

# SOMMARIO DELLA TESI DI LAUREA

valido anche come sommario richiesto al punto c) del bando nel caso di tesi in inglese

**Autore** Matteo Pezzulla

**Titolo** On the control of the large deformations occurring in IPMCs

**Relatore** Prof.ssa Paola Nardinocchi

**Inquadramento del tema trattato e del lavoro svolto** Il titolo della tesi in italiano è *Sul controllo delle grandi deformazioni negli IPMCs*. L'acronimo IPMCs sta per *Ionic Polymer Metal Composites*, un particolare tipo di materiali compositi che negli ultimi due decenni ha attratto molta attenzione in campo aerospaziale e non solo. Sono compositi leggeri, costituiti da una sottile membrana ionomerica, generalmente ricca di solvente, ricoperta su entrambe le superfici maggiori da sottili strati di metallo, generalmente in platino o oro. Se una differenza di potenziale è applicata tra le due superfici metalliche del composito, il campo elettrico generato all'interno della membrana riesce a rompere i legami secondari tra cationi e catene polimeriche ma non quelli primari che legano gli anioni al polimero. Di conseguenza, i cationi migrano verso il catodo trascinando con essi una certa quantità di molecole di solvente che sono attratte per via elettrostatica (si pensi ad esempio al dipolo della molecola d'acqua). La conseguenza diretta di questa differenza di concentrazione è la dilatazione differenziale del composito: il catodo è soggetto a un rigonfiamento mentre l'anodo subisce uno sgonfiamento. Questo tipo di distorsione causa quindi in generale una flessione del campione di IPMC (del tutto analoga alla flessione indotta nelle termocoppie).

Gli IPMCs non sono solo attuatori ma possono essere utilizzati anche come sensori. Infatti, una deformazione del composito genera un gradiente di concentrazione dei cationi e, di conseguenza, una differenza di potenziale tra gli elettrodi che può essere misurata e tradotta in una misura di deformazione.

In realtà, questo è un modello molto semplice che spiega il comportamento degli IPMCs solo in campo lineare, ovvero per piccoli spostamenti. Quando la differenza di potenziale è elevata (circa 1 V), gli spostamenti sono grandi così come il campo elettrico che si è sviluppato nel composito. In una situazione del genere, ci sono importanti fenomeni elettromeccanici non lineari che non possono essere trascurati. Ad esempio, la superficie di interfaccia tra polimero e metallo non è piana: l'elevata rugosità della stessa determina un'elevatissima area della superficie di contatto tra polimero e metallo. Per piccoli voltaggi, l'influenza di questa rugosità è pressoché nulla (e quindi l'interfaccia si può schematizzare come una superficie piana), per alti voltaggi, invece, è molto importante. Un fenomeno elettromeccanico non lineare è la cosiddetta *back relaxation*, ovvero un'inversione della flessione del campione di IPMC anche se la differenza di potenziale applicata ha un valore costante.

Il lavoro di tesi è stato quindi focalizzato sullo studio di un modello teorico non lineare degli IPMCs derivato in modo consistente dal secondo principio della termodinamica. Le tre fisiche coinvolte (elasticità non lineare, elettrostatica e diffusione) sono rappresentate da un totale di cinque equazioni alle derivate parziali che, riscritte in forma debole, sono state risolte attraverso il metodo degli elementi finiti. Una prima fase dello studio è stata incentrata sull'elettrochimica degli IPMCs che è un problema non lineare dal punto di vista costitutivo: le equazioni che la regolano, identificate con il nome di *Poisson–Nernst–Planck*, sono ben note in letteratura ma sono state risolte con una permittività elettrica variabile lungo lo spessore per valutare l'effetto di questa peculiarità sulle grandezze elettriche come la densità di carica accumulata e la densità di corrente attraverso il composito. La seconda fase dello studio è stata invece focalizzata sullo studio del comportamento da attuatore di una

trave di IPMC quando soggetta ad alti voltaggi: la back-relaxation viene descritta in modo qualitativo.

**Originalità dei risultati ottenuti** Il principale risultato che è stato ottenuto riguarda la capacità del modello di prevedere la back-relaxation, fenomeno non lineare citato in letteratura ma mai predetto da un modello teorico-numericò fondato su una base fisica. Prevedere questo fenomeno è di fondamentale importanza quando si vogliono studiare applicazioni degli IPMCs ad alti voltaggi. Inoltre, un altro punto chiave della tesi è rappresentato dalla modellizzazione dell'effetto dell'alta rugosità dell'interfaccia polimero-metallo per mezzo di una permittività elettrica variabile lungo lo spessore del composito: in questo modo, la rugosità entra all'interno del modello in modo costitutivo e non geometrico, evitando così complicazioni della geometria e della griglia di calcolo.

**Applicabilità degli stessi** I risultati ottenuti nel lavoro di tesi magistrale possono essere sfruttati per la comprensione dei fenomeni non lineari che caratterizzano gli IPMCs: la capacità di descrivere il comportamento di questi compositi ad elevate differenze di potenziale è un punto cruciale nella progettazione di attuatori e sensori basati sugli IPMCs. Il modello teorico-computazionale sviluppato nella tesi è in grado di cogliere la back-relaxation in modo qualitativo ma non quantitativo, requisito fondamentale per poter utilizzare il modello per la progettazione di prototipi.

**Rilevanza scientifica dei risultati ottenuti** I risultati ottenuti costituiscono un passo in avanti decisivo verso la comprensione dei fenomeni non lineari che caratterizzano gli IPMCs. La simulazione costitutiva della rugosità dell'interfaccia polimero-metallo e la capacità di prevedere la back-relaxation rappresentano punti fondamentali e innovativi per la progettazione efficace di prototipi.

**Eventuali pubblicazioni** Il contenuto della tesi è stato sintetizzato nel seguente articolo:

P. Nardinocchi and M. Pezulla. **Curled actuated shapes of ionic polymer metal composites**. *J. Appl. Phys.* 113, 224906, (2013).

*Matteo Pezulla*