PRINCIPI DI BIOINGEGNERIA

Gabriele Fortunato e Vincenzo Catrambone

INTRODUZIONE E MODELLI

Approccio modellistico: a partire dai principi fisici, dalle equazioni fondamentali, mostrano le semplificazioni al fine di creare un modello adatto allo scopo ovvero a spiegare il fenomeno di interesse.
Analogie:

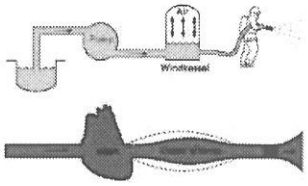
master COPY COPISTERIA

Analogia fluidodinamica-elettrica Sistema cardiovascolare

possiamo creare un modello a parametri concentrate delle caratteristiche dei vasi

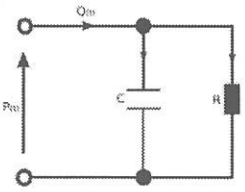
in modo da simulare il carico al quale è sottoposto il cuore

Otto Frank nel 1808



$$Q(t) = \frac{P(t)}{R} + C\frac{dP(t)}{dt}$$

dove



$Q(t)$ è il flusso in uscita dal cuore

$P(t)$ è la pressione

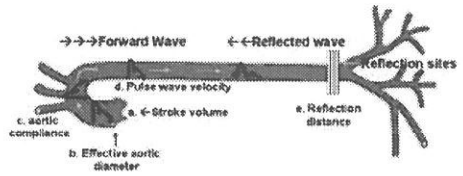
R è la resistenza periferica

C la capacità delle arterie

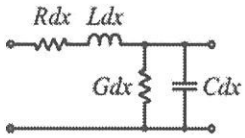
ttps://en.wikipedia.org/wiki/Windkessel_effect

Analogia fluidodinamica-elettrica Sistema cardiovascolare

possiamo creare un modello a parametri distribuiti in grado di descrivere come le onde di presssione si propagano nei vasi

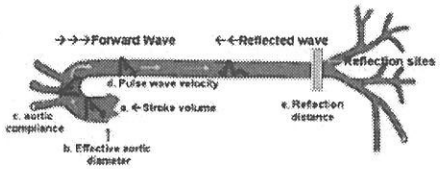


si usa l'equazione dei telegrafisti e si dividono i vasi in tanti piccoli segmenti



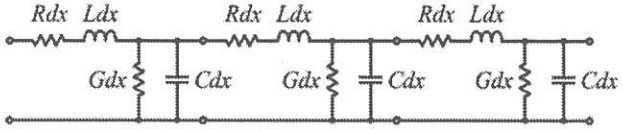
Analogia fluidodinamica-elettrica Sistema cardiovascolare

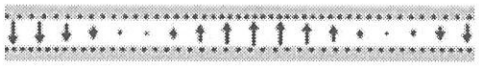
possiamo creare un modello a parametri distribuiti in grado di descrivere come le onde di presssione si propagano nei vasi



master COPY COPISTERIA

si usa l'equazione dei telegrafisti e si dividono i vasi in tanti piccoli segmenti





Hanno lo scopo di descrivere i fenomeni sotto osservazione e possono includere un livello più o meno alto di informazione sulla fisiologia. Possono essere usati per il controllo ma anche per interpretare il funzionamento di un sistema biologico.
Tipi di modelli:

- **Modelli matematici** (sono equazioni),

vengono utilizzati per descrivere i segnali e in generale le misure che vengono prelevate dal sistema, creano una rappresentazione matematica del segnale che potrebbe ottimizzare l'informazione, inoltre non è necessariamente una descrizione che va a spiegare i meccanismi che hanno originato il segnale. Sono algoritmi universali, nel senso che possono essere applicati a tutti i segnali indipendentemente dalla loro origine.
(descrivono il segnale ma non è sempre facile collegarli ad un aspetto fisiologico, lo descrivono ma lo simulano male)
A priori: non hanno bisogno di nessun modello sul fenomeno di interesse
A posteriori: si usano i loro risultati per una interpretazione fisiologica

Esempio: la trasformata di Fourier può essere applicata a ECG, segnali di movimento, Pressione, Temperatura e possono essere utili per portare la descrizione del mio segnale in un altro ambito che possa descrivere il fenomeno e permettermi di caprilo.

$$X(k)=\frac{1}{N_0}\sum_{n=0}^{N_0-1}x[n]e^{\frac{-j2\pi kn}{N_0}} \qquad 0\le k\le N_0-1$$

$$x[n]=\sum_{k=0}^{N_0-1}X(k)e^{\frac{j2\pi kn}{N_0}} \qquad 0\le n\le N_0-1$$



Elettroencefalografia nell'analisi con frequenza permette di evidenziare delle bande che sono stati associati a fenomeni differenti.
Nell'analisi della frequenza cardiaca ho il controllo da parte del sistema simpatico e parasimpatico, questa analisi nel dominio di Fourier ha permesso di scoprire delle bande frequenziali per evidenziare il simpatico e parasimpatico

Limiti:

- ~ Non si fa nessuna ipotesi a priori sul genere del segnale, lo descriviamo rappresentandolo in un altro dominio
- ~ Non possiamo predire l'evoluzione del sistema

Tipi di modelli matematici:

- ➢ Modelli a scatola nera

Cercano di creare una legge con un numero minimo di parametri per descrivere un sistema, possono essere visti come sistemi INGRESSO- USCITA (generalmente non lineare) . L'uscita è sempre misurata, l'ingresso potrebbe non esserlo perché potrebbe non essere a disposizione, a volte si mette un ingresso fittizio (rumore bianco).
(RUMORE BIANCO: è un segnale (rumore) che ha tutte le frequenze)

Esempio: ARMA Auto Regressivo a Media Mobile

$$x(n)=-\sum_{k=1}^{p}a(k)x(n-k)+\sum_{k=0}^{q}b(k)u(n-k)=\sum_{k=0}^{\infty}h(k)u(n-k)$$

$$H(z)=\frac{\sum_{k=0}^{q}b(k)z^{-k}}{\sum_{k=0}^{p}a(k)z^{-k}}=\frac{B(z)}{A(z)}$$

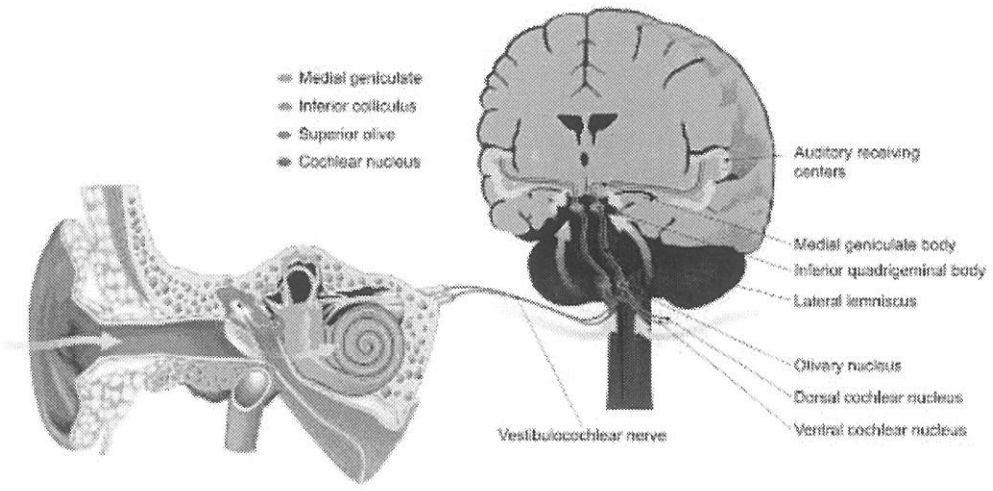
Qui abbiamo un ingresso u (n-k) (tipo bianco) con parametri a e b usati per descrivere il modello, ha una capacità predittiva, il campione al tempo n è predetto dai campioni precedenti.

Limiti: la rappresentazione è complessa, può essere complicato trovare un numero giusto di parametri (rischio di overfitting, uso troppi parametri), non c'è un diretto legame tra struttura, parametri e misura fisiologica.
In questo modello continua a prevalere l'analisi matematica.

- Modelli interpretativi

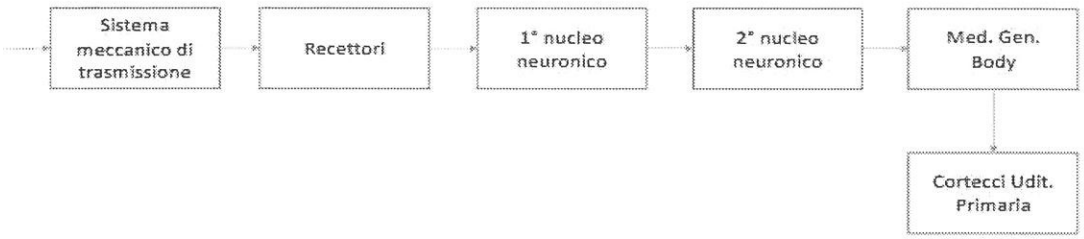
Sono modelli molto difficili perché integrano nel modello le conoscenze sulla struttura e sulle funzioni dei sistemi in esame, creano una corrispondenza completa con i parametri dei sistemi. Se il sistema è creato dal punto di vista fisiologico da una certa struttura io cerco di descriver ei singoli elementi della struttura per arrivare poi ad una descrizione completa del modello.
Uman Brain Progect → obiettivo riprodurre le funzionalità del cervello a partire dalla comprensione dei singoli elementi
I modelli Anatomo-Fisiologico presentano una corrispondenza completa con i parametri anatomo-fisiologici del sistema sotto studio. Le equazioni che vengono utilizzate sono particolari, specifiche per il sistema sotto studio, e i parametri sono specificabili in termini anatomici o di proprietà fisico-chimiche direttamente misurabili.

Modello sistema uditivo: faccio blocco- blocco Noi potremmo riprodurre parzialmente un input da dare ai recettori)

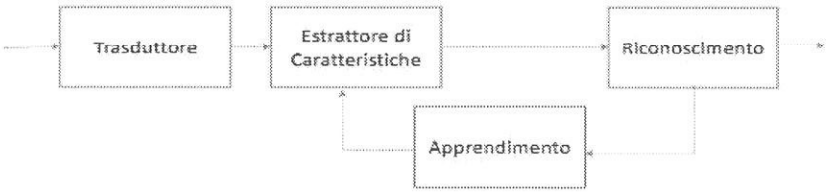


master COPY COPISTERIA

i recettori trasformano il segnale della parete dentro il timpano in un segnale da mandare al cervello.

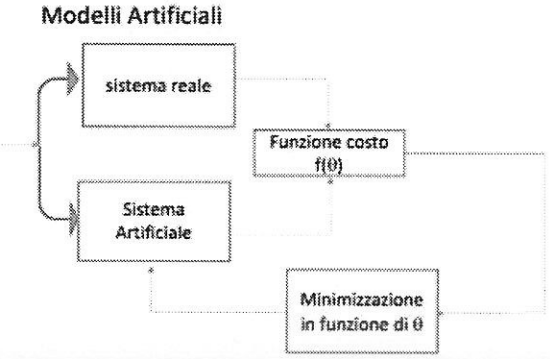


Modelli artificiali: danno una descrizione schematizzando la funzione generale (non fanno più blocco-blocco), non c'è più una corrispondenza anatomo-fisiologica ma una conoscenza della funzione



Il funzionamento di ciascun blocco può essere derivato da ripetute misure sui sistemi che si vogliono riprodurre.

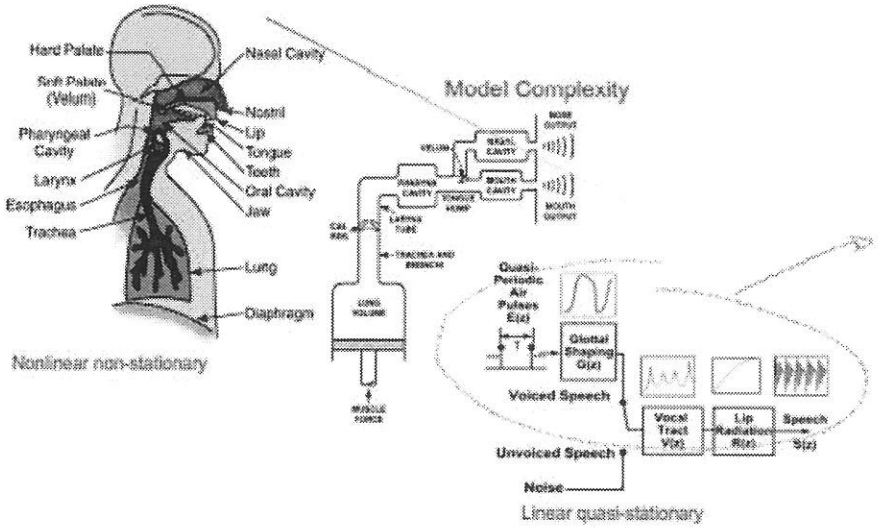
In questo modello alcuni parametri sono fissi mentre altri saranno stimati da varie misure



Potrei stimolare il sistema reale, vederne l'uscita reale e confrontarla con l'uscita del sistema artificiale tramite una funzione costo, la cui minimizzazione si ottiene dai parametri artificiali (non tutti, alcuni sono fissi).
Esempio: controllo della ventilazione respiratoria, o identifico i componenti anatomici (dai chemiocettori che misurano la pressione del sangue periferico o centrale. Hanno molti collegamenti e regolano il funzionamento motorio della corteccia), oppure riproduco tutte le funzioni dei chemiocettori per scrivere una legge che mi scrive le variazioni dei comandi delle ventilazioni.
Modello formato ma non totalmente sul lato anatomo-fisiologico
Modello Interpretativo: (dalla conoscenza fisiologica poi ho due strade)
→raggruppamento in blocco di tipo logico funzionale i diversi aspetti del fenomeno di interesse
→Descrivo il funzionamento di ogni blocco dettagliatamente.
I modelli danno sempre degli strumenti utili per capire meglio il nostro sistema, le differenze dei vari tipi di modelli dipende dalla conoscenza che abbiamo del sistema.
Limiti del modello interpretativo:

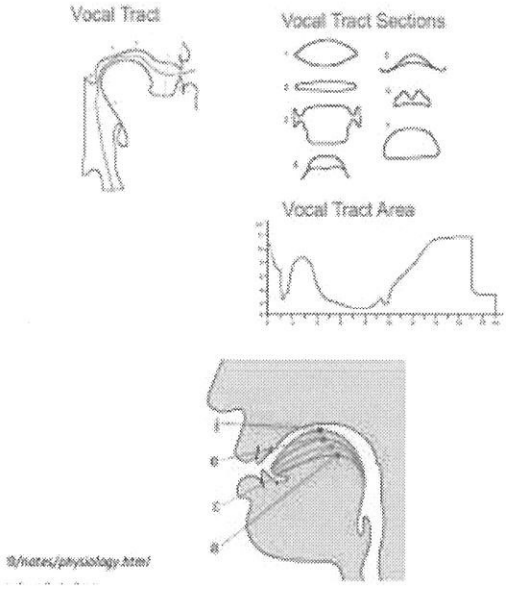
- Difficoltà di realizzazione per le limitate conoscenze delle proprietà chimico-fisiche del sistema sotto studio
- Limiti nelle misure (ad esempio il rumore)
- Presenze di componenti che non sono state inserite nel modello

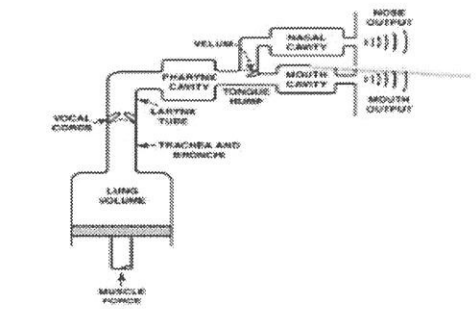
Modello della produzione vocale → strutture di tipo non lineari



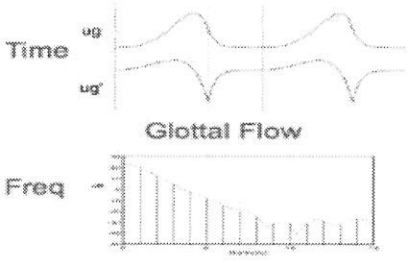
lineari

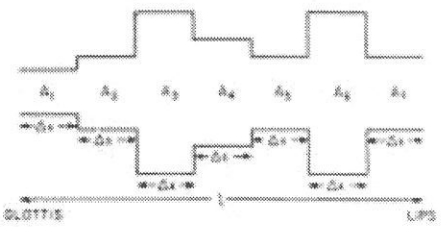
Sezione tratto vocale





Abbiamo una specie di mantice respiratorio che spinge l'aria verso la laringe dove ci sono le corde vocali che vibrano al passare di questo flusso d'aria creando la modulazione del flusso (primo grafico). Essendo un segnale quasi periodico se ne vado a fare la trasformata (secondo grafico) dovrei vedere una prima fondamentale (prima riga) con la rispettiva frequenza fondamentale (è l'inverso il periodo dell'onda), e poi le frequenze multiple della fondamentale (armoniche)





Rappresentazione varie sezioni del tratto vocale che può essere semplificato a un singolo tubo, questi tubi hanno delle caratteristiche in frequenza, cioè amplificano o riducono certe componenti frequenziali creando una modulazione in frequenza.

Rappresentazione tratto vocale che può facilitare la propagazione/ risonanza di certe frequenze.

! dipende dalla configurazione del tratto vocale

