

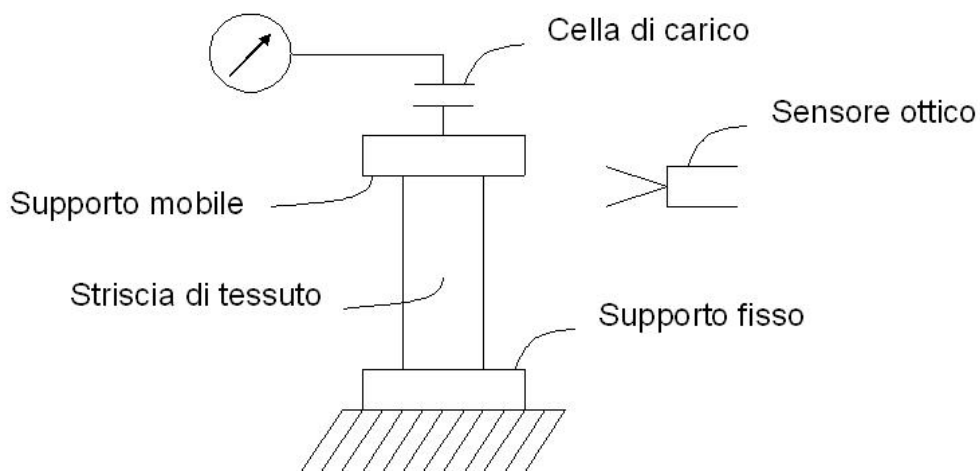
## II.2 Caratterizzazione del comportamento bio-elastico del tessuto

Per prime sono state eseguite le prove necessarie alla caratterizzazione del comportamento costitutivo del tessuto e quindi alla quantificazione di 2 parametri a questo associati, rigidità longitudinale (**EL\_L**) e rigidità trasversale (**EL\_T**).

Come detto in fase introduttiva, l'apparato gastrointestinale si caratterizza per una elevata disomogeneità delle parti che lo costituiscono, ciascuna delle quali è stata testata in condizioni standardizzate.

Modellando il sistema come un lungo condotto, provini di tessuto, strisce di lunghezza e larghezza prefissate, sono stati ritagliati sia nella direzione assiale che in quella trasversale per poter essere successivamente sottoposti a delle prove di trazione analoghe a quelle utilizzate per testare i materiali strutturali.

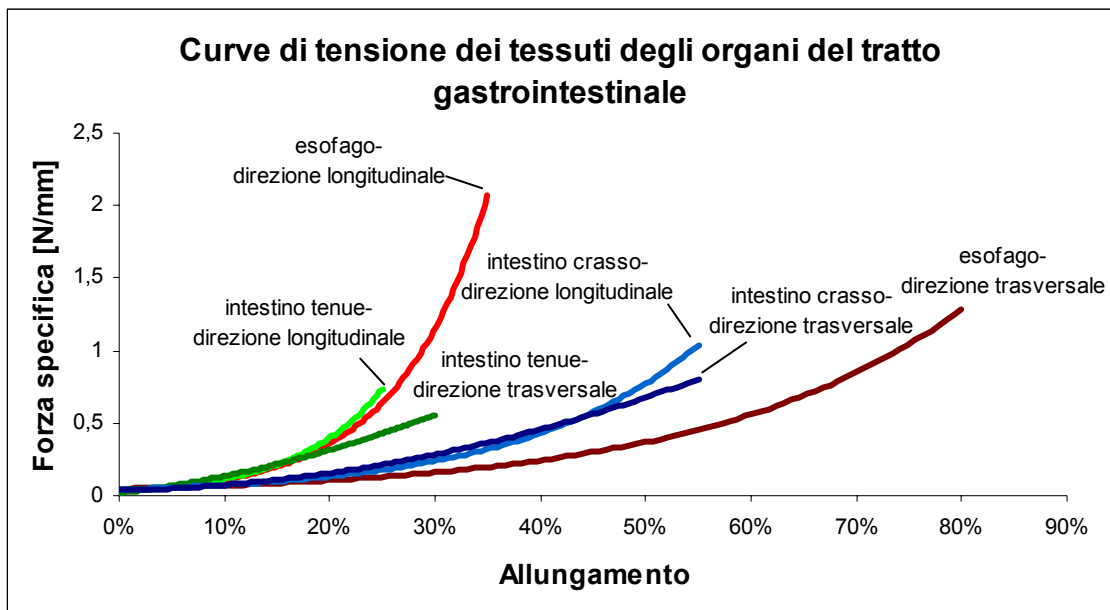
Un estremo del campione è stato bloccato su un supporto fisso, mentre all'altro è stata applicata una forza variabile linearmente nel tempo attraverso un elemento mobile cui questa è stata fissata. Detta forza è una grandezza nota, misurata attraverso celle di carico montate sul secondo sostegno, la deformazione indotta è stata invece rilevata attraverso dei sensori ottici disposti lateralmente al provino in prossimità della zona di applicazione del carico esterno:



**Fig. II.1** Schema di prova di trazione del provino

Seppur quantitativamente variabili i risultati ottenuti hanno mostrato, da un punto di vista qualitativo, un comportamento sostanzialmente analogo per i vari campioni testati, indipendentemente dalla sede di origine e dall'orientamento longitudinale o trasversale della sezione da questi rappresentata.

Qui di seguito si è deciso di riportare un diagramma illustrativo dei risultati:



**Fig. II.2** Legame Forza specifica-Allungamento per differenti tipi di tessuto

Il diagramma riporta in ascissa l'allungamento imposto, termine associato alla deformazione applicata, mentre in ordinata si trovano i valori di una forza specifica, misurata in N/mm, rappresentativa delle tensioni.

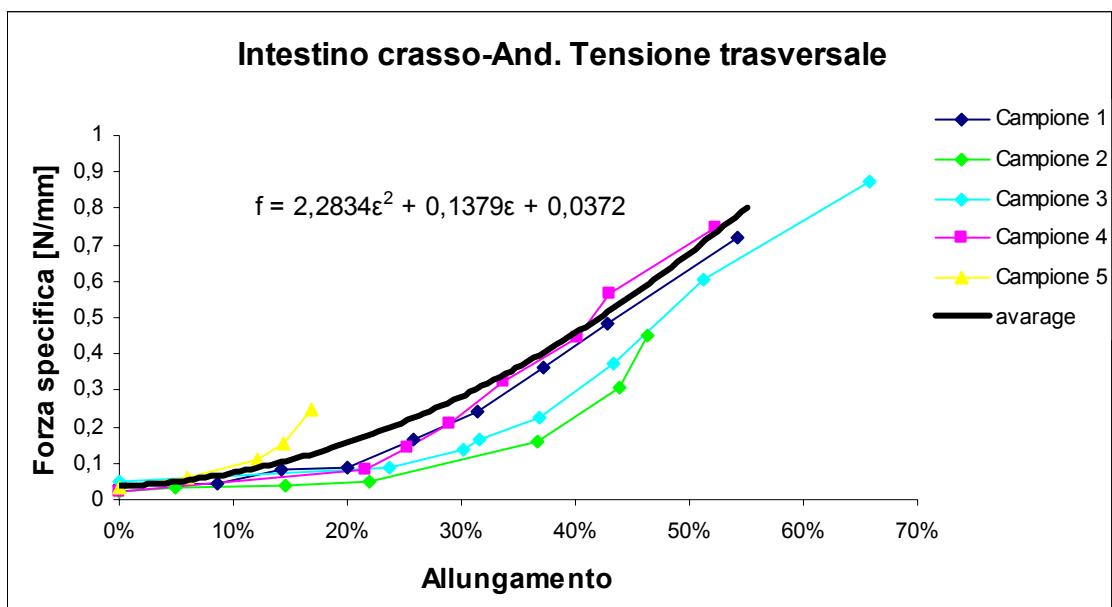
Si noti che la necessità di utilizzare una forza per unità di lunghezza è conseguenza di un limite pratico che si ha nella definizione delle caratteristiche geometriche del tessuto.

La notevole deformabilità che gli è propria infatti non permette di valutare con un errore accettabile lo spessore della striscia in questione.

Questo fatto si ripercuote ovviamente sugli stessi coefficienti oggetto di determinazione attraverso le prove appena descritte. Questi infatti sono stati definiti rigidità trasversale e longitudinale del tessuto pur non definendo in effetti il legame tra tensioni e deformazioni ma tra queste ultime ed appunto una forza per unità di lunghezza.

Gli andamenti tracciati non sono lineari, ci sono notevoli differenze tra la rigidità longitudinale e quella trasversale per l'esofago, mentre queste sono molto meno marcate nell'intestino, specie in quello crasso. Per valori elevati dell'elongazione la  $EL_L$  è maggiore di  $EL_T$  ma altrettanto non si può dire per allungamenti limitati dove, per l'intestino, la relazione si ribalta.

Scendendo nel dettaglio, i risultati ottenuti per l'intestino crasso (come già citato questa è infatti la sede prescelta per le prime applicazioni sperimentali del dispositivo endoscopico oggetto di discussione in questa tesi) possono essere approssimati attraverso degli andamenti di tipo parabolico che definiscono il legame tensione-deformazione così come indicato nella figura seguente:



**Fig. II.3** Legame Forza specifica in direzione trasversale-Allungamento per l'intestino crasso

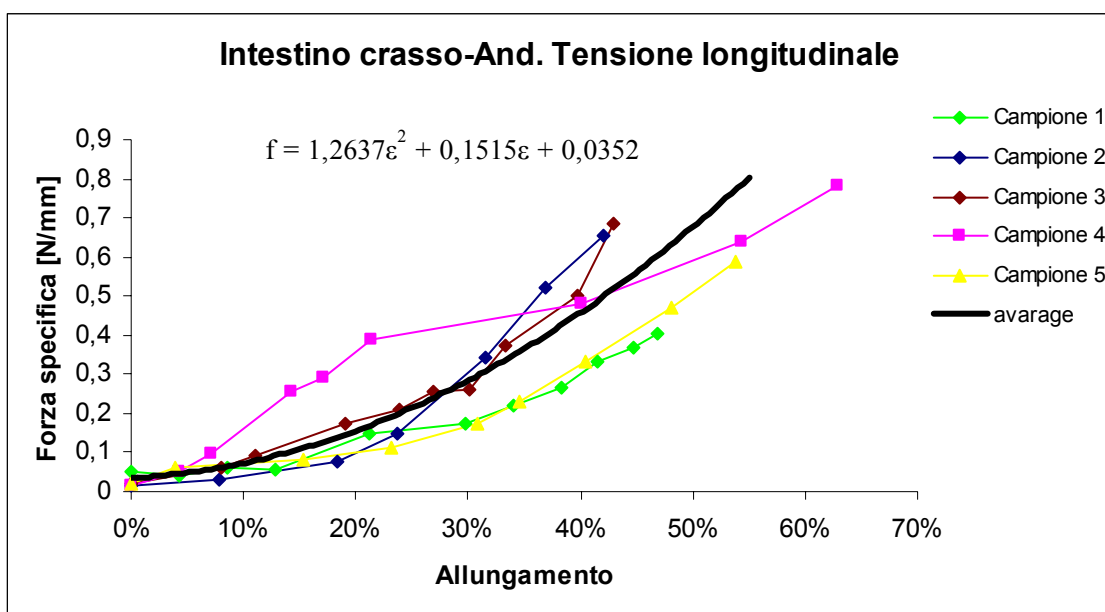
In nero è stato riportato l'andamento della forza specifica media  $f$  in funzione dell'allungamento percentuale, ricavabile dai dati misurati. Come facilmente osservabile, a rigore, quella curva non passa per l'origine del sistema di riferimento considerato, si rileva cioè una forza non nulla anche in assenza di una deformazione applicata e questo può essere spiegato tenendo in conto la presenza di azioni di adesione caratteristiche del comportamento del tessuto.

Nella trattazione a seguire si è deciso di fare delle ipotesi semplificative del modello descritto. Sono stati trascurati i contributi delle forze di adesione e questo, da un punto di vista di vista analitico, ha permesso di scrivere la relazione tra tensioni e deformazioni nella forma:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon^2$$

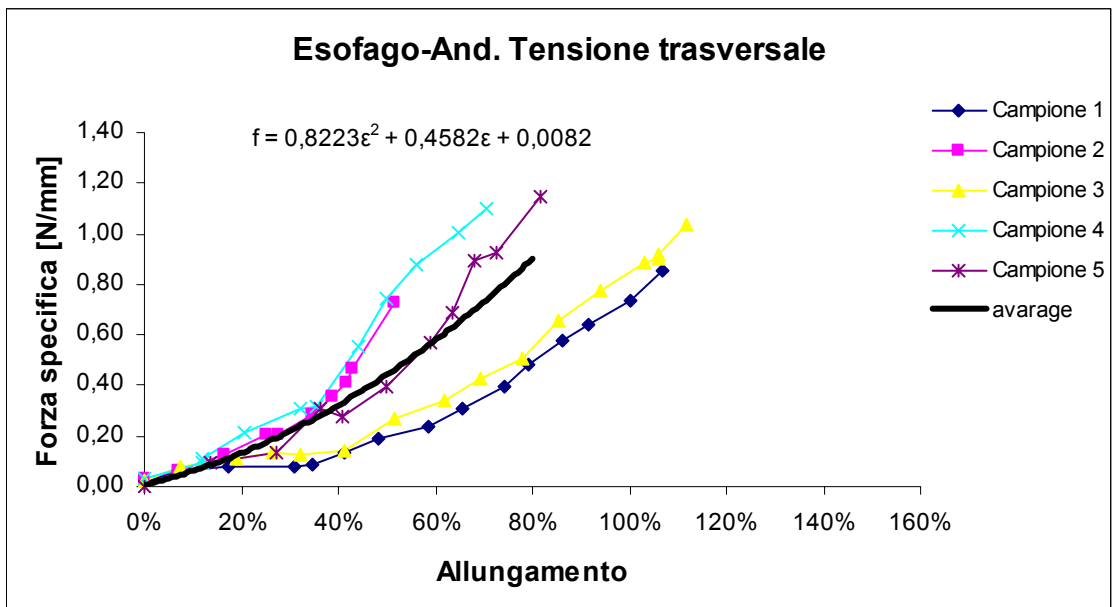
Dove  $E$  rappresenta il modulo di elasticità, variabile da zona a zona ma determinabile una volta noti i valori sperimentali di tensione e deformazione, mentre la  $\sigma$ , come già detto, non è propriamente una tensione, coincidendo con la forza specifica sopra introdotta ed avendo quindi, essa stessa, le dimensioni di una forza per unità di lunghezza [N/mm].

Per la direzione longitudinale è stato invece possibile determinare, seguendo la stessa procedura, un secondo andamento di tipo parabolico tra tensioni, definite come sopra, e deformazioni:

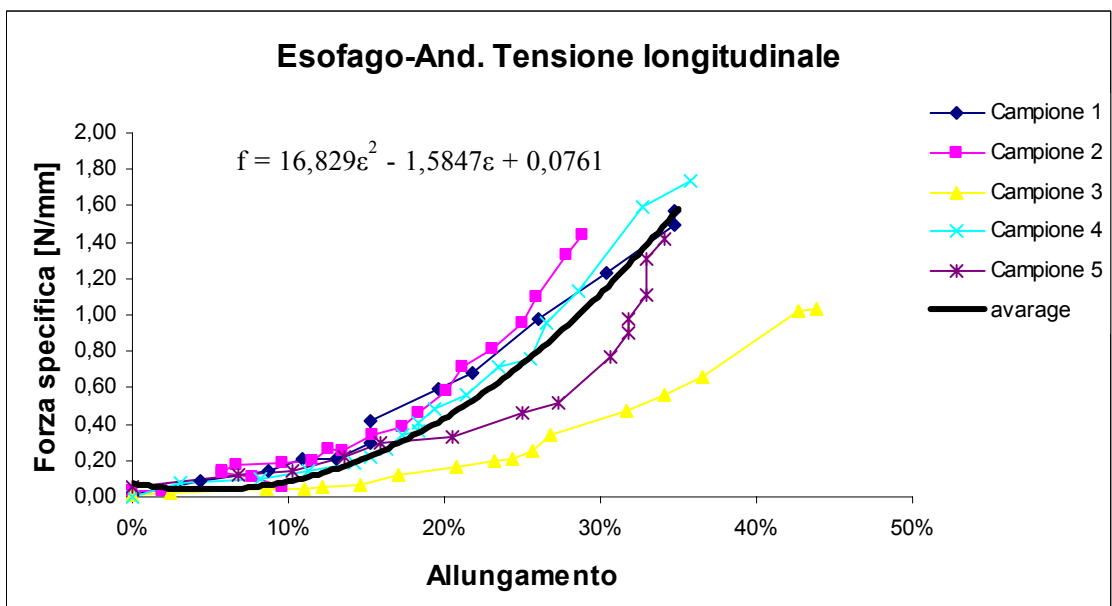


**Fig. II.4** Legame Forza specifica in direzione longitudinale-Allungamento per l'intestino crasso

**Esofago:**

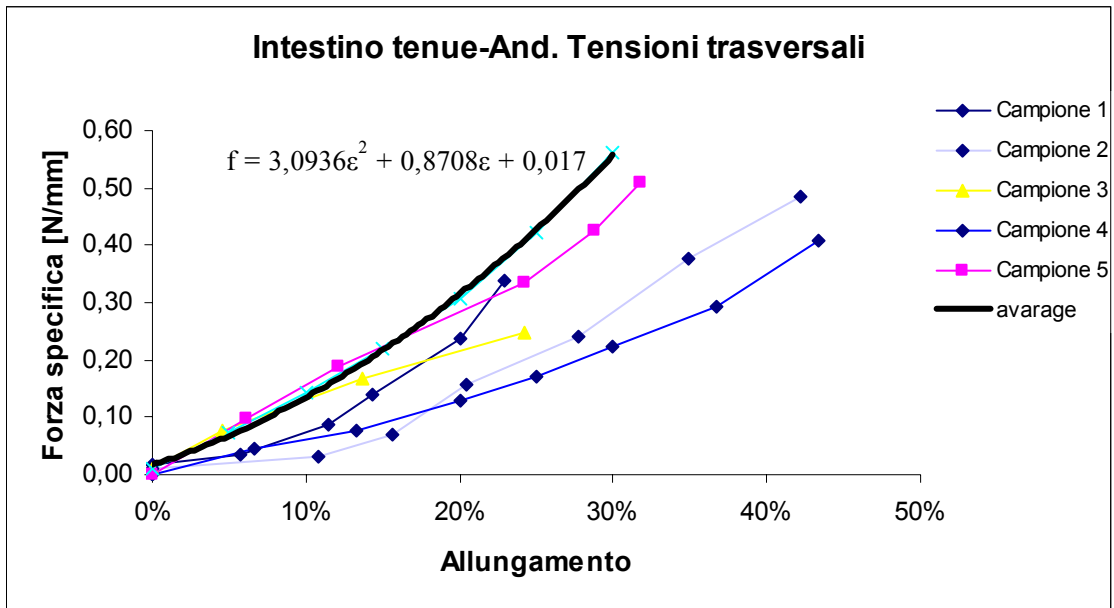


**Fig. II.5** Legame Forza specifica in direzione trasversale-Allungamento per l'esofago

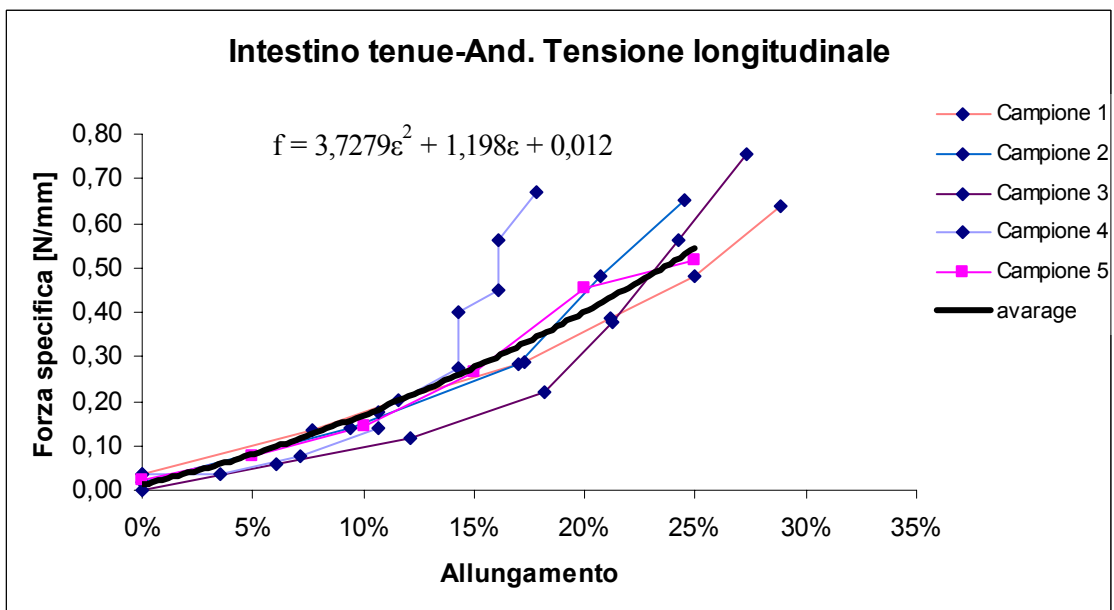


**Fig. II.6** Legame Forza specifica in direzione longitudinale-Allungamento per l'esofago

**Intestino tenue:**



**Fig. II.7** Legame Forza specifica in direzione trasversale-Allungamento per l'intestino tenue



**Fig. II.8** Legame Forza specifica in direzione longitudinale-Allungamento per l'intestino tenue

Per i dati relativi all'esofago e all'intestino tenue si è deciso di non scendere nel dettaglio dell'analisi dei risultati delle prove sperimentali, non prevedendo infatti a breve di eseguire su questi una sperimentazione del dispositivo endoscopico in esame. Si è comunque ritenuto importante riportare in queste pagine i relativi diagrammi che rappresenteranno l'insieme delle informazioni di base che dovranno essere impiegate per ampliare il campo di applicazione della capsula.