

# SEGNALI BIOMEDICI

**Segnale:** Rappresentazione (monodimensionale) di informazione, in funzione di una variabile indipendente (es.: tempo).

**Informazione:** Valori reali o complessi. E' spesso una misura di una qualche forma di energia prodotta dal processo.

Molti “segnali” biomedici non sono funzione del tempo, ma di altre grandezze: ad es., nell'elaborazione delle immagini i valori di intensità sono funzione delle coordinate spaziali  $x$  e  $y$ . I metodi che verranno presentati si applicano anche a tali segnali.

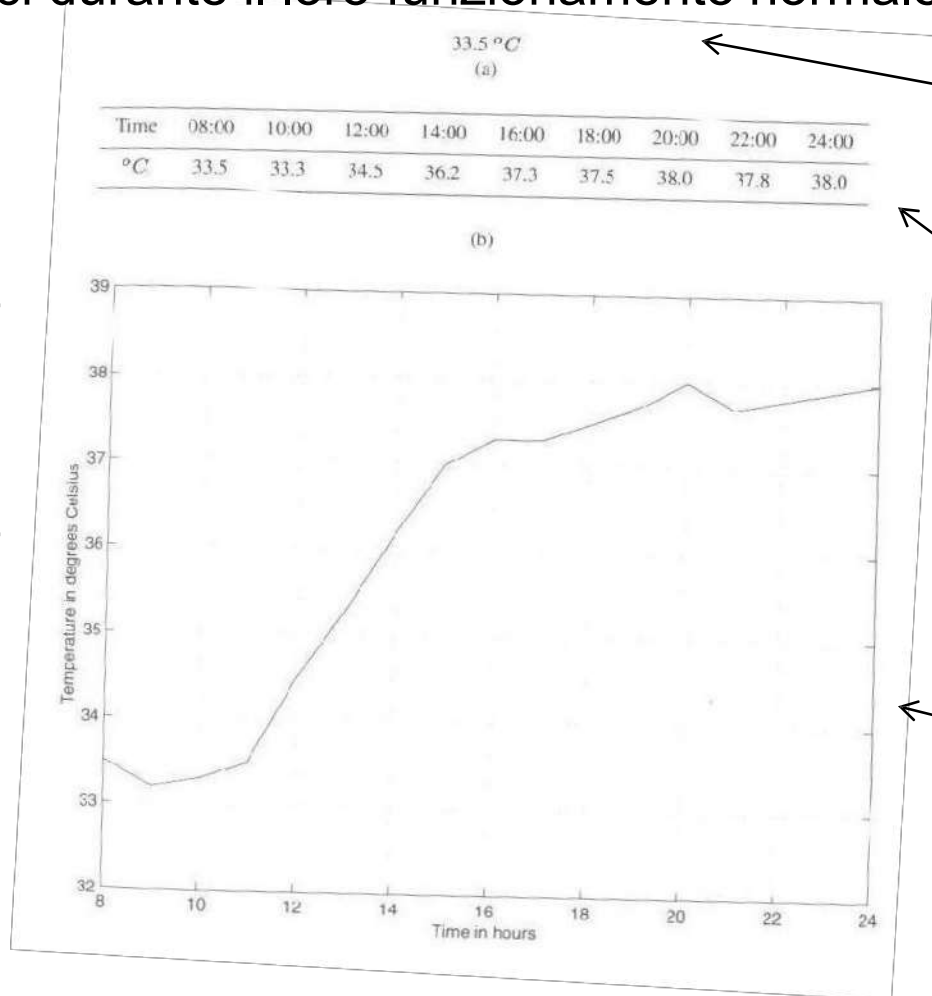
La **dinamica** di ogni fenomeno reale misurabile deriva dall'interazione fra sorgenti di energia e modificatori (dissipatori) di energia.

L'analisi dei segnali e l'analisi dei sistemi forniscono gli strumenti per analizzare in modo rigoroso i fenomeni fisici.

# SEGNALE BIOMEDICO

E' un mezzo per convogliare informazioni provenienti dai tessuti o dagli organi biologici durante il loro funzionamento normale o patologico.

Misure di temperatura corporea



Valore  
"puntuale"

Valori  
"discreti"

Curva  
"continua"

# Perché studiare i segnali biomedici?

- studiare i segnali biomedici per:
- Manipolare i segnali (filtrare le componenti non desiderate)
- Estrarre informazioni sul segnale (diagnosi, classificazione di patologie, ecc.)
- Predirne l'evoluzione futura tramite modello adeguato (controllo dosaggio farmaci, diagnosi precoce di alterazioni)
- Trasmettere le informazioni a stazione remota (es.: terapia intensiva) o archivarla per usi successivi: sono necessarie tecniche di compressione e riduzione dei dati

# NATURA DEI SEGNALI BIOMEDICI

Molti sono elettrici – Si rilevano mediante elettrodi con cui si misura la differenza di potenziale fra due punti. Es:

ECG (ElettroCardioGramma),

EMG (ElettroMioGramma),

EEG (ElettroEncefaloGramma),

ERG (ElettroRetinoGramma),

EKG (ElettroGastroGramma)

Altri (es.: meccanici, chimici), vengono “trasformati” mediante trasduttori in segnali elettrici.

# Come si presentano i segnali biomedici

- Grande varietà dei segnali, sia come forma d'onda che come range di ampiezze e frequenze (ECG, EEG, ultrasuoni, EMG)
- Caratteristica comune a molti: la periodicità, a volte difficile da individuare visivamente (es: voce regolare e voce disfonica)

⇒ **Utilità dell'analisi spettrale**

# ESEMPI



← **Velocità istantanea media del sangue nell'arteria cerebrale umana: shift Doppler da fascio ultrasonico.**



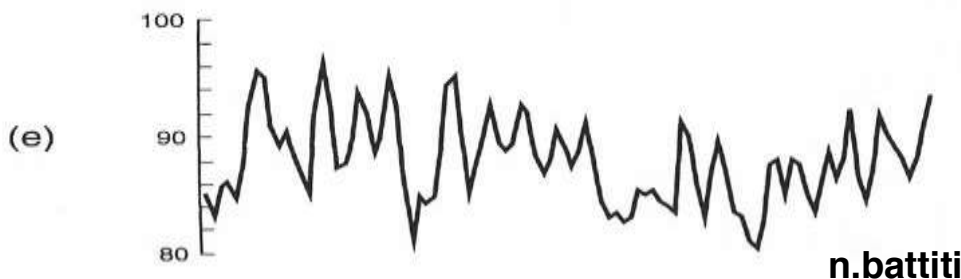
← **Elettromiogramma da coppia di fili applicati sotto la lingua: contrazione e rilassamento.**



← **Angolo di rotazione del ginocchio ottenuto da un sensore angolare.**

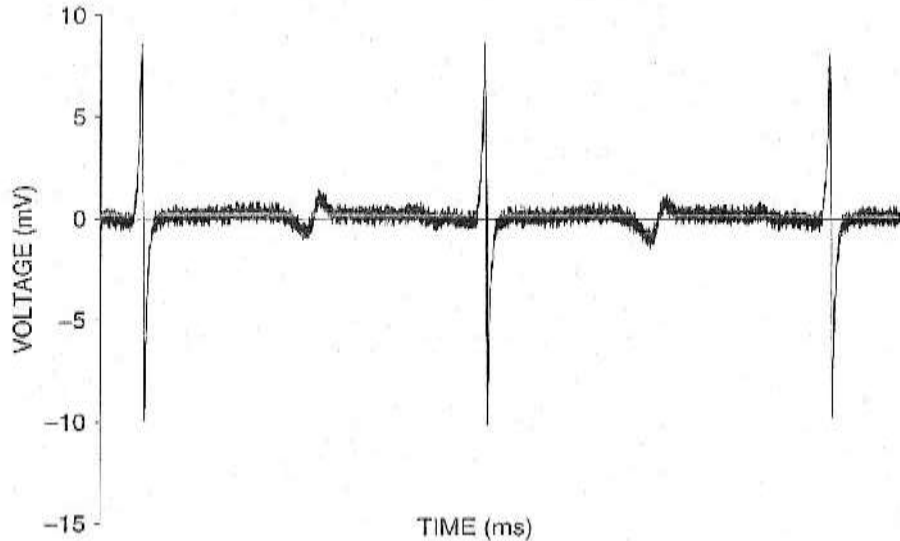


← **Elettrocardiogramma. Ogni battito cardiaco produce una serie di onde elettriche (P, Q, R, S, T).**

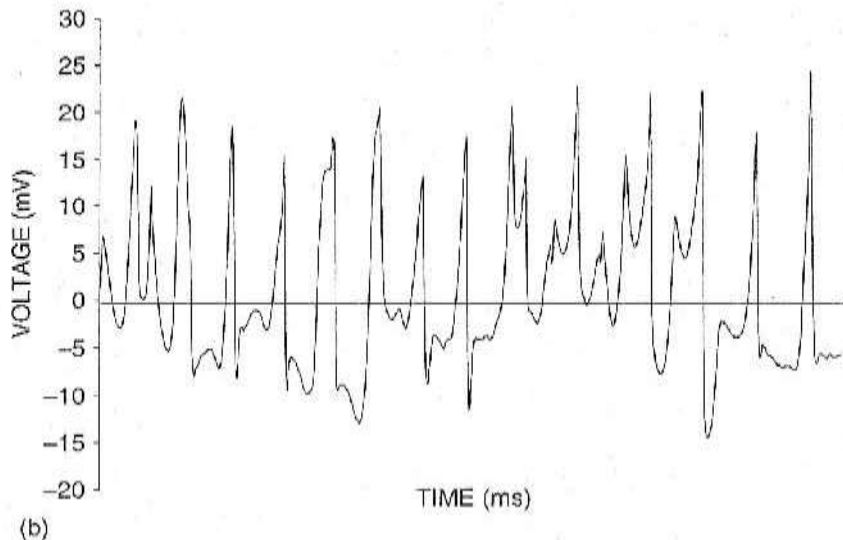


← **Battito cardiaco istantaneo (battiti/min) per 100 battiti consecutivi.**

# SEGNALI BIOELETTRICI



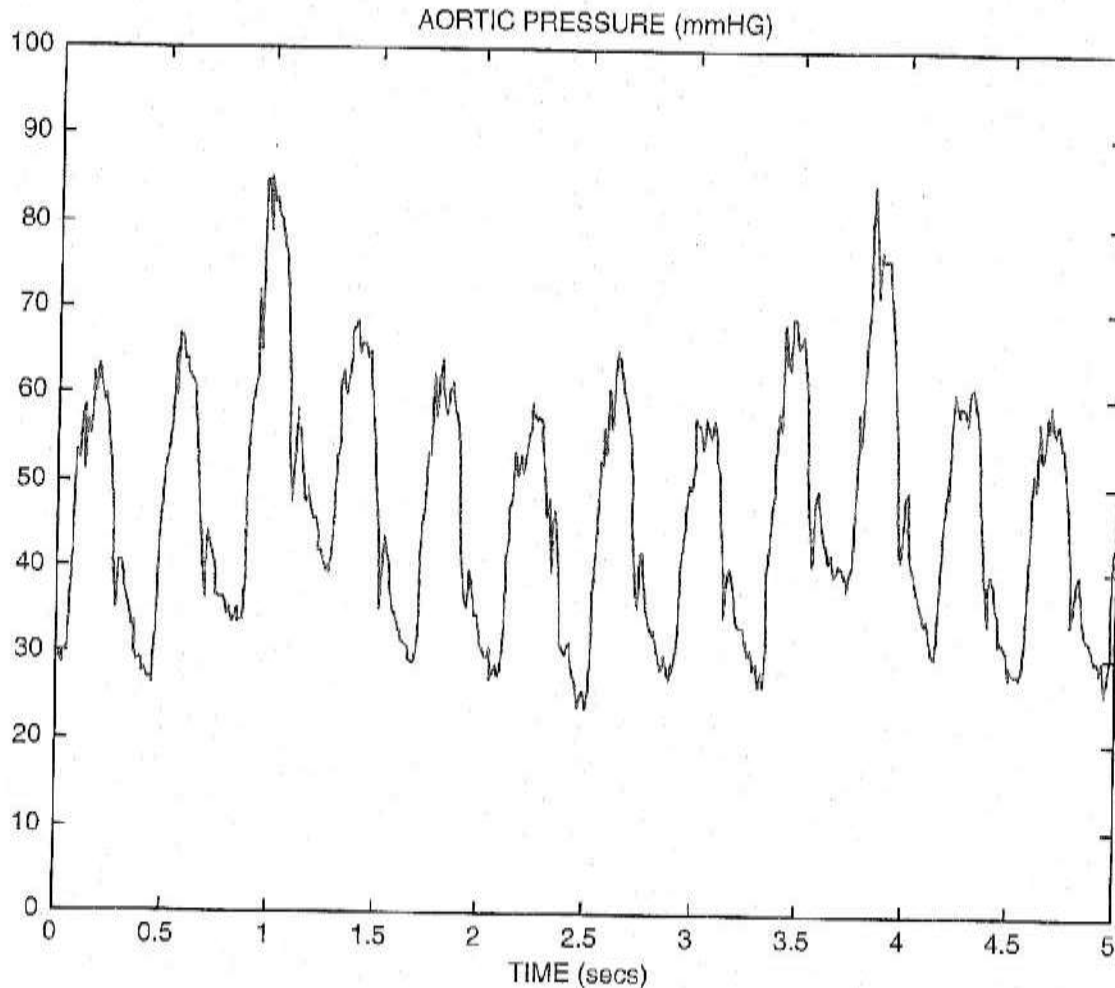
Elettrocardiogramma  
(cuore di suino)  
durante il ritmo  
cardiaco normale



Elettrocardiogramma (cuore  
di suino) durante fibrillazione  
ventricolare (VF)

Campionamento: 1000  
campioni/s (1 kHz)

# PRESSIONE SANGUIGNA



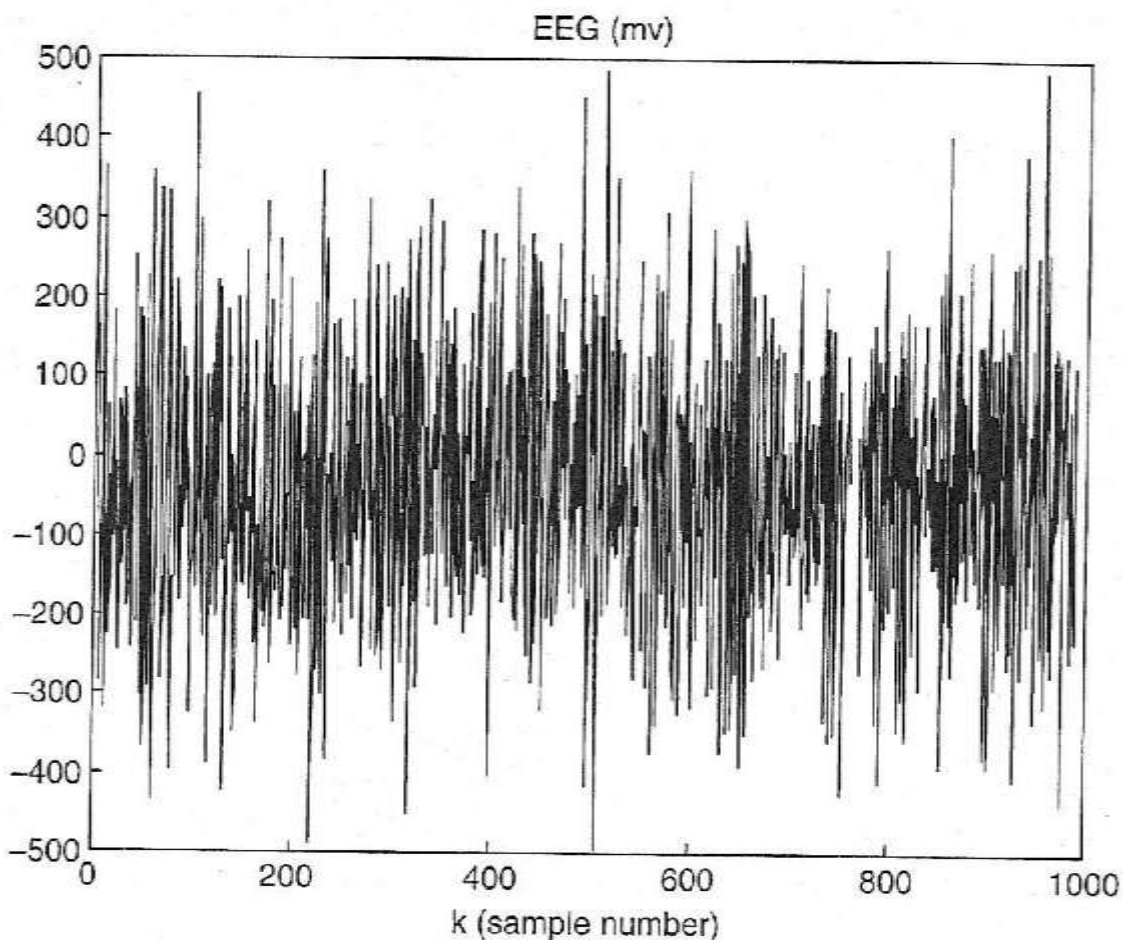
Pressione sanguigna misurata all'arco aortico in un bambino di 4 anni (campionamento: 200 campioni/s  $\Leftrightarrow$  200Hz)

**Massimi**=contrazione ventricolare quando il sangue è spinto dal cuore nel corpo=**pressione sistolica** (la massima)

**Minimi**=rilassamento ventricolare quando la pressione scende al minimo=**pressione diastolica**



# ELETTROENCEFALGRAMMA



EEG del lobo occipitale  
di soggetto adulto  
(1000 campioni).

Freq. di  
campionamento: 16kHz  
(= 16000 campioni/s).

L'analisi del segnali  
EEG viene  
comunemente fatta in  
frequenza, poiché la  
presenza di frequenze  
diverse è indicativa di  
stati cerebrali diversi  
(sonno, veglia, ansia,  
ecc.)

# SEGNALI CONTINUI E DISCRETI

## CT – Continuous Time - $x(t)$

Es.: pressione sanguigna, torsione ad una giuntura.

Sono definiti per ogni istante (di tempo). Spesso vengono campionati per valori multipli di un incremento base.

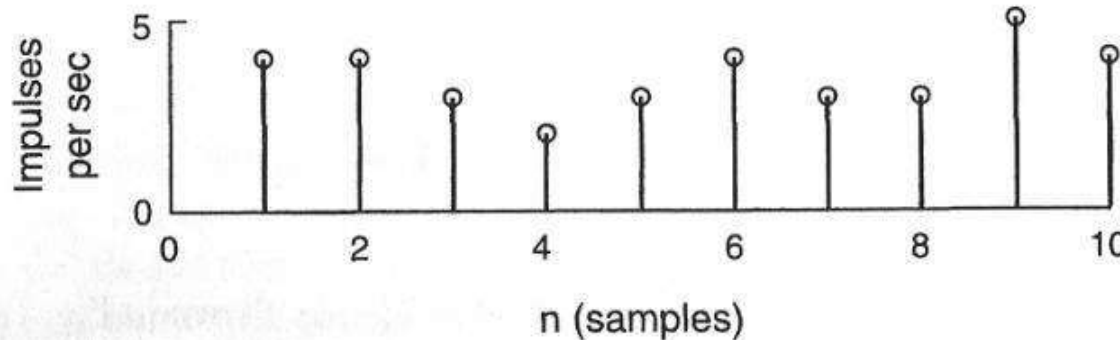
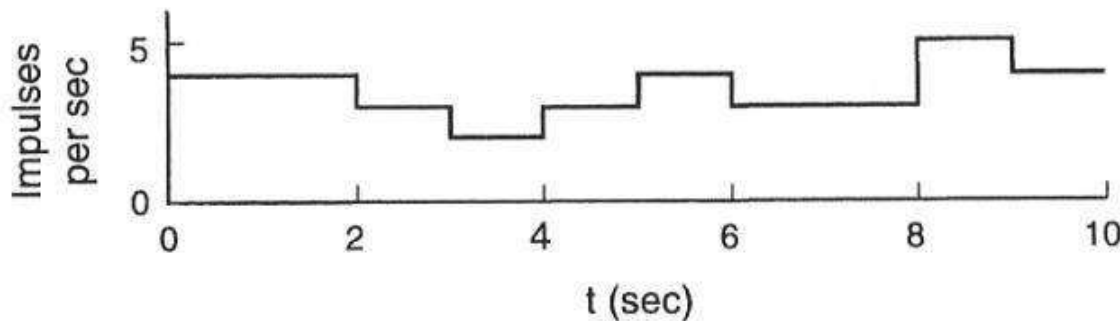
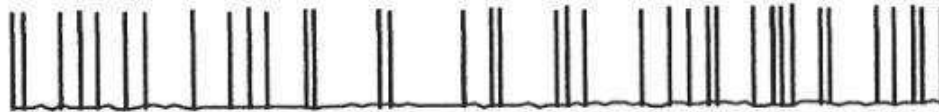
## DT – Discrete Time - $x(n)$

Es.: pressione sanguigna ad ogni battito, valori di temperatura corporea ogni ora, potenziali di azione di un neurone ogni secondo, ecc.

L'argomento della funzione assume solo valori interi.

# ESEMPIO

Action potential signal



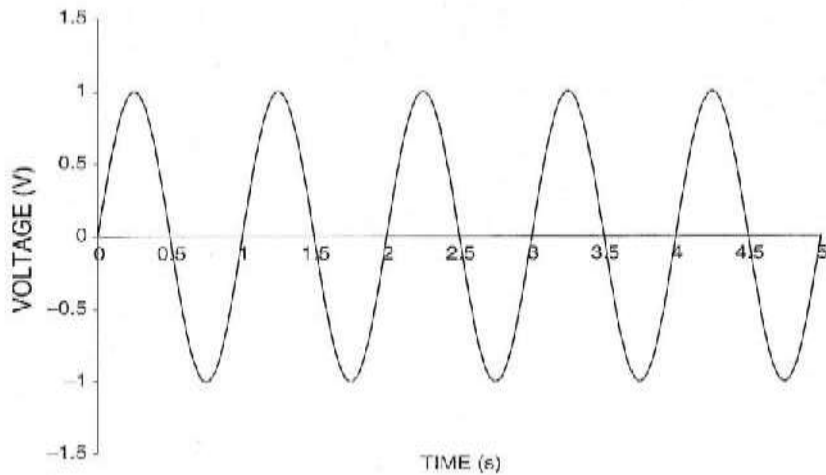
Registrazione dei potenziali di azione di un neurone nell'intervallo di tempo di 10s.

Il n. di potenziali di azione al secondo è calcolato e visualizzato nei due modi seguenti:

**Segnale CT** ottenuto mantenendo un valore costante (somma potenziali di azione) su ogni secondo di tempo.

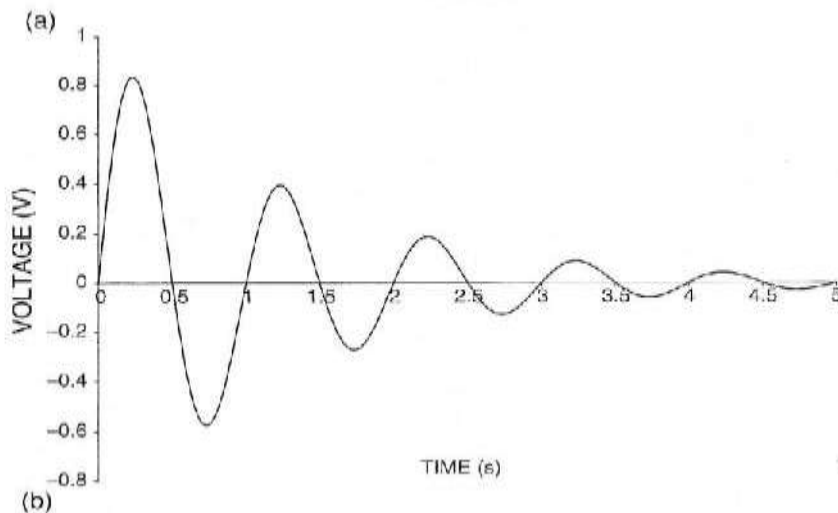
**Segnale DT** ottenuto rappresentando il n. di potenziali di azione verificatisi nell'intervallo di 1s precedente.

# SEGNALI PERIODICI E SMORZATI



Segnale periodico:  $x(t)=x(t+kT)$ ,  
 $T$ =periodo

La forma d'onda si ripete  
all'infinito uguale a se stessa



Segnale smorzato  
(transient): l'ampiezza del  
segnale decresce nel  
tempo. Ad esempio, sono  
ottenibili dal prodotto di  
una sinusoide e di un  
esponenziale negativo.

# Cosa interessa individuare e quantificare

- La forma d'onda (analisi nel dominio del **tempo**) fornisce informazioni sia qualitative che quantitative (periodicità, ampiezza). Per segnali molto irregolari è difficile effettuarne un'analisi accurata (ad es. utilizzando l'autocorrelazione)
- L'analisi delle caratteristiche in **frequenza** è fondamentale: permette di quantificare l'energia delle varie componenti periodiche del segnale in un range di interesse

# Segnali spontanei e segnali indotti

- **Spontanei:** Sono segnali sono generati dal sistema biologico durante il suo funzionamento. In questi casi, tranne il segnale elettrico, il sensore rivelatore è preposto a trasformare grandezze non elettriche in segnali elettrici.
- **Indotti:** generati artificialmente come risposta dell'interazione tra una forma di energia esterna inviata al tessuto e il tessuto stesso (es.:Tomografia Assiale Computerizzata (raggi X), Risonanza Magnetica (campo magnetico), Tomografia ad Emissione di Positroni (isotopo tracciante), ecc.)

# Esempio di immagine: retinoblastoma



$f=10\text{MHz}$ ; tessuto composto di  
particelle di diametro  $\lambda=150\mu\text{M}$

Colore chiaro=particelle piccole;  
colore scuro=particelle grandi

Mappa spettrale

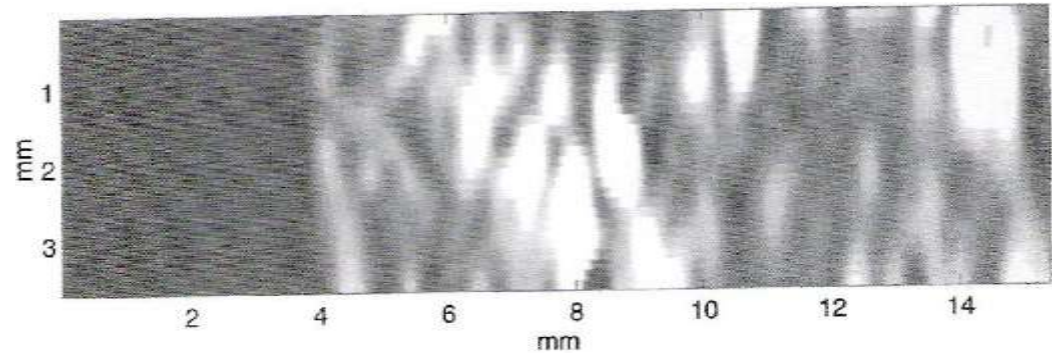
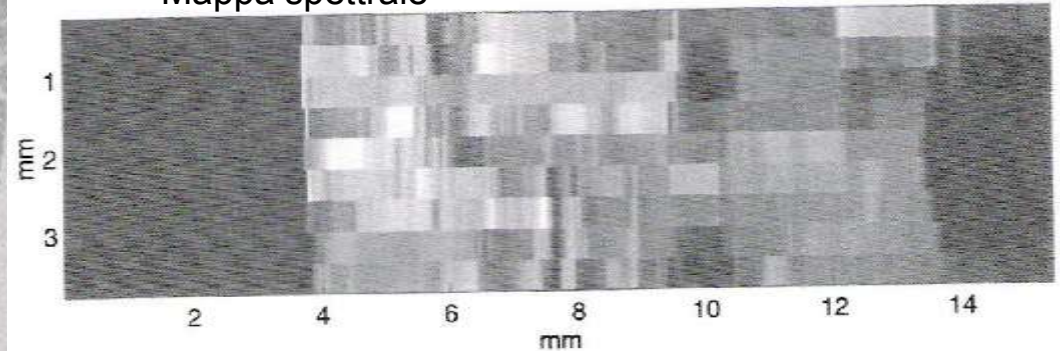


Immagine B-mode

# Segnali stocastici

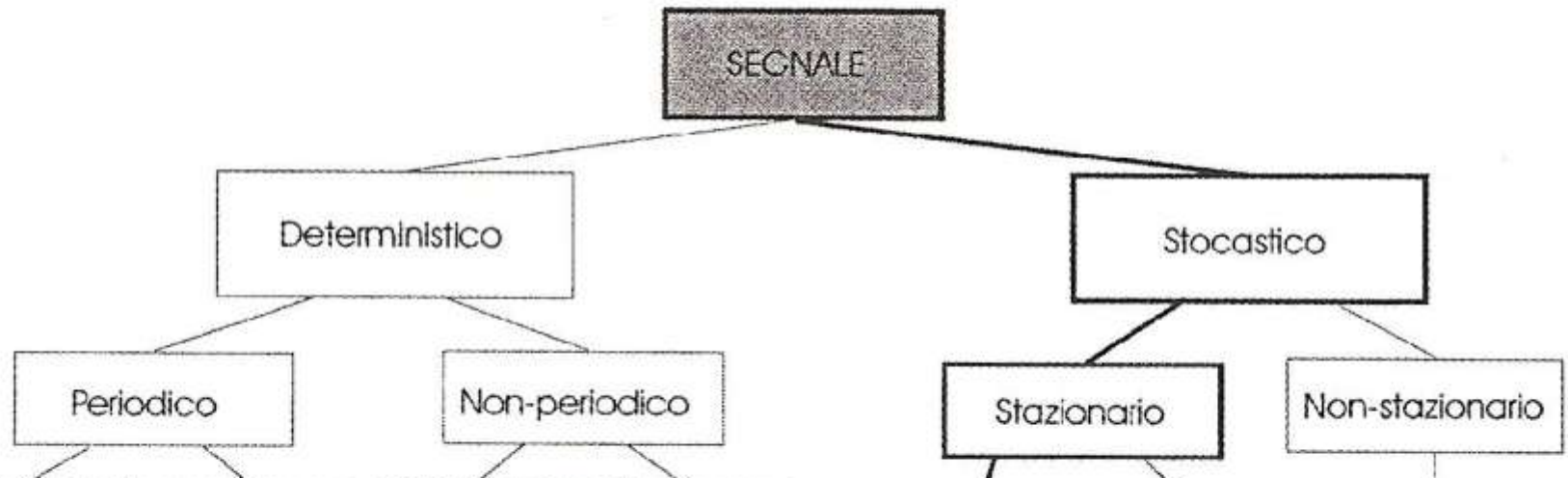
I segnali biomedici sono quasi sempre affetti da “rumore” (**componente di disturbo**), che può essere ridotto con tecniche opportune (filtraggio).

A volte si desidera misurare e non ridurre il rumore, ad esempio se vogliamo quantificare tale componente in quanto indice di patologia (irregolarità sul segnale).

Altri segnali assomigliano a rumore pur non essendo tali (segnale caotico), o avere un comportamento “autosomigliante” su scale diverse, ma non predicibile (frattali).



# Tipologie di segnali (biomedici)



**Deterministici:** valori futuri possono essere predetti con esattezza se è disponibile la quantità di informazioni necessaria. Es.: noto 1 ciclo di un'onda sinusoidale posso predirne i valori futuri ad ogni istante

**Periodici:**  $s(t)=s(t+T)$

Altro ...

**Segnali stocastici stazionari:** le proprietà statistiche (media e varianza) non variano nel tempo.

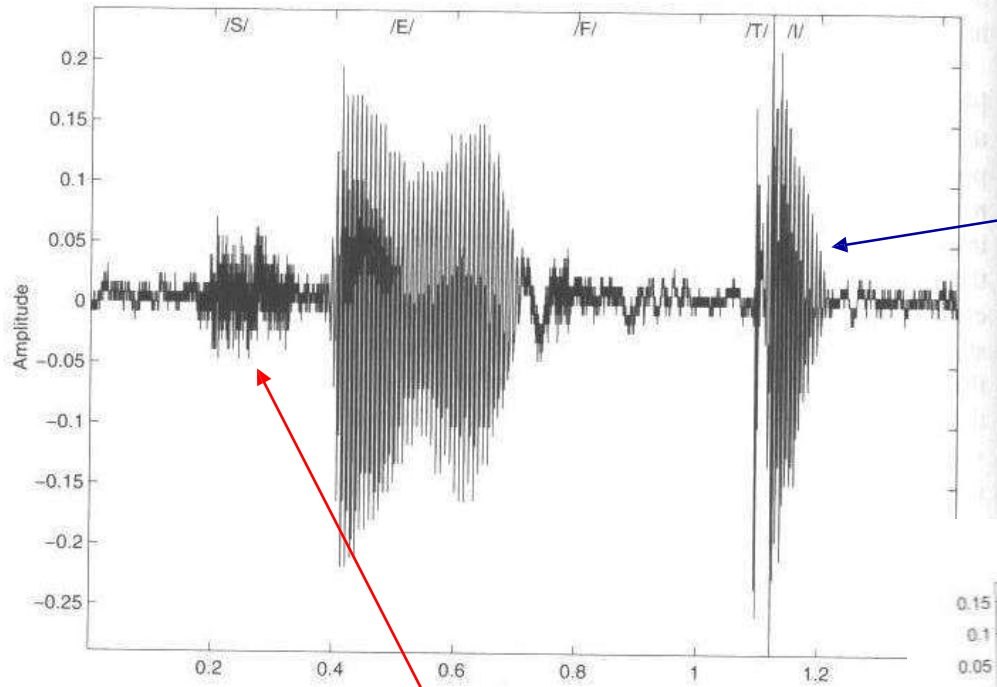
**Stocastici:** non è possibile predirne i valori futuri con esattezza, in quanto sono presenti componenti aleatorie dovute alla strumentazione di misura, alle irregolarità intrinseche del segnale, alla parte di segnale di cui non sappiamo spiegare il funzionamento.

# Segnali non stazionari

Si studiano su “finestre” di segnale in cui è verificata la stazionarietà, con :

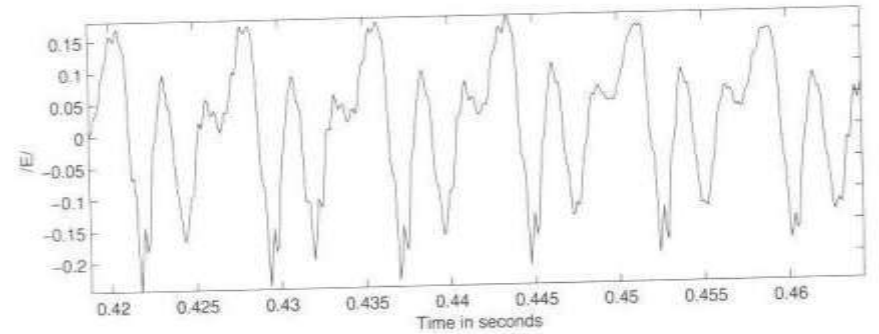
- Trasformata di Fourier
- Modelli parametrici
- Wavelets

/safety/



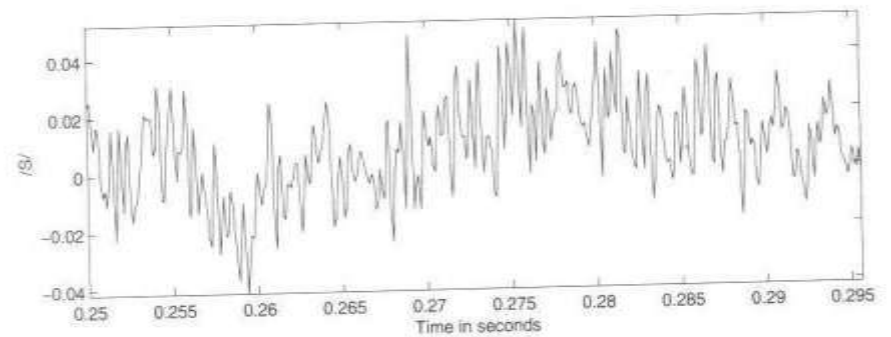
Segnale  
stazionario

/E/



segnale non  
stazionario

/S/



# SEGNALI E SISTEMI

**Sistema:** qualsiasi meccanismo attraverso il quale un segnale dipende (o è ottenuto) da un altro segnale. Più precisamente, un sistema è un qualsiasi dispositivo fisico o insieme di regole che trasforma una variabile (ingresso) in un'altra (uscita).

**Sistemi SISO** (Single Input-Single Output): 1 ingresso e 1 uscita

**Sistemi MIMO** (Multiple Input-Multiple Output): più ingressi e più uscite.

I sistemi che non possiedono un ingresso esplicito sono detti “autonomi”, gli altri si dicono “non autonomi”.

## Esempi di sistemi (non autonomi SISO)

### Sistemi I/O:

Amplificatore – Ingresso = segnale elettrico; Uscita = versione scalata dell'ingresso

Trasduttore di pressione – Ingresso = pressione sul sensore; Uscita = Tensione elettrica (es.: segnale audio)

### Sistemi I/S/O:

Dinamica del flusso sanguigno in un vaso - Ingresso = pressione sanguigna, Stato = proprietà meccaniche delle pareti arteriose e del sangue; Uscita = flusso sanguigno

# ELABORAZIONE SEGNALI BIOMEDICI

Rilevazione tramite sensore o trasduttore → pre-elaborazione: amplificazione, filtraggio, anti-aliasing (per limitare la banda del segnale), conversione A/D (con le opportune limitazioni sul campionamento e la quantizzazione) → elaborazione, sulla base delle conoscenze a priori ingegneristiche e cliniche → diagnosi → terapia → ritorno alla fase di rilevazione del segnale.

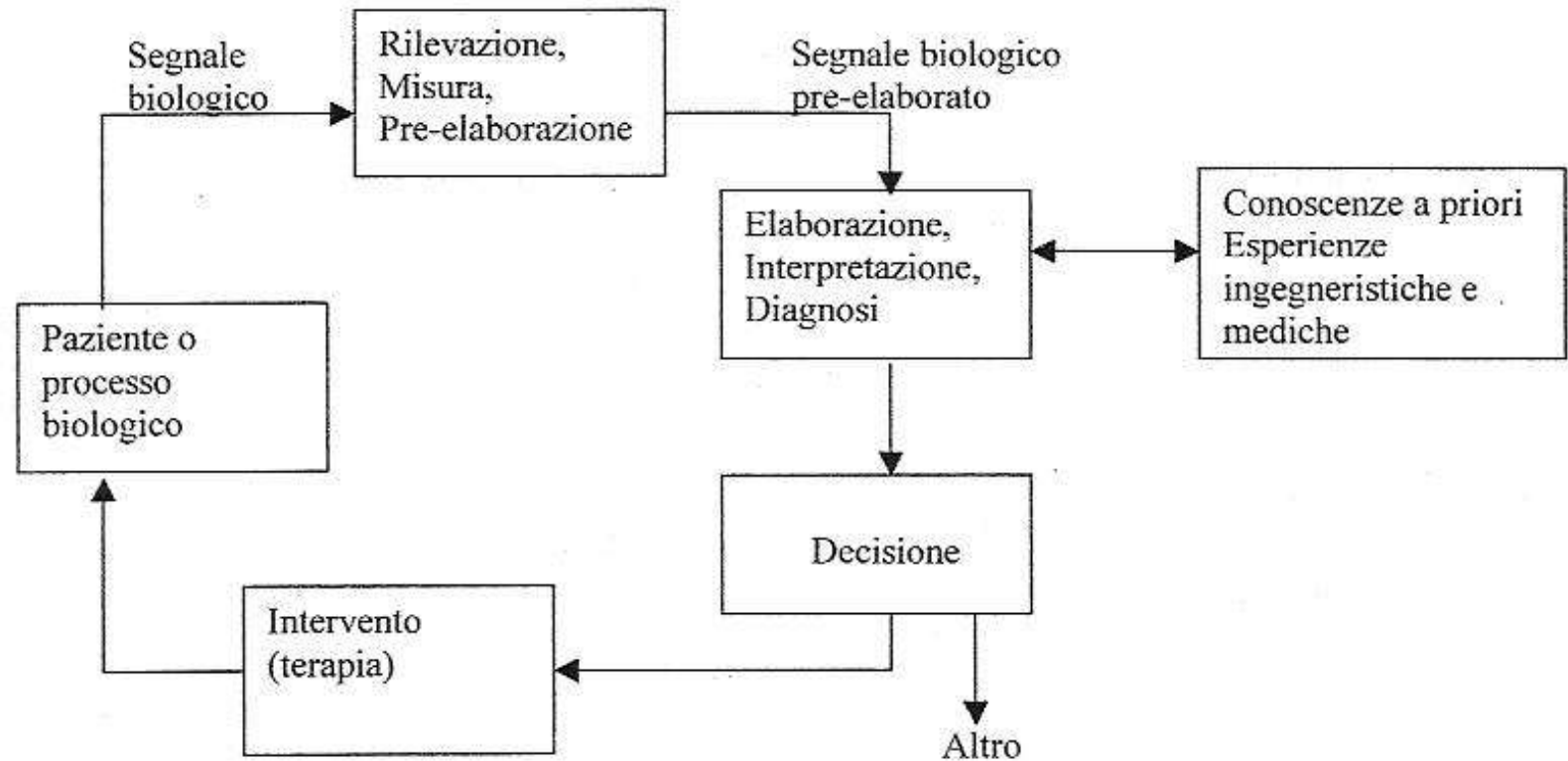


Fig. 1 – Schema a blocchi generale delle operazioni coinvolte nel processo di elaborazione e di interpretazione dei segnali biomedici.

# ELABORAZIONE E MODELLISTICA

Sarebbe opportuno che l'elaborazione del segnale biomedico fosse accompagnata dalla conoscenza del sistema che ha prodotto tale segnale.

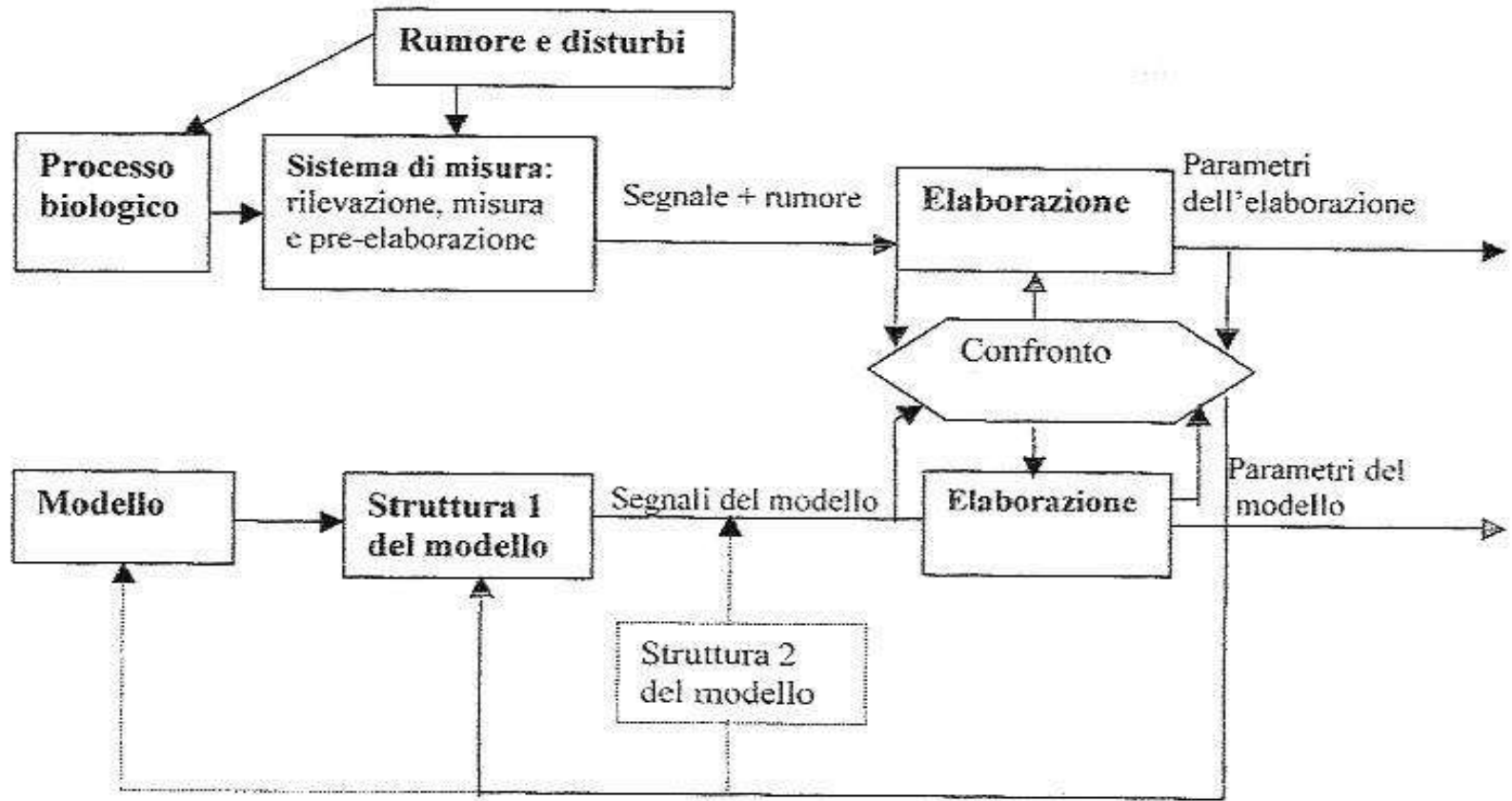
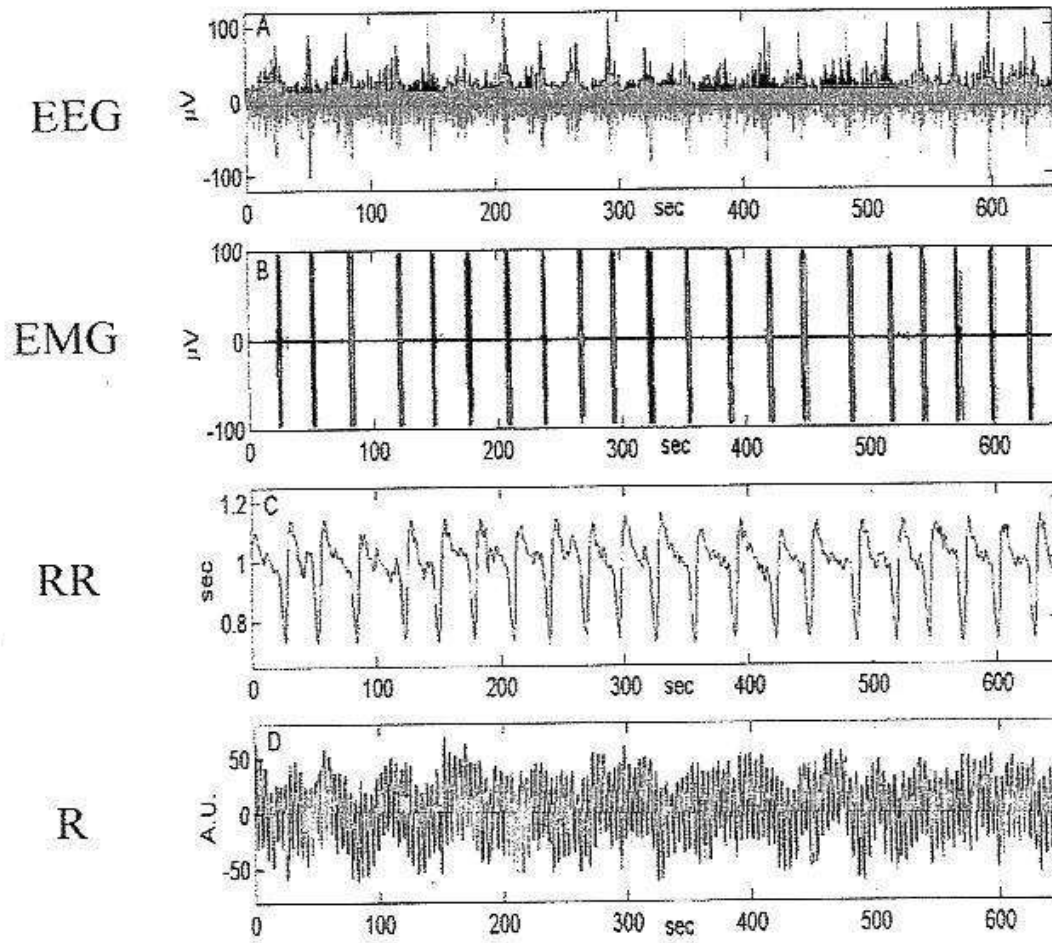


Fig. 5 - Schema a blocchi illustrativo delle possibili relazioni esistenti tra elaborazione dei segnali (parte superiore) e modello del sistema biologico in studio (parte inferiore).



# Integrazione fra segnali relativi a sistemi biologici diversi

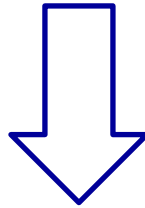


Relazioni molto significative possono essere ricavate dall'analisi contemporanea dei parametri di sistemi diversi. Ad es. durante il sonno si ha una precisa sincronizzazione fra il meccanismo di "micro-risveglio" (segnale EEG) con lo spike del mioclono (contrazione muscolare involontaria – EMG - misurato a livello del muscolo tibiale). Vi è inoltre un coinvolgimento del sistema nervoso autonomo con tachicardie e successive lievi bradicardie (segnale RR) e sincronizzazione del respiro (R).

Fig. 12 – Segnali rilevati durante un episodio di mioclono notturno (dall'alto in basso): EEG (fase 2 CAP caratterizzata da microarousal pseudoperiodici); attività EMG rilevata dal muscolo tibiale; andamento dell'RR rilevato sul segnale ECG; respiro (R).

# Problemi:

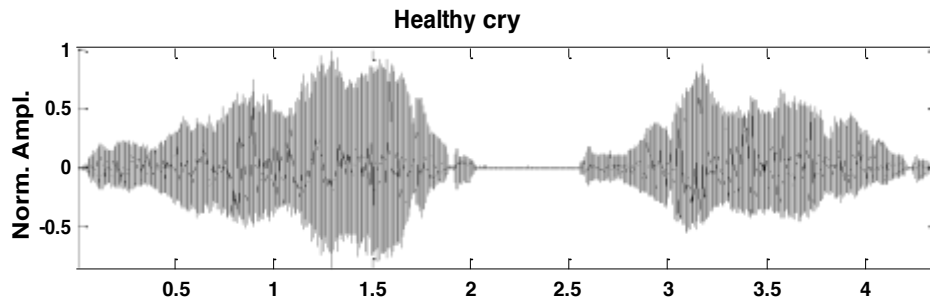
- Range ampiezze diverse
- Campionamento diverso
- Desincronizzazione delle registrazioni



*Sviluppo di strumentazione per acquisizione  
dei segnali e di tecniche di elaborazione  
automatica*



# Integrazione fra segnali biomedici



Apparato vocale  
(vagito neonatale)

Apparato  
circolatorio  
(ossigenazione  
e flusso ematico  
cerebrale)

