

Elena Pierro

Università degli Studi della Basilicata - Potenza

Bio-inspired microstructured surfaces

The superlative adhesive properties of some biological attachment systems, such as those of geckos, spiders, and insects, have inspired researchers from different fields (e.g. biology, physics, engineering) to conceive and design man-made microstructured surfaces that might mimic their performance. Very recently, both experimental and theoretical investigations have shown that micro-structured surfaces covered with mushroom shaped micropillars [Figure 1-(a,b,c)] present strongly enhanced adhesive properties if compared to surfaces covered with cylindrical micropillars made of the same material. However, different geometries lead to different adhesive performance, and finding the optimal solution has become of utmost importance. In this study we have analyzed the main detachment mechanisms of mushroom-topped [Figure 1-(d)] and flat-topped [Figure 1-(e)] soft micro pillars and shown how the geometry of the pillars should be designed in order to obtain the best adhesive performances [1,2]. In particular, we have evaluated the effect of air entrapment at the interface between the pillar and the substrate [3,4] and we have investigated the influence of the non-uniform pillar height and thermal fluctuations on pull-off force. Comparisons with experiments have been performed, to assess the theoretical findings, and the influence of the effect of tilted pull-off on the adhesion of individual mushroom shaped pillar has been evaluated [5].

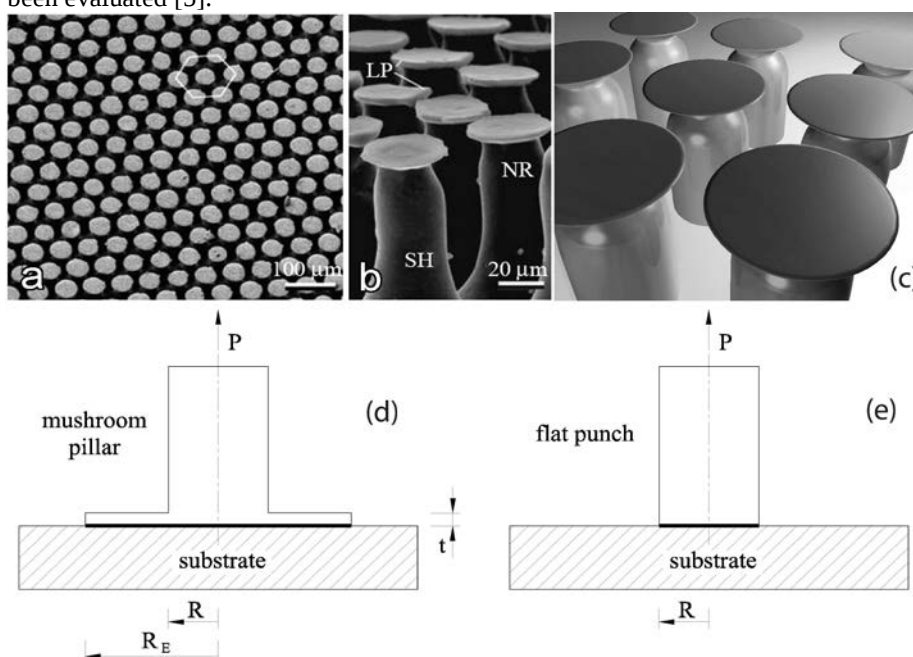


Fig. 1 - A mushroom shaped micro-structured surface made of PVS (courtesy of prof. Gorb, "S. Gorb, M. Varenberg, A. Peressadko, J. Tuma, J. R. Soc. Interface, 2007, 4, 271-275."). View from above (a), side view (b) and cover picture of [1]. LP, contact plate lip; NR, narrow neck; SH, pillar shaft. The mushroom shaped pillar (d) and the flat punch (e), in contact with a rigid substrate. The terminal plate in the mushroom shape (d) is the origin of the enhanced adhesive performance.

This research aims at elucidating the physical mechanism behind the enhanced adhesion of such microstructures, in order to provide useful tools to predict and optimize the adhesive performance of such devices depending on the geometry, mechanical properties of the material, and energy of adhesion. Our achievements can streamline optimisation of adhesive microstructures for industrial applications.

References:

1. G. Carbone, E. Pierro, S. N. Gorb, "Origin of the superior adhesive performance of mushroom shaped microstructured surfaces", *Soft Matter*, Volume 7, Issue 12, Pages 5545-5552, 2011.
2. G. Carbone, E. Pierro "Sticky Bio-inspired Micropillars: Finding the Best Shape", *Small* Volume 8, Issue 9, Pages: 1449-1454, May 7 2012.
3. G. Carbone, E. Pierro, "Effect of interfacial air entrapment on the adhesion of bio-inspired mushroom-shaped micropillars", *Soft Matter*, Volume 8, Issue 30, Pages 7904-7908, 2012.
4. G. Carbone, Elena Pierro, "A review of adhesion mechanisms of mushroom-shaped microstructured adhesives", *Meccanica*, 2013.
5. L. Heepe, G. Carbone, E. Pierro, A. E. Kovalev, S. N. Gorb, "Adhesion Tilt-Tolerance in Bio-Inspired Mushroom-Shaped Adhesive Microstructure", *Applied Physics Letters*, 104, 011906, 2014.

Mario Pisaturo
Università degli Studi di Salerno

Modelli per il controllo di frizioni a secco in trasmissioni AMTs/DCTs

Lo sviluppo di sistemi di trasmissione complessi in ambito automotive ha acquisito negli ultimi anni una crescente rilevanza a seguito dell'introduzione di restrittive normative che limitano le emissioni ed i consumi dei veicoli e delle richieste di performance e comfort da parte di un'utenza sempre più esigente. I progettisti mirano ad inseguire condizioni di esercizio del veicolo caratterizzate da rendimento elevato attraverso trasmissioni con elevato numero di rapporti del cambio e architetture evolute: automatico con convertitore di coppia e rotismi epicicloidali; robotizzato con frizione a secco o a bagno d'olio, singola o doppia; a variazione continua.

Per le trasmissioni robotizzate "Automated Manual Transmission" (AMT) e "Dual Clutch Transmission" (DCT) con architettura basata su frizioni a secco, recenti risultati hanno dimostrato l'esistenza di importanti margini per il miglioramento del tracking delle variabili dinamiche di riferimento attraverso più approfondite conoscenze delle prestazioni d'attrito, d'usura, di stabilità alla variazione termica dei materiali impiegati. La disponibilità di mappe d'attrito dettagliate riduce, inoltre, i tempi ed i costi connessi alla calibrazione di detti sistemi di controllo elettronico. I progettisti sono inoltre orientati ad approfondire i meccanismi che regolano l'insorgere di vibrazioni torsionali durante la fase di sliding e di incipiente innesto della frizione per mitigare condizioni di discomfort e rumore indesiderati.

In questo contesto, l'attività di ricerca condotta dal gruppo di Meccanica Applicata alle Macchine dell'Università degli Studi di Salerno, non disgiunta da una pluriennale collaborazione con il gruppo di Automatica dell'Università degli Studi del Sannio e con FCA Italy/EMEA Region Powertrain Engineering, mira a sviluppare modelli di trasmissibilità della frizione a secco, ossia della funzione che lega la coppia d'attrito trasmessa alla posizione del cuscinetto reggispinta o alla pressione dell'attuatore che ne pilota la posizione [1-5]. Detti modelli non possono prescindere dai rilevanti effetti termici che si manifestano mediante la variazione del coefficiente d'attrito nel contatto disco frizione/volano, nonché sulla risposta elastica della molla a cuscono. Inoltre, mediante l'implementazione di avanzate tecniche di controllo come il multiple Model Predictive Control (mMPC) vengono simulate manovre di innesto al fine di determinare la generazione termica dovuta ai fenomeni di attrito nelle fasi di spunto e di cambio marcia e, alimentando modelli agli elementi finiti basati su geometria complessa, si perviene alla stima del campo di temperatura superficiale ed assiale del disco frizione. Infine, sono state compiute indagini sperimentali con tribometri e modelli lab-scale mediante un originale setup sensoristico orientato alla misura della temperatura d'interfaccia, pervenendo a mappe multidimensionali del coefficiente d'attrito in funzione della pressione di contatto, della velocità di slittamento e della temperatura.

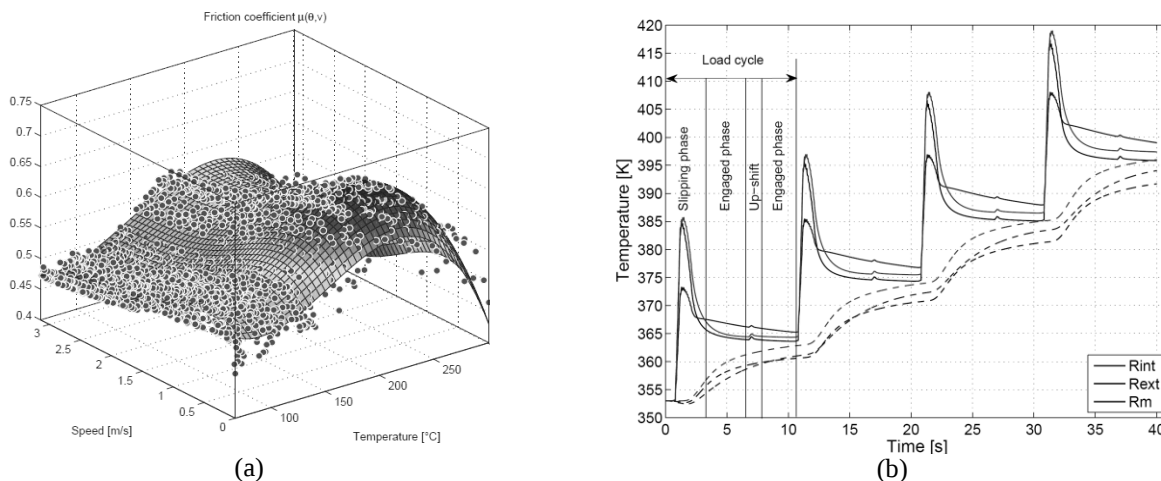


Fig. 1 – (a) coefficiente d'attrito da prove sperimentali [3], (b) temperature dopo innesti ripetuti [4]

Lavori più rappresentativi:

1. Vincenzo D'Agostino, Nicola Cappetti, Mario Pisaturo, Adolfo Senatore "Improving the Engagement Smoothness through Multi-Variable Frictional Map in Automated Dry Clutch Control" Proc. of the ASME 2012 IMECE, 9-15 November 2012, Houston, Texas, USA.
2. Mario Pisaturo, Maurizio Cirrincione, Adolfo Senatore "Multiple Constrained MPC Design for Automotive Dry Clutch Engagement" IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 20(1), 2015, pp. 469-480.
3. Adolfo Senatore, Mario Pisaturo, Vincenzo D'Agostino, Carmine D'Auria, "Tribological testing of Dry-Clutch Facings: Temperature Measurement at Sliding Interface and Influence on the Engagement Manoeuvre", Ecotrib 2015 - European Conference on Tribology, 3-5 June 2015, Lugano, Switzerland.
4. Mario Pisaturo, Adolfo Senatore "Simulation of Engagement Control in Automotive Dry-Clutch and Temperature Field Analysis through Finite Element Model" Applied Thermal Engineering, vol. 93, 2016, pp. 958-966.
5. Gennaro Pica, Claudio Cervone, Adolfo Senatore, Massimo Lupo, Francesco Vasca "Dry Dual Clutch Torque Model with Temperature and Slip Speed Effects", Intelligent Industrial Systems, vol. 2, 2016, pp. 133-147.

Carmine Putignano
Politecnico di Bari

Numerical and Experimental Methodologies for Soft Matter Mechanics

Soft matter mechanics is intrinsically complex due to the strongly time-dependent and usually nonlinear constitutive stress-strain relations governing its response. Further intricacy is added when soft bodies are brought into contact and the problem is exacerbated by the geometry of the intimately mating surfaces. Over the past two decades, the continuously growing technological relevance of engineering applications, involving polymeric materials is requiring specific efforts to shed light on these issues. Indeed, the smart design of engineering elements, like e.g. tires, seals, dampers, is a key point in current applied mechanics research: a more efficient design of automotive tires or an improved sealing action for mechanical seals could have a prominent impact in everyday life by providing significant energy savings and improved wear resistance. However, these optimization efforts strictly require an accurate comprehension of the viscoelastic properties of mechanical problems.

Research activities conducted in the framework of Applied Mechanics group at PoliBa are aimed at developing a rigorous mathematical characterisation of soft contact mechanics, *i.e.* the interactions of the “soft body” with its environment. Specific efforts have been addressed to understand how the surface roughness, whose spectrum covers several orders of magnitude, and the material mechanical properties influence the contact in terms of stresses, strains and, ultimately, friction. Particular attention has been paid to deal with viscoelastic materials, which exacerbate the problem complexity due to the time-dependant behaviour: Boundary Elements models to simulate both steady-state and reciprocating conditions have been introduced and are capable of predicting interfacial strains, stresses and dissipation (see Figure 1) [1,2,3,4]. Recently, a new methodology, coupling the BE solid solver and a Finite Difference scheme, has been introduced to include interfacial lubrication [5]. In collaborations with the Tribology Group at Imperial College, extensive experimental campaigns, employing tribometer, thermography and fluorescence techniques, have been implemented to validate numerical outcomes [6]. Finally, possible applications to biomimetics and, specifically, to bio-adhesives have been explored [7].

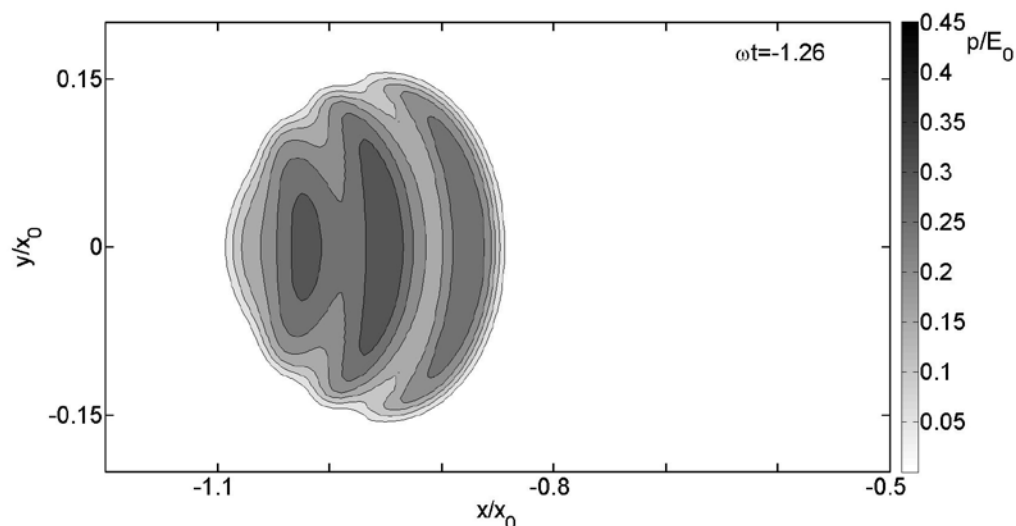


Figure 1: Pressure distribution for reciprocating motion between a rigid sphere and a linear viscoelastic layer.

References

- [1] C. Putignano, L. Afferrante, G. Carbone , G. Demelio , JMPS, 60, 5, 973–982 (2012).
- [2] G. Carbone, C. Putignano, JMPS, 61, 8, 1822-1834, (2013).
- [3] C. Putignano, G. Carbone, D. Dini, Physycal Review. E 93, 043003, (2016).
- [4] G. Carbone, C. Putignano. Physical Review E, 89, 032408, (2014).
- [5] C. Putignano, in preparation, (2016).
- [6] C. Putignano, T. Reddyhoff, D. Dini, C. Carbone. Tribology Letters, 51 (1), pp. 105-113, (2013).
- [7] C. Putignano, L. Afferrante, L. Mangialardi, G. Carbone . 5 (1), 1725-1731, (2014).

Appropriate Machines Lab-Engineering for Human Development

La ricerca, l'ingegneria e le discipline della meccanica applicata possono contribuire in modo rilevante al miglioramento della qualità della vita, con particolare riferimento a regioni e territori poveri o marginali. Con questo obiettivo sono state avviate attività di ricerca e progettazione nel laboratorio "Engineering for Human Development".

A titolo di esempio si descrivono l'ideazione e la realizzazione di un'attrezzatura, la pressa Float-Ram, utilizzabile anche in regioni prive di risorse energetiche, per la costruzione di edifici di buona qualità, auto costruibili, economici e sostenibili dal punto di vista ambientale. Essi costituiscono un rilevante miglioramento rispetto alle capanne e alle abitazioni tradizionali.

La pressa Float-Ram, ad azionamento manuale, permette di produrre il blocco "Mattone" in terra cruda stabilizzata, compattata applicando forze di compressione bidirezionali fino a 80 kN e utilizzando forze di azionamento della leva pressoché costanti e inferiori a 300 N. Il blocco è l'elemento chiave per migliorare la qualità delle abitazioni.

Le principali caratteristiche della pressa sono:

- l'adozione di uno stampo flottante che consente di realizzare una compressione bidirezionale del mattone con la movimentazione attiva del solo piattello inferiore;
- l'architettura meccanica "smart"; un unico albero è l'elemento cinematico di molteplici coppie cilindriche che permettono: la rotazione del gruppo di compressione dalla stazione di riempimento/espulsione del blocco alla stazione di pressatura; la traslazione del piattello di compressione; il flottaggio dello stampo;
- un meccanismo di trasmissione del moto a doppia camma-punteria; il profilo della prima camma è stato ottimizzato per garantire l'ergonomia e l'efficacia della pressa in fase di pressatura, grazie ad uno specifico algoritmo di sintesi del meccanismo che utilizza prove sperimentali di caratterizzazione meccanica della terra; il profilo della seconda è stato progettato per generare l'espulsione del blocco.

La pressa è ora impiegata in Tanzania, Brasile, Madagascar ed a breve lo sarà in altri stati di Africa e Sud America.

Nella Fig. 1 sono visibili le fasi necessarie per la produzione di un "Mattone".



Fig. 1 – Professional College of Njombe, Tanzania 2015-2016, scuola tecnica secondaria

Pubblicazioni:

1. Carlo Ferraresi, Walter Franco, Giuseppe Quaglia "Float-ram: a new human powered press for earth blocks". In: III Congress of the University Network for Development Cooperation (CUCS Torino 2013), Torino, 19-21 september 2013. 321-
2. Carlo Ferraresi, Walter Franco, Giuseppe Quaglia, "Human Powered Press For Raw Earth Blocks" In: ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2011, Denver (USA), November 2011. pp. 579-588

Kseniia Riabova
Università degli Studi di Parma

Prove non distruttive tramite analisi vibrometrica

L'idea della ricerca sulla rivelazione dei danneggiamenti nelle catene tramite la misura vibrometrica nasce come continuazione delle varie analisi e casi di studio di prove non distruttive sulle catene storiche effettuate dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Parma [1-2]. In generale le catene sono utilizzate per supportare i carichi laterali esercitati da pareti e archi nelle antiche chiese e castelli. Il metodo applicato si basa sulla determinazione sperimentale delle funzioni di risposta in frequenza (FRF) flessionali tramite l'eccitazione con martello strumentale e misurazioni accelerometriche, in combinazione con tecniche di analisi numerica. La nostra ricerca presenterà la novità di analizzare l'effetto del carico assiale su una trave a cricca, determinando i cambiamenti nel comportamento dinamico della catena. Lo studio è composto dalle prove in laboratorio, eseguite su una serie delle fessure artificiali controllate nelle travi circolari, e completato con le simulazioni numeriche usando il metodo degli elementi finiti (FEM). L'impianto sperimentale (Fig.1), ideato per studiare il comportamento di una catena a cricca, permette sia le prove statiche che dinamiche sulle catene con i difetti introdotti e controllati.



Fig. 1: La catena a cricca artificiale sull'impianto sperimentale.

I primi test sono stati condotti su una trave circolare con una fessura nella sezione centrale. La fessura è stata riprodotta mediante l'inserimento di un giunto bullonato, quale permette di controllare la pressione iniziale tra le superfici della discontinuità. Il carico assiale può essere regolato manualmente da un sollevatore idraulico. È stata studiata la variazione di rigidità statica e delle frequenze in funzione del carico assiale applicato e delle condizioni alla fessura (i.e. diversi serraggi). Il comportamento

dinamico della trave a cricca dimostra di essere influenzato dalla presenza di un difetto e dall'apertura della fessura quando il carico assiale aumenta. I risultati ottenuti sono inoltre confrontati con le simulazioni FEM. Il confronto dei risultati di una trave non fessurata e la trave a cricca evidenzia un abbassamento delle frequenze quando la fessura è presente.

Un altro progetto di ricerca della dinamica di altoparlante è stato richiesto da ASK Industries, avendo come obiettivo principale l'analisi dei modi vibrazionali degli altoparlanti automobilistici e la determinazione dei fattori che influenzano negativamente sulle loro prestazioni. È stato sviluppato un impianto sperimentale (Fig.2) con il vibrometro laser Polytec.

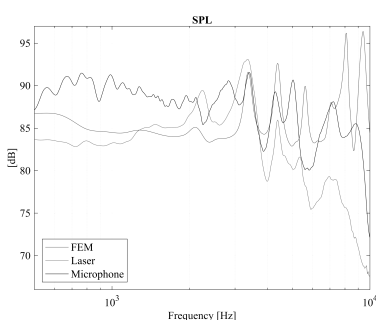


Fig. 3: SPL ricavati da laser, FEM e test acustico.

Il concetto dell'esperimento è eccitare l'altoparlante con un segnale sinusoidale spazzato, registrare il segnale di uscita, rappresentato dalla risposta vibrazionale della superficie radiante, e calcolare in seguito le risposte all'impulso convolvendo tali segnali con il filtro inverso [3]. I risultati sono stati elaborati nei termini delle caratteristiche principali: il livello della pressione sonora (sound pressure level, SPL) e il livello dell'accelerazione cumulativa (accumulative acceleration level, AAL), utilizzando il calcolo approssimato basato sull'integrale di Rayleigh [4]. Gli esperimenti sono stati confrontati con il modello agli elementi finiti, che è un potente strumento per

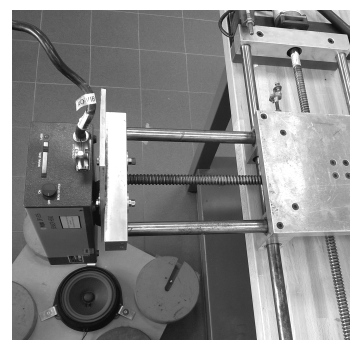


Fig. 2: L'impianto sperimentale.

l'analisi di sensibilità nei confronti delle modifiche negli elementi o nel processo d'assemblaggio. Il calcolo approssimato è stato capace di "colpire" i picchi significativi di SPL (Fig.3). Successivamente sono state ricostruite le forme modali alle frequenze di picco (operational deflection shapes – ODS). Lo studio delle ODS è importante per capire quale proprietà dell'altoparlante causa i modi di vibrazione indesiderabili, la compensazione acustica oppure la distorsione. I meriti principali dell'analisi vibrometrica sono le possibilità di ricostruire l'AAL, le ODS, di ricavare le componenti in fase e anti-fase delle curve SPL e AAL, di simulare un video della risposta, etc.

1. L. Collini, R. Fagiani, R. Garziera, K. Riabova, M. Vanali. Load and effectiveness of the tie-rods of an ancient Dome: Technical and historical aspects. *Journal of Cultural Heritage* 16 (2015) 597–601.
2. R. Garziera, M. Amabili, L. Collini. A hybrid method for the nondestructive evaluation of the axial load in structural tie-rods. *Nondestructive Testing and Evaluation* 26(2) (2011) 197–208.
3. Farina A., Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique. *Audio Engineering Society Convention paper*. 108th AES Convention, Paris. February 2000.
4. Klippel W., Schlechter J., Distributed Mechanical Parameters Describing Vibration and Sound Radiation of Loudspeaker Drive Units. *Audio Engineering Society Convention paper* 7531. 125th AES Convention. October 2008.

Alessandro Ridolfi

Università degli Studi di Firenze

Progettazione, modellazione e testing di veicoli sottomarini autonomi o filoguidati e del loro sistema di guida, navigazione e controllo

L'attività di ricerca degli ultimi anni si è prevalentemente concentrata sulla progettazione elettro-meccanica di diversi veicoli sottomarini autonomi o filoguidati. Oltre alla realizzazione di questi robot mobili marini, significativi risultati di ricerca sono stati ottenuti grazie allo sviluppo di un sistema di navigazione composto da un primo algoritmo di stima della posizione del veicolo in acqua e da un secondo algoritmo per la stima dell'orientazione del veicolo stesso: l'opportuna combinazione di tali algoritmi permette un'accurata conoscenza della posa del robot, informazione di fondamentale importanza per la navigazione autonoma subacquea.

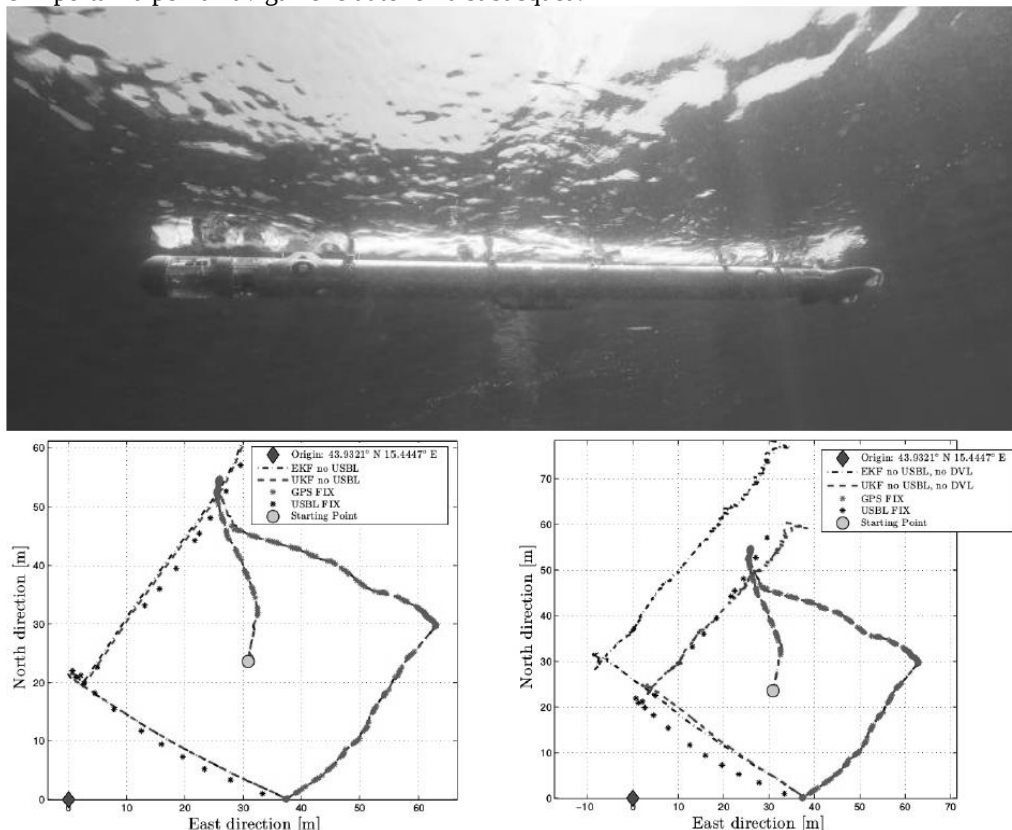


Fig. 1 – Veicolo sottomarino autonomo modulare MARTA, realizzato durante il progetto europeo ARROWS (sopra). Testing in mare del sistema di navigazione per la stima della posizione di un veicolo sottomarino (sotto).

Oltre alla possibile progettazione ed alla realizzazione meccatronica di nuovi veicoli, l'attività di ricerca corrente prevede vari sviluppi nel futuro a breve, fra i quali: la localizzazione dei veicoli immersi mediante boa semovente strumentata, l'implementazione a bordo veicolo di uno stimatore di corrente marina, l'implementazione a bordo veicolo di un algoritmo per l'inizializzazione dell'orientazione del veicolo anche in ambienti ostili e l'integrazione fra le acquisizioni del payload di bordo con il sistema di guida e navigazione del veicolo.

Lavori più rappresentativi (più recenti):

- 1 R. Costanzi, F. Fanelli, N. Monni, A. Ridolfi, B. Allotta, "An Attitude Estimation Algorithm for Mobile Robots Under Unknown Magnetic Disturbances," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Issue 99, DOI: 10.1109/TMECH.2016.2559941 (Article in press), 2016.
- 2 B. Allotta, A. Caiti, R. Costanzi, F. Fanelli, D. Fenucci, E. Meli, A. Ridolfi, "A new AUV navigation system exploiting unscented Kalman filter," Ocean Engineering, Elsevier, volume 113, pp. 121-132, 2016.
- 3 B. Allotta, R. Costanzi, F. Fanelli, N. Monni, A. Ridolfi, "Single axis FOG aided attitude estimation algorithm for mobile robots," Mechatronics, Elsevier, volume 30, pp. 158-173, 2015.
- 4 B. Allotta, F. Bartolini, A. Caiti, R. Costanzi, F. Di Corato, D. Fenucci, J. Gelli, P. Guerrini, N. Monni, A. Munafò, M. Natalini, L. Pugi, A. Ridolfi, J.R. Potter, "Typhoon at CommsNet13: Experimental experience on AUV navigation and localization," Annual Reviews in Control, Elsevier, volume 40, pp. 157-171, 2015.
- 5 B. Allotta, L. Brandani, N. Casagli, R. Costanzi, F. Mugnai, N. Monni, M. Natalini, A. Ridolfi, "Development of Nemo remotely operated underwater vehicle for the inspection of the Costa Concordia wreck," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, DOI: 10.1177/1475090215605133 (Article in press), 2015.

Andrea Rindi
Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Firenze
Rotordinamica e turbomacchine

In ambito rotordinamico e turbomacchinistico, la ricerca si è focalizzata sui seguenti argomenti di particolare interesse scientifico ed industriale:

- Modellazione termo-elasto-idrodinamica (TEHD) e sviluppo di cuscini a pattini oscillanti innovativi per alti regimi di rotazione ed alti carichi [1][2][5][6][7].
- Modellazione flexible multibody (FMB) di cuscini ad elementi volventi ad alte prestazioni (cuscini portanti e cuscini ausiliari per cuscini magnetici) [6][7].
- Ottimizzazione strutturale di componenti rotordinamici innovativi (con tecniche di ottimizzazione topologica) e studio dei nuovi processi di additive manufacturing necessari per la loro realizzazione (Fig. 1.b) [3].
- Sviluppo di banchi prova innovativi sia per turbomacchine orizzontali che verticali (Fig. 1.a) [5][6].
- Studio ed ottimizzazione dell'interazione rotore-basamento in turbomacchine ad alte prestazioni [4].
- Studio ed ottimizzazione degli impianti ausiliari per turbomacchine ad alte prestazioni [6][7].

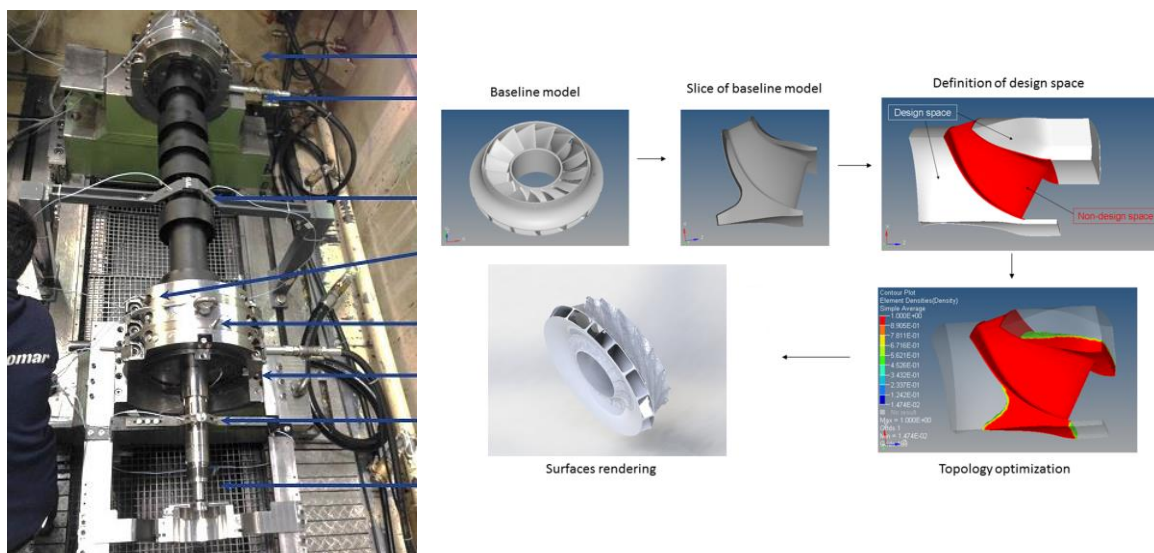


Fig. 1 – a) Sviluppo di banchi prova innovativi [5][6] b) Ottimizzazione strutturale ed additive manufacturing [3]

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, University of Iowa, etc.) ed industriali (GE General Electric, Avio, Ferrovie dello Stato, 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] R. Conti, A. Frilli, E. Galardi, E. Meli, D. Nocciolini, L. Pugi, A. Rindi, S. Rossin. Efficient models of three-dimensional tilting pad journal bearings for the study of the interactions between rotor and lubricant supply plant. **ASME Journal of Computational and Nonlinear Dynamics**, 11, 1, pp. 1-13, 2015.
- [2] R. Conti, A. Frilli, E. Galardi, E. Meli, D. Nocciolini, L. Pugi, A. Rindi, S. Rossin. An efficient quasi-3D model of tilting pad journal bearing for turbomachinery applications. **ASME Journal of Vibrations and Acoustics**, 137, 6, pp. 1-17, 2015.
- [3] E. Boccini, E. Meli, A. Rindi, G. Iurisci, S. Corbò, S. Falomi. Static and modal topology optimization of turbomachinery components. **ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, 138, 11, pp. 1-9, 2016.
- [4] E. Meli, G. Pallini, A. Rindi, F. Capanni, S. Rossin, D. Panara. Effect of support structure dynamics on centrifugal compressor rotor response. **METS 2015, III Middle East Turbomachinery Symposium** (Doha, Qatar), 2015.
- [5] C. Griffini, A. Mattana, F. Martelli, E. Meli, G. Pallini, D. Panara, S. Panconi, A. Rindi, S. Salvadori. Numerical prediction and experimental validation of rotor thermal instability. **XLIV Turbomachinery Symposia** (Houston, USA), 2015
- [6] **Project: Design of innovative high speed high efficiency compressors (SIR 2014)**. Project funded by Italian Ministry of Education, Universities and Research (MIUR) (total funding: 1M€).
- [7] **Project: Advanced technologies for energy efficiency (ATENE)**. National Project funded by the Tuscany Region (Italy) (total funding: 15M€).

Ernesto Rocca
Università di Napoli Federico II
Il fenomeno di “Gear Rattle” nei cambi automobilistici

Il “Gear rattle” è un disturbo vibro-acustico dei cambi manuali automobilistici, generato dalla coppia motrice variabile del Motore a C.I. che provoca forti impatti tra i denti delle coppie di ingranaggi scarichi. Il gear rattle rappresenta, per gli aspetti legati al comfort in abitacolo, un tema di ricerca molto sensibile nel settore Automotive. L’attività di ricerca sul gear rattle in atto presso il Dip. di Ing. Industriale della “Federico II” ha lo scopo di sviluppare modelli teorici e sperimentali con particolare attenzione all’influenza dell’olio lubrificante tra i denti durante l’ingranamento. L’azione smorzante (squeeze effect) esercitata dall’olio compreso tra i denti nella fase di impatto, viene modellata particolarizzando opportunamente l’equazione di Reynolds.

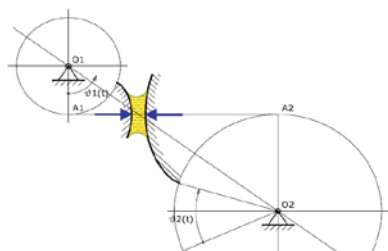


Fig. 1 – Effetto “squeeze” dell’olio tra i denti;



Fig. 2 -Banco sperimentale per analisi sul Gear Rattle

I risultati delle simulazioni teoriche indicano, in tal senso, la possibilità di attenuare il fenomeno di rattle agendo sui vari parametri dell’olio lubrificante (es. viscosità) e sul tipo di lubrificazione adottata. Per quanto riguarda le indagini sperimentali si è utilizzato un prototipo di banco prova per ruote a denti elicoidali, sul quale sono state applicate diverse metodologie di misura. La prima tecnica applicata, per la verifica dei modelli teorici, consiste nel rilievo del moto relativo angolare delle ruote mediante encoders ad elevata risoluzione (40000 punti/giro).

In seguito sono state effettuate analisi vibro-acustiche sperimentali, sia con una metodologia classica basata sull’uso di accelerometri, che attraverso una tecnica di rilievo del rumore mediante microfoni acustici. I risultati sono stati valutati e confrontati, infine, con quelli ottenuti con la metodologia basata sugli encoders, fornendo interessanti correlazioni.

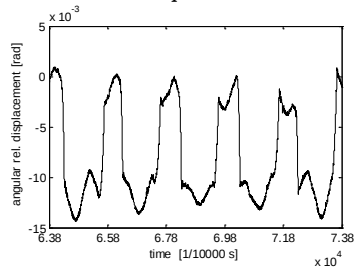


Fig. 3 – moto relativo rilevato con encoders

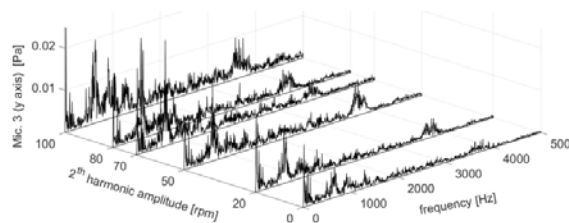


Fig. 4 - spettri di frequenza dei rilievi acustici

I segnali sperimentali ottenuti con le varie tecniche sono stati elaborati al fine di individuare degli indici di prestazione, che possono risultare particolarmente utili quando si vuole condurre una indagine comparativa nei riguardi di un particolare tipo di parametro operativo.

Recenti studi sono stati effettuati, al riguardo, con tecniche di analisi dei segnali basate sull’uso della trasformata wavelet, attualmente molto usata nella diagnostica di macchine e ingranaggi per individuare fenomeni impulsivi istazionari. L’analisi multi-risoluzione, basata sulla trasformata wavelet, effettua la decomposizione del segnale di moto relativo in una “approssimazione” e un vettore somma di “dettagli”. Proprio dall’esame dei dettagli della decomposizione wavelet si possono trarre indicazioni utili per discriminare sulla gravità degli urti tra i denti. Inoltre, grazie alla peculiarità della analisi wavelet di identificare un evento nel dominio del tempo, si è potuto sviluppare un indice di gear rattle idoneo a valutare quanto accade nel singolo impatto per una assegnata coppia di denti.

1. R.Brancati, E.Rocca, R.Russo - Experimental investigations about the influence of oil lubricant between teeth on the gear rattle phenomenon – Journal of Sound and Vibration, vol. 321, pp. 647-661, 2009.
2. E. Rocca, R. Russo - Theoretical and experimental investigation into the influence of the periodic backlash fluctuations on the gear rattle - Journal of Sound and Vibration, vol. 330, pp. 4738-4752, 2011.
3. Brancati, R., Rocca, E., Savino, S. - A gear rattle metric based on the wavelet multi-resolution analysis: Experimental investigation - Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 50-51, pp. 161 – 173, 2015.

Daniele Rocchi

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Politecnico di Milano

Aerodinamica dei veicoli

Le attività di ricerca sviluppate presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano inerenti l'aerodinamica dei veicoli sono principalmente legate all'effetto del vento laterale su veicoli a grande superficie laterale (treni, camion, pullman, etc) e sugli effetti aerodinamici indotti dal passaggio di treni sulle strutture/veicoli/persone circostanti (barriere, gallerie, treni in incrocio, persone in banchina o al lavoro sulla linea, elementi dell'infrastruttura).

L'effetto del vento laterale sui veicoli è di grande interesse principalmente per i gestori delle infrastrutture sia stradali che ferroviarie responsabili della sicurezza di marcia ed interessati a mantenere le infrastrutture utilizzabili per il maggior numero di giorni nell'anno. Le situazioni maggiormente critiche sono quelle di attraversamenti su ponti e viadotti in cui, in presenza di vento laterale, i veicoli sono esposti a raffiche più intense in quanto si trovano a quote più elevate dal piano della campagna e le condizioni in cui gli effetti del vento laterale variano bruscamente come in uscita da gallerie o nell'attraversamento di scie di piloni. Le azioni di mitigazione del problema, che possono essere introdotte, sono quelle di regolazione del traffico (in campo stradale si può interdire il traffico se vengono superati valori limite di velocità del vento, in quello ferroviario si può agire anche sulla regolazione della velocità dei veicoli) o di protezione del traffico costruendo barriere antivento. La progettazione delle contromisure da adottare richiede di modellare mediante approcci numerici o sperimentali l'interazione del veicolo con il vento per determinare le condizioni critiche di marcia. I modelli numerici che sono stati sviluppati presso il Dipartimento di Meccanica sono basati su simulazioni multibody sia del veicolo ferroviario che di quello stradale, per cui è modellata anche l'azione di controllo da parte del conducente, in cui l'azione aerodinamica è introdotta mediante approcci stazionari o quasi stazionari basati su una caratterizzazione aerodinamica del veicolo effettuate mediante prove in galleria del vento o simulazioni CFD.

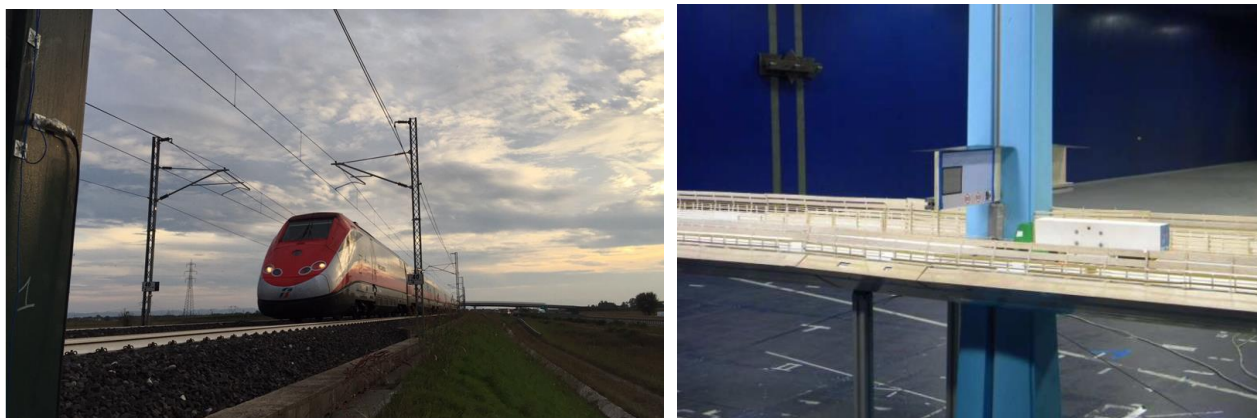


Fig. 1 – prove in linea con treno in transito vicino ad una barriera antivento (sinistra), prove in galleria del vento con camion in transito nella scia di un pilone (destra)

Gli effetti aerodinamici indotti dal passaggio dei treni su persone/strutture/veicoli che giacciono in prossimità della linea rappresentano uno degli aspetti che devono essere attentamente analizzati per progettare l'innalzamento della velocità di esercizio di una linea ferroviaria. In questi anni il Dipartimento di Meccanica è stato coinvolto nel progetto di innalzamento della velocità commerciale di esercizio delle linee ad Alta Velocità fino a velocità di marcia di 350 km/h, affrontando le tematiche delle sovrappressioni in galleria che si instaurano al transito del singolo convoglio o in concomitanza di un incrocio tra convogli, delle sollecitazioni sulle barriere antirumore, delle spinte sulle persone in attesa in banchina o al lavoro lungo la linea, del sollevamento del pietrisco della massicciata. Tali aspetti sono stati affrontati mediante sperimentazione in linea ed in galleria del vento e mediante modellazione numerica sia con codici CFD tridimensionali che monodimensionali.

Lavori più rappresentativi:

1. A. Premoli, D. Rocchi, P. Schito, C. Somaschini, G. Tomasini, Ballast flight under high-speed trains: Wind tunnel full-scale experimental tests. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, vol. 145, p. 351-361, ISSN: 0167-6105, 2015
2. F. Dorigatti; M. Sterling; D. Rocchi; M. Belloli; A.D. Quinn; C.J. Baker; E. Ozkan, Wind tunnel measurements of crosswind loads on high sided vehicles over long span bridges. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, vol. 107-108, p. 214-224, ISSN: 0167-6105, 2012
3. Cheli, F.; Rocchi, D.; Schito, P.; Tomasini, G., Neural network algorithm for evaluating wind velocity from pressure measurements performed on a train's surface. *Proceedings of the institution of mechanical engineers. part f, Journal of rail and rapid transit*, ISSN:0954-4097, 2015
4. E. Sabbioni; M. Sbroisi; D. Rocchi; R. Galeotti, Dynamic Response of Vehicle-Driver Couple to the Aerodynamic Loads due to the Crossing of a Bridge Tower Wake, *SAE International journal of commercial vehicles* - ISSN:1946-3928 vol. 5 (1), 2012

Dario Rotella, Marco Cammalleri,
Università degli Studi di Palermo
Parametrical design of Split-Way CVTs

La presente attività di ricerca si svolge presso l'Università degli Studi di Palermo nell'ambito di un corso di dottorato in Ingegneria dell'Innovazione Tecnologica, il quale si pone l'obiettivo di delineare una procedura semplice, generale e modulare per la progettazione, la modellistica ed il dimensionamento di trasmissioni meccaniche innovative, eventualmente coadiuvate da dispositivi di accumulo d'energia.

In particolare, una crescente sensibilità verso le problematiche connesse all'efficienza energetica, e la conseguente ascesa dell'auto ibrida, ha fatto sì che negli ultimi anni le trasmissioni di tipo Split-way suscitassero, specie in virtù della loro capacità di consentire un certo sottodimensionamento del variatore, un rinnovato interesse in numerose aziende, portando anche a diversi esempi applicativi.

Il modello da noi adottato riprende in larga parte i concetti ed i risultati esposti in [1-3], laddove lo studio di trasmissioni analoghe viene condotto per mezzo di un numero molto ristretto di parametri cinematici dal chiaro significato fisico, i quali, prescindendo dalla conoscenza del qualsivoglia parametro costruttivo, permettono di ottenere risultati affidabili e, al tempo stesso, caratterizzati da una grande generalità.

Forti di questa consapevolezza, il nostro lavoro si è inizialmente focalizzato sull'elaborazione di una procedura semplice, rapida e sistematica per la progettazione delle trasmissioni split-way di tipo compound, la cui attuazione non richieda di ricorrere a decisioni arbitrarie, quali, ad esempio, la scelta del layout di montaggio, e che potrebbero dimostrarsi subottimali, se non del tutto controproducenti.

In particolare, si è visto come tre soli parametri cinematici (A , A_v , A_f), di cui i primi due immediatamente quantificabili, in quanto variabili fondamentali di progetto, siano sufficienti non solo a caratterizzare la trasmissione dal punto di vista cinematico, ma anche al fine di stimare l'afflusso di potenza sul variatore, permettendone un dimensionamento di massima ancor prima di aver definito il layout di montaggio ed i rapporti caratteristici ψ dei rotismi epicicloidali; questi ultimi, al contrario, verranno suggeriti dal metodo stesso solo nello step successivo, nei termini atti a garantire a tali dispositivi la fattibilità costruttiva e una condizione di sincronismo interna all'intervallo di funzionamento. Il layout, da definirsi in un terzo step, sarà piuttosto una conseguenza di tale scelta, concorrendo, nel quarto ed ultimo step, alla definizione dei rotismi ordinari strettamente necessari (al più quattro su sei) a scalare tra loro i rapporti di trasmissione, senza però vincolarli a tal punto da rischiare di comprometterne la realizzabilità pratica.

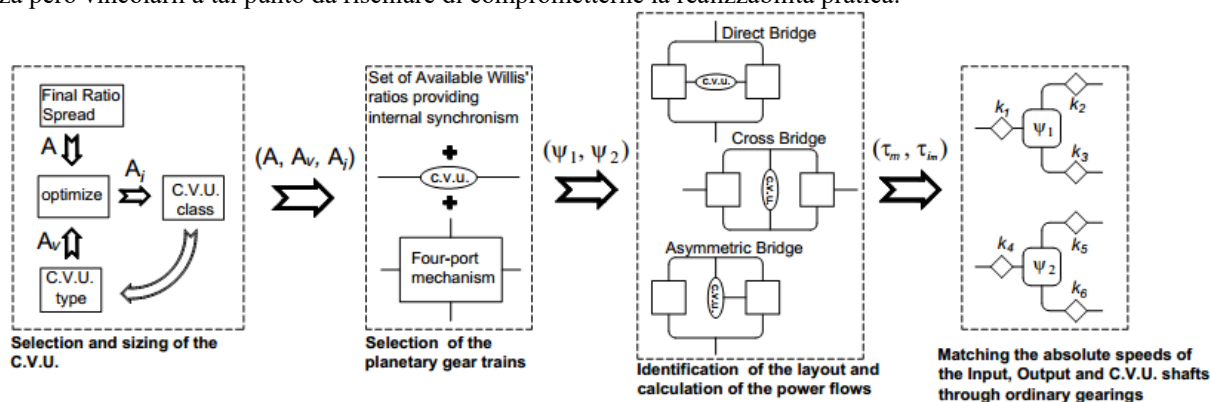


Fig. 1 – Tre soli parametri funzionali sono sufficienti ad individuare i layout di montaggio, ed i corrispondenti parametri strutturali, scartati quelli irrealizzabili, che portano a soluzioni equivalenti.

Il suddetto metodo, sebbene non contempli ancora esplicitamente alcuna perdita di potenza, è totalmente orientato all'ottimizzazione energetica, e permette di compiere scelte precise e consapevoli in tal senso, pur mantenendo la semplicità tipica di un modello ideale. Allo stesso tempo, esso suggerisce chiaramente le opportunità di semplificazione costruttiva, quali l'eliminazione di un rotismo ordinario o epicicloidale, consentendo di verificare in maniera pressoché immediata il loro impatto sui parametri maggiormente significativi.

Sebbene gli strumenti per una stima delle perdite di potenza effettive siano già stati forniti in [1], un approccio diverso e più diretto, ancorché altrettanto generale, è già stato individuato, e verrà successivamente integrato nel presente metodo in modo tale da affinarne ulteriormente i risultati. La progettazione di trasmissioni multimodali e/o coadiuvate dalla presenza di dispositivi idonei all'accumulo dell'energia rappresentano poi gli aspetti sui quali si concentrerà maggiormente la nostra attenzione nei prossimi mesi.

1. Cammalleri, M., "Efficiency of Split-Way CVT's. A simplified model," SAE Technical Paper 2007-24-0133, 2007.
2. Beccari A., Cammalleri M., Sorge F., "Experimental Results for a Two-Mode Split-Way CVT". VDI Berichte 1709, pp. 165-178, 2002.
3. Beccari A., Cammalleri M., Sorge F., "Operative Variator Characterization for CVT Improvement". The JSME Intern. Confer. on Motion and Power Transmissions, Fukuoka, Japan, 2001.

Nicola Roveri

Università di Roma La Sapienza, Ingegneria Meccanica e Aerospaziale
Monitoraggio e Diagnostica di Sistemi Meccanici

Monitoraggio strutturale ed identificazione early stage del danno attraverso l'analisi di segnali non-stazionari e/o non-lineari, tramite tecniche tempo-frequenza quali la trasformata Wavelet o di Hilbert-Huang [1-4]. In questo ambito è stato sviluppato il progetto di ricerca della durata biennale con ANAS, dal titolo: "SENSIROAD", riguardo l'identificazione del danneggiamento e del monitoraggio di viadotti autostradali. Sempre in questo ambito è stato sviluppato l'assegno di ricerca biennale SSD Ing-Ind 13, dal titolo: "Sviluppo di un sistema integrato per l'identificazione early-stage del danneggiamento strutturale di armamenti ferroviari", in cui è stato sensorizzato un tratto di 1.5 km della Linea 2 della Metro di Milano, impiegando fibre ottiche dotate di 50 sensori FBG. L'analisi dei segnali acquisti ha permesso di identificare le tratte di binari maggiormente usurate e le ruote dei treni che necessitavano la riprofilatura. L'analisi ha sfruttato la sola eccitazione ambientale del carico indotto da treni viaggianti.

Algoritmi per l'apprendimento automatico e data mining basati su logica fuzzy, algoritmi genetici e reti neurali artificiali, per l'identificazione automatica di incidenti automobilistici ed il riconoscimento dello stile di guida di un guidatore. In questo contesto è stato sviluppato il progetto "GLOBSENSE" in collaborazione con Octotelematics, in cui sono stati analizzati i dati accelerometrici e giroscopici provenienti dalle scatole nere presenti a bordo di oltre un milione di veicoli [i risultati sono in fase di pubblicazione].

Sviluppo di uno pneumatico intelligente per il monitoraggio in tempo reale del suo stato d'integrità, del coefficiente di attrito istantaneo nel contatto ruota-strada e della resistenza al rotolamento [5-7]. In questo contesto è stato sviluppato il progetto "OPTIRE", in Fig. 1, in cui è stato realizzato un prototipo funzionante di pneumatico intelligente, equipaggiato con sensori a fibra ottica FBG, accelerometri MEMS, sensori di pressione e temperatura, che ha permesso di testare le prestazioni degli algoritmi sviluppati con una vasta campagna sperimentale.



Fig. 1 – Prototipo di pneumatico intelligente.

Lavori più rappresentativi:

1. N. Roveri, A. Carcaterra, Damage detection in structures under travelling loads by Hilbert–Huang transform, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2012, 28, 128-144.
2. N. Roveri, A. Carcaterra, A. Sestieri, Real-time Monitoring of Railway Infrastructures Using Fiber Bragg Grating Sensors, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 60–61, 2015, 14–28.
3. N. Roveri, A. Carcaterra, A. Akay, Frequency intermittency and energy pumping by linear attachments, *Journal of Sound and Vibration*, 333(18):4281–4294.
4. N. Roveri, A. Carcaterra, Unsupervised identification of damage and load characteristics in time-varying systems, *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 2013, DOI 10.1007/s00161-013-0328-3.
5. A. Carcaterra, N. Roveri, Tire grip identification based on strain information: Theory and simulations. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2013, 41, 1-2, 564-580
6. A. Carcaterra, N. Roveri, M. Platini, Dispositivo e metodo per la misurazione ottica dell'aderenza di uno pneumatico e pneumatico idoneo per detta misurazione, patent RM2011A000401, date 27/07/2011.
7. N. Roveri, G. Pepe, A. Carcaterra, OPTYRE – A new technology for tire monitoring: Evidence of contact patch phenomena, *Mechanical Systems and Signal Processing*, doi:10.1016/j.ymssp.2015.06.019.

Nicola Sancisi

DIN - Università degli Studi di Bologna

Modelli personalizzati di articolazioni umane

I modelli delle articolazioni umane sono utili per determinare il movimento ed i carichi articolari in determinati compiti motori, per prevedere l'effetto sul paziente di un intervento e per sviluppare nuovi dispositivi (protesi ed esoscheletri). Insieme a diversi collaboratori abbiamo proposto una procedura di modellazione originale, utilizzata per definire modelli personalizzati di ginocchio e caviglia [1]. I modelli rispettano tutti il movimento naturale dell'articolazione ed i vincoli anatomici del paziente ed hanno un diverso livello di dettaglio a seconda dell'applicazione. In particolare:

- Modelli a corpi rigidi basati sulla sintesi di meccanismi paralleli spaziali (ad es., per lo studio del moto articolare naturale, per l'analisi del movimento tramite modelli muscoloscheletrici e per la progettazione di protesi o esoscheletri) [2];
- Modelli cinematici con elementi deformabili (ad es., per la riduzione degli artefatti di pelle e per il posizionamento ottimale delle componenti di protesi articolari) [3];
- Modelli dinamici con elementi deformabili (ad es., per lo studio del moto e delle forze articolari sotto carico) [4].

La definizione dei modelli avviene a partire da misure sperimentali eseguite sia su preparato anatomico sia su paziente, personalizzando quindi la geometria ed in generale i parametri del modello. La sintesi dei modelli e l'identificazione dei parametri è svolta con varie tecniche numeriche ed analitiche, quali ottimizzazione vincolata, teoria di Burmester. Tutti i modelli sono stati validati con misure sperimentali e con risultati di letteratura.

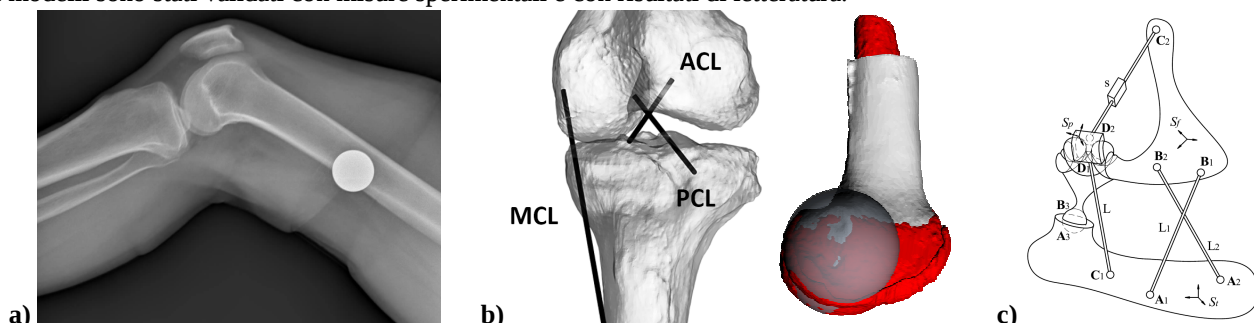


Fig. 1 – Definizione del modello: a) misure sperimentali; b) geometria personalizzata; c) meccanismo spaziale.

Progettazione di attrezzature di carico

Abbiamo progettato e realizzato attrezzature di carico in grado di simulare su preparato anatomico diversi compiti motori quali il cammino, l'alzata dalla sedia, ecc [5]. Le attrezzature sono controllate in forza variando il carico a seconda dell'angolo di flessione, consentono 6 gradi di libertà di movimento e sono basate su sistemi di carico costituiti da meccanismi spaziali progettati appositamente: la prima attrezzatura presenta un sistema di carico a cavi parzialmente disaccoppiato (maggiore semplicità di controllo, maggiore sfruttamento dei carichi degli attuatori); la seconda attrezzatura presenta una piattaforma di Stewart modificata (carichi e velocità maggiori, buone prestazioni cinematiche e statiche). La prima soluzione è attualmente utilizzata per misure del moto articolare sotto carico e per testare componenti protesici per conto di aziende e altri gruppi di ricerca, mentre la seconda è in fase di assemblaggio.

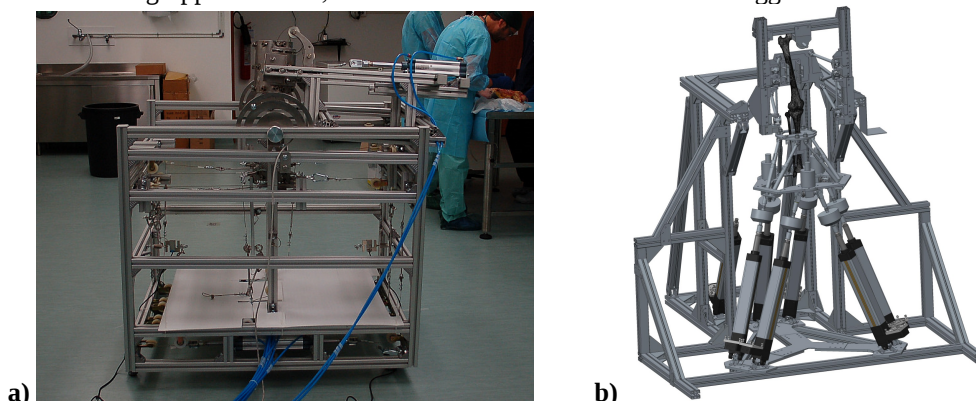


Fig. 2 – Attrezzature di carico: a) manipolatore a cavi; b) piattaforma di Stewart modificata.

1. Sancisi N, Parenti Castelli V. Mechanism and Machine Theory, 46(12):1920–1928, 2011.
2. Sancisi N, Parenti Castelli V. Meccanica, 46(1):207–220, 2011.
3. Gasparutto X, Sancisi N, Jacquelin E, Parenti Castelli V, Dumas R. Journal of Biomechanics, 48(6):1141–1146, 2015.
4. Forlani M, Sancisi N, Parenti Castelli V. Journal of Biomechanical Engineering, 137(6):061005-1 – 061005-12, 2015.
5. Sancisi N; Conconi M; Forlani M; Parenti Castelli V. Journal of Medical Devices, 9(2):020934-1 – 020934-3, 2015.