



**UNIVERSITÀ DI PARMA**

**Conferimento della Laurea Magistrale ad  
Honorem in Ingegneria Meccanica**

**a Gerhard Alfred Holzapfel**

***Laudatio***

**Luca Collini**

**Presidente del Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Meccanica**

Aula Magna della Sede centrale  
Parma

**20 maggio 2025**



Magnifico Rettore,

illustre Corpo Accademico,

Autorità Civili, Militari e Religiose,

Personale tecnico amministrativo di questa Università,

Studentesse e Studenti,

Signore e Signori,

non sarà facile in pochi minuti delineare la statura dello scienziato cui oggi ci onoriamo di conferire la laurea honoris causa.

Dirò due parole sulla sua formazione e i suoi attuali incarichi, e mi soffermerò sul suo lavoro di ricerca e sulle importanti ricadute nel mondo della biomeccanica.

Tale ambito della ricerca abbraccia ed interseca in maniera affascinante due campi a volte molto diversi, quello medico e quello fisico/matematico. Questo da una parte offre numerosissimi temi e spunti per lavori sia sperimentali che analitici dalle ricadute importanti, ma dall'altra l'approccio ingegneristico si scontra con le profonde incertezze legate alla complessità del corpo umano e dei meccanismi che lo governano e alla estrema variabilità delle proprietà meccaniche di tessuti e materiali biologici, anche solo tra paziente e paziente.

Gerhard si laurea nel 1985 in Ingegneria Civile all'Università di Tecnologia di Graz in Austria; è visiting researcher in Germania e in Cina dal '88 al '91; nel '90 acquisisce il Dottorato di Ricerca in Meccanica, e dal '93 al '95 è post-doc a Stanford con tale Juan Simo, nel frattempo deceduto a soli 42 anni, enfant prodige e nome molto noto per chi si occupa di metodi matematici per l'ingegneria, in particolare nella meccanica dei solidi non lineare.

Dal 2004 è professore ordinario di Biomeccanica al Royal Institute of Technology di Stoccolma, poi dal 2007 dirige il suo Istituto di Graz, e dal 2016 è professore aggiunto presso l'Università Norvegese di Scienze e Tecnologia di Trondheim.

Oggi vanta numerose memberships:

- EUROMECH European Mechanics Society
- SES Society of Engineering Science
- World Council of Biomechanics
- ESMCC European Solid Mechanics Conference Committee
- EAMBES European Alliance for Medical and Biological Engineering & Science
- ÖGBMT Österreichische Gesellschaft für Biomedizinische Technik
- ASME American Society of Mechanical Engineers
- GAMM International Association of Applied Mathematics and Mechanics.

Fin dai primordi, all'inizio degli anni '90, la sua attività di ricerca si concentra sulla meccanica non lineare di tessuti biologici: poco investigati, sono di importanza cruciale. In quegli anni ha un forte impulso lo sviluppo di materiali biocompatibili, una crescente attenzione verso apparati protesici e l'esplorazione di possibilità prima impensabili.

Il filone di ricerca rimane quello della biomeccanica, e l'attività, ad oggi, si concretizza in 9 monografie, 30 interventi in libri di testo, 370 pubblicazioni citate 26 mila volte e numerosissimi interventi a congressi e workshops a livello internazionale, la maggior parte su invito. La sua prima pubblicazione a nome singolo compare nel 1991 su *Computational Mechanics*, ma è il lavoro *A New Constitutive Framework for Arterial Wall Mechanics and a Comparative Study of*

*Material Models* pubblicato sul Journal of Elasticity nel 2000 ad attirare l'attenzione della comunità scientifica della meccanica dei tessuti biologici.

In queste 48 pagine, assieme all'allievo Thomas Gasser, ora full professor a Graz e professore aggiunto in Danimarca, e al mostro sacro Raymond Ogden, già professore di Matematica e statistica a Glasgow, viene presentato un nuovo modello costitutivo che descrive il comportamento meccanico dell'arteria umana.

L'arteria si comporta come un condotto in pressione, ed è modellata nelle due sezioni coassiali strutturalmente importanti, *media* e *adventitia*, costituite da tessuto connettivo, tessuto muscolare liscio, elastina e una dispersione di fibre di collagene a rinforzo. È, a tutti gli effetti, un materiale composito. La meraviglia del corpo umano frutto dell'evoluzione fa in modo che l'arteria sia resistente ma anche elastica e flessibile, che asseconi la pressione sanguigna ma in qualche modo la guidi e la conduca come se fosse un sistema pulsante accordato. I carichi non sono solamente radiali, ma anche torsionali e assiali, cioè lungo l'asse di questo "cilindro" dalla particolare geometria. Ciò complica parecchio la trattazione matematica. In più, la dispersione di fibre non è uniforme, il materiale si definisce ortotropo, cioè non mostra le stesse caratteristiche in tutte le direzioni: è evidente che il "rinforzo" dovrà agire attorno alla circonferenza del vaso. Altra complicazione: le pareti o *layers* dell'arteria, abbiamo detto *adventitia* e *media*, non sono *stress-free*, perché anche nella condizione di non caricamento contengono un campo deformativo preesistente. Di questo ci si è resi conto dissezionandola, incidendola e misurando l'arricciamento delle pareti. Ancora una volta gli stress residui sono tali da aiutare l'aorta nel suo lungo e faticoso lavoro.

I tre ricercatori estendono e sviluppano quindi una complessa trattazione matematica frutto di alcune idee brillanti:

- ogni *layer* è un materiale composito a sé stante ma che collabora l'uno con l'altro;
- il comportamento è viscoelastico fino ad un certo livello di deformazione oltre al quale diventa inelastico e mostra un ciclo isteretico;
- l'approccio tradizionale per il calcolo di tensioni e deformazioni è abbandonato a favore di una funzione di energia di deformazione, declinata dal mondo degli elastomeri, o SEF, che consente la definizione matematica dell'elasticità in grandi deformazioni, o iperelasticità, per ciascuno degli strati della parete arteriosa e per ciascuna delle componenti: elastina e collagene;
- il modello incorpora le informazioni istologiche: le fibre sono disperse statisticamente, con simmetria rotazionale, attorno ad una direzione che forma un certo angolo con l'asse dell'arteria;
- le fibre durante il carico si “srotolano” (*uncrimping*) e si allineano lungo la direzione del carico garantendo una crescente rigidità e resistenza del materiale;
- può essere incorporato il campo di tensioni preesistente;
- la risposta meccanica di ogni layer può essere identificata da un set di parametri ridotti: solo 3.

Il modello presentato prenderà il nome di modello GOH, dalle iniziali dei tre autori Gasser, Ogden, e Holzapfel. Gli scorsi giorni mi hanno chiesto “*ah! È Holzapfel quello del modello GOH???*” Sì, è lui, eccolo qui.

Le ricadute del lavoro, cui seguiranno 25 anni di ricerche, sperimentazioni, e sviluppi nella comunità biomeccanica mondiale, sono importanti. Si pensi allo sviluppo di tecniche di diagnostica basate sulla meccanica dei tessuti, allo studio

delle patologie gravi, come aneurismi e dissezioni, all'analisi di materiali protesici che meglio si adattano alla risposta meccanica dell'aorta in un'ottica *patient specific*.

Il modello GOH è implementato nei codici di calcolo numerico più evoluti e consente simulazioni e studi avanzati. Un vasto data base, in questi anni, è stato completato da molti ricercatori sparsi in tutto il mondo che hanno determinato in laboratorio i parametri costitutivi del modello al variare del genere, della fascia di età, delle abitudini di vita, e correlando con successo i dati con i rischi di patologie.

(Penso ci sarebbero molti meno fumatori se guardassimo a come cambia negli anni l'elasticità del tessuto aortico!)

Oggi una delle estensioni maggiormente significative è lo studio della dinamica dell'aorta, cioè del suo ruolo attivo in sincronia con il sistema pulsante cardiocircolatorio, che sembra essere cruciale per lo sviluppo di sistemi protesici di ultima generazione. Ancora, il modello GOH ha un ruolo centrale.

Ecco, questi che ho cercato di sintetizzare, nella speranza di non avervi annoiato troppo, sono i motivi che hanno spinto il Consiglio di Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica da me presieduto, l'8 ottobre dello scorso anno, a pronunciarsi unanime a favore del conferimento del titolo di Dottore Magistrale in Ingegneria Meccanica a Gerhard Holzapfel: per il rigore dimostrato, l'impegno decennale, i rilevanti risultati raggiunti, e la portata del loro impatto sulla vita umana.

Al neo ingegnere Gerhard Holzapfel vanno i nostri migliori complimenti e gli auguri per un lavoro ancora ricco di importanti traguardi.