

# Modellazione della microcircolazione retinica tramite analogia fluido - elettrica CMEB

Giulio Gargantini

Ottobre 2019

Prof. A.G. Mauri  
Politecnico di Milano  
A.A. 2018/2019

## Abstract

In questo progetto si è voluto simulare la microcircolazione nella retina modellandola come un circuito elettrico a resistenze variabili con l'obiettivo di replicare i risultati di [1]. L'attenzione è rivolta in particolare alla stima del flusso sanguigno nella microcircolazione per individui aventi valori diversi di pressione sanguigna e pressione intraoculare.

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Modello</b>	<b>2</b>
2.1	Anatomia e fisiologia . . . . .	2
2.2	Riduzione del modello . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Codice</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Risultati</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Conclusione</b>	<b>5</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>5</b>

# 1 Introduzione

Nello studio della fisiologia dell'apparato visivo e nella ricerca relativa ad alcune sue disfunzioni, una buona comprensione della microcircolazione sanguigna a livello della retina riveste un ruolo fondamentale. La retina è irrorata da una rete di vasi esposti alla pressione interna del bulbo oculare, la quale può, se alterata, inibire un corretto afflusso di sangue e favorire l'insorgenza di patologie come il glaucoma. Vista l'importanza cruciale dell'individuazione delle cause precise di una malattia tanto invalidante, i ricercatori si sono concentrati sullo sviluppo di modelli capaci di simulare in modo efficace la microcircolazione retinica e le sue interazioni con la struttura dell'occhio.

Il modello su cui si concentra questo progetto è presentato in [1] e sfrutta l'analogia elettrico-idraulica (cfr. capitolo 4 di [2]) per modellare la rete di vasi sanguigni come un circuito elettrico a resistenze variabili. Ciò permette di prendere in considerazione l'azione della pressione intraoculare (IOP) e della pressione sanguigna sulla larghezza dei vasi, strettamente correlata alla resistenza idraulica degli stessi e al flusso di sangue complessivo in un ciclo cardiaco.

Questo rapporto si articola in tre parti principali. Nella prima si illustra il quadro generale del problema partendo dall'anatomia e fisiologia delle porzioni dell'occhio analizzate, per poi procedere alla deduzione di un modello ridotto della microcircolazione secondo l'analogia fluido-elettrica. Nella seconda si illustra l'implementazione del modello ricavato nella sezione precedente tramite un codice Matlab e si presentano le relazioni principali tra le diverse funzioni. Infine la terza parte è dedicata ai risultati ottenuti e al confronto con quelli ottenuti in [1], discutendone il significato fisico e l'importanza.

## 2 Modello

### 2.1 Anatomia e fisiologia

In questa sezione si descrivono le componenti dell'occhio che vengono studiate nel modello in esame. L'occhio ha una forma grossomodo sferica, la cui porzione centrale è occupata dall'umore vitreo, una sostanza gelatinosa e trasparente che mantiene la tonicità del globo oculare. L'umor vitreo è completamente racchiuso dalla sclera, una membrana di tessuto fibroso di colore bianco, ad eccezione della parte anteriore in cui esso è limitato dal cristallino. Tra il cristallino e la cornea, la membrana trasparente che separa l'occhio dall'esterno, si trovano due sezioni, dette camera anteriore e posteriore, separate dall'iride e contenenti l'umor acqueo.

Sulla parte posteriore dell'occhio, adagiata sulla sclera, si trova la retina: un tessuto fotosensibile capace di trasformare i segnali luminosi in impulsi nervosi i quali, raccolti dal nervo ottico, vengono inviati al cervello [3].

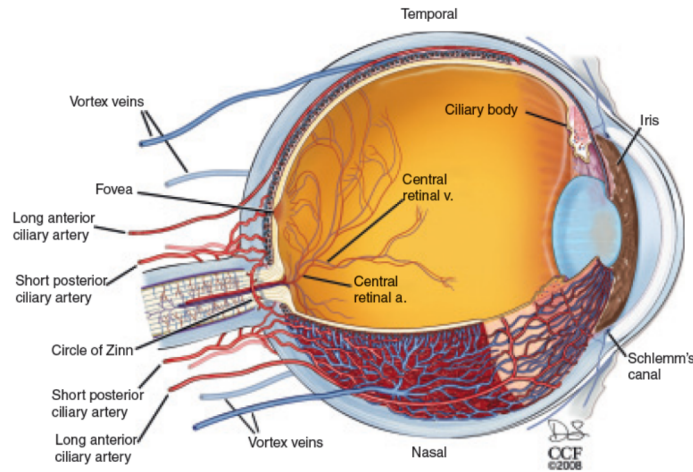


Figure 1: Struttura generale dell'occhio [3]

### Anatomia della retina

A differenza della sclera, irrorata da molteplici vasi sanguigni come le arterie e le vene ciliari e le vene vorticosi, gli unici collegamenti tra la rete di capillari della retina e il flusso sanguigno sono l'Arteria Retinica Centrale (CRA) e la Vena Retinica Centrale (CRV). Entrambi i vasi percorrono un tratto all'interno del nervo ottico, circondati dalle fibre nervose e entrano nell'occhio attraverso la Lamina Cribrosa: tale lamina è una porzione della sclera forata in molteplici punti, attraverso la quale passano le fibre innervanti la retina, la CRA e la CRV (cfr. figura 2). A questo punto l'arteria centrale si divide in molteplici arteriole e capillari, i quali, dopo aver irrorato le cellule della retina, si ricongiungono formando una rete di venule che, a loro volta, si uniscono nella CRV.

I vasi sanguigni non hanno pareti rigide, quindi la loro sezione è soggetta a variazioni dovute alla differenza tra la pressione esterna e interna al vaso: nella zona del nervo ottico i vasi sono soggetti alla pressione del tessuto retrolaminare (RLTp) mentre all'interno del bulbo oculare sono esposti alla pressione intraoculare (IOP). Vene e arterie sono costituite da tessuti diversi e hanno una diversa struttura: le prime sono generalmente più fini delle seconde e devono sostenere una pressione interna più debole. Per questo motivo esse sono più soggette ad ampie variazioni di volume e al rischio di collassare su loro stesse se la pressione interna non è in grado di controbilanciare quella agente sulle pareti della vena.

### Circolazione dell'umor acqueo

La pressione interna dell'occhio (IOP) è mantenuta grazie alla produzione di umor acqueo. Questo liquido trasparente simile al plasma è prodotto dal corpo

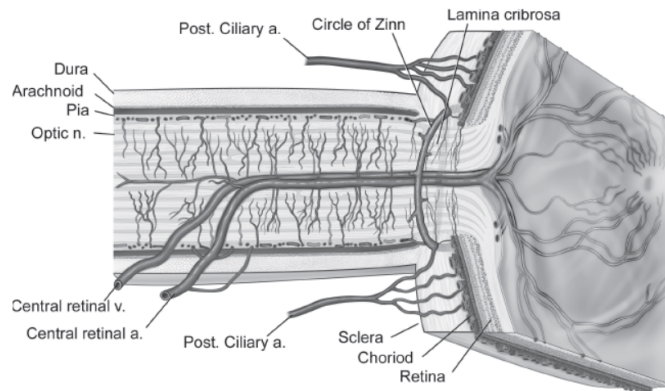


Figure 2: Principali vasi retinici [3]

ciliare nella camera posteriore dell'occhio, da cui filtra nella camera anteriore attraverso l'iride e la pupilla. Dalla camera anteriore esso passa attraverso il trabecolato, una struttura porosa posta tra la sclera e la cornea, per esser drenato nel canale di Schlemm per disperdersi infine nella circolazione venosa (cfr. figura 3). Nel caso in cui non si verifichi un normale drenaggio dell'umor

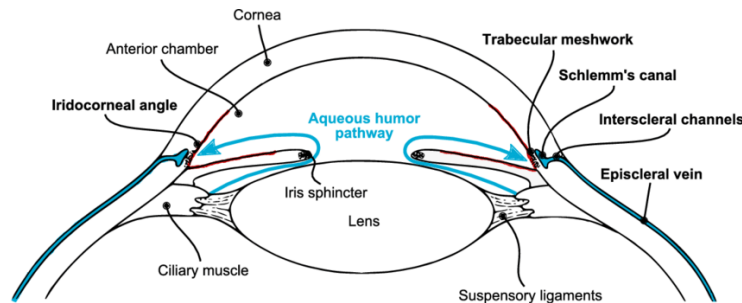


Figure 3: Circolazione dell'umor acqueo nelle camere posteriore e anteriore [4]

acqueo, ad esempio per l'occlusione del trabecolato, il fluido si accumula nella camera anteriore dell'occhio premendo sul cristallino e trasmettendo la pressione all'umor vitreo, aumentando così l'IOP. Tale aumento della pressione esterna può provocare il collasso dei vasi sanguigni della retina, in particolare delle vene, diminuendo l'irrorazione del tessuto e favorendo l'insorgenza del glaucoma. Per contrastare gli effetti di un'elevata IOP è stata sviluppata la trabeculectomia: un'operazione chirurgica in cui si effettua un foro nella sclera in corrispondenza della camera anteriore, permettendo all'umor acqueo di drenare in una sacca al di sotto della congiuntiva. Permettendo nuovamente il drenaggio del

fluido si osserva una considerevole riduzione del valore dell'OPP nei pazienti, riportandolo ai livelli fisiologici (cfr. tabela 6 di [1]).

## 2.2 Riduzione del modello

### Deduzione del circuito

I vasi della microcircolazione retinica si possono dividere in cinque categorie: la CRA, le arteriole, i capillari, le venule e la CRV. –RICORDATI DEL'ODE!!!–

### Valore dei resistori

## 3 Codice

## 4 Risultati

## 5 Conclusione

## Bibliografia

- [1] G. Guidoboni, A. Harris, S. Cassani, J. Arciero, B. Siesky, A. Amireskandari, L. Tobe, P. Egan, I. Januleviciene, and J. Park. Intraocular pressure, blood pressure, and retinal blood flow autoregulation: A mathematical model to clarify their relationship and clinical relevance. 2014.
- [2] R. Sacco, G. Guidoboni, and A.G. Mauri. Notes for computational modeling in electronics and biomathematics, 2019.
- [3] Laura Origgi, Relatore Prof.ssa Paola Causin, and Correlatore Prof. Riccardo Sacco. Mathematical and computational models for the study of autoregulation phenomena in the human retinal microvascular network. Master's thesis, Università degli Studi di Milano, 2011.
- [4] José Ignacio Orlando. *Machine learning for ophthalmic screening and diagnostics from fundus images*. PhD thesis, Medical University of Vienna, 2017.