità-specifici se non addirittura soggetto-specifici.

Le attività di ricerca, nella maggior parte dei casi, hanno come stakeholder il Comitato Scientifico dell'International Paralympic Committee (IPC)

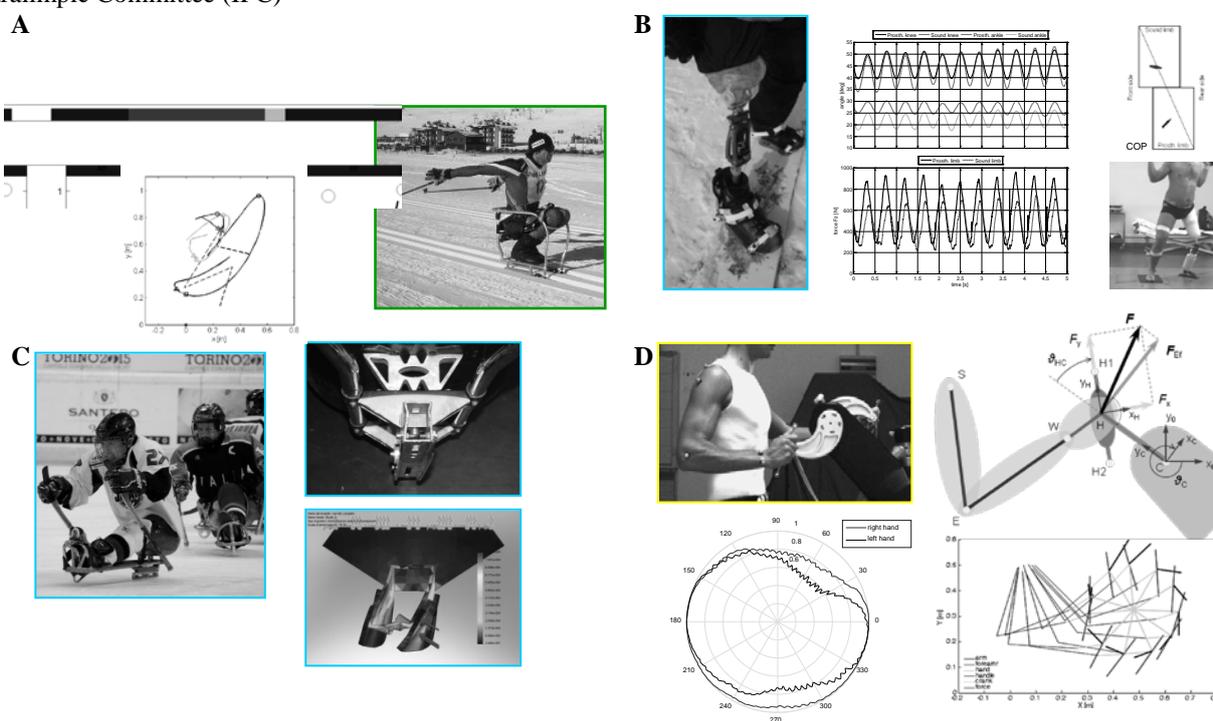


Fig. 1 – Esempi di attività in varie discipline Paralimpiche. A. gesto sportivo nello sci di fondo soggetti seduti; B. prestazioni meccaniche di protesi per snowboard; C. comportamento meccanico di carrelli portalame nell'ice sledge hockey; D banco prova per la valutazione della potenza esercitata nel ciclo di pedalata con handbike.

Lavori più rappresentativi:

1. Rosso V, Gastaldi L, Rapp W, Lindinger S, Vanlandewijck Y, Linnamo V "Biomechanics of simulated versus natural cross-country sit skiing", Journal of Electromyography and Kinesiology, 2016, in press
2. Gastaldi L, Lisco G, Pastorelli S, "Evaluation of functional methods for human movement modelling, Acta of Bioengineering and Biomechanics, 2015, 17 (4).
3. Galetto M, Gastaldi L, Lisco G, Mastrogiacomo L., Pastorelli S, "Accuracy evaluation of a new stereophotogrammetry-based functional method for joint kinematic analysis in biomechanics", Proc. IMech. part H, J. Engineering in Medicine, 2014.
4. Takeda R, Lisco G, Fujisawa T, Gastaldi L, Tohyama H, Tadano S, "Drift removal for improving the accuracy of gait parameters using wearable sensor systems," Sensors 2014, 14.
5. Gastaldi L, Pastorelli S, Frassinelli S, "A biomechanical approach to paralympic cross-country sit-ski racing", Clinical J. of Sport Medicine, 2012, 22 (1)
6. Gastaldi L, Pastorelli S, Caramella M, Dimanico U., "Indoor motion analysis of a subject wearing prosthesis for adaptive snowboarding" WIT Transactions on Biomedicine and Health, 2011

Progetti più rappresentativi:

- IPC Sports Science Committee. Vancouver 2010 Paralympic Winter Games "Kinematic analysis of the push gesture in elite Nordic sit skiers"
- IPC Sports Science Committee. Rio 2016 Paralympic Games "Kinetics and kinematics of indoor rowing: identifying key parameters for closed-loop, electrically assisted rowing in paraplegia"

Gianluca Gatti
Università della Calabria

Recupero di energia dalle vibrazioni indotte da veicoli ferroviari

Con l'avvento di sensori wireless, vi è una sempre più crescente ricerca nel settore del recupero di energia, in particolare dalle vibrazioni ambientali, per alimentare tali dispositivi. Una interessante applicazione è la possibilità di recupero di energia dalle vibrazioni indotte dal passaggio di un treno in corsa, in quanto tale energia potrebbe essere utilizzata per alimentare sensori remoti montati sulla strada ferrata, ad esempio, per il monitoraggio strutturale.

Questo lavoro presenta i risultati principali di uno studio fondamentale per determinare la quantità di energia che potrebbe essere recuperata utilizzando un dispositivo oscillante massa-molla-smorzatore ad un grado di libertà.

L'accelerazione verticale indotta su una traversina dal passaggio di un Inter-City 125 alla velocità di 195 km/h è stata misurata a Steventon, sulla Great Western Main Line nel Regno Unito. Il treno era composto da due locomotori diesel, uno a ciascuna estremità, e da sette carrozze passeggeri. Il segnale di accelerazione risultante è mostrato in Fig. 1(a), mentre in Fig. 1(b) è riportata la corrispondente densità dello spettro di potenza.

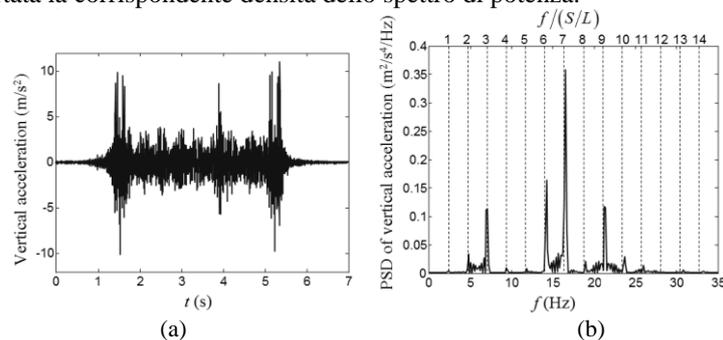


Fig. 1 – Accelerazione indotta dal passaggio di un Inter-city 125: (a) segnale temporale misurato, (b) densità dello spettro di potenza. S/L è il rapporto tra la velocità del treno e la lunghezza del vagone.

Il segnale di accelerazione di Fig. 1(a) è considerato come eccitazione di base al dispositivo di recupero di energia di Fig. 2(a). Per semplicità, in questo studio fondamentale, si è assunto che l'energia recuperata sia la stessa di quella dissipata dallo smorzatore, e tale condizione identifica il caso limite ideale in assenza di perdite meccaniche.

Accordando la frequenza naturale dell'oscillatore intorno ai 17 Hz, corrispondenti al picco massimo della densità dello spettro di potenza in Fig. 1(b), l'evoluzione temporale del dispositivo è riportata in Fig. 2(b)

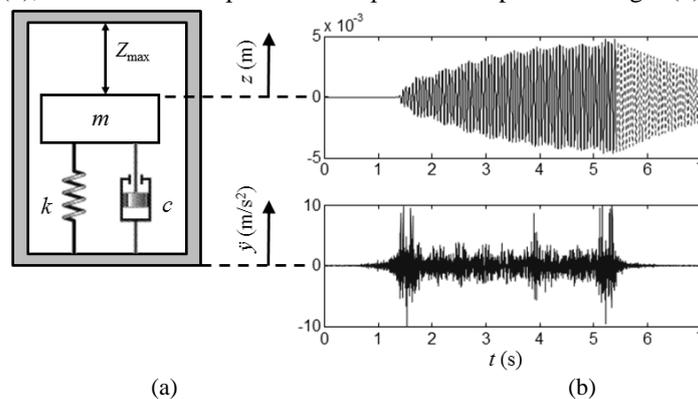


Fig. 2 – Dispositivo di recupero di energia soggetto ad eccitazione limitata nel tempo: (a) componenti meccanici; (b) evoluzione temporale dell'eccitazione di base e relativa risposta della massa oscillante.

È dimostrato che la quantità ottima di energia recuperata per unità di massa oscillante è proporzionale al prodotto del quadrato dell'ampiezza dell'accelerazione di ingresso per il quadrato della durata della vibrazione indotta. Si è inoltre constatato che la parte transitoria della vibrazione forzata è molto importante e che lo smorzamento deve essere scelto in modo che la vibrazione della massa oscillante non raggiunga lo stato stazionario durante il passaggio del treno. Per il caso specifico studiato, si è constatato che l'energia massima che può essere raccolta è di circa 0,25 J/kg. Il rapporto di smorzamento ottimale è risultato essere circa 0,0045, e la corrispondente ampiezza dello spostamento relativo della massa oscillante è risultato essere circa 5 mm.

Lavori più rappresentativi:

1. G. Gatti, M.J. Brennan, M.G. Tehrani, D.J. Thompson "Harvesting energy from the vibration of a passing train using a single-degree-of-freedom oscillator," Mechanical Systems and Signal Processing 66-67 (2016) 785–792.

Ivan Giorgio

Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

Problemi dinamici per metamateriali: Strutture pantografiche

Negli ultimi anni, è stato sviluppato il nuovo concetto di metamateriali ovvero di concepire i materiali su misura: materiali artificiali pensati per produrre un comportamento ‘non-comune’. Seguendo questa logica, è stato introdotto un sistema meccanico (vedi Fig. 1).

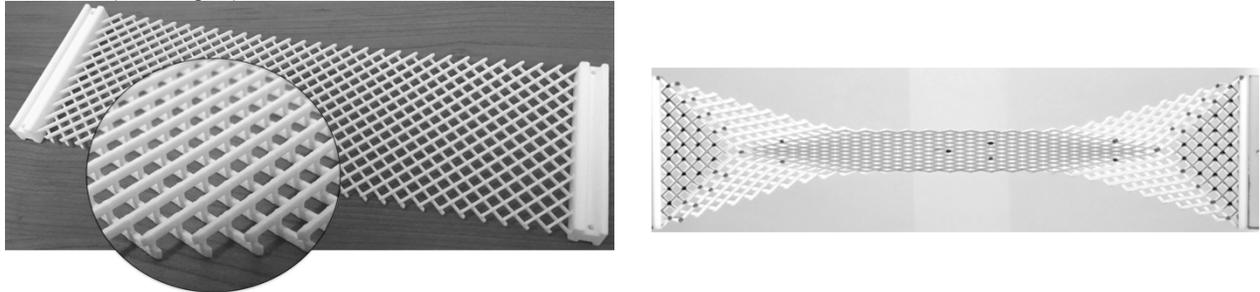


Fig. 1 – Struttura pantografica (stampa 3D in poliammide) e Bias test, confronto numerico/sperimentale

Questa struttura è caratterizzata da una elevata tenacità, cioè un campione è in grado di assorbire una grande quantità di energia, oltre il regime elastico, deformando plasticamente prima della rottura definitiva. Il meccanismo di rottura può essere facilmente previsto a seconda dei casi. Infine, questo sistema presenta anche un vantaggioso rapporto resistenza- peso, il che lo rende particolarmente interessante in molte applicazioni sia nel mondo industriale che aerospaziale. La linea di ricerca relativa a tale tipo di sistema meccanico ha prodotto la definizione di modelli discreti e continui che caratterizzano il comportamento dello stesso e che sono stati ampiamente validati dal punto di vista sperimentale. Nel caso continuo, la Lagrangiana che lo caratterizza è di seguito riportata:

$$\mathcal{L}_M(\mathbf{u}, \varepsilon_\alpha, \kappa_\alpha, \gamma) = \frac{1}{2} \rho \dot{\mathbf{u}}^2 - \sum_{\alpha} \left(\frac{1}{2} K_I \varepsilon_{\alpha}^2 + \frac{1}{2} K_{II} \kappa_{\alpha}^2 \right) - \frac{1}{2} K_p \gamma^2$$

Dove si evidenziano nell’ordine dato: il contributo dell’energia cinetica, e i contributi deformativi legati all’allungamento nelle direzioni delle fibre, alle loro curvature e infine alla variazione d’angolo fra le stesse. Particolare attenzione deve essere dedicata allo studio della caratterizzazione dinamica di tale sistema, analizzando i meccanismi di propagazione ondosa. Infatti, essendo un sistema fortemente non-lineare e dispersivo, in particolari condizioni potrebbe ammettere la propagazione (legata a una compensazione tra effetti nonlineari e dispersivi) di onde che in questo caso sono dette solitoni.

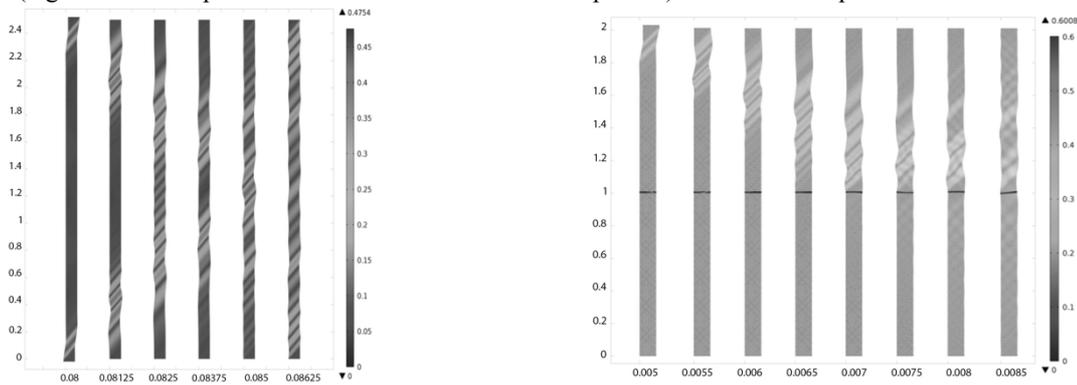


Fig. 2 – Propagazione ondosa in mezzi pantografici

Lavori più rappresentativi:

1. dell’Isola, F., Giorgio, I. and Andreus, U. (2015) Elastic pantographic 2D lattices: a numerical analysis on static response and wave propagation. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 64(3): 219–225.
2. dell’Isola, F., Della Corte, A., Giorgio, I. and Scerrato, D. (2016) Pantographic 2D sheets: discussion of some numerical investigations and potential applications. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 80: 200– 208.
3. Placidi, L., Andreus, U., and Giorgio, I. (2016) Identification of two-dimensional pantographic structure via a linear D4 orthotropic second gradient elastic model. *Journal of Engineering Mathematics*. (DOI:10.1007/s10665- 016-9856-8).
4. Giorgio, I. (2016) Numerical identification procedure between a micro Cauchy model and a macro second gradient model for planar pantographic structures. *ZAMP - Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik*. (DOI: 10.1007/s00033-016-0692-5)

Silvia Logozzo

Università degli Studi di Perugia

Studio tribologico teorico-sperimentale di componenti meccanici: modelli teorici e nuove applicazioni digitali

Il filone di ricerca riguarda prevalentemente la tribologia. Le attività di ricerca svolte hanno riguardato:

Tenute meccaniche frontali per applicazioni in ambito automotive: modello tribo-dinamico e banco tribologico. Perfezionamento ed ottimizzazione di un modello tribo-dinamico di tenute meccaniche per la previsione del fenomeno dello stick-slip, del rumore associato e delle instabilità dinamiche dovute all'attrito [1-2], con validazione dei risultati mediante confronto con misure ottenute da un banco tribologico dedicato. Le simulazioni numeriche hanno dimostrato quanto le condizioni critiche di servizio varino con i parametri di progetto (massa, momento di inerzia, coefficiente di smorzamento, viscosità dinamica, coefficiente di attrito dinamico, deviazione standard della rugosità e della velocità di rotazione dell'albero, resistenza a compressione) fornendo indicazione per progettare tenute più efficienti. Inoltre, con lo scopo di implementare all'interno del modello gli andamenti di temperatura su entrambi gli anelli di tenuta, il banco è stato arricchito con una nuova catena termometrica wireless, precedentemente calibrata e validata in laboratorio [3].

Mescolatori planetari di calcestruzzo: studio dell'usura. Studio di una nuova forma di pala di mescolazione avente migliori prestazioni in termini di resistenza all'usura e efficienza di scarico [4-6]. I risultati hanno dimostrato che la nuova pala ha un tasso di usura ridotto del 3% rispetto alla pala tradizionale e un incremento della vita utile. Inoltre la nuova pala migliora la funzione di scarico in termini di efficienza e rapidità (tempi di scarico ridotti dell'8.3%).

Strumenti di misura 3D per la misurazione dell'usura in componenti meccanici. Impiego e analisi di vari strumenti ottici e metodi metrologici 3D per l'analisi e lo studio della distribuzione superficiale dell'usura [5-6]. I risultati hanno mostrato i vantaggi dell'utilizzo di scanner ottici 3D portatili, con precisioni, risoluzioni e accuratezze fino a 30 µm e risultati completi in tempo reale. I componenti possono essere misurati anche senza smontarli. L'applicazione di tali strumenti ha permesso la realizzazione di mappe 3D della distribuzione dell'usura e la misurazione dell'effettivo tasso di usura. Con l'obiettivo di ottenere misure con grado di precisione e accuratezza sempre maggiori sono stati studiati nuovi strumenti ottici 3D e metodi [7-8]. Il risultato è la realizzazione di uno strumento di misura 3D da tavolo da laboratorio con movimentazione automatica a due gradi di libertà.

Rotaie ferroviarie e tranviarie: studio dell'usura in laboratorio e in linea. Test di laboratorio per il rilievo dell'usura su rotaie, con lo scopo di proporre e mettere a punto un metodo automatico per monitorare lo stato delle infrastrutture.

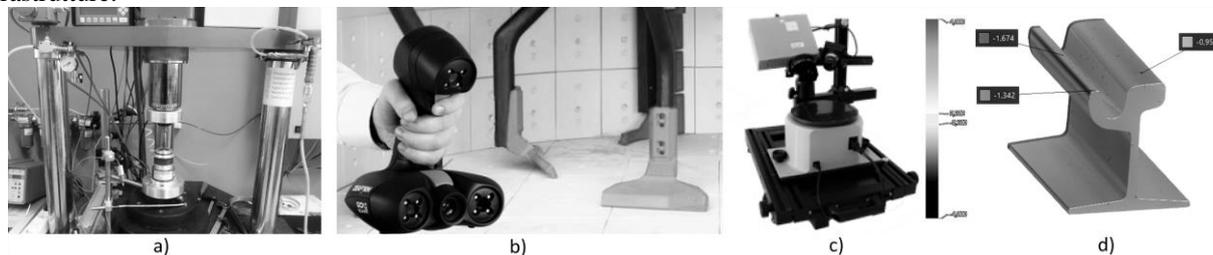


Fig. 1 - Studio tribologico teorico-sperimentale di componenti meccanici: a) banco tribologico, b) scanner portatile e pale di mescolazione, c) scanner da tavolo, d) mappa 3D di usura su rotaia

1. M.C. Valigi, C. Braccesi, **S. Logozzo** "A Parametric Study On Friction Instabilities In Mechanical Face Seals" (2016), Tribology Transactions, in press.
2. M.C. Valigi, C. Braccesi, F. Cianetti, **S. Logozzo** "Stick-slip simulation and detection in mechanical face seals" (2015) Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 13-19 November, Houston, Texas, USA.
3. M.C. Valigi, C. Braccesi, **S. Logozzo**, L. Conti, M. Borasso, "New experimental apparatus for mechanical face seals" (2015), XXII AIMETA 14-17 settembre 2015, Genova, Italia.
4. M.C. Valigi, **S. Logozzo**, M. Rinchi "Wear resistance of blades in planetary concrete mixers. Design of a new improved blade shape and 2D validation" (2016), Tribology International, vol. 96, pp. 191-201.
5. M.C. Valigi, **S. Logozzo**, I. Gasperini "Study of wear of planetary concrete mixer blades using a 3D optical scanner" (2015), Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 13-19 November, Houston, Texas, USA.
6. M.C. Valigi, **S. Logozzo**, M. Rinchi "Wear resistance of blades in planetary concrete mixers. Part II: 3D validation of a new mixing blade design and efficiency evaluation", Tribology International, in press.
7. **Logozzo S.** (2016). Dispositivo per il rilievo digitale intraorale di almeno una porzione di dentatura e relativo metodo. Italian Patent Office, PG2013A000007. Depositato il 11.02.2013, Concesso il 05.01.2016, numero di concessione 1420277.
8. M.C. Valigi, **S. Logozzo**, G. Canella "A new automated 2 DOFs 3D desktop optical scanner", manuscript submitted to First International Conference of IFToMM ITALY, Dec. 1-2, 2016, Vicenza.

Daniela Maffiodo
Politecnico di TORINO
Biomeccanica funzionale

Un ampio filone di ricerca nell'ambito della biomeccanica funzionale è stato sviluppato negli ultimi anni dal gruppo costituito dal Prof. Carlo Ferraresi, da Daniela Maffiodo e da Walter Franco. Ad oggi esso comprende i seguenti temi principali:

(1) Dispositivi pneumatici intermittenti IPC (Intermittent Pneumatic Compression) per la riabilitazione cardiocircolatoria. Gli IPC commerciali sono comunemente utilizzati in diverse applicazioni cliniche (prevenzione della trombosi profonda, terapia delle ulcere venose e del linfedema). Un possibile effetto sistemico di tali dispositivi sul sistema cardiocircolatorio è invece tuttora poco noto. Sono stati realizzati vari prototipi (Fig.1a) in cui è possibile controllare con una definita dinamica il pattern di pressione esercitata sull'arto trattato, con l'obiettivo di migliorare il ritorno venoso al cuore in persone con ridotta mobilità. Prove sperimentali sono state condotte per valutare la variazione dei parametri cardiaci indotti dal dispositivo (collaborazione con il Lab. Medicina dello Sport dell'Università di Cagliari, Prof. A. Concu). Per la simulazione uomo-macchina, sia a livello periferico (contatto dispositivo-arto) sia a livello centrale (sistema cardiocircolatorio) sono stati realizzati specifici modelli numerici (collaborazione con Prof. U. Morbiducci, DIMEAS Politecnico di Torino). Un ulteriore effetto della IPC consiste in fenomeni di dilatazione rapida, ossia incremento di perfusione e diminuzione delle resistenze periferiche. Nuovi prototipi, adatti a questo studio, sono in fase di realizzazione (collaborazione con il Lab. Neuroscienze dell'Università di Torino, Prof. S. Roatta).

(2) Ortesi articolate di caviglia HAFO (hinged ankle foot orthosis) con giunto flottante. Le HAFO sono dispositivi generalmente poco rispettosi delle caratteristiche cinematiche articolari specifiche del paziente. L'ortesi articolata ideata (Fig.1b) si basa invece sull'adattamento del movimento relativo tra gli scafi della gamba e del piede a quello naturale della caviglia del singolo utente. Questo risultato si ottiene tramite un particolare giunto flottante, il cui studio ha portato al deposito di un brevetto (collaborazione con Istituto Ortopedico Rizzoli di Bologna, prof. A. Leardini). Le caratteristiche costruttive dell'ortesi si basano sull'identificazione della cinematica articolare naturale del soggetto. Tale identificazione richiede la definizione di protocolli riguardanti sia il metodo di analisi sia le tecniche di elaborazione dei dati, tuttora oggetto di ricerca in collaborazione con IOR.

(3) Studio del controllo posturale: vengono studiati particolari dispositivi, appositamente strumentati e controllati (Fig.1c), in grado di esercitare e misurare forze impulsive diverse in direzione e valore energetico, che rappresentino un disturbo per il controllo posturale di un individuo.

(4) Ortesi strumentate per riabilitazione del gomito: ortesi (Fig.1d) con misura di coppia articolare, angolo di flessione, attivazione muscolare per una valutazione oggettiva della condizione fisiologica e per la definizione di protocolli terapeutici.



Fig. 1- a) prove cliniche con prototipo IPC; b) HAFO con giunto flottante; c) particolare per il dispositivo di perturbazione della postura; d) ortesi strumentata di gomito

- Maffiodo, Daniela; De Nisco, Giuseppe; Gallo, Diego; Audenino, Alberto; Morbiducci, Umberto; Ferraresi, Carlo (2016) A reduced-order model-based study on the effect of intermittent pneumatic compression of limbs on the cardiovascular system, In: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. PART H, JOURNAL OF ENGINEERING IN MEDICINE SAGE Publications Ltd, pp 9, pagine 279-287, ISSN: 0954-4119
- Ferraresi, Carlo; Maffiodo, Daniela; Hajimirzaalian, Hamidreza (2015) Simulation and Control of a Robotic Device for Cardio-Circulatory Rehabilitation, In: Advances in Robot Design and Intelligent Control / Borangiu Theodor Springer, pp 9, pagine 357-365, ISBN: 978-3-319-21290-6
- C. Ferraresi;D. Maffiodo;H. Hajimirzaalian (2014) A model-based method for the design of intermittent pneumatic compression systems acting on humans, In: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. PART H, JOURNAL OF ENGINEERING IN MEDICINE LONDON:SAGE PUBLICATIONS LTD, pp 9, pagine 118-126, ISSN: 0954-4119
- Leardini, A.; Ferraresi, C.; Franco, W.; Maffiodo, D. "Ortesi piede-caviglia articolata con asse di rotazione flottante" Brevetto P1636IT00 di: POLITECNICO DI TORINO e ISTITUTO ORTOPEDICO RIZZOLI
- Leardini, A.; Ferraresi, C.; De Benedictis, C.; Franco, W.; Maffiodo, D. "Design of Hinged Ankle-Foot Orthosis based on natural joint kinematics" Foot and Ankle Surgery - ISSN:1268-7731 vol. 22 (2) pp.34-34, 2016 (DOI:10.1016/j.fas.2016.05.075).

Alberto Martini

DIN – Università di Bologna, sede di Forlì

Compensazione passiva dei carichi gravitazionali in applicazioni robotiche

Numerosi studi hanno dimostrato come la compensazione dei carichi gravitazionali (o bilanciamento statico) tramite l'installazione di dispositivi passivi possa consentire una significativa riduzione dei carichi richiesti agli attuatori (e quindi della potenza assorbita) in manipolatori ad architettura sia seriale che parallela. In campo industriale, i sistemi di bilanciamento statico sono componenti essenziali dei robot articolati per applicazioni pesanti. Significativi benefici sono ottenibili anche per manipolatori paralleli caratterizzati da dinamiche medio/basse e *end effector* pesanti (quali, ad esempio, *PKM* per lavorazioni meccaniche, robot per applicazioni chirurgiche e sistemi flessibili di *feeding* e *fixturing* in linee automatizzate), il cui impiego è in costante aumento.

La ricerca si propone di ideare ed implementare soluzioni efficaci di bilanciamento statico di meccanismi, con particolare interesse per le applicazioni robotiche ad architettura parallela menzionate, al fine di migliorarne le prestazioni in termini di efficienza energetica e sicurezza, specifiche progettuali sempre più centrali nello sviluppo di nuovi sistemi. L'indagine è focalizzata sullo sviluppo di dispositivi di bilanciamento ottenuti tramite tecnologie fondamentalmente a basso costo e di semplice implementazione. In particolare, si considerano principalmente soluzioni realizzate tramite l'installazione di combinazioni di contrappesi e molle, ottenibili, ad esempio, mediante l'approccio sviluppato in [1], basato sui generatori di forza costante e in grado di gestire la compresenza di entrambe le tipologie di dispositivi bilancianti. Lo studio mira ad ottimizzare i parametri di bilanciamento tenendo conto delle prestazioni dinamiche del meccanismo nell'esecuzione delle operazioni più tipiche, in modo tale da ottenere una riduzione dell'assorbimento energetico per generiche condizioni di funzionamento [2,3]. In quest'ottica, l'analisi degli effetti dei dispositivi di bilanciamento sul comportamento dinamico del sistema risulta essenziale per valutare correttamente benefici e svantaggi effettivi [4].

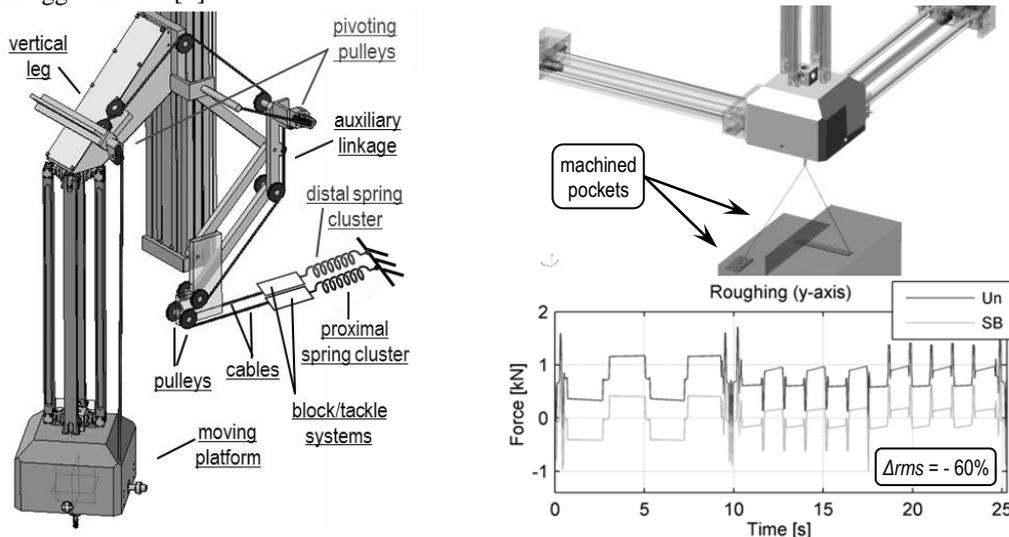


Fig. 1 – Bilanciamento statico di *PKM* ad architettura *Linear-Delta* per lavorazioni meccaniche [3].

Obiettivo della ricerca è anche studiare la possibile estensione di strategie di bilanciamento a settori ancora scarsamente investigati in tal senso. Due applicazioni robotiche appaiono particolarmente promettenti. La prima è rappresentata dai robot a cavi, sistemi che presentano numerose analogie con i robot paralleli. In particolare, la necessità di mantenere una tensione minima sui cavi comporta una potenza installata elevata in rapporto al *payload*, generando problematiche assimilabili al tema del bilanciamento statico. La seconda include due applicazioni affini e oggetto di crescente interesse, quali le macchine autonome camminanti e gli esoscheletri di potenziamento per arti inferiori, che vedono tra le principali problematiche ancora irrisolte una ridotta autonomia operativa, dovuta alle limitazioni delle tecnologie esistenti per l'accumulo di energia. Per tali sistemi, la possibilità di abbattere i consumi tramite lo sviluppo di opportune strategie di compensazione statica appare potenzialmente molto interessante.

1. A. Martini, M. Troncosi, M. Carricato, A. Rivola, "Elastodynamic behaviour of balanced closed-loop mechanisms: numerical analysis of a four-bar linkage," *Meccanica*, 49(3), pp. 601–614, 2014.
2. R. Carrabotta, A. Martini, M. Troncosi, A. Rivola, "Optimal static balancing of a spatial palletizing robot," *Proc. of the ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics*, Barcelona, Spain, pp. 817–827, 2015.
3. A. Martini, M. Troncosi, M. Carricato, A. Rivola, "Static balancing of a parallel kinematics machine with Linear-Delta architecture: theory, design and numerical investigation," *Mechanism and Machine Theory* 90, pp. 128–141, 2015.
4. A. Martini, M. Troncosi, A. Rivola, "Elastodynamic effects of mass-balancing: experimental investigation of a four-bar linkage," *Advances in Mechanical Engineering*, pp. 1–10, 2013.

Lorenza Mattei
Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Pisa
Simulazione numerica dell'usura in protesi articolari

Scopo dell'attività di ricerca

L'usura delle protesi articolari rimane ancora oggi uno dei principali motivi di fallimento dell'intervento chirurgico. Moltissime indagini sperimentali sono state rivolte alla caratterizzazione dell'usura delle protesi, mentre pochi sono gli studi numerici rinvenibili in letteratura. Per contro, i modelli di usura hanno il vantaggio di poter fornire rapidamente e a basso costo indicazioni sul danneggiamento a lungo termine dell'impianto. Per questo motivo l'attività di ricerca è stata focalizzata sullo sviluppo di modelli predittivi di usura per protesi di tipo *ball-in-socket*, tra cui le protesi di anca (*PA*) (testa-coppa: metallo-plastica, *MoP*; metallo-metallo, *MoM*) e di spalla (*PS*) (*MoP*).

Modelli di usura analitici

Diversamente dai modelli ad elementi finiti (*EF*) di letteratura, i modelli sviluppati sono analitici (implementati in Mathcad® e Mathematica®) e parametrici, consentendo simulazioni di milioni di cicli di usura in pochi minuti, e rapide analisi di sensibilità a design, carico/cinematica. Nei modelli *MoP* sola la coppa in UHMWPE si usura esibendo il fenomeno di *cross-shearing*, cioè un riorientamento locale delle catene polimeriche che causa una variazione della resistenza all'usura. Il *cross-shearing*, in accordo alla letteratura, è stato simulato sia con la legge di Archard, assumendo un coefficiente di usura *k* variabile sulla superficie di contatto, sia con una legge di usura proposta per il UHMWPE. Dall'altro lato, nei modelli *MoM* sia la coppa che la testina si usurano secondo la legge di Archard e *k* è considerato costante. I modelli hanno permesso di studiare alcuni aspetti critici emersi dalla letteratura.

- i) Le varie leggi di usura ed espressioni di *k* per impianti *MoP* sono state confrontate utilizzando il modello di *PA* [1]: i risultati hanno dimostrato che, a parità di condizioni simulate, i volumi e le mappe di usura predette risultano significativamente diverse. Lo studio evidenzia la necessità di ulteriori indagini per la validazione di queste leggi/*k*.
- ii) I modelli di letteratura di *PA* in *MoM* assumono che coppa e testa si usurino allo stesso modo, cioè abbiano lo stesso *k*. In realtà, l'usura può ripartirsi in maniera diversa tra i due elementi, in base alle condizioni operative. In [2] è stato proposto un nuovo approccio per la stima di due *k* distinti per coppa e testa, a partire dalle rispettive misure di volume usurato. Per i casi simulati, il *k* della testa è risultato fino a tre volte superiore quello della coppa.
- iii) I modelli di letteratura di *PS* assumono i valori/espressioni di *k* di *PA*, sebbene le due protesi abbiano design e condizioni di lavoro ben diverse. Al fine di valutare l'entità dell'errore così introdotto, simulazioni numeriche e sperimentali sono state combinate per valutare *k* specifici per *PS* [3] che sono risultati tre volte maggiori dei *k* di *PA*.

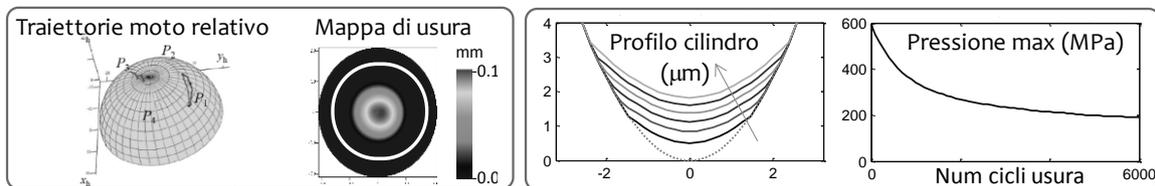


Fig. 1 – Risultati tipici del modello analitico di protesi *MoP* (sn) e del modello ad *EF* di cilindro-piano (dx).

Modelli di usura ad elementi finiti

Uno dei maggiori limiti dei modelli analitici sviluppati consiste nel calcolo dell'usura sulla base della geometria iniziale, non usurata. Allo scopo di superare questo limite, l'attività di ricerca è stata rivolta allo sviluppo di modelli di usura a *EF* che, sebbene più complessi e computazionalmente onerosi (simulazioni di ore), permettono di implementare la variazione della geometria. Come primo caso studio, è stato considerato un cilindro strisciante su un piano, con moto rettilineo alternato [4]. Il modello, sviluppato in ABAQUS® mediante la user-subroutine UMESHMOTION, ha permesso di studiare l'influenza del fattore di partizione dell'usura tra le due superfici (α) in condizioni di *sliding* e *fretting*. I risultati hanno dimostrato l'importante ruolo di α sull'evoluzione dei profili di usura e delle variabili di contatto.

Validazione sperimentale dei modelli

Allo scopo di acquisire mappe di usura per la validazione dei modelli numerici, recentemente una macchina di misura a coordinate è stata opportunamente modificata. Rilievi della geometria usurata di coppe di *PS* [3] sono attualmente in corso. Il danneggiamento delle superfici sarà indagato anche mediante profilometro e microscopio ottico/elettronico.

1. Mattei L, Di Puccio F and Ciulli E, A comparative study on wear laws for soft-on-hard hip implants using a mathematical wear model, Tribol Int, 2013, 63:66-77
2. Di Puccio F and Mattei L, A novel approach to the estimation and application of the wear coefficient of metal-on-metal hip implants, Tribol Int, 2015, 83:69-76
3. Mattei L, Di Puccio F, Joyce TJ and Ciulli E, Numerical and experimental investigations for the evaluation of the wear coefficient of reverse total shoulder prostheses, J Mech Behav Biomed Mater, 2016, 55:53-66
4. Mattei L and Di Puccio F, Influence of the wear partition factor on wear evolution modelling of sliding surfaces, International Journal of Mechanical Science, 2015, 99:72-88

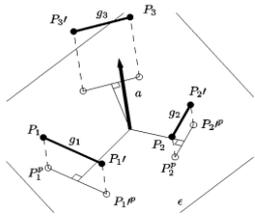
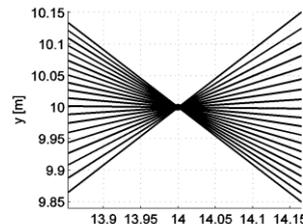
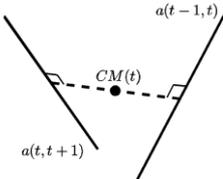
Stefano Mauro
Politecnico di Torino

Metodi per la caratterizzazione meccanica e fisica di un corpo orbitante nello spazio ai fini della rimozione dei detriti spaziali

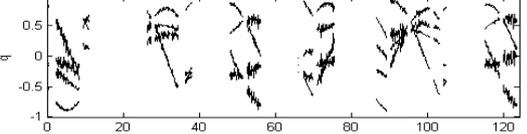
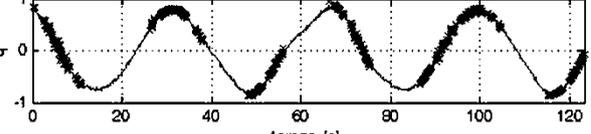
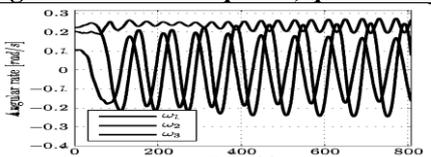
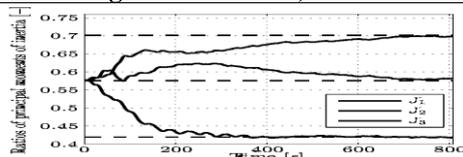
L'attività spaziale svolta dal 1957 in avanti ha provocato il sovraffollamento delle orbite di maggiore interesse scientifico e commerciale, in cui sono presenti oltre 17000 corpi passivi indicati in letteratura col termine *space debris*. Come conseguenza oggi occorre programmare missioni durante le quali un satellite cacciatore catturi un residuo e ne provochi il rientro controllato a Terra o l'espulsione verso lo Spazio. Per poter effettuare le manovre è necessario disporre di una stima della velocità angolare del bersaglio e delle proprietà inerziali al fine di poter valutare preventivamente le azioni scambiate durante la cattura ed effettuare correttamente la manovra di uscita dall'orbita.

Il progetto di ricerca presentato studia metodologie di analisi del segnale finalizzate a stimare la velocità angolare e la distribuzione di massa di un corpo orbitante tramite l'elaborazione di dati ottenuti dall'osservazione delle traiettorie seguite da punti notevoli dell'oggetto da catturare. Si prevede che l'osservazione sia effettuata da telecamere stereoscopiche collocate a bordo del satellite cacciatore.

L'individuazione della posizione del baricentro è effettuata individuando il punto intorno al quale ruota il corpo. Questa analisi è effettuata considerando le traiettorie seguite da tre punti per individuare mediante un'analisi puramente cinematica l'asse intorno al quale avviene, in ciascun istante, la rotazione. Individuando tale asse in istanti successivi si individua il centro di massa come intersezione degli assi individuati. In presenza di una traslazione gli assi non si incrociano, e il centro di massa può essere stimato come punto medio del segmento che individua la distanza tra gli assi in istanti di campionamento successivi. Nel corso del progetto sono stati individuati algoritmi per il filtraggio del rumore presente nel segnale rilevato dalle telecamere.

		
<p>Individuazione dell'asse di rotazione</p>	<p>Centro di massa all'intersezione degli assi di rotazione, caso di moto di rotazione pura</p>	<p>Centro di massa alla pseudo-intersezione degli assi di rotazione, rototraslazione</p>

Lo stesso segnale è stato utilizzato per misurare la velocità angolare e la distribuzione di massa. In tutti i casi in cui sia possibile osservare almeno tre punti caratteristici non allineati è possibile individuare un sistema di riferimento solidale al target e quindi è possibile stimarne i quaternioni che ne individuano l'assetto. Questa misura è chiaramente affetta da errori, rumore e periodi di occlusione durante i quali non è possibile vedere un numero sufficiente di punti. Il segnale è quindi rumoroso e discontinuo. Nel corso della ricerca sono stati messi a punto algoritmi di analisi del segnale basati sulla tecnica di *basis pursuit* combinata con l'uso di filtri di Kalman *unscented* che permettono di ricostruire il segnale mancante e di ottenere una funzione derivabile che porta a una stima soddisfacente della velocità angolare e della distribuzione di massa, elaborando questo dato alla luce delle equazioni del moto di un corpo orbitante.

	
<p>Segnale di assetto acquisito, quaternioni</p> 	<p>Segnale ricostruito, assetto</p> 
<p>Velocità angolare stimata</p>	<p>Momenti d'inerzia adimensionalizzati, convergenza dell'algoritmo di identificazione</p>

[1] G. Biondi, S. Mauro, T. Mohtar, S. Pastorelli, M. Sorli, Attitude recovery from feature tracking for estimating angular rate of non-cooperative spacecraft, Mechanical Systems and Signal Processing, in press

Laura Mazzola

Dipartimento di Meccanica – Politecnico di Milano

ETR1000 – Sistema di diagnostica per l’armamento ferroviario

L’attività di ricerca, finanziata dal Joint Research Center (JRC) del Politecnico di Milano ed avviata fine 2015, consiste nella progettazione e realizzazione di un sistema diagnostico innovativo per l’infrastruttura da implementare sulla flotta del treno AV ETR1000.

Attraverso l’impiego di sensori accelerometrici già installati a bordo del veicolo ETR1000, si sta implementando e definendo non solo un sistema di diagnostica dell’infrastruttura ma anche una metodologia innovativa, che basandosi sulle misure accelerometriche di tutta la flotta ETR1000 a disposizione di Trenitalia, fornisca al gestore della rete opportune informazioni a riguardo del degrado dell’infrastruttura di binario (e.g. stato ed evoluzione), e permetta non solo il tempestivo intervento nel caso di condizioni anomale, ma una adeguata programmazione della manutenzione volta all’incremento della sostenibilità del sistema ferroviario. In linea con quanto previsto dai programmi Horizon 2020, la ricerca ha come obiettivo quello di integrare i tradizionali metodi di rilievo dello stato del binario con uno innovativo e vantaggioso che impieghi treni commerciali. Per quanto concerne la metodologia diagnostica, si impiega l’approccio Statistical Process Control (SPC), già utilizzato in vari ambiti per il controllo di processo. E’ così possibile gestire una elevata mole di dati in modo affidabile ed identificare la velocità dell’evoluzione del degrado dell’infrastruttura, nonché lo stato del binario in riferimento ad un livello di ottimo definito dal gestore, scorpendo le dipendenze dei dati acquisiti dalla velocità del convoglio, variabilità delle caratteristiche del veicolo, tipologia di linea.

In primis è necessario identificare una grandezza sintetica che fornisca una misura indiretta dello stato del binario: il valore r.m.s. calcolato ogni 250 m dei segnali di accelerazione carrello e cassa, opportunamente filtrati al fine di evidenziare le componenti di interesse, rappresenta un buon compromesso in termini di semplicità di rielaborazione e correlazione con lo stato della linea.

Fondamentale è l’individuazione della firma della linea ovvero l’analisi delle caratteristiche del tracciato e delle opere presenti (e.g. viadotti, ponti etc) per definire in modo adeguato il campione statistico a cui applicare il modello SPC per l’identificazione del livello di riferimento e della carta di controllo. E’ infatti noto come la risposta dinamica del veicolo ferroviario vari in funzione non solo dello stato del binario, ma anche delle opere. E’ ad esempio necessario definire carte di controllo dedicate qualora si valuti lo stato di ponti e/o viadotti

Una volta identificato il livello di riferimento che coincide con il limite superiore del campione è opportuno verificare che questi stia rappresentando un processo in controllo. Infine è possibile realizzare differenti carte di controllo che forniscono le informazioni necessarie per la manutenzione (e.g. carta di controllo nello spazio e carta di controllo nel tempo). In figura 1 si propone un esempio di carta di controllo nello spazio che riporta per un tratto di linea AV, il limite di riferimento (linea continua), due rilievi accelerometrici eseguiti prima (rombo) e dopo (asterisco) la manutenzione. È possibile osservare come la carta di controllo permetta di verificare l’effetto dell’intervento manutentivo ma anche di individuare le sezioni maggiormente interessate dal degrado.

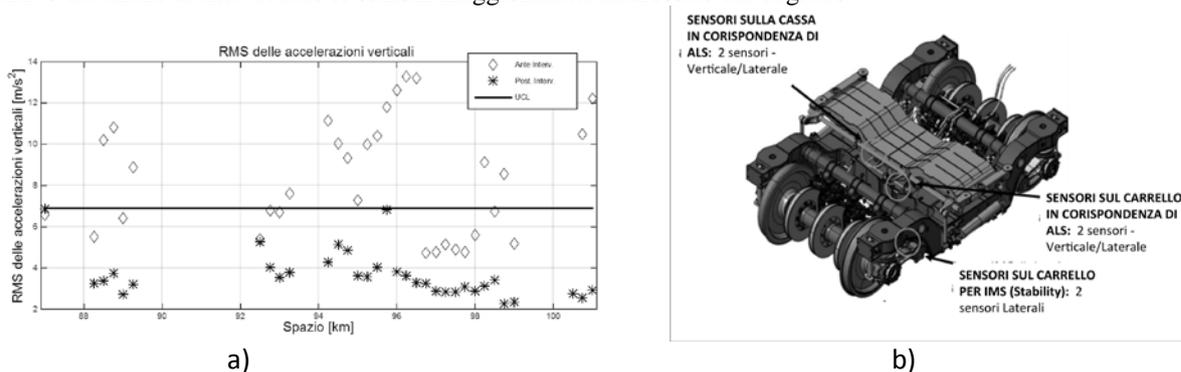


Fig. 1: a) Esempio di Carta di controllo spaziale sugli r.m.s. delle accelerazioni verticali. Linea nera: limite di riferimento b) Sistema di acquisizione

Pur essendo alla sua prima fase di implementazione, il metodo appare promettente. E’ fondamentale per il suo effettivo utilizzo non solo progettare in modo attento la catena di trasmissione di dati da bordo a terra, ma realizzare un sistema di localizzazione del treno lungo la linea che sia affidabile e robusto.

Si prevede a breve di poter pubblicare i risultati ottenuti.

Enrico Meli
Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Firenze
Sistemi ferroviari innovativi

Nell'ambito dello sviluppo di sistemi ferroviari innovativi, la ricerca si è focalizzata sui seguenti argomenti di particolare interesse scientifico ed industriale:

- Modellazione ed ottimizzazione della dinamica di marcia di veicoli ferroviari, miglioramento del comfort e della sicurezza (Fig. 1.a) [1][2].
- Studio dell'interazione ruota-rotaia (ottimizzazione del contatto ruota-rotaia e dei relativi profili, miglioramento della marcia in condizioni di aderenza degradata ed ottimizzazione dell'usura) [1][3].
- Sviluppo di sottosistemi di bordo innovativi (controllo della trazione, della frenatura e della stabilità) [2].
- Modellazione ed ottimizzazione dell'interazione veicolo-tracciato, miglioramento delle tecniche di monitoraggio e di manutenzione predittiva [4].
- Sviluppo e collaudo di banchi prova innovativi scaled e full-scale per veicoli ferroviari (Fig. 1.b) [2].
- Studio dell'interazione tra veicoli, rete elettrica e sistemi di accumulo di energia [5].

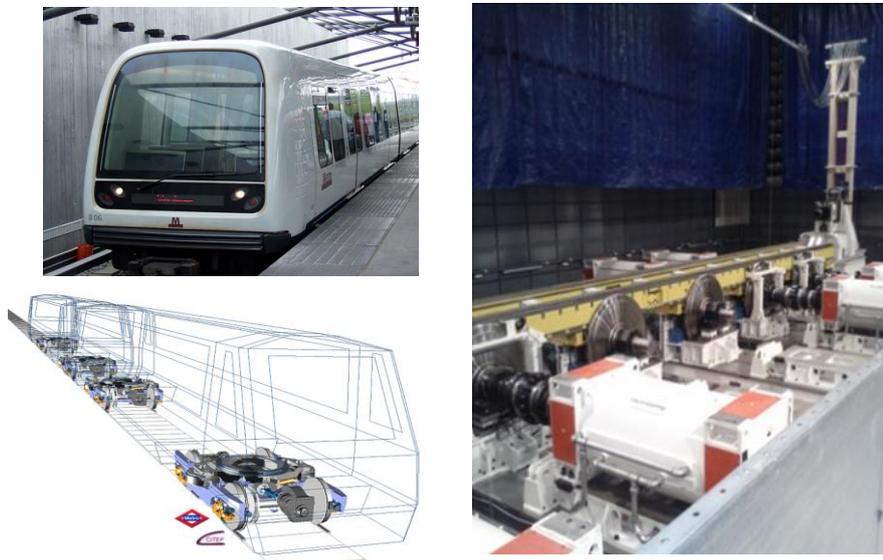


Fig. 1 – a) Studio ed ottimizzazione della dinamica di marcia [1][3] b) Sviluppo e collaudo di banchi prova [2]

Le attività in questione sono state condotte nell'ambito di progetti ricerca nazionali ed internazionali in collaborazione con numerosi partner accademici (Politecnico di Milano, Università di Pisa, Università di Napoli, Delft University, Southwest Jiaotong University, University of Iowa, University of Seville, etc.) ed industriali (Ferrovie dello Stato, Hitachi Rail, Ansaldo, Alstom, GE Transportation, Bombardier, etc.) [6][7].

Si riportano in seguito alcuni dei progetti più importanti condotti nel corso degli ultimi anni ed alcuni dei lavori più rappresentativi pubblicati su importanti riviste internazionali del settore:

[1] S. Falomi, M. Malvezzi, E. Meli, A. Rindi. Determination of wheel – rail contact points with semianalytic methods. **Multibody System Dynamics**, 20, 4, pp. 327 – 358, 2008.

[2] R. Conti, E. Meli, A. Ridolfi. A full-scale roller-rig for railway vehicles: multibody modelling and Hardware In the Loop architecture. **Multibody System Dynamics**, 37, 1, pp. 69-93, 2016.

[3] A. Innocenti, L. Marini, E. Meli, G. Pallini, A. Rindi. Development of a wear model for the analysis of complex railway networks. **Wear**, 309, pp. 174 – 191, 2013.

[4] B. Allotta, P. D'Adamio, L. Marini, E. Meli, L. Pugi, A. Rindi. A New Strategy for Dynamic Weighing in Motion of Railway Vehicles. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, 16, 6, pp. 3520-3533, 2015.

[5] R. Conti, E. Galardi, E. Meli, D. Nociolini, L. Pugi, A. Rindi. Energy and wear optimization of train longitudinal dynamics and of traction and braking systems. **Vehicle System Dynamics**, 53, 5, pp. 651-671, 2015.

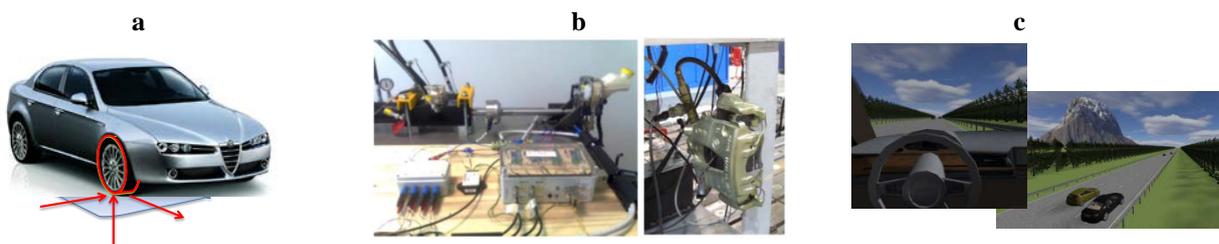
[6] **Project: Techniques and tools for enhancing environmental sustainability of rail transport systems (TESYS RAIL)**. National Project funded by the Italian Ministry of Education, Universities and Research (MIUR) (total funding: 10.8M€).

[7] **Project: Train Control Enhancement via Information Technology (TRACE IT)**. National Project funded by the Tuscany Region (Italy) (total funding: 11.8M€).

Stefano Melzi
Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano
Elettronica, controlli attivi e veicoli autonomi

I costanti sviluppi dell'elettronica mettono a disposizione sensori di misura miniaturizzati, a basso costo e di grande precisione. La stessa elettronica consente oggi velocità di elaborazione di dati impensabili fino a poco tempo fa, rendendo possibile l'acquisizione e l'elaborazione di una significativa mole di dati in tempo reale. Come accade in altri ambiti, anche per i veicoli nasce l'idea ampliare la rete di sensori a bordo in modo da trasformare alcuni componenti strutturali come il telaio, le sospensioni, gli pneumatici in elementi in grado di fornire informazioni sullo stato del veicolo e dell'ambiente in cui si muove. Questi nuovi sensori aprono la strada alla nascita di nuove logiche di controllo attivo e di assistenza alla guida e, come estrema conseguenza, alla realizzazione di veicoli a guida autonoma. La ricerca in ambito automotive del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano si muove anche in questo campo e sviluppandolo in tre direzioni.

- Sensoristica a bordo veicolo (Fig. 1 - a). Da diversi anni il Dipartimento di Meccanica lavora in collaborazione con Pirelli Tyre, allo sviluppo di uno smart tire, ovvero di uno pneumatico sensorizzato. La ricerca ha portato alla commercializzazione delle prime versioni di questo componente su flotte di veicoli pesanti. Rendere lo pneumatico un elemento "attivo" consente di avere informazioni dirette sull'interazione con la strada, in particolare su: forze di contatto, stato della strada (presenza di neve, livello di irregolarità), stato dello pneumatico (pressione, usura, innesco di hydroplaning). Le informazioni ottenute attraverso lo smart tire possono essere impiegate inoltre per irrobustire gli stimatori di alcune grandezze non direttamente misurabili a bordo veicolo, come l'angolo di assetto.
- Nuove logiche di controllo (Fig. 1 - b). Partendo dall'esperienza maturata sul controllo dei differenziali (collaborazione con Ferrari S.p.A), il Dipartimento di Meccanica lavora allo sviluppo di sistemi AWD basati sulla retroazione della forza di contatto longitudinale e quindi del momento imbardante effettivamente generato. Vengono presi in considerazione sistemi pensati sia per veicoli tradizionali (uso indipendente delle pinze freno) che per veicoli dotati di motori elettrici indipendenti sulle quattro ruote.
- Veicoli a guida autonoma (Fig. 1 - c). Riduzione del numero di vittime di incidenti, riduzione dei consumi e dei tempi di percorrenza (quindi riduzione dell'impatto ambientale). Considerati questi vantaggi, si attende che i veicoli autonomi inizino a diffondersi nel prossimo decennio. Il Dipartimento di Meccanica ha iniziato a lavorare su logiche di platooning nel decennio scorso; oggi collabora attivamente con TU Delft e ha collaborato con University of Illinois Urbana-Champaign e UC Berkeley per lo sviluppo di logiche di inseguimento di traiettoria e di interazione con altri veicoli attraverso simulazioni numeriche e sperimentazione mediante l'uso di prototipi e veicoli strumentati.



Didascalia: Fig. 1 – a) smart tires; b) logiche di controllo innovative; c) veicoli a guida autonoma.

1. Sabbioni, E., Ivone, D., Braghin, F., and Cheli, F., "In-tyre sensors induced benefits on sideslip angle and friction coefficient estimation," SAE Technical Paper 2015-01-1510, 2015, doi:10.4271/2015-01-1510.
2. Cheli F., Melzi S., Sabbioni E. (2013). Development of an ESP control logic based on force measurements provided by smart tires. Sae International Journal Of Passenger Cars - Mechanical Systems, vol. 6, p.43-51, ISSN: 1946-3995, doi: 10.4271/2013-01-
3. Arrigoni, S; Cheli, F (2015). MPC-based framework for autonomous ground vehicles in a complex environment. DOI:10.1201/b21185-72. pp.669-678. In Proceedings of the 24th Symposium of the International Association for Vehicle System Dynamics (IAVSD 2015) 2015.

Massimiliano Merola
Università degli Studi di Salerno
(Bio)Tribologia delle articolazioni degli arti inferiori

Il gruppo di ricerca, formato da ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Salerno e da ricercatori del Laboratorio di Tecnologia Medica dell'Istituto Rizzoli, nasce da una cooperazione tra il prof. Alessandro Ruggiero e il dott. Saverio Affatato. Il gruppo indaga sulla (bio)tribologia delle principali articolazioni sinoviali degli arti inferiori del corpo umano (caviglia, ginocchio e anca) e delle rispettive componenti protesiche.

Negli ultimi anni le ricerche hanno consentito di ottenere una mole notevole di risultati, illustrati in dettaglio nei lavori scientifici pubblicati su riviste del settore. Uno dei primi studi in tale ambito si è concentrato sulla modellazione analitica dei meccanismi della lubrificazione naturale della caviglia [1,2]. In tali lavori si è valutata la possibilità di poter usare una soluzione in forma chiusa alle equazioni di Stokes. Nel modello sono stati introdotti la porosità della superficie cartilaginea e la presenza di sforzi accoppiati e successivamente, il comportamento non newtoniano del fluido sinoviale. I risultati ottenuti confermano un buon accordo con risoluzioni numeriche presenti in letteratura.

Obiettivo del lavoro [3] è stato quello di sviluppare un protocollo per la caratterizzazione della rugosità superficiale per le protesi totali di ginocchio a valle di simulazione *in-vitro* o espianto. Tale studio ha mirato ad individuare quali tra i diversi indicatori di rugosità fossero quelli più adatti a descrivere lo stato di finitura della componente metallica. Un ulteriore studio riguardante l'articolazione del ginocchio ha interessato la dinamica a cui essa è sottoposta. L'analisi è stata svolta tramite un modello multibody, sviluppato con il software AnyBody Modeling System™. Tale studio ha confermato una tesi, ampiamente sostenuta in letteratura, secondo cui la attuale norma (ISO 14243-1) per la simulazione *in-vitro* non permetta una ricostruzione veritiera dei cicli di carico a cui il ginocchio è sottoposto.

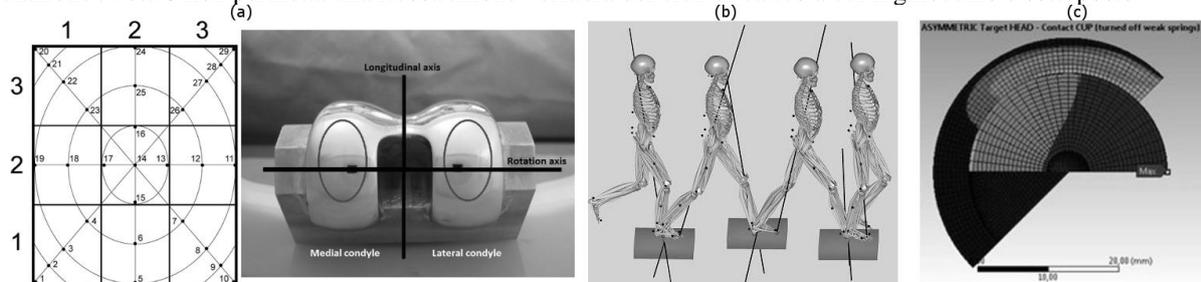


Fig. 1 – a) Punti di interesse per analisi di rugosità su protesi di ginocchio b) Modello muscoloscheletrico della camminata c) Modello FEM di una protesi d'anca: testa-coppa

Sull'articolazione dell'anca è stata effettuata preliminarmente una review [4] dei materiali compositi attualmente utilizzati e di quelli in fase di sviluppo per la realizzazione di protesi. Da questo studio è emerso il continuo sforzo ingegneristico atto ad ottenere materiali biocompatibili con elevata resistenza all'usura. Nell'ultimo decennio particolare interesse ha suscitato il fenomeno del Metal Transfer (MT) sulle teste femorali ceramiche; questo si presenta come deposizione di detriti metallici sulla superficie ceramica, alterandone la topografia superficiale. Al fine di caratterizzare il comportamento tribologico delle protesi d'anca affette da MT è stato condotto uno studio su protesi espantate e provenienti da simulazioni *in-vitro* [5,6]. L'analisi ha permesso di determinare l'influenza del MT su diversi indicatori di rugosità e di confrontarne l'intensità su diverse ceramiche.

È ben noto che la comprensione dei meccanismi di usura passa per la determinazione degli stati di sollecitazione a cui le superfici sono sottoposte. A tal scopo è stata realizzata, tramite modellazione agli elementi finiti, una analisi degli sforzi in una coppia testa-coppa di una protesi d'anca. Per ricavare la dinamica della coppia in esame è stato utilizzato un modello multibody analogo a quello usato per l'articolazione del ginocchio. Attualmente gli sforzi del gruppo di ricerca sono rivolti allo studio della lubrificazione delle protesi d'anca ed alla indagine di fenomeni acustici associati all'usura.

Lavori più significativi:

1. Ruggiero A, Gómez E, D'Amato R "Approximate closed-form solution of the synovial fluid film force in the human ankle joint with non-Newtonian lubricant" *Tribology International*, 2013 (57), pp. 156-161.
2. Ruggiero A, Gómez E, D'Amato R. "Approximate analytical model for the squeeze-film lubrication of the human ankle joint with synovial fluid filtrated by articular cartilage." *Tribology Letters*, 2011(41), pp. 337-343.
3. Jaber SA, Ruggiero A, Battaglia S, Affatato S. "On the roughness measurement on knee prostheses" *International Journal of Artificial Organs*, 2015 (38), pp. 39-44.
4. Affatato S, Ruggiero A, Merola M. "Advanced biomaterials in hip joint arthroplasty. A review on polymer and ceramics composites as alternative bearings." *Composite Part B: Engineering*, 2015 (83), pp. 276-283.
5. Affatato S, Ruggiero A, De Mattia JS, Taddei P. "Does metal transfer affect the tribological behaviour of femoral heads? Roughness and phase transformation analyses on retrieved zirconia and Biolox® Delta composites." *Composite Part B: Engineering*, 2016 (92), pp. 290-298.
6. Merola M, Ruggiero A, De Mattia JS, Affatato S. "On the tribological behavior of retrieved hip femoral heads affected by metallic debris. A comparative investigation by stylus and optical profilometer for a new roughness measurement protocol." *Measurement* 2016 (90), pp. 365-371.

Emiliano Mucchi

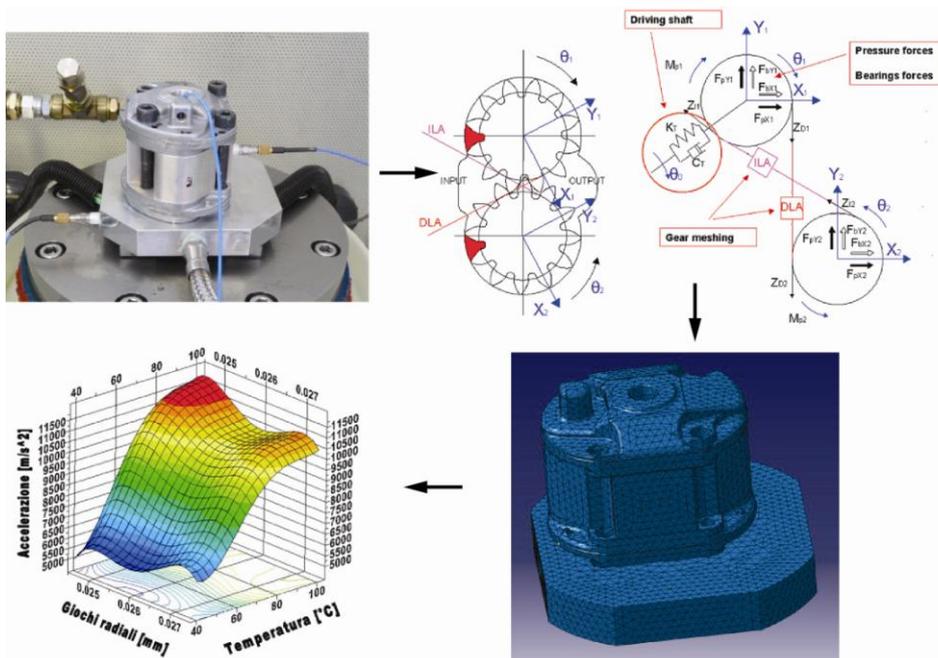
Dipartimento di Ingegneria – Università degli Studi di Ferrara

Modellazione ed ottimizzazione del comportamento dinamico di sistemi meccanici

L'attività di ricerca scientifica riguarda principalmente lo sviluppo di metodologie e di strumenti applicativi, che integrino modellazioni vibro-acustiche ed analisi sperimentali, finalizzati all'ottimizzazione del comportamento vibro-acustico di sistemi meccanici, con particolare riferimento ad applicazioni nel settore *automotive*. Elevati fenomeni vibratorii possono provocare guasti o rotture, eccessiva rumorosità od inadeguata precisione dei meccanismi. Tali problematiche devono essere affrontate e risolte tenendo conto delle influenze reciproche tra le eccitazioni presenti e le caratteristiche vibro-acustiche del sistema stesso, che è di norma un sistema complesso ed altamente non lineare. Per questo la metodologia utilizzata consiste in una stretta interazione tra simulazioni numeriche, ottenute tramite opportuni modelli matematici, ed analisi sperimentali. Nel dettaglio, la metodologia comprende una caratterizzazione vibro-acustica sperimentale, finalizzata all'identificazione delle sorgenti e delle modalità di propagazione delle vibrazioni, la modellazione di parti e componenti critici, la validazione sperimentale dei modelli e il conseguente impiego dei modelli validati per identificare le cause dei problemi ed individuare soluzioni progettuali atte alla loro eliminazione.

La parte quantitativamente più rilevante dell'attività ha riguardato pompe ad ingranaggi esterni per servosterzo automobilistico [1,2] (la ricerca è stata condotta in collaborazione con TRW Automotive Italia e GmbH e con l'Università di Cantabria, Spagna). È stato sviluppato un modello previsionale del comportamento vibro-acustico, tramite l'integrazione di un modello elastodinamico non lineare degli organi in movimento, di un modello FEM del corpo pompa e di un modello di propagazione acustica (BEM). Il modello degli organi in movimento tiene conto in particolare della distribuzione di pressione variabile sulle ruote dentate, dei cuscinetti fluidodinamici e dei fenomeni di ingranamento (rigidezza di ingranamento variabile, rigidezza hertziana, errori di profilo, squeeze del lubrificante). Il modello combinato è stato validato seguendo una metodologia non standard, basata sul confronto tra dati numerici e sperimentali relativi alle forze ed alle vibrazioni rilevate su banco prova, ottenendo risultati soddisfacenti. Il modello validato è stato utilizzato in un processo di ottimizzazione allo scopo di determinare la combinazione ottimale dei parametri operativi e di progetto che riducesse il livello vibro-acustico della pompa in concrete applicazioni di interesse industriale.

Le metodologie menzionate sono state estese ed applicate alla modellazione cineto-elastodinamica non lineare di altri meccanismi complessi quali il meccanismo della distribuzione desmodromica dei motori Ducati MotoGP, trasmissioni di banchi prova motore (Ducati Motor), robot palettizzatori per impiego industriale (Futura Robotica), pompe a palette (Berarma) e alimentatori vibranti (IMA, Fava).



Modellazione cineto-elasto-dinamica di una pompa ad ingranaggi

Lavori più rappresentativi:

1. E. Mucchi, G. Dalpiaz, A. Fernández del Rincón "Elasto-dynamic analysis of a gear pump. Part I: pressure distribution and gear eccentricity", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 24 (2010), pp. 2160-2179.
2. E. Mucchi, G. Dalpiaz, A. Rivola, Elasto-dynamic analysis of a gear pump. Part II: meshing phenomena and simulation results, *Mechanical Systems and Signal Processing* 24 (2010), pp. 2180-2197

Nel corso degli ultimi anni il Dipartimento di Meccanica ha svolto un ruolo attivo nello studio dell'aerodinamica di imbarcazioni, con particolare riferimento alle barche a vela, inserendosi nei contesti internazionali che si occupano dell'aspetto scientifico della tematica ma anche della traduzione degli studi effettuati in codici per la predizione delle prestazioni. Lo studio dell'aerodinamica della vela è volto all'ottimizzazione di piani velici ed è stato realizzato in galleria del vento mediante lo sviluppo di un apposito set-up di misura [1]. Il modello dell'imbarcazione in scala è costituito dalla parte emersa dello scafo, dalle vele realizzate mediante tecnologie simili a quelle utilizzate per le vele reali e da controlli che consentono di riprodurre le medesime regolazioni ottenibili in navigazione. L'ottimizzazione del piano velico si realizza misurando le forze aerodinamiche e le forme delle vele al variare delle regolazioni e dell'angolo di incidenza del vento. Tale attività è stata svolta anche in collaborazione con alcuni consorzi di Coppa America (Prada e Oracle) e con l'International Technical Committee (ITC) dell'Offshore Racing Congress (ORC). In particolare l'attività svolta in collaborazione con ITC ha permesso di sviluppare delle formulazioni empiriche per la definizione dei coefficienti da utilizzare in un codice di predizione delle prestazioni di imbarcazioni a vela (VPP). Un ulteriore approfondimento dell'interazione fluidodinamica tra le vele e il flusso incidente e dell'influenza reciproca tra le due vele è stata realizzata mediante la misura delle pressioni superficiali sulle vele stesse in diverse configurazioni di prova. Il sistema di misurazione delle pressioni è stato realizzato ad hoc mediante l'utilizzo di materiali plastici estremamente flessibili per ridurre gli effetti intrusivi degli strumenti di misura [2]. Il set-up descritto è stato utilizzato per la definizione di coefficienti di forza e di pressione medi; uno studio sugli effetti dinamici dovuti al moto di beccheggio è stato realizzato su un set up semplificato costituito dal solo piano velico movimentato a frequenze ridotte comparabili con quelle del fenomeno al vero [3] Al fine di integrare l'attività di ricerca condotta su modelli in scala, sono state condotte campagne di prove su scala reale. A tale scopo una barca di 10 m completamente strumentata (Sailing Yacht Lab - SYL) è stata progettata per la realizzazione di misure full scale [4]. La barca presenta un telaio interno collegato allo scafo mediante celle estensimetriche: sul telaio è vincolato il piano velico affinché le celle possano misurarne le forze aerodinamiche agenti. La normale strumentazione nautica è quindi presente, mentre un piano velico strumentato mediante prese di pressione è attualmente in fase di realizzazione. L'attività sperimentale negli ultimi anni è stata inoltre affiancata da un'analisi numerica realizzata sia sui piani velici acquisiti durante le prove sia su imbarcazioni a motore di medie e grandi dimensioni. Lo studio dell'aerodinamica delle imbarcazioni a motore ha acquisito importanza sia per la progettazione di modelli più performanti, sia per la riduzione dei consumi, sia per la definizione del comfort a bordo [5].



Fig. 1 – Prove in galleria del vento (sinistra), Sailing Yacht Lab (centro) analisi numerica su mega yacht (destra)

Lavori più rappresentativi:

1. Fossati, F., Muggiasca, S., Maria, I., Zasso, A. Wind tunnel techniques for investigation and optimization of sailing yachts aerodynamics (2006) 2nd High Performance Yacht Design Conference 2006, pp. 105-113.
2. Fossati, F., Bayati, I., Muggiasca, S., Vandone A., Campanardi G., Burch, T., Malandra, M., (2016) Pressure Measurements on Yacht Sails: Development of a New System for Wind Tunnel and Full Scale Testing, the 22nd Chesapeake sailing yacht symposium, Annapolis
3. Fossati, F., Muggiasca, S. Experimental investigation of sail aerodynamic behavior in dynamic conditions (2013) Transactions - Society of Naval Architects and Marine Engineers, 120, pp. 327-367.
4. Fossati F., Bayati I., Orlandini F., Muggiasca S., Vandone A., Mainetti G, Sala R., Bertorello, Begovic E: "A Novel Full Scale Laboratory For Yacht Engineering Research", Ocean Engineering 104 (2015) 219-237.
5. Fossati F., Robustelli F., Schito P., Cuoci A., Derudi M., and Dellepiane S. Experimental and numerical assessment of mega-yacht aerodynamic performances and characteristics. 23rd HISWA International Symposium on Yacht Design and Yacht Construction, November 2014.

Erika Ottaviano

Università di Cassino e del Lazio Meridionale

Progettazione e sperimentazione di dispositivi per l'assistenza motoria e riabilitazione

Attraverso la derivazione di modelli analitici per sistemi di corpi rigidi e deformabili, l'implementazione di opportuni modelli numerici e la costruzione di prototipi sperimentali, la ricerca sviluppa sistemi per l'assistenza motoria e la riabilitazione da utilizzare in ambito domestico con caratteristiche di facilità d'uso e costi contenuti. In particolare, sono stati studiati dispositivi per l'ausilio del cambio postura di un individuo, da seduto ad eretto e viceversa, e sistemi per la simulazione della *mirror therapy*, secondo la quale un individuo realizza con un arto sano una traiettoria e l'arto da riabilitare segue tale movimento con l'ausilio di un sistema a cavi. Le metodologie di analisi prevedono l'uso di sintesi dimensionale tramite generatori di funzioni, di traiettorie e di moto rigido. Per i sistemi a cavi si utilizza un modello di cavo elastico continuo deformabile. Simulazioni del funzionamento sono realizzate per la definizione dell'attuazione e la gestione dei sistemi; soluzioni prototipali di sistemi a cavi sono proposte per la validazione sperimentale.

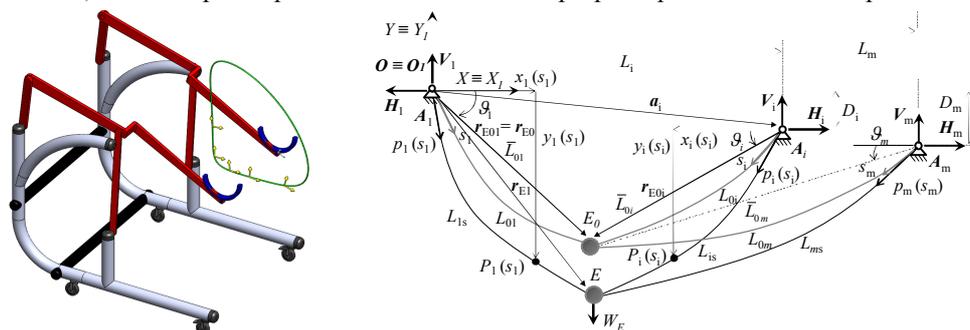


Fig. 1 – Modelli e metodi: a) sintesi dimensionale di meccanismi; b) cavo elastico continuo e deformabile.

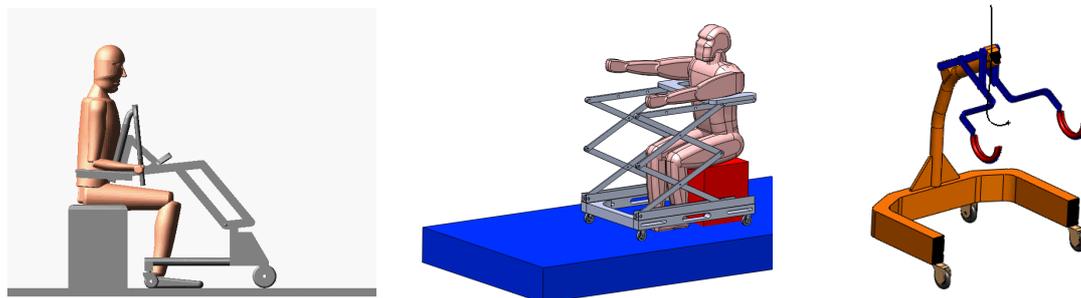


Fig. 2 – Meccanismi per sistemi di assistenza motoria per il cambio postura: a) 3 GdL; b) 2 GdL; c) 1 GdL.

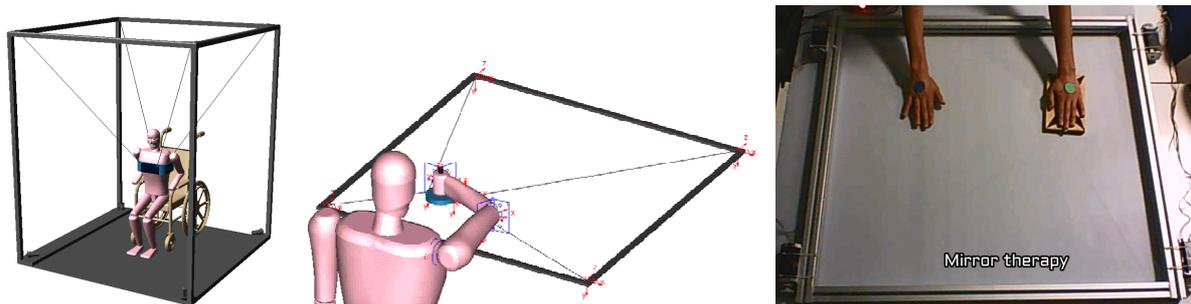


Fig. 3 – Dispositivi a cavi: a) per il cambio postura; b) 2 per la riabilitazione; c) per la *mirror therapy*.

Lavori più rappresentativi:

1. Ottaviano E., "Analysis and Design of a Four-Cable-Driven Parallel Manipulator for Planar and Spatial Tasks", Proc. of the Inst. of Mech. Eng., Part C: Journal of Mechanical Eng. Science, Vol. 222, pp. 1583-1592, 2008.
2. Ottaviano E., "Design issues and application of cable-based parallel manipulators for rehabilitation therapy", Applied Bionics and Biomechanics, Vol. 5 (2), pp. 65-75, 2008.
3. Rea P., Ottaviano E., Castelli G., "A Procedure for the Design of Novel Assisting Devices for the Sit-to-Stand", Journal of Bionic Engineering, Vol.10 (4), ISSN: 1672-6529, pp. 488-496, 2013.
4. Ottaviano E., Rea P., Errea P., Pinto C. "Design and Simulation of a Simplified Mechanism for Sit-to-Stand Assisting Devices", In: V. Petuya et al. Advances in Mechanisms, Transmissions and Applications. Vol. 17, p.123-130, Ed. Springer Netherlands, ISBN: 9789400774841, DOI: 10.1007/978-94-007-7485-8_16, 2013.

Stefano Pagano
Università di Napoli Federico II
Modellazione di isolatori di vibrazioni

L'attività di ricerca riguarda la modellazione di componenti da utilizzare per l'isolamento delle vibrazioni delle strutture; in particolare, ci si riferisce alla protezione di armadi (cabinet, rack, ecc.) contenenti apparecchiature sensibili alle accelerazioni. Una prima applicazione ha riguardato la modellazione delle molle a fune di acciaio (WRS) per valutarne l'applicabilità all'isolamento sismico alla base. La presenza di una unità di trasferimento a sfera (BTU) evita che la molla si deformi in direzione verticale per effetto del peso. La forza di richiamo orizzontale, dipendente anche dalla storia della deformazione, è stata modellata mediante la formulazione di Bouc-Wen. Un prototipo di isolatore è stato sottoposto a prove di taglio variabile con legge armonica per la stima dei parametri del modello e per definire la resistenza passiva di rotolamento della BTU. L'efficienza del sistema di isolamento è stata valutata mediante simulazioni numeriche e prove sperimentali su tavola vibrante alla quale sono state assegnate leggi di spostamento di eventi sismici noti.

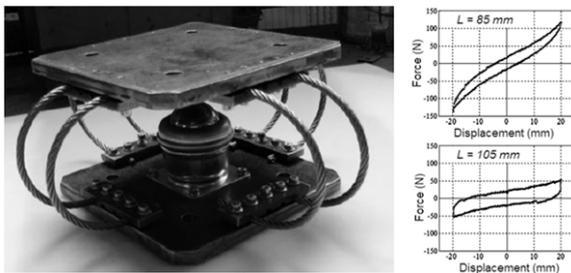


Fig. 1 – Isolatore e cicli di isteresi

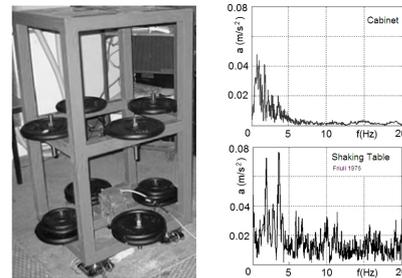


Fig.2 –Dimostratore e prove su tavola vibrante

Una seconda attività ha riguardato l'isolamento di un insieme di rack, collegati tra loro e montati a bordo di veicoli terrestri (es.: stazioni operative mobili allestite su camion). Si è valutata la possibilità di sostituire le molle a fune di acciaio (in uso nelle applicazioni militari) con molle ad aria che consentono il livellamento automatico, in seguito alle variazioni di massa dovute alle sostituzioni o all'implementazione delle apparecchiature contenute nei rack. Il sistema di isolamento prevede anche l'adozione di stabilizzatori a funi di acciaio, tamponi di fine corsa (verticali ed orizzontali) e smorzatori magnetorelogici. La dinamica della struttura dipende dal comportamento di tutti i componenti del sistema di isolamento la cui modellazione può essere definita a vari livelli. Per alcuni componenti i produttori non forniscono informazioni sufficienti per la loro modellazione; questo è, ad esempio, il caso delle molle ad aria per le quali il comportamento trasversale dipende in modo sensibile dall'altezza della molla e può essere definito a partire da prove di taglio, eseguite per diversi valori dell'altezza della molla.

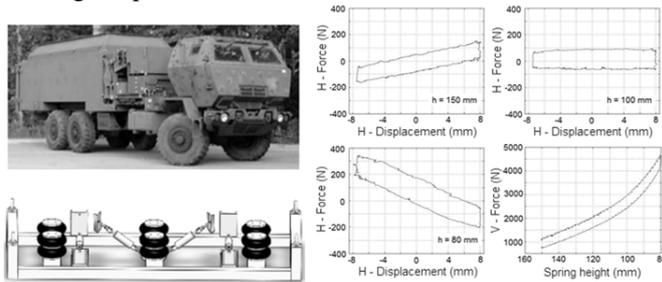


Fig. 3 – Sospensione per set di 3 rack e prove di taglio;

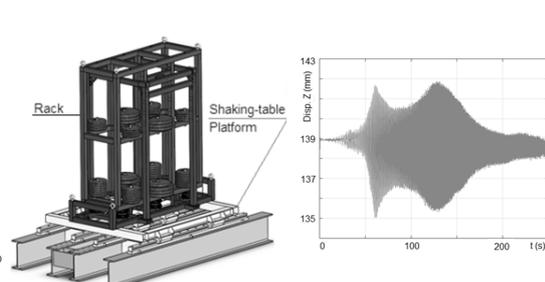


Fig. 4 – Dimostratore e prove su tavola vibrante

Lavori più rappresentativi:

1. G. Di Massa, S. Pagano, E. Rocca, S. Strano - Sensitive equipment on WRS-BTU isolators – *Meccanica*, 48 (7), pp. 1777-1790, 2013.
2. R. Brancati, G. Di Massa, S. Pagano, E. Rocca, S. Strano - Experimental investigation of the performances of a WRS-BTU seismic isolator - World Congress on Engineering - London, U.K., 3-5 July, 2013.
3. S. Pagano S., S. Strano - Wire rope springs for passive vibration control of a light steel structure - *WSEAS Transactions on applied and theoretical mechanics* - n. 3, Vol. 8, pp. 212-221, July 2013.
4. G. Di Massa, S. Pagano, S. Strano, F. Timpono - A comparison between linear and nonlinear modelling of a wire rope seismic isolator - *International Review on Modelling and Simulations*, vol.6 n.4, pp. 1307-1313, August 2013.
5. G. Di Massa, S. Pagano, S. Strano - Cabinet and Shelter Vibration Isolation: Numerical and Experimental Investigation - *Engineering Letters*, Vol. 22 n.4, pp.149-157, 2014.
6. M. De Michele, G. Di Massa, G. Frisella, S. Lippolis, S. Pagano, G. Pisani, S. Strano - A smart system for shock and vibration isolation of sensitive electronic devices on-board a vehicle - IFIT 2016 – Vicenza (Italy), 2016.

Giacomo Palmieri
Università Politecnica delle Marche
Biomeccanica del Movimento

Lo studio della Biomeccanica del Movimento viene effettuato sfruttando i principi e i metodi tipici della Meccanica Applicata alle Macchine: lo studio del moto delle catene cinematiche, le tecniche di modellazione della dinamica dei sistemi di corpi rigidi e i principi alla base della meccanica dei materiali e dei corpi deformabili costituiscono gli strumenti fondamentali per comprendere il funzionamento meccanico del corpo umano e permettono, allo stesso tempo, l'interpretazione critica dei dati sperimentali ottenuti in laboratorio.

In tale ambito l'attività di ricerca del gruppo dell'Università Politecnica delle Marche è stata incentrata sulle seguenti tematiche:

- modellazione analitica della cinematica e dinamica del corpo umano, in particolare dell'apparato locomotore, per lo studio di gesti quotidiani e sportivi, quali l'analisi del cammino e della corsa, lo studio dei salti da fermo [1] e in movimento, l'analisi della pedalata e lo studio della risposta ad una perturbazione inattesa durante la stazione eretta; la modellazione si basa tipicamente sull'ipotesi di moto piano (sagittale) e sui principi della formulazione della dinamica dei sistemi multibody (Newton-Eulero, Lagrange);
- modellazione multibody 3D mediante l'uso del software OpenSim [1], che permette, a partire da dati simulati o sperimentali, di effettuare analisi in cinematica e dinamica inversa, nonché lo studio dell'attivazione dei vari gruppi muscolari; due esempi di simulazione vengono schematicamente mostrati in figura 1;
- progettazione di dispositivi meccanici per l'allenamento e la riabilitazione; tale attività ha riguardato in particolare lo sviluppo di un brevetto [2] per la progettazione di una macchina, simile ad un tapis roulant, in grado di replicare la camminata su un terreno accidentato (figura 2); il progetto è stato condotto in collaborazione con fisiatristi, ingegneri biomedici ed elettronici ed è volto alla prevenzione degli infortuni attraverso l'allenamento propriocettivo.

L'esperienza maturata nelle precedenti attività e la collaborazione scientifica avuta con il Prof. Giovanni Legnani hanno portato alla realizzazione di un libro di testo [3] rivolto agli studenti di Ingegneria Biomedica che si accingono allo studio della meccanica teorica e applicata, e agli studenti di Ingegneria Industriale che intendono avvicinarsi allo studio della biomeccanica. I contenuti del testo sono stati calibrati sulla base dell'esperienza di attività didattica relativa al corso di Fondamenti di Meccanica Teorica e Applicata per Ingegneria Biomedica – Università Politecnica delle Marche, svolta a partire dall'anno accademico 2011-2012.

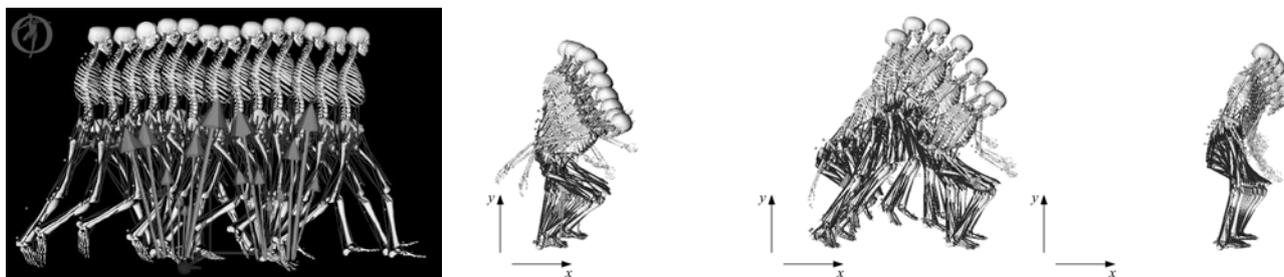


Fig. 1 – Simulazione multibody tramite OpenSim della camminata e del salto in lungo da fermo [2]

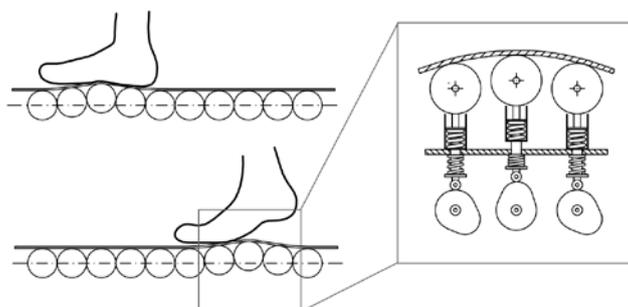


Fig. 2 – Progettazione di un dispositivo per l'allenamento dell'equilibrio [3]

Lavori più rappresentativi:

1. G. Palmieri, M. Callegari, S. Fioretti, *Analytical and multibody modeling for the power analysis of standing jumps*, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 18 (14), pp. 1564-1573, 2015.
2. P. Ciarmela, M.G. Ceravolo, M. Castellucci, S. Fioretti, M.-C. Palpacelli, G. Palmieri, G. Ippoliti, G. Orlando, *Apparecchiatura per l'allenamento dell'equilibrio*, brevetto MO2015A000012, 2015.
3. G. Legnani, G. Palmieri, *Fondamenti di Meccanica e Biomeccanica del Movimento*, Città Studi Edizioni, 2016.

Ilaria Palomba

Libera Università di Bolzano (dal 2016) - Università degli Studi di Padova (dal 2013 al 2015)
Metodi avanzati di stima dello stato per sistemi multibody

La stima dello stato in sistemi multibody (MB) è diventata oggi fondamentale in numerose applicazioni avanzate, quali la sintesi di controllori e la fault detection. Tale stima viene generalmente ottenuta sintetizzando uno stimatore che utilizza tanto un modello MB, necessario per prevedere il comportamento del sistema, quanto un algoritmo di stima in grado di determinare lo stato più probabile sulla base del comportamento osservato sperimentalmente. Il modello e l'algoritmo di stima devono garantire un'elevata accuratezza ed efficienza computazionale per ottenere stime precise in tempo reale. Questo aspetto risulta non banale viste le caratteristiche nonlineari dei modelli dei sistemi MB, ed impone l'utilizzo di innovativi algoritmi di stima nonlineare, tra i quali si citano, ad esempio, quelli basati sulla trasformazione "unscented" (UKF, SSUKF, ecc.). Ad oggi non esiste un approccio universale che assicuri di ottenere stime accurate ed efficienti per qualsiasi sistema MB. In particolare, le ben distinte peculiarità dei sistemi MB a membri rigidi ed a membri deformabili, hanno portato ad elaborare approcci di stima dedicati e specifici per le due tipologie di sistemi. Con riferimento ai sistemi MB a membri rigidi, nell'ipotesi di gioco trascurabile negli accoppiamenti, osservando che le variabili di stato sono esclusivamente grandezze cinematiche, è stato formalizzato un nuovo approccio alla stima [1] basato sull'impiego di modelli cinematici e di misure di grandezze cinematiche. L'impiego di modelli cinematici in sostituzione di quelli dinamici (tipicamente suggerito in letteratura) riduce drasticamente l'incertezza di modello e non richiede in ingresso misure di forze o coppie, bensì solo di grandezze cinematiche, quali le accelerazioni, molto più semplici da misurare. L'approccio proposto è stato poi esteso all'interessante problema della stima in condizioni di "unknown inputs", ossia al caso in cui siano da stimare non solo lo stato, ma anche alcune delle forze agenti sul sistema. A tal fine è stato sviluppato un approccio a "due stadi" che prevede l'utilizzo di due stimatori operanti simultaneamente: uno stimatore puramente cinematico che stima le variabili di stato indipendentemente dalle forze incognite, ed uno stimatore dinamico che stima le forze incognite utilizzando come input i risultati della stima cinematica. Tale approccio permette di ottenere stime molto accurate, robuste ed efficienti. Un esempio di applicazione dell'approccio a due stadi è mostrato in Fig. 1 (a) ed è riferito alla stima delle forze di contatto tra il suolo e la benna di un escavatore. Per i sistemi MB a membri deformabili sono state adottate le più avanzate tecniche di stima nonlineare dello stato basate sui modelli dinamici. In tal caso le maggiori difficoltà derivano dalla dimensione molto elevata dei modelli che tipicamente impediscono di sintetizzare stimatori computazionalmente efficienti. Pertanto l'attenzione è stata posta sulla riduzione delle dimensioni di modelli dinamici anche nonlineari. Ciò ha permesso di mettere a punto una strategia di riduzione [2] che, pur basandosi sulla tradizionale tecnica di Craig-Bampton, introduce degli innovativi metodi di classificazione e selezione dei modi interni (si veda Fig. 1 (b)) in grado di assicurare il raggiungimento di un desiderato livello di accuratezza del modello e le minime dimensioni dello stesso. Tale strategia è stata applicata con successo a numerosi sistemi meccanici ed in particolare ad un manipolatore piano a membri deformabili (Fig. 1 (c)) assicurando livelli di riduzione delle dimensioni del modello anche superiori al 50%.

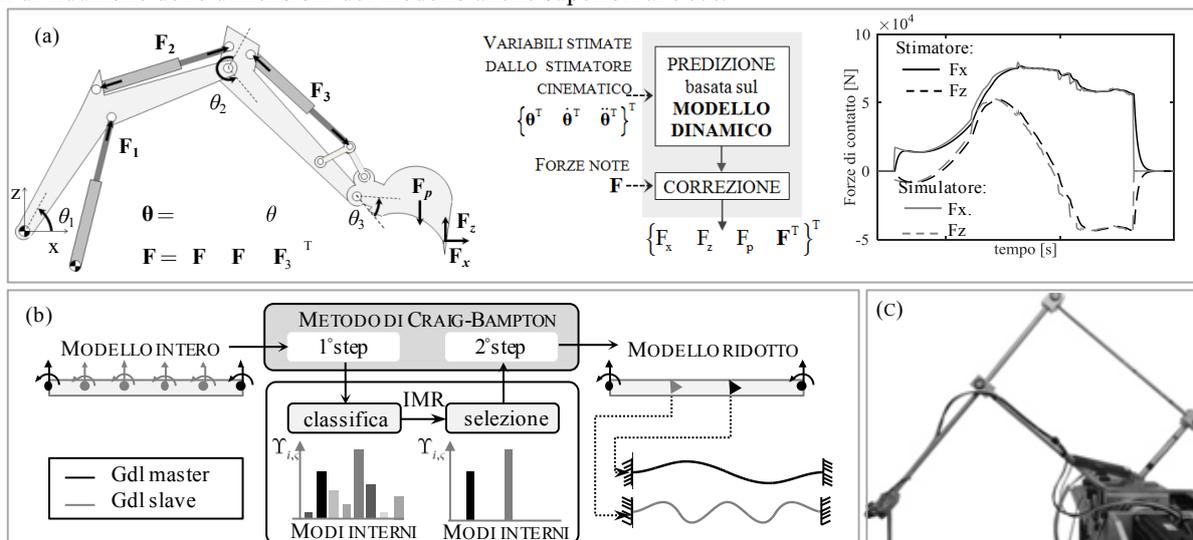


Fig. 1: Stima delle forze di contatto in un escavatore per mezzo dell'approccio a due stadi (a). Rappresentazione schematica dei metodi di classificazione e selezione sviluppati (b). Manipolatore piano a membri deformabili (c).

Lavori più rappresentativi:

1. I. Palomba, D. Richiedei, A. Trevisani "Kinematic state estimation for rigid-link multibody systems by means of nonlinear constraint equations," *Multibody System Dynamics*, 2016, DOI 10.1007/s11044-016-9515-x.
2. I. Palomba, D. Richiedei, A. Trevisani. "Mode selection for reduced order modeling of mechanical systems excited at resonance." *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 114, 268-276, 2016, DOI 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.026.

Matteo-Claudio Palpacelli
Università Politecnica delle Marche
Studio e progettazione di dispositivi mecatronici

Il gruppo di Meccanica Applicata dell'Università Politecnica delle Marche svolge da tempo attività nel settore della mecatronica occupandosi di tematiche che vanno dalla progettazione meccanica al controllo avanzato di sistemi. In particolare, lungo queste due linee di ricerca sono di rilievo i seguenti argomenti specifici:

- Nel filone della *progettazione meccanica* si possono menzionare attività di ricerca su *pinze riconfigurabili per la manipolazione di materiali flessibili*, finalizzate alla progettazione di sistemi di presa adattabili alle dimensioni e alla geometria delle pelli o dei tessuti da manipolare, su *dispositivi di mini e micro robotica* [1,2] (fig. 1a), alcuni dei quali nascono come risultato di un PRIN nazionale in collaborazione con l'Università di Brescia, di Bergamo e con il CNR, per i quali sono in corso ulteriori lavori sulla *calibrazione cinematica e su studi di sensibilità ai parametri*. Recenti sono alcune applicazioni di *robotica sottomarina* (fig. 1b), con l'analisi multibody e la progettazione e prototipazione di un pesce robotizzato autonomo per applicazioni subacquee, di *robotica parallela e riconfigurabile*, che hanno prodotto diversi progetti meccanici di dispositivi a cinematica parallela riconfigurabile, ed infine di *progettazione di giunti innovativi* (fig. 1c), di tipo riconfigurabile [3] o basati su materiali tecnologicamente avanzati [4].
- Facendo invece riferimento al *controllo avanzato di sistemi* si possono citare attività di ricerca sull'*asservimento visuale di robot*, sulla *cooperazione stretta tra robot* mediante algoritmi di controllo di impedenza e utilizzo di modelli cineto-statici dei robot per la valutazione delle forze di interazione, su *applicazioni industriali avanzate* (fig. 1d) come l'incremental forming [5] ed il friction stir welding [6] tramite robot ad elevate prestazioni di spinta, per i quali si è reso necessario un processo di identificazione dei parametri, e *controlli basati su modello* e modifiche al controllo PID convenzionale di tipo *PDD1/2*, con la collaborazione dell'Università di Genova.

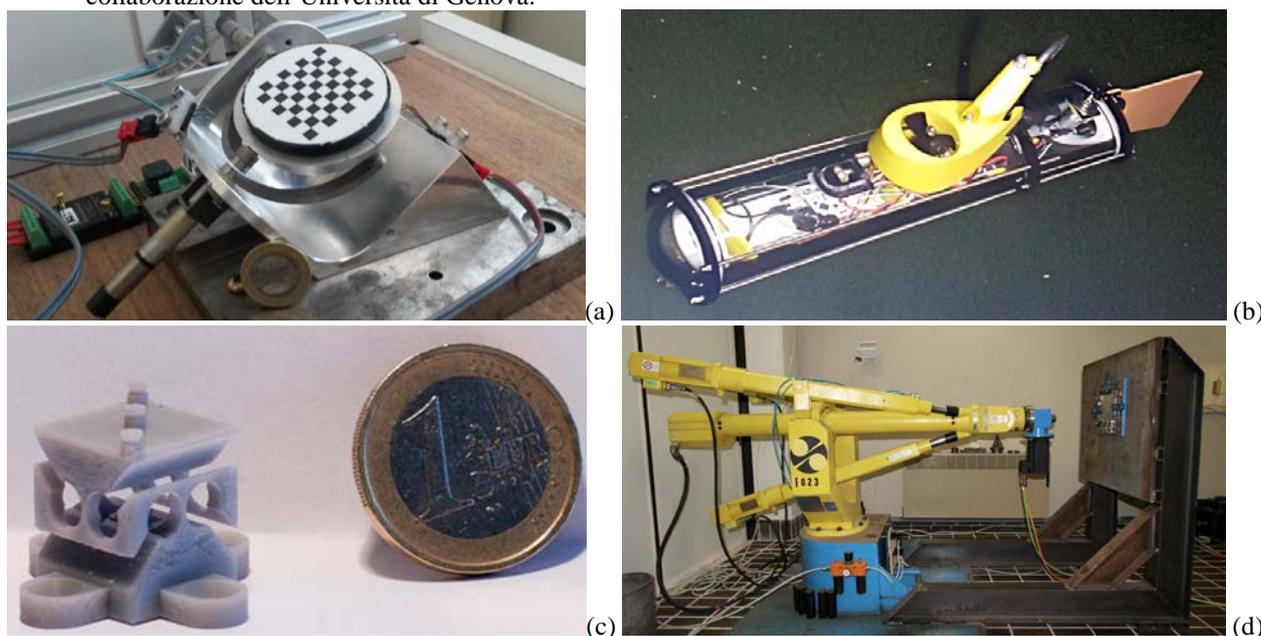


Fig. 1 – Calibrazione di una mini piattaforma di puntamento (a), Friction Stir Welding robotizzato (b), prototipazione rapida di giunti flessibili (c), robotica sottomarina (d)

Lavori più rappresentativi:

1. Palmieri, G., Callegari, M., Carbonari, L., Palpacelli, M.C. "Mechanical design of a mini pointing device for a robotic assembly cell", *Meccanica*, 50 (7), pp. 1895-1908, 2015.
2. Palpacelli, M.-C., Palmieri, G., Callegari, M. "A Redundantly Actuated 2-Degrees-of-Freedom Mini Pointing Device", *ASME Journal of Mechanisms and Robotics*, 4 (3), 2012.
3. Palpacelli, M.C., Carbonari, L., Palmieri, G. "Details on the Design of a Lockable Spherical Joint for Robotic Applications", *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 81 (2), pp. 169-179, 2016.
4. Palmieri, G., Palpacelli, M.C., Callegari, M. "Study of a fully compliant u-joint designed for mini robotics applications", *ASME Journal of Mechanical Design*, 134 (11), art. no. 111003, 2012.
5. Callegari, M., Gabrielli, A., Palpacelli, M.-C., Principi, M. "Incremental forming of sheet metal by means of parallel kinematics machines", *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 130 (5), pp. 0545011-0545015, 2008.
6. Palpacelli, M., Callegari, M., Carbonari, L., Palmieri, G. "Theoretical and experimental analysis of a hybrid industrial robot used for friction stir welding", *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, 8 (5-6), pp. 258-275, 2015.