MODELLI DI BIOINGEGNERIA

LEZIONE 2/03

Hanno lo scopo di descrivere fenomeni sotto osservazione e ce ne sono di vario tipo; andremo ad affrontare alcune classificazioni. Posso essere usati per il controllo, ma anche per interpretare il funzionamento di un sistema.

MODELLI MATEMATICI - MODELLI DESCRITTIVI

Si tratta di equazioni, vengono usati per descrivere i segnali; la rappresentazione matematica potrebbe ottimizzare la rappresentazione, ma richiede lavoro per capire come poterla associare ad aspetti fisiologici. Utili perché possono evidenziare alcune componenti particolari del segnale. A priori non hanno bisogno di nessun modello sul fenomeno di interesse. L'applicazione è generale, possono essere applicati a segnali di qualsiasi tipo. A posteriori possiamo comunque utilizzarne i risultati per un'interpretazione fisiologica.

Trasformata di Fourier: può essere applicata a ECG, EEG, segnali di movimento, pressione, temperatura. Utile perché porta la descrizione del segnale in un altro ambito, che descrivono il fenomeno nel nuovo dominio e possono aiutarci a capire qualcosa di esso. Ad esempio l'analisi in frequenza della elettroencefalografia permette di evidenziare delle bande che sono state associate a fenomeni differenti.

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

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

Questi modelli sono usati anche nella bioingegneria per arrivare a capire meglio, a esplorare alcune funzioni, e possono essere associate a fenomeni di tipo biologico-fisiologico-patologico, ma sono di tipo generale.

L'analisi della frequenza cardiaca è un segnale che si può studiare con Fourier, la variabilità del battito è controllata dall'azione del sistema autonomi o simpatico e parasimpatico. L'analisi della frequenza cardiaca nel dominio di Fourier ha permesso di scoprire delle bande di interesse per cercare di capire le attività dei sistemi simpatico e parasimpatco.

Limiti: - si limitano a descrivere il segale, rappresentandolo in un altro dominio. Non si fa nessuna ipotesi a priori sulla genesi del segnale
- non possiedono la capacità di predire l'evoluzione del sistema.

MODELLI MATEMATICI - MODELLI A SCATOLA NERA

Cercano di creare una legge con un numero minimo di parametri per descrivere un sistema. Sono visti come sistemi ingresso-uscita, l'uscita è sempre misurata, l'ingresso potrebbe non esserlo perché potremmo non averlo a disposizione. A volte si pone un ingresso fittizio (rumore bianco, segnale che contiene al suo interno tutte le frequenze). Quando invece è possibile misurare l'ingresso il sistema si misura con l'ingresso e l'uscita stessi.

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

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

u -> ingresso di tipo bianco
a, b -> parametri usati per descrivere il modello

Modello con una capacità predittiva del fenomeno di interesse.

master COPY

Limiti: - la rappresentazione può essere complessa,

- non è facile trovare il numero giusto di parametri, si corre il rischio di mettere troppi parametri. Se si inseriscono più parametri del necessario si rischia di avere un modello che non ci dice niente di significativo (overfitting).

- non diretto legame tra struttura, parametri e misura fisiologica.

ci troviamo ancora ad un livello abbastanza ampio, prevale ancora la descrizione matematica, che può essere utili, permette di fare delle azioni di controllo.

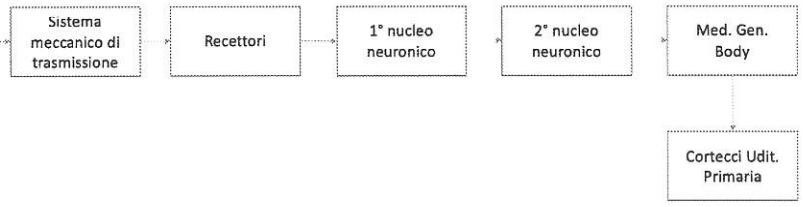
MODELLI MATEMATICI - MODELLI INTERPRETATIVI

Cercano di integrare le conoscenze del modello sulla struttura e la funzione in modo da creare una corrispondenza completa con i parametri del sistema sotto esame. Se il sistema è creato dal punto di vista fisiologico da una certa struttura, cerchiamo di descrivere i singoli elementi della struttura per poi arrivare a una descrizione completa del modello. Per costruire questo modello è necessario avere una profonda conoscenza dei fenomeni di interesse.

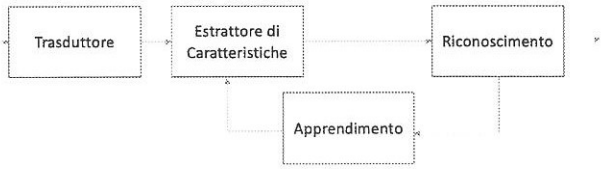
Esistono modelli più ampi che non fanno una descrizione dei singoli componenti, ma schematizzano la funzione generale. Non c'è più necessariamente una corrispondenza anatono-fisiologica ma è presente una conoscenza della funzione e più ad alto livello quelli che sono i meccanismi alla base della funzione specifica.

Un modello che si studia a livello generale potrebbe essere il controllo della ventilazione respiratoria: possiamo andare ad individuare tutti i componenti anatomici partendo dai chemocettori (legati alla concentrazione dell'ossigeno e anidride carbonica nel sangue); oppure andiamo a raggruppare in blocchi funzionali le funzionalità di diversi sottosistemi.

Queste leggi possono essere utili: potremmo vedere che in un soggetto sai è presente un certo tipo di relazione tra ventilazione e concentrazione di CO_2, diversa da quella presente nei soggetti malati.



Modello in cui si identificano tutti gli elementi che lo compongono.

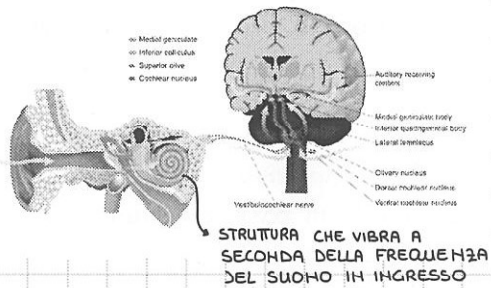


Modello più ampio in cui si vanno a identificare le funzionalità.

master COPY

RIPASSO MODELLI

I modelli hanno lo scopo di descrivere i fenomeni sotto osservazione e possono includere un livello più o meno alto di informazione sulla fisiologia del fenomeno stesso. I modelli possono essere utilizzati per capire meglio il funzionamento del sistema sotto esame, ma in alcuni casi sono anche utili ad elaborare un particolare segnale. I modelli più generici sono i modelli matematici di tipo descrittivo, questi modelli non sono specifici per una particolare applicazione ma traslano in un altro dominio la descrizione del funzionamento del sistema, quindi fondamentalmente offrono un punto di vista differente che può essere utile per evidenziare alcuni dettagli; nel segnale elettroencefalografico la trasformata di Fourier rappresenta un modello dove si utilizzano delle funzioni sinusoidali (exp complessi) per descrivere il segnale, questo tipo di descrizione serve per poter creare dei filtri e per poter evidenziare ad esempio la presenza o meno di determinate frequenze che possono essere legate a vari aspetti, come il sonno, la tensione ecc..
Un osservazione che possiamo fare è che i vari modelli non sono separati tra loro in maniera netta, in base al grado di conoscenza che abbiamo del sistema in esame possiamo passare da un modello ad un altro.
Un altro modello matematico è il modello a scatola nera, visto come un sistema ingresso/uscita, che mira a descrivere il sistema in esame mediante una legge matematica. In generale la relazione ingresso/uscita è di tipo non lineare ma noi esamineremo solo relazioni lineari, che in alcuni casi riescono ad approssimare bene il sistema in esame. A seconda del grado di conoscenza che abbiamo del sistema in esame possiamo inserire in ingresso o un rumore bianco, ovvero un segnale che ha tutte le frequenze a disposizione o (se si è in grado di stimarlo/misurarlo) un segnale più simile possibile a quello che effettivamente è il segnale d'ingresso al sistema che stiamo esaminando.
Poi abbiamo i modelli interpretativi che integrano la conoscenza su struttura e funzioni del sistema in esame, ad esempio i modelli anatomo-fisiologici presentano una corrispondenza completa con i parametri anatomo-fisiologici del sistema sotto studio.



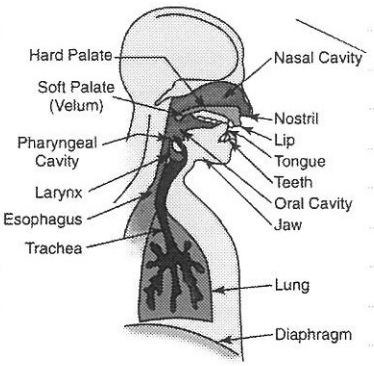
STRUTTURA CHE VIBRA A SECONDA DELLA FREQUENZA DEL SUONO IN INGRESSO

MODELLO INTERPRETATIVO
Sono presenti le varie componenti del sistema in analisi in maniera molto dettagliata

In termini più generali conoscendo quella che è la funzione del sistema in esame si può utilizzare un modello interpretativo più generale, fatto a blocchi, mediante il quale è possibile studiare il sistema, ma anche cercare di simulare un evento patologico, quindi per studiare le variazioni fisiologiche rispetto ad un particolare parametro. In questo modello alcuni parametri sono fissi mentre altri possono essere variati a seguito dell'osservazione di particolari eventi sul sistema reale, che portano appunto alla variazione di alcune funzioni che regolano la relazione ingresso/uscita. Questo modello ha comunque dei limiti, come la difficile realizzazione per via delle limitate conoscenze delle proprietà chimico-fisiche del sistema in esame, la presenza di ulteriori componenti non inseriti nel modello senza le quali non si riescono a comprendere alcune caratteristiche funzionali. La scelta di un modello dipende da parecchi fattori, ed in particolare dipende da : cosa ci serve e cosa conosciamo.

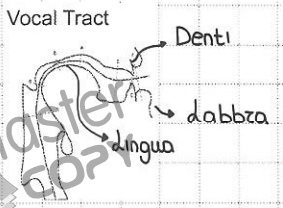
master COPY

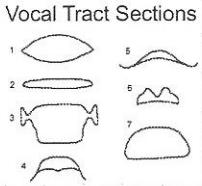
MODELLI DELLA PRODUZIONE VOCALE

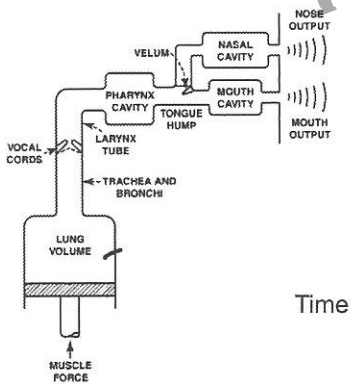


Nonlinear non-stationary

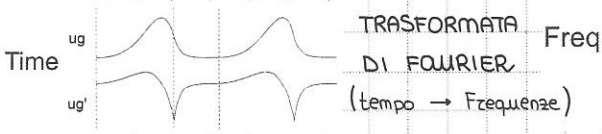
C'è una complessità di partenza notevole per descrivere la 'produzione del parlato', in quanto per il funzionamento abbiamo l'interazione da parte di diversi organi, dove le strutture presentano delle non-linearità non indifferenti. Possiamo però provare a semplificare questo sistema fino a riuscire ad ottenere dei modelli matematici molto semplici di tipo lineare.





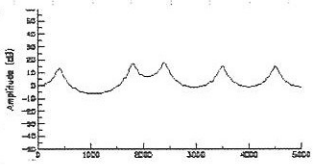


Questo potrebbe essere un modello quasi realizzabile dal punto di vista meccanico. Abbiamo una specie di mantice respiratorio che spinge l'aria lungo la laringe dove ci sono le corde vocali che vibrano al passare del flusso d'aria creando una modulazione del flusso. Se osserviamo l'andamento del segnale di ingresso vediamo che questo ha un andamento quasi periodico a onda triangolare :



Questo segnale viene modulato dal tratto vocale, in alto abbiamo riportato le varie sezioni del tratto vocale (come se fosse un tubo con sezione variabile), ognuna delle quali è caratterizzata da una particolare frequenza (frequenza caratteristica), ovvero sono in grado di amplificare o ridurre certe componenti frequenziali del segnale di ingresso creando appunto una modulazione del segnale :

PARTICOLARE RISPOSTA IN FREQUENZA

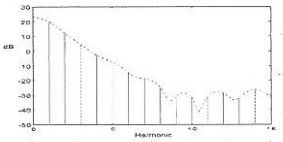


Vocal Tract Formants

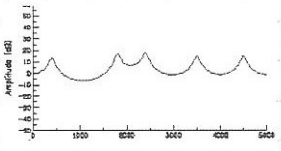
→ In base alla configurazione del tratto vocale e quindi in base alle varie sezioni che lo compongono vengono esaltate alcune componenti del segnale e ne vengono adotte altre, effettuando una modulazione del segnale di ingresso

È COME SE AVESSIMO UNA SITUAZIONE DEL GENERE, CON SEGNALE DI INGRESSO, FILTRO FORNITO DALLA SEZIONE DEL TRATTO VOCALE E SEGNALE DI USCITA (Nel caso riportato è una vocale)

Freq

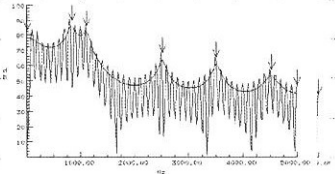


SEGNALE DI INGRESSO



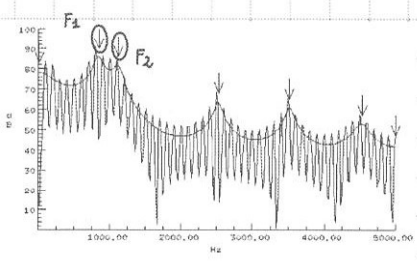
Vocal Tract Formants

FILTRO



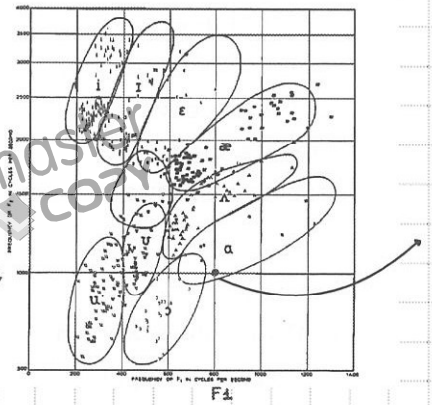
Vowel Spectrum

USCITA

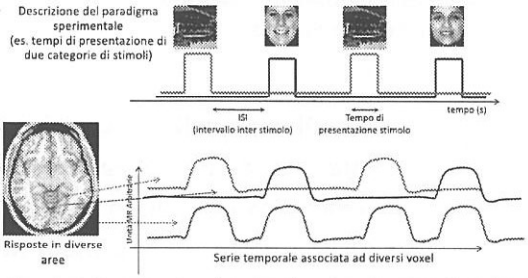


Vowel Spectrum

Possiamo osservare in corrispondenza dei picchi del segnale di uscita delle 'freccette', le prime due prendono il nome di prima formante e seconda formante. Da studi è emerso che le prime due formanti ci permettono di distinguere tra loro quali sono le vocali pronunciate, in particolare si riportano su grafico sottostante la frequenza della prima formante sull'asse x e la frequenza della seconda formante sull'asse y



Possiamo riportare altri esempi riguardo i modelli, in particolare possiamo vedere un modello che prende in esame l'attività celebrale (risonanza magnetica, che esamineremo in dettaglio più avanti).
Possibile esperimento : facciamo vedere ad un soggetto delle case, poi nulla, poi un volto, poi di nuovo delle case, poi nulla, poi il volto e così via, quello che notiamo è che nelle aree coinvolte nell'elaborazione di questo tipo di stimoli ci saranno delle variazioni dei segnali che monitorano le caratteristiche di queste regioni. Le regioni visive primarie in cui arrivano tutti gli stimoli prima di essere scomposti e analizzati rispondono in maniera differente (linea verde) rispetto alle aree specifiche che hanno a loro volta un andamento differente tra loro.



Si possono creare dei modelli che vanno non solo a spiegare il funzionamento di una regione ma che vanno a legare tra loro gli andamenti di diverse regioni. Ad esempio possiamo ipotizzare che vi sia un collegamento tra la regione visiva primaria, in cui arriva lo stimolo visivo che viene scomposto e analizzato nelle varie componenti, e le particolari regioni celebrali in cui arrivano le diverse componenti dello stimolo visivo. Quindi si possono creare dei modelli che prendono in considerazione aree specifiche e ipotizzano dei legami tra queste aree, questi modelli sono molto complicati. Potremmo ipotizzare di avere una connessione tra tutte le aree cerebrali, creare delle equazioni dinamiche che descrivono il funzionamento delle singole regioni tenendo conto di un possibile contributo anche da parte delle altre regioni; matematicamente potrebbe essere però un 'problema mal posto' in cui si hanno più incognite che variabili misurate, o 'mal condizionato' dove a seguito di piccole variazioni ottengo soluzioni completamente differenti e quindi non riuscirei a stimare il modello dal punto di vista computazionale.