

Abstract (English)

This Ph.D. work is based on the investigation of the phenomena involved in the bio-tribology of the synovial replacements. The synovial joints are the natural articulations of the human body linking two bones, providing minimum friction and ensuring a high range of motion between them.

When the natural joint suffers from articular diseases, a surgical procedure of replacement is often required: the artificial implant realized with biomaterials that is going to substitute the unhealthy joint has to guarantee the same functionality of the replaced one while ensuring the maximum duration and then the minimum implant wear.

Hence, an accurate tribological characterization of the prosthesis is needed; the scientific community is going to move from the experimental characterization (*in vitro*) to a numerical simulative one (*in silico*), in order to have fast and cheap computational tools during the design and the wear prediction phase: this aspect requires a deep knowledge of the physical/mathematical description of the problem.

With these foundations, this Ph.D. work is moving following two parallel investigations regarding in particular the Total Hip Replacement:

- the assembling of a multibody model capable of simulating the inverse kinematics and the inverse dynamics of musculoskeletal systems, in order to have a generator of tribological configurations (load and relative motion) for the analyzed joint due to a selected musculoskeletal motion;
- the realization of a tribological model able to simulate the lubrication/contact regime of the analyzed tribo-system in terms of lubricant/contact pressure, surfaces' deformation and separation, wear depth, load and friction torque due to a certain relative motion between the articulated surfaces.

The developed numerical models related to both the investigations are conceived in Matlab® computational environment and have to communicate in order to obtain a global tool that characterizes the biotribological performance of a synovial replacement due to an overall musculoskeletal physical activity.

The main goal is to provide the basis of the numerical modelling in this framework and to make the realized codes more and more accurate by adopting advanced numerical techniques (non-linear solvers, minimization, Finite Difference Method, Finite Element Method, Boundary Element Method, random fractals generator, Differential Algebraic Equations, etc.) and by the validation with respect to experimental/*in vivo* measurements or empirical benchmarks.

Abstract (Italiano)

Questo lavoro di dottorato si basa sullo studio dei fenomeni coinvolti nella bio-tribologia delle sostituzioni protesiche sinoviali. I giunti sinoviali sono le naturali articolazioni del corpo umano che collegano due ossa, garantendo attrito minimo e grande mobilità tra queste.

Quando il giunto naturale soffre di patologie articolari, spesso è richiesta un'operazione chirurgica di sostituzione: l'impianto protesico realizzato con biomateriali che farà da sostituto deve garantire la stessa funzionalità del giunto naturale garantendo massima durata e minima usura.

Quindi, è necessaria un'accurata caratterizzazione tribologica della protesi; la comunità scientifica si sta muovendo da una caratterizzazione sperimentale (*in vitro*) verso una caratterizzazione numerica simulativa (*in silico*), in modo da realizzare strumenti computazionali veloci ed economici a sostegno della fase progettuale e di stima dell'usura: questo aspetto richiede una profonda conoscenza per la descrizione fisico/matematica del problema in analisi.

Con queste basi, questo lavoro di dottorato si muove lungo due filoni di investigazione paralleli, concentrandosi in particolare sulle sostituzioni protesiche totali d'anca:

- l'assemblaggio di un modello multibody capace di simulare la cinematica e la dinamica inverse di sistemi muscoloscheletrici, in modo da avere un generatore di configurazioni tribologiche (carico e moto relativo) relative al giunto in analisi per una selezionata cinematica muscoloscheletrica;
- la realizzazione di un modello tribologico che simuli il regime di lubrificazione/contatto del tribosistema in analisi in termini di pressione del lubrificante o di contatto, separazione e deformazione delle superfici, usura, carico e momento d'attrito dovuti a un certo moto relativo tra le superfici coniugate.

I modelli numerici sviluppati relativi ad entrambi i filoni di ricerca sono concepiti in ambiente computazionale Matlab® e devono comunicare in modo da ottenere un globale strumento che possa caratterizzare la prestazione tribologica della sostituzione protesica dovuta ad una complessa attività muscoloscheletrica.

L'obiettivo principale è di fornire le basi della modellazione numerica in quest'ambito e di rendere i codici realizzati sempre più accurati adottando tecniche numeriche avanzate (solutori non lineari, minimizzazione, metodo alle differenze finite, agli elementi finiti, agli elementi al contorno, generatori randomici frattali, equazioni differenziali/algebriche, ecc.) e validando gli stessi confrontandone i risultati con misure sperimentali/*in vivo* o con riferimenti empirici.