

**DA CONSEGNARE AL COORDINATORE DEL CORSO PER LA PRESENTAZIONE DEL
DOTTORANDO AL GIUDIZIO DEL COLLEGIO DEI DOCENTI IN VISTA DELL'ESAME FINALE**

SCHEMA INFORMATIVA SULLE ATTIVITA' DEL TRIENNIO

• Cognome e NomeTESSARI FEDERICO.....

• Titolo di studio posseduto.....LAUREA MAGISTRALE.....

conseguito in dataOttobre 2016..... presso l'Università/Politecnico di ...Torino..

• Dottorato di Ricerca in **INGEGNERIA MECCANICA**

• Ciclo **XXXIII** - Anni accademici di riferimento...2017-2018,2018-2019,2019-2020...

• Dipartimento

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA ED AEROSPAZIALE

• Coordinatore: **Prof. Luca Goglio**

• Tutore ANDREA TONOLI

• Titolo della Tesi di Ricerca (in Italiano e/o in Inglese)
Sviluppo di una protesi di ginocchio attuata tramite attuazione elettro-idrostatica
Development of a knee prosthesis powered by a electro-hydrostatic actuation

A. DESCRIZIONE DELL'ARGOMENTO DELLA TESI (massimo 20 righe)

La tesi si occupa dello studio, della progettazione e del controllo di una protesi di ginocchio attiva, ovvero capace di generare potenza meccanica per lo svolgimento delle attività quotidiane di un amputato transfemorale. Per l'attuazione della protesi è stato deciso di sviluppare un'attuatore elettro-idrostatico custom. La decisione di affidarsi a questo tipo di attuazione è stata basata sugli studi disponibili in letteratura che ne hanno dimostrato le sue ottime capacità in termini di controllabilità, reversibilità del moto e rapporto peso-potenza. La decisione invece di progettare un'attuatore completamente custom è stata basata sulla necessità di ottenere un dispositivo altamente integrato ed efficiente. L'integrazione rappresenta infatti un requisito fondamentale nella protesica ed, in generale nei sistemi robotici. L'efficienza invece garantirebbe una migliore performance energetica, che porterebbe a consumi più ridotti e quindi un'autonomia maggiore del dispositivo. Inoltre, la biomeccanica del ginocchio mostra come quest'ultimo si comporti in diverse fasi del passo come un freno. Si è quindi cercato di massimizzare l'efficienza del dispositivo anche per garantirne il possibile utilizzo come rigeneratore per raccogliere energia durante le fasi frenanti del cammino e quindi aumentare ulteriormente l'autonomia della protesi. Il lavoro si è infine concentrato nell'implementare diverse strategie di controllo della protesi per garantirne una corretta riproduzione della cinematica del moto del paziente durante le diverse fasi del cammino.

B. ATTIVITA' DI RICERCA SVOLTA NEL TRIENNIO

B.1 descrizione complessiva e sintetica dell'attività di ricerca

L'attività di ricerca si è concentrata sulla progettazione dell'attuazione elettro-idrostatica custom per una protesi di ginocchio. Nello specifico, il dottorando ha investigato in dettaglio tutti i componenti facenti parte di tale attuazione: cilindro idraulico, pompa idraulica e motore elettrico. Ha quindi sviluppato una metodologia di progettazione dei singoli componenti atta a soddisfare le specifiche biomeccaniche della protesi ed al contempo rimanere all'interno dei vincoli antropometrici in termini di pesi ed ingombri posti dal dispositivo. Particolare interesse è stato dato alla progettazione dell'unità pompa-motore. La pompa è stata infatti soggetta ad uno studio approfondito della sua geometria per garantire una massimizzazione della sua prestazione idraulica. Una metodologia ottima di design è stata sviluppata basandosi su una combinazione di modellazione analitica ed analisi CFD. In maniera analoga, la progettazione del motore elettrico ha seguito un approccio analitico-simulativo atto ad ottimizzare la geometria statorica per poi procedere alla modellazione elettrica degli avvolgimenti. Una serie di accorgimenti tecnici sono stati adottati per massimizzare l'integrazione del dispositivo e ridurre le perdite dovute ad attriti. L'attività di progettazione è stata poi seguita dall'implementazione di diverse strategie di controllo da poter applicare nelle differenti fasi del passo. In particolare sono state analizzate le prestazioni del controllo in posizione, del controllo in ammettenza e del controllo rigenerativo. Il dispositivo risultante ha soddisfatto le aspettative alla base della progettazione, mentre alcune limitazioni sono state osservate e possibili soluzioni sono state proposte per eventuali dispositivi successivi.

B.2 argomenti di ricerca specifici affrontati

Progettazione meccanica ed elettrica: Modellazione analitica delle geometrie di pompe gerotor.

Modellazione analitica di motori "brushless" a magneti permanenti (PMSM). Analisi CFD di pompe gerotor. Analisi FEM magnetica di motori PMSM.

Controllo: Sviluppo di tecniche di controllo per dispositivi protesici attivi, quali controllo in ammettenza, posizione e freno rigenerativo.

B.3 risultati più rilevanti ottenuti nel triennio

- Sviluppo di una metodologia di design ottima per le pompe gerotor
- Sviluppo di un attuatore elettro-idrostatico capace sia di generare potenza attiva che di funzionare come rigeneratore, rimanendo al contempo all'interno degli stringenti limiti di ingombro e peso dettati dalle specifiche della protesi

B.4 collaborazioni di ricerca avute con Università, Centri di ricerca ed Industrie nazionali ed internazionali (specificare il quadro entro cui sono avvenute: contratti di ricerca, periodi di formazione, ecc.)

L'attività di ricerca è stata finanziata dal Rehab Technologies/INAIL Lab dell'Istituto Italiano di Tecnologia. Il dottorando ha svolto il suo 2° e 3° anno presso tale istituto a Genova.

B.5 ulteriori attività di ricerca (progetti e contratti di ricerca nazionali ed internazionali)

Il dottorando ha collaborato attivamente con i seguenti gruppi di ricerca:

- LIM – Laboratorio di Meccatronica – dove ha supportato le diverse attività del gruppo in collaborazione con l'azienda Magneti Marelli per lo sviluppo ed il test dei seguenti dispositivi:
 - Shock-absorber rigenerativo con tecnologia elettro-idrostatica;
 - Lifter reversibile con tecnologia elettro-meccanica con vite a ricircolo di sfere.

Ha inoltre collaborato, all'interno dello stesso gruppo, allo studio e modellazione della power-train di aeromobili a pilotaggio remoto (UAV) per incrementare l'efficienza e quindi ridurre i consumi di tali dispositivi così da ottenere maggiori tempi di volo. Tale attività ha portato alla stesura di due articoli (conference e journal).

- PIC4SeR – Centro Interdipartimentale per la Robotica di Servizio – dove ha contribuito alla stesura, in collaborazione con Thales Alenia Spazio Italia (TASI), della domanda di partecipazione alla call ITT ESA per lo sviluppo di un aeromobile a pilotaggio remoto per l'atmosfera marziana.

B. 6 brevetti conseguenti l'attività di ricerca

L'attività svolta nell'ambito UAV ha portato al deposito di due domande di brevetto per una nuova tecnologia di pilotaggio dei motori elettrici per quadricotteri. L'attività svolta sulla tematica centrale del Dottorato ha portato al deposito di una domanda di brevetto per una protesi di ginocchio attiva con attuazione elettro-idrostatica.

B. 7 altre attività che si ritengono degne di menzione

Durante il percorso di Dottorato il candidato ha seguito diversi studenti magistrali nello svolgimento delle loro tesi di Laurea. Degni di menzioni i lavori in collaborazione col Prof. Ferraresi sullo sviluppo di modelli FEM e multi-body per lo studio del comportamento di piedi protesici:

[1] – Catto, E. Ferraresi, C., De Benedictis, C., Milandri, G., Tessari, F. *Realization and Evaluation of a Prosthetic Foot Multibody Model in Quasi-Static and Dynamic Conditions* (2019). Politecnico di Torino.

[2] – Cavallaro, L., Ferraresi, C., Tessari, F., Milandri, G., and De Benedictis, C. *Studio Numerico E Sperimentale Di Piede Protesico E Valutazione Degli Effetti Prodotti Sulla Deambulazione = Numerical and Experimental Study of Prosthetic Foot and Its Effects on Deambulation* (2018). Politecnico di Torino.

Inoltre ha collaborato come Tutor Universitario presso il Collegio Camplus di Torino, riconosciuto dal MIUR, svolgendo attività di insegnamento nelle seguenti materie:

- Analisi Matematica II
- Meccanica Applicata alle Macchine;
- Programmazione MATLAB.

Sempre in collaborazione con Camplus, il Dottorando ha supervisionato, dal punto di vista tecnico e coordinativo, un contest nazionale sullo sviluppo di un modello simulativo di una protesi di ginocchio.

Il dottorando ha partecipato alla 1° Edizione del Festival della Tecnologia con la presentazione: "Robotica Riabilitativa: Scenari presenti e futuri dell'unione tra uomo e macchina".

Il candidato è risultato vincitore del 3° Premio del contest "My Research in Three Minutes" dell'anno 2019.

C. ATTIVITA' DI FORMAZIONE

C.1 partecipazione ad attività interne di supporto alla didattica (specificare su quali corsi, e se eventualmente il dottorando sia stato nominato cultore della materia)

Il dottorando non trovandosi nella città di Torino durante il 2° e 3° anno di Dottorato, non ha potuto svolgere attività di supporto alla didattica presso il Politecnico. Le attività di didattica sono state svolte in collaborazione con Camplus - vedere paragrafo precedente.

C.2 corsi e seminari più significativi seguiti (interni, esterni, ecc. - indicare solo il tipo ed il numero)

Winter School - Wearable Robots - Augmentation, Assistance or Substitution of Human Motor Functions – Durata 7 gg

01LCPIU – Experimental modeling: costruzione di modelli da dati sperimentali

01SFURV – Programmazione scientifica avanzata in matlab

C.3 periodi di formazione esterni al Politecnico (tipo di formazione, luogo e durata)

.....

.....

.....

D. PUBBLICAZIONI FATTE E IN CORSO (indicare il numero e il tipo: riviste nazionali ed internazionali, congressi, capitoli libri ecc.)

- [1] – Tessari, F., Galluzzi, R., Tonoli, A., Amati, N., Laffranchi, M., De Michieli, L., (October, 2020) “Design and Testing of a Fully-Integrated Electro-Hydrostatic Actuator for Powered Knee Prosthesis” *Springer Proceedings of International Symposium on Wearable Robotics (WeRob2020)* – ACCEPTED & UNDER PUBLICATION
- [2] – Tessari, F., Galluzzi, R., Tonoli, A., Amati, N., Laffranchi, M., De Michieli, L., (October, 2020) “Analysis, Development and Evaluation of Electro-Hydrostatic Technology for Lower Limb Prostheses Applications” *IEEE Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* – ACCEPTED & UNDER PUBLICATION
- [3] – Tessari, F., Galluzzi, R., Tonoli, A., Amati, N., Milandri, G., Laffranchi, M., De Michieli, L., (December, 2020) “An Integrated, Back-Drivable Electro-Hydrostatic Actuator for a Knee Prosthesis” *IEEE Proceedings of International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)* – ACCEPTED & UNDER PUBLICATION
- [4] – Tessari, F., Galluzzi, R., and Amati, N. (November 6, 2019). "Efficiency-Driven Design Methodology of Gerotor Hydraulic Units." *ASME. J. Mech. Des.* doi: <https://doi.org/10.1115/1.4045421>
- [5] – Silvagni M., Chiaberge M., Tessari F. (2018) “UAV powertrain efficient design through a model based approach” *International Journal of Mechanics and Control*. 19(1): 15-22
- [6] – Silvagni M., Chiaberge M., Tessari F. (2018) “Analysis & Modelling of Powertrain Components for an Efficient UAV Design.” In: Ferraresi C., Quaglia G. (eds) *Advances in Service and Industrial Robotics. RAAD 2017. Mechanisms and Machine Science*, vol 49. Springer, Cham

Data, 9/10/2020



(firma del dottorando)