



UNIVERSITÀ DI PISA  
Corso di Laurea in Scienze Motorie  
Tecnologie e strumentazione biomedica

## Segnali e trasduttori

Alberto Macerata  
(modificate da Nicola Vanello)\*  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

*\*non necessariamente in meglio*

## Termini di Sensore e Trasduttore

Possiamo definire “**sensore**”: *Quel dispositivo sensibile ad una grandezza fisica ed in grado di trasformarla in un segnale misurabile.*

Possiamo definire “**trasduttore**”: *Quel dispositivo che converte energia da un sistema ad un altro nella stessa forma o in forma differente.*

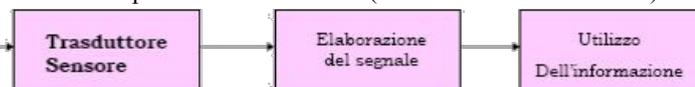
C'è spesso ambiguità nell'utilizzo dei termini.

Spesso vengono usati in modo analogo e interscambiabile.



Un sensore è comunque il primo elemento di una catena di acquisizione.

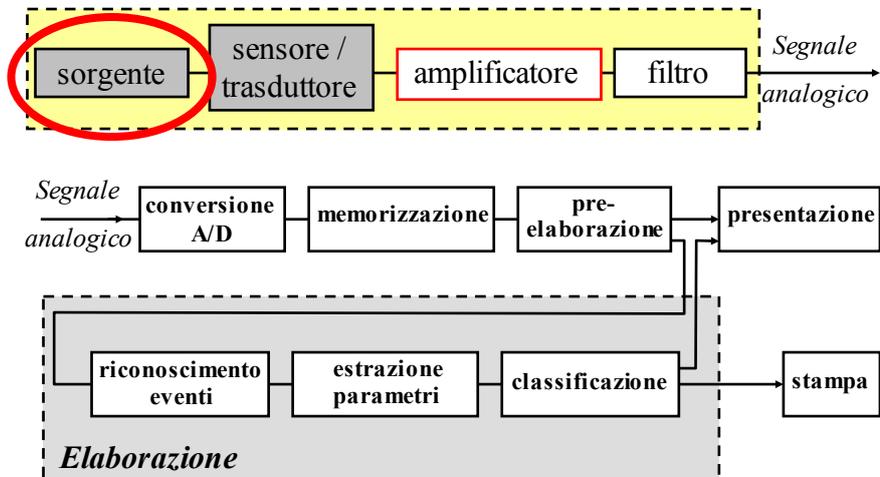
Col termine trasduttore, si possono intendere anche altri componenti in un sistema (ad es. trasduttori in uscita)



UNIP-SM-Segnali e Trasduttori

## Acquisizione ed elaborazione di segnali

### Blocchi funzionali



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Segnali biomedici - origine

Il segnale può presentarsi sotto forma di *potenziale elettrico* (ECG, EEG, ecc); in questo caso è subito disponibile per la sua misura e per successivi trattamenti (registrazione, elaborazione). Negli altri casi dovrà essere convertito in un segnale elettrico, mediante un *trasduttore*.

In base alla loro *origine*, i segnali si possono distinguere in:

- *elettrici*
- *di impedenza*
- *acustici*
- *magnetici*
- *meccanici*
- *chimici*
- *ottici*

UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Segnali biomedici - *dimensione*

Un altro modo di caratterizzare il segnale biomedico è basato sulla **dimensione** della sua misura.

Il segnale “peso” lo posso considerare a **1-dimensione** in quanto è definito da un valore misurato in un determinato momento. Lo stesso posso dire per il segnale “temperatura” oppure “altezza” di una persona.

Se invece considero una immagine su schermo, l'immagine la posso considerare un segnale a **2-dimensioni** in quanto il valore di ogni punto dell'immagine (cioè l'intensità e/o colore) cambia in base alla 2 coordinate X e Y.

Nel caso di un film o video, avrò un segnale a **3-dimensioni** in quanto, oltre alla necessità di conoscere le 2 coordinate X-Y di ogni punto, dovrò conoscere anche il tempo esatto in cui è stata presa quella particolare immagine tra la sequenza di immagini registrate.

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

## Segnali biomedici - *dimensione*

### 1 dimensione

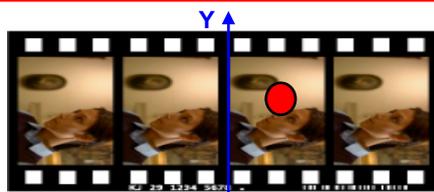


Il segnale **peso** è funzione del **tempo** in cui si effettua la misura

### 2 dimensioni



Il segnale **immagine** è funzione delle coordinate **X e Y**.



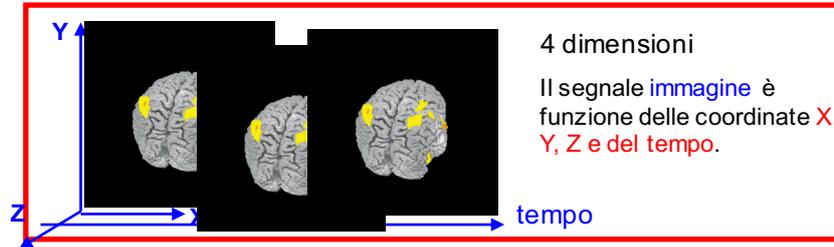
### 3 dimensioni

Il segnale **immagine** è funzione delle coordinate **X, Y e del tempo**.

tempo

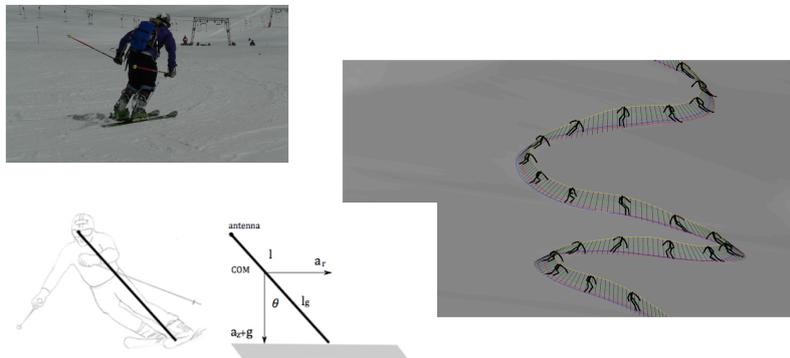
UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

## Segnali biomedici - *dimensione*



UNIP-SM-Segnali e Trasduttori

## Segnali biomedici - *dimensione*



Sistema GPS e accelerometri (17 per accelerazioni di diversi segmenti del corpo)

Nemec D. e altri, *Estimation of Alpine Skier Posture Using Machine Learning Techniques*, *Sensors* 2014, 14(10), 18898-18914

UNIP-SM-Segnali e Trasduttori

## Segnali biomedici - *dimensione*

Di seguito sono dati alcuni esempi di segnali biomedici a diversa *dimensione*:

|                                      | MONODIM. SINGOLI   | MONODIM. VETTORI.   | BIDIMENSIONALI   | TRIDIMENSIONALI   |
|--------------------------------------|--|---|--|---|
| S<br>T<br>A<br>T<br>I<br>C<br>I      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• esami biochimici</li> <li>• temperatura</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• press. sang. (PA, PV, ecc)</li> <li>• audiometria</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• radiografia</li> <li>• ecografia</li> <li>• TAC statica</li> <li>• Risonanza Magn.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ecografia 3D</li> <li>• TAC spaziale</li> <li>• PET</li> </ul> |
| D<br>I<br>N<br>A<br>M<br>I<br>C<br>I | <ul style="list-style-type: none"> <li>• curva glicemica</li> <li>• potenziale d'azione</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ECG</li> <li>• EMG</li> <li>• EEG</li> <li>• voce</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• scintigrafia din.</li> <li>• elettromappe card.</li> <li>• ecocardiografia</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• cineangiografia</li> <li>• TAC ultrarapida</li> </ul>          |

*UNIPF-SM-Segnali e Trasduttori*

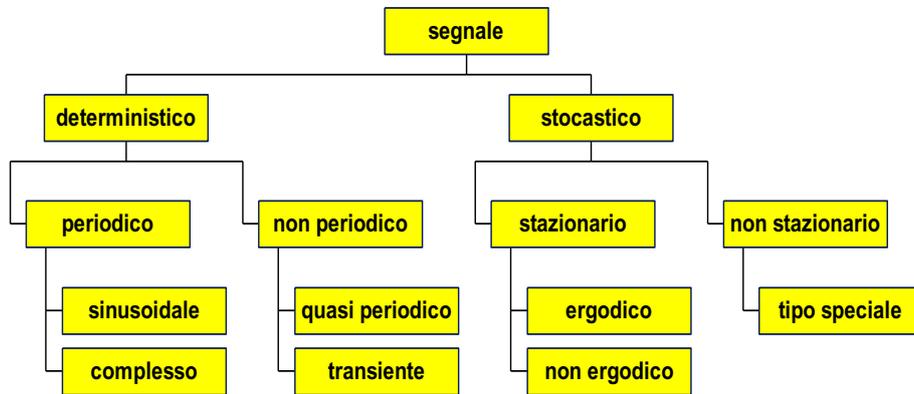
## Segnali biomedici - *ruolo*

Un altro modo di caratterizzare il segnale biomedico è basato sul suo *ruolo* nell'analisi degli organi e delle loro funzioni.

|                     |  |
|---------------------|--|
| Anatomia            | <i>ultrasuoni, cineangiografia</i>   |
| Metabolismo         | <i>med. nucleare, PET, SPECT</i>   |
| Cinetiche regionali | <i>ultrasuoni, cineangiografia</i>   |
| Flusso di sangue    | <i>doppler a u.s., angiografia, flussimetria e.m.</i>  |
| Funzioni di organo  | <i>elettrocardiogramma (ECG),<br/>elettromiogramma (EMG),<br/>elettroencefalogramma (EEG),<br/>elettroretinogramma (ERG),<br/>elettrooculogramma (EOG),<br/>potenziali evocati (P.E.),<br/>fonocardiogramma, pneumotocogramma,<br/>pressione sanguigna</i> |

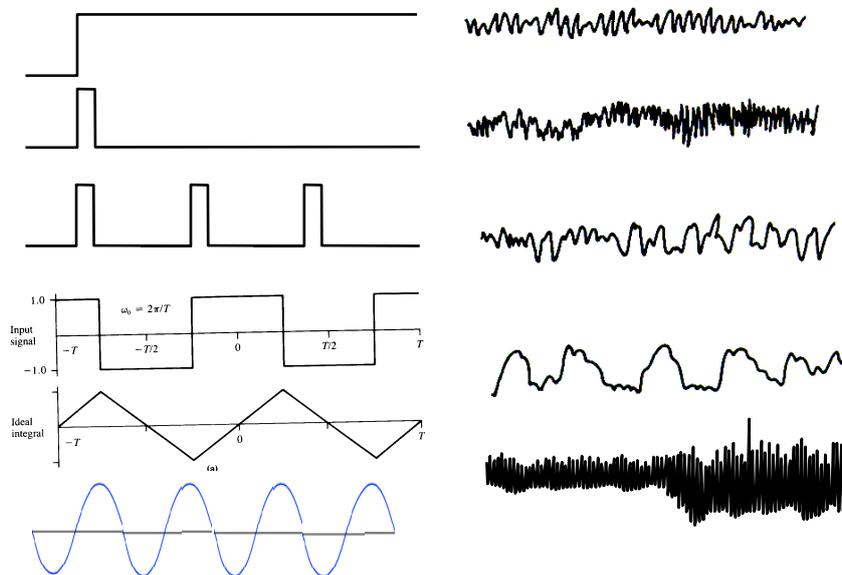
*UNIPF-SM-Segnali e Trasduttori*

## Segnali: classificazione "matematica"



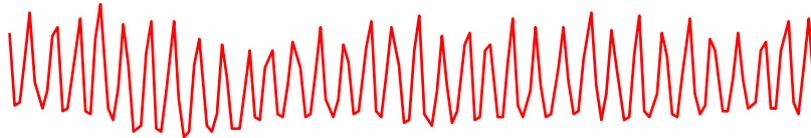
UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Tipi di segnali



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Segnali biologici



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Segnali di interesse biomedico

| Variabile misurata o tecnica di misura | Campo delle ampiezze (tipico range di misura)      | Campo di frequenza del segnale (Hz) |
|--|--|-------------------------------------|
| <b>VARIABILI MECCANICHE</b>            |  |                                     |
| Pressione arteriosa (diretta)          | 10 - 300 mmHg                                      | 0 - 50                              |
| Pressione arteriosa (indiretta)        | 25 - 400 mmHg                                      | 0 - 60                              |
| Pressione venosa                       | 0 - 50 mmHg  | 0 - 50                              |
| Pressione gastrointestinale            | 0 - 80 mmHg  | 0 - 10                              |
| Pressione vescicale                    | 1 - 100 mmHg                                       | 0 - 10                              |
| Pressione intracranica                 | 10 - 60 mmHg                                       | 0 - 40                              |
| Forza gastrointestinale                | 0.01 - 0.5 N                                       | 0 - 1                               |
| Pletismografia (cambiamenti di volume) | varia con l'organo sotto esame                     | 0 - 30                              |
| Portata volumetrica di sangue          | $1 - 300 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$          | 0 - 20                              |
| Gittata cardiaca                       | $4 - 25 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{min}$         | 0 - 20                              |
| Pneumotacografia                       | 0 - 0.6 m <sup>3</sup> /min                        | 0 - 40                              |
| Frequenza respiratoria                 | 2 - 50 respiri/min                                 | 0.1 - 10                            |
| Volume Tidal                           | $(0.05 - 1) \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{respiri}$ | 0.1 - 1                             |
| Temperatura corporea                   | 32 - 42 C  | 0 - 0.1                             |

UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

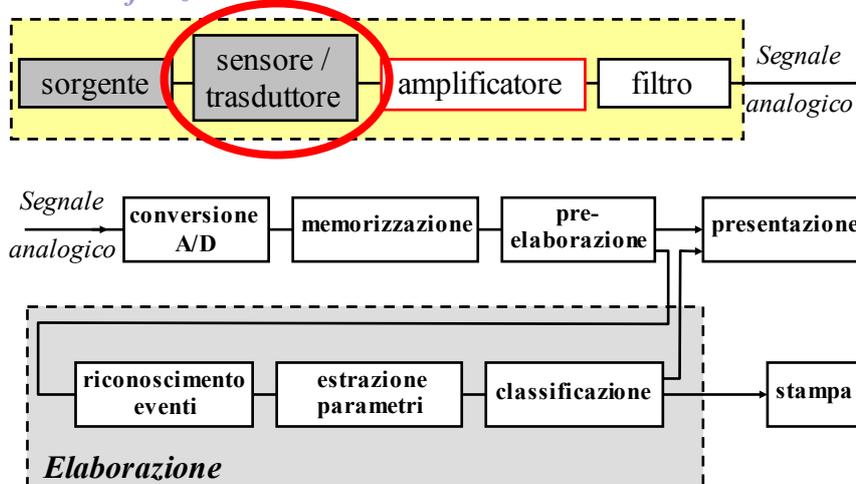
## Segnali di interesse biomedico

| Variabile misurata o tecnica di misura   | Campo delle ampiezze (tipico range di misura) | Campo di frequenza del segnale (Hz) |
|--|---|-------------------------------------|
| <b>VARIABILI ELETTRICHE e MAGNETICHE</b> |   |                                     |
| Potenziali nervosi                       | 0.01 - 3 mV                                   | 0 - 10 <sup>4</sup>                 |
| Elettrocardiografia (ECG)                | 0.5 - 4 mV                                    | 0.01 - 250                          |
| Elettroencefalografia (EEG)              | 5 - 300 $\mu$ V                               | 0 - 150                             |
| Elettrogastrografia (EGG)                | 10 - 1000 $\mu$ V                             | 0 - 1                               |
| Elettromiografia (EMG)                   | 0.1 - 5 mV                                    | 0 - 10 <sup>4</sup>                 |
| Potenziali evocati visivi                |   |                                     |
| EOG                                      | 50 - 3500 V                                   | 0 - 50                              |
| ERG                                      | 0 - 900 V                                     | 0 - 50                              |
| Risposta galvanica cutanea               | 1 - 500 K $\Omega$                            | 0.01 - 1                            |
| Magnetocardiografia (MCG - SQUID)        | - 100 pT                                      | 0 - 50                              |

*UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori*

## Acquisizione ed elaborazione di segnali

### *Blocchi funzionali*



*UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori*

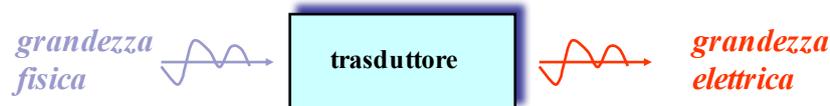
## Sensori e trasduttori

La maggior parte della strumentazione biomedica è elettronica e tratta **segnali elettrici**.

Se, per esempio, devo analizzare un biopotenziale devo avere un “qualcosa” che sia in grado di trasferire il potenziale **elettrico** dal paziente allo strumento, cioè devo usare un **sensore**, ed in particolare un **elettrodo**.

Se invece devo analizzare un segnale di pressione, o un movimento, o una accelerazione, o una forza, o una temperatura (tutti segnali **non elettrici**) devo prima convertirli mediante un sensore che agisce da trasduttore e che è in grado di fornire un segnale elettrico proporzionale allo stimolo originale.

Nel nostro contesto, si definisce **trasduttore** un dispositivo che converte una qualsiasi forma di energia prodotta da uno stimolo fisico nel suo corrispondente elettrico.

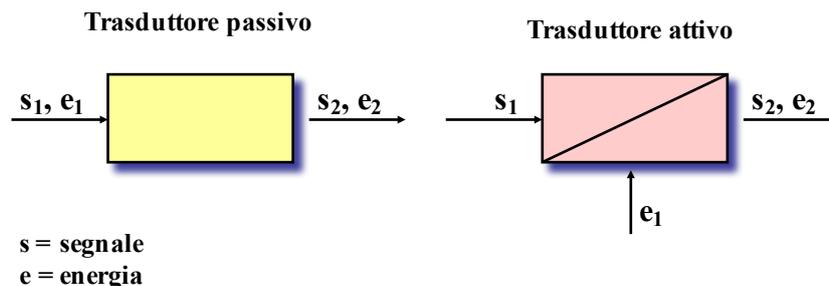


UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Trasduttori attivi e passivi

Un trasduttore è considerato **attivo** se l'energia del segnale in uscita dal trasduttore è **fornita principalmente da una sorgente ausiliaria esterna**, controllata dal segnale d'ingresso.

Viceversa, in un trasduttore **passivo** la sorgente principale di energia è **fornita da segnale stesso**.



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Fenomeno fisico nei trasduttori

| <i>Attivi</i>  | <i>Passivi</i>                                 |
|--|--|
| Resistenza, induttanza<br>capacità controllate<br>geometricamente. | Elettromagnetico                               |
| Meccanicoresistivo   | Piezoelettrico                                 |
| Magnetoresistivo   | Termoelettrico                                 |
| Termoresistivo   | Fotoemissivo                                   |
| Fotoconduttivo   | Fotovoltaico                                   |
| Piezoresistivo   | Elettrocinetico (potenziale di<br>scorrimento) |
| Effetto Hall   | Piroelettrico                                  |

*UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori*

## Ingressi e uscite di un trasduttore

| GRANDEZZA DI INGRESSO | GRANDEZZA MISURATA   |
|-----------------------|--|
| SPOSTAMENTO           | LINEARE<br>lunghezza, spessore, livello, stato della superficie, erosione,<br>usura, vibrazioni, forza, pressione, durezza, sforzo,<br>accelerazione |
|                       | ANGOLARE<br>angolo di incidenza, angolo di scorrimento, vibrazione<br>angolare   |
| VELOCITA'             | LINEARE<br>Velocità, velocità di scorrimento, vibrazioni, suoni, momenti   |
|                       | ANGOLARE<br>Velocità, frequenza di rotazione, vibrazioni, momenti angolari   |
| ACCELERAZIONE         | LINEARE<br>Accelerazione, massa, vibrazioni, urti  |
|                       | ANGOLARE<br>Accelerazione, vibrazioni, urti obliqui, momento di inerzia  |
| FORZA                 | Peso, densità, urti, sforzo, coppia, vibrazioni, pressione<br>Velocità di fluidi e gas, altitudine, suoni  |
| TEMPERATURA           | Conduzione e radiazione di calore, pressione, velocità di gas,<br>turbolenza   |
| RADIAZIONE LUMINOSA   | Flusso e densità di luce, distribuzione spettrale, lunghezza<br>d'onda, deformazione, forza coppia, frequenza  |
| DURATA                | Frequenza, numerazione, distribuzioni statistiche  |

*UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori*

## Trasduttore: *Caratteristiche statiche*

**Sensibilità:** è il rapporto fra la *variazione* del segnale in uscita al sensore e la corrispondente *variazione* della grandezza in ingresso.

**Risoluzione:** la risoluzione rappresenta la più piccola quantità che può essere misurata; ovvero la minima variazione dell'ingresso che provoca un'apprezzabile variazione in uscita.

**Ripetibilità:** è l'attitudine del trasduttore a fornire valori della grandezza in uscita uguali a parità di segnale di ingresso.

**Accuratezza:** esprime la deviazione tra il valore presentato in uscita dal sensore (grandezza fisica misurata) ed il valore vero della grandezza fisica.

**Isteresi:** corrisponde alla massima differenza tra i due cammini di andata e di ritorno dell'uscita di un sensore durante il ciclo di calibrazione. E' espresso in percentuale del fondo scala (% f.s.).

**Calibrazione:** registrazione delle misurazioni della grandezza di uscita del sensore in corrispondenza di valori noti della grandezza di ingresso.

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

## Classificazione delle misure biomediche

Una prima fondamentale classificazione delle misure in campo biomedico è quella tra ***misure invasive*** e ***non invasive***:

Una misura si intende ***non invasiva*** quando preleva il segnale dal paziente senza causargli traumi, lesioni o significative alterazioni dei suoi parametri vitali.

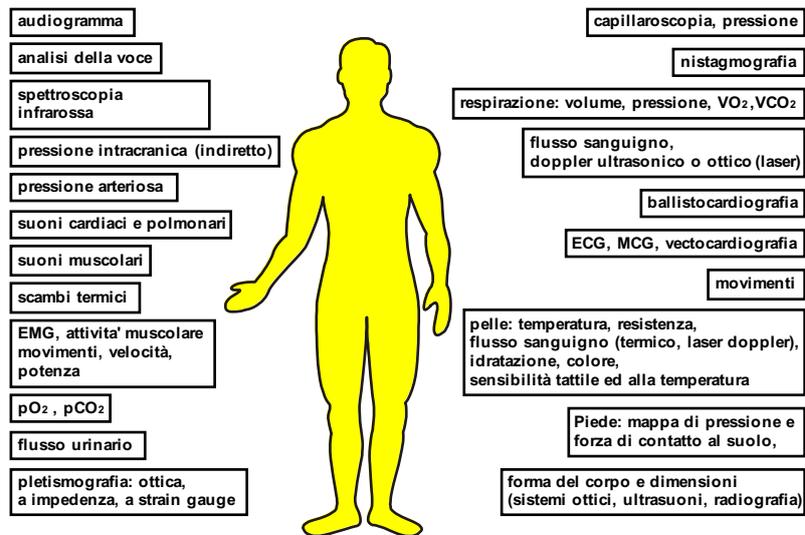
Un'altra classificazione usata è tra: ***misure dirette*** ed ***indirette***.

Le misure ***dirette*** rilevano le quantità fisiche e chimiche d'interesse semplicemente confrontandole con valori di riferimento.

Le misure ***indirette*** si basano su relazioni matematico-statistiche che intercorrono tra variabili che non possono invece essere misurate direttamente.

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

## Misure non invasive



UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

## Classificazione delle misure biomediche

Le misure in campo biomedico possono essere raggruppate anche in relazione a:

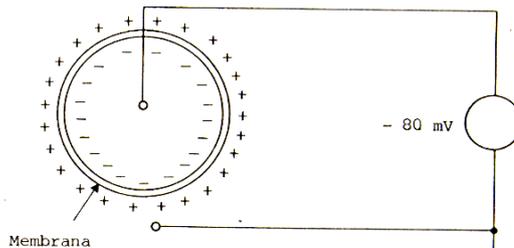
- la **grandezza misurata** (es. potenziali elettrici, pressioni, portate, spostamenti, velocità, forze, impedenze, temperature, concentrazioni chimiche);
- il **principio di trasduzione** (resistivo, induttivo, capacitivo, piezoelettrico, elettrochimico, ecc.);
- il **sistema fisiologico analizzato** (sistema cardiovascolare, polmonare, nervoso, endocrino, ecc.);
- la **specialità medica** (pediatrica, ostetrica, cardiologica, neurologica, radiologica ecc.); questo approccio è valido soprattutto per il personale tecnico-sanitario.

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

## Potenziale d'azione

Alcune cellule hanno la caratteristica di essere eccitabili, cioè di modificare il loro stato elettrochimico se stimolate elettricamente. La cellula è immersa in un fluido ricco di ioni  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . A riposo, l'interno della cellula presenta un potenziale di  $-50/-100$  mV rispetto l'esterno (cioè è *polarizzata*). Questa differenza di potenziale è dovuta alle proprietà della membrana che circonda la cellula. La membrana è poco permeabile agli ioni  $\text{Na}^+$  e fortemente permeabile agli ioni  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ .

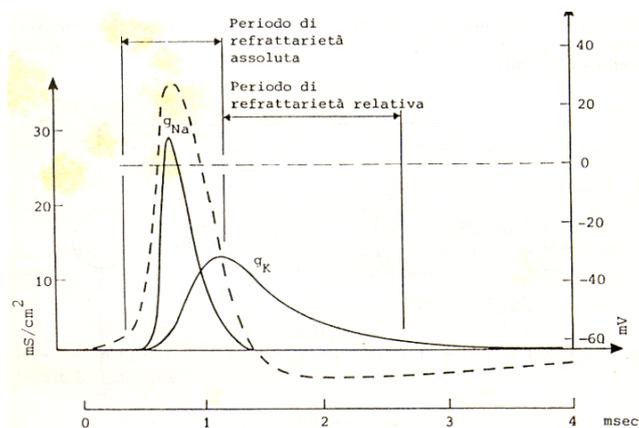
Gli ioni cercano di raggiungere una situazione di equilibrio fra l'interno e l'esterno della cellula sia riguardo la concentrazione che la carica.



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## Potenziale d'azione

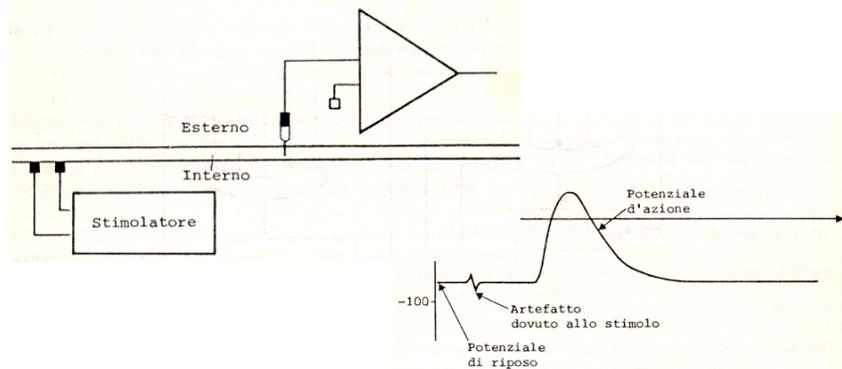
Se si applica alla cellula uno stimolo opportuno, cioè se si provoca la diminuzione del potenziale a riposo oltre una certa soglia, si genera un *potenziale di azione* che, per l'appunto, si innesca e si autoalimenta non appena si supera una certa soglia.



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

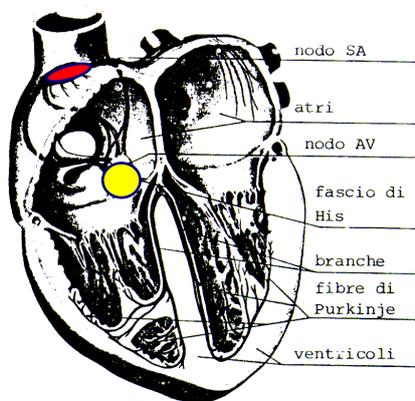
## Misura del potenziale d'azione

I segnali nervosi vengono trasmessi tramite i potenziali d'azione. La propagazione del potenziale d'azione avviene conservando la medesima forza ed ampiezza lungo l'intera lunghezza della fibra nervosa o muscolare. Ogni segnale ha inizio con una rapida variazione dal normale valore negativo al valore positivo, per poi tornare rapidamente al precedente stato. Il potenziale si propaga lungo tutta la fibra trasportandone il segnale.



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

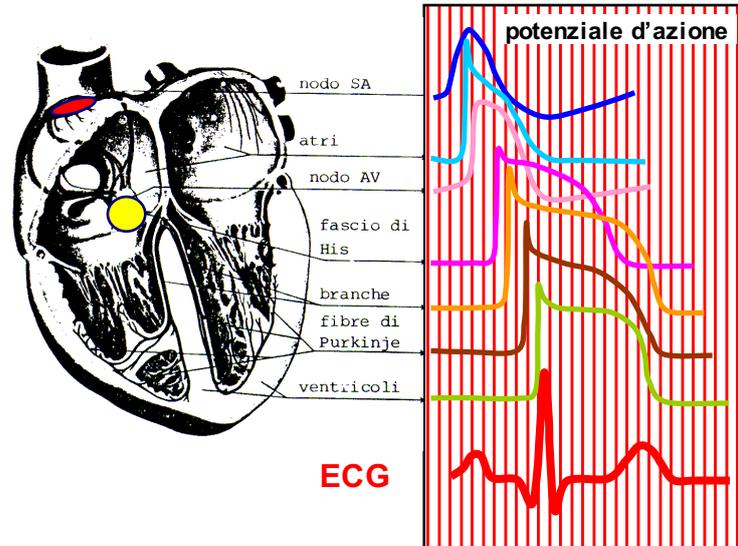
## ECG: propagazione dell'impulso elettrico



- Dal nodo SA l'impulso si diffonde radialmente nell'atrio destro lungo le fibre del miocardio ad una velocità di 1 m/s
- l'impulso è anche condotto direttamente tramite il fascio di Backmann all'atrio sinistro
- il potenziale d'azione raggiunge il nodo AV, che contiene lo stesso tipo di cellule del nodo SA
- attraverso il fascio di His ed altri rami l'impulso viene condotto ai ventricoli
- questi rami si distribuiscono con una struttura estremamente ramificate (fibre di Purkinje) sulle superfici dei ventricoli
- la velocità di conduzione nelle fibre raggiunge i 4 m/s permettendo una rapida attivazione dei ventricoli

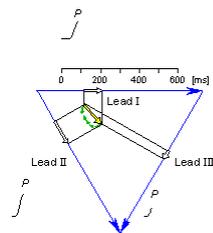
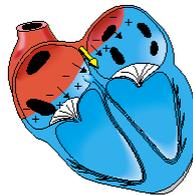
UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

## ECG: formazione del segnale elettrico

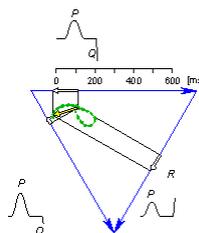


UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

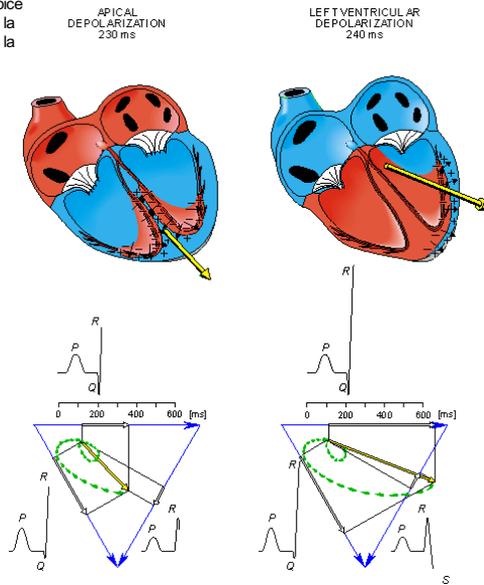
Lo stimolo parte dal nodo seno-atriale. Il vettore di depolarizzazione atriale che viaggia verso il nodo atrio-ventricolare



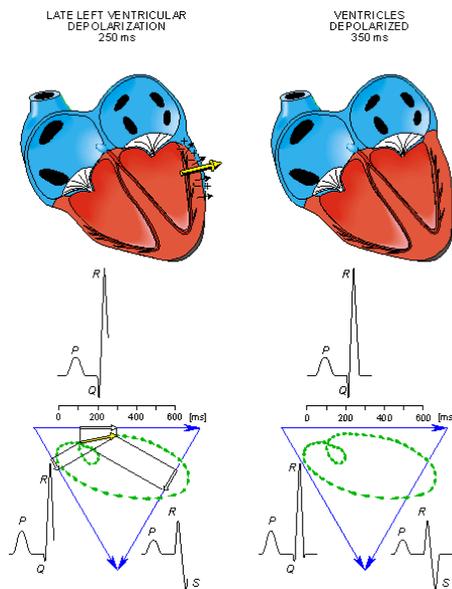
L'impulso arriva al setto ventricolare attraverso il fascio di His. Prevale la depolarizzazione della parte sinistra del ventricolo



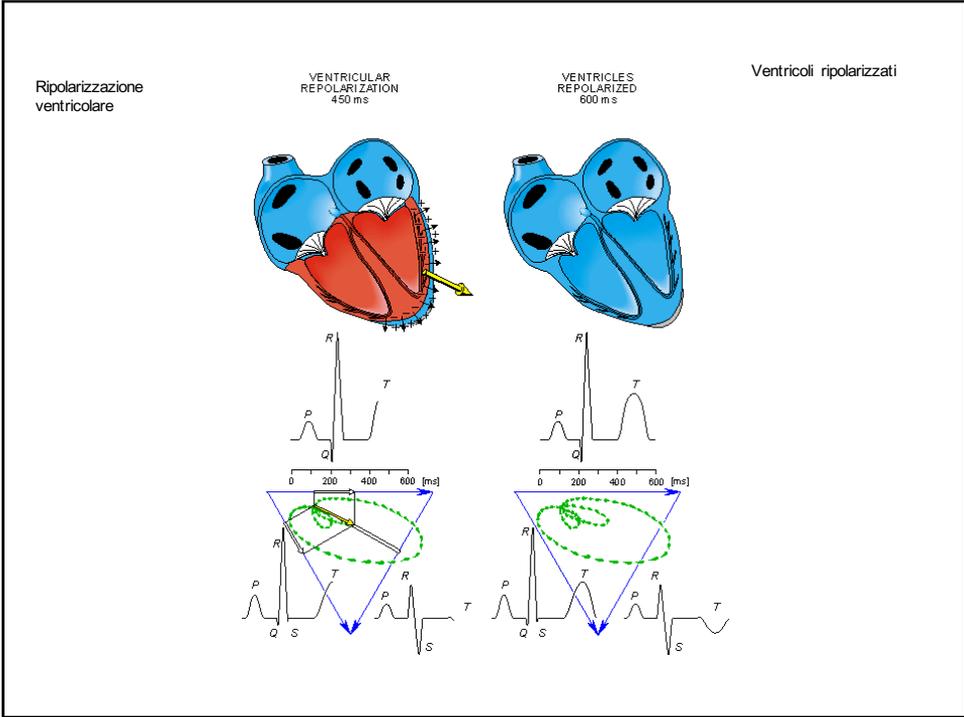
Lo stimolo ha raggiunto l'apice del cuore. Qui il vettore ha la massima estensione lungo la direzione del setto



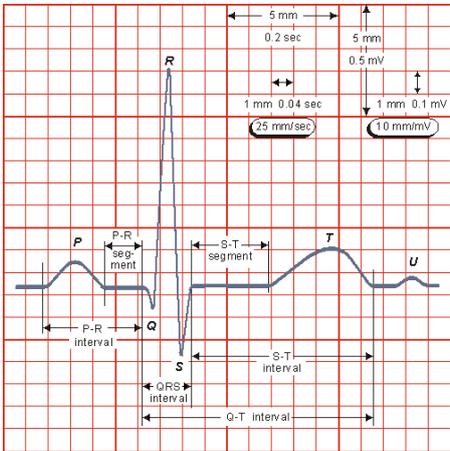
Lo stimolo ha raggiunto le pareti dei ventricoli. Anche qui la parte sinistra prevale su quella destra



Ventricoli depolarizzati



## Ciclo cardiaco nel segnale ECG

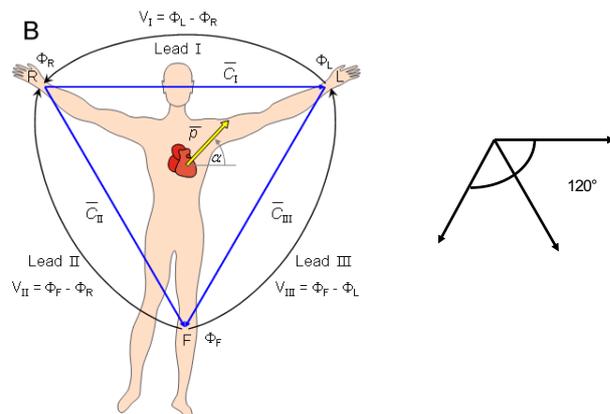


## Dall'ECG riceviamo informazioni circa:

- **Frequenza cardiaca:** normale (60-90/min), tachicardia (oltre 90/min), bradicardia (<60/min)
- **origine dell'eccitamento** luogo di origine (seno atriale, nodo A-V, ventricolo ds. ventricolo sn);
- **disturbi del ritmo:** classificazione secondo il grado e la localizzazione in ritardo o blocco, blocco atrio-ventricolare, blocco di una branca o di rami del sistema di conduzione, associazione di più disturbi;
- **influenze extracardiache:** influenze di tipo vegetativo, metabolico, ormonale, squilibri elettrolitici, intossicazioni, farmaci;
- **infarto del miocardio:** indicazioni circa localizzazione, estensione e decorso.

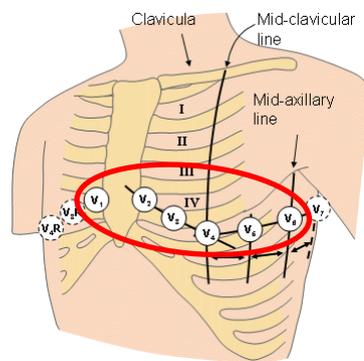
## Derivazioni bipolari

- Triangolo di Einthoven → derivazioni bipolari o d'arto
- Questi potenziali misurano la proiezione sul piano frontale

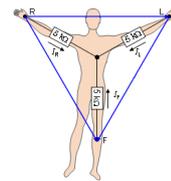


## Derivazioni unipolari precordiali

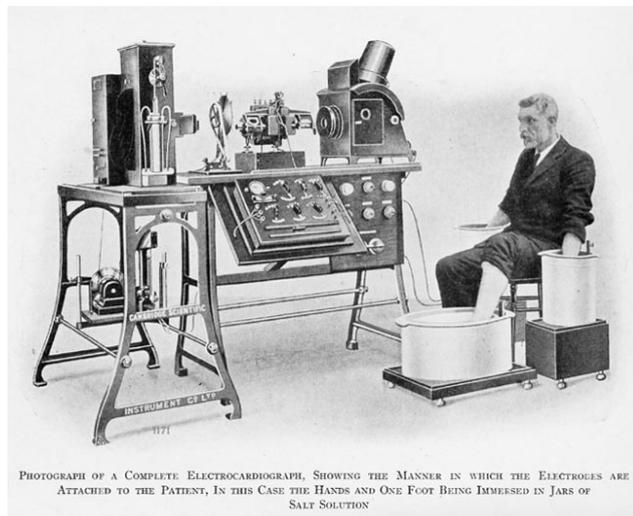
- Elettrodi precordiali V1-V6
- Questi potenziali misurano proiezione sul piano perpendicolare



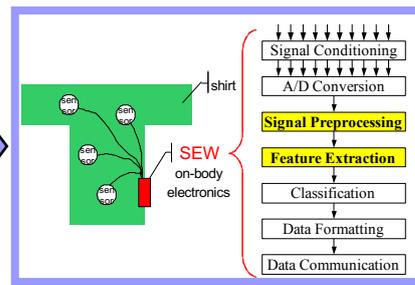
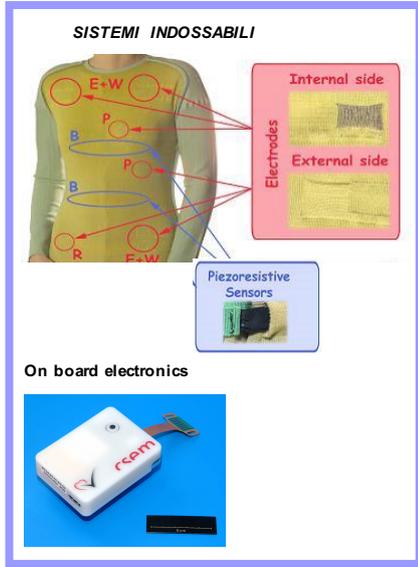
Essi misurano la differenza di potenziale tra l'elettrodo precordiale e il **terminale centrale di Wilson** dato dalla media dei potenziali posti alle estremità degli arti



V1 e V2 registrano prevalentemente l'attività del ventricolo destro.  
V4, V5, V6 quella del ventricolo sinistro.  
V3 è elettrodo di transizione.



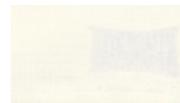
# Progetto MyHeart



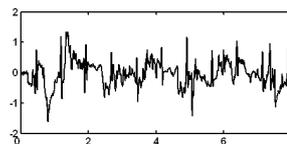
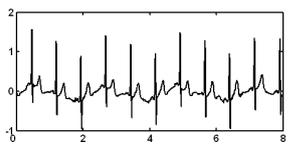
# Problemi di acquisizione



Elettrodi Standard in Ag/AgCl (RedDot 3M™)

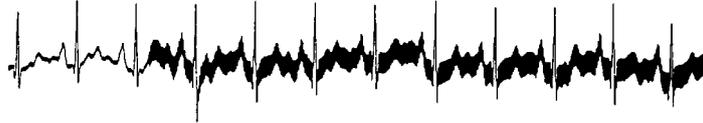


Elettrodi in tessuto (Acciaio Inox)



Artefatti da movimento nei segnali ECG  
!!!!!!

## ECG: artefatti



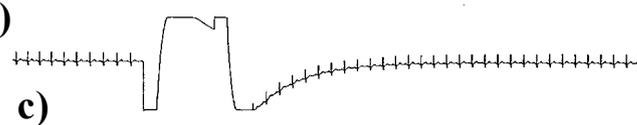
Interferenza con la linea di rete (50Hz)



Tremore muscolare

UNIP-SM-Segnali e Trasduttori

## ECG: artefatti

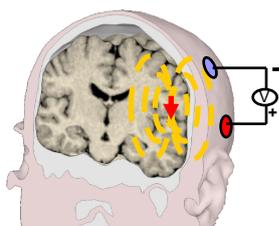


- a) Transitorio di tensione che porta il segnale ECG in saturazione. Dopo il transitorio lo stadio dell'amplificatore richiede un certo tempo per rientrare nel range di operazione normale.
- b) Continuazione della traccia a)
- c) Lo stesso segnale con amplificazione grafica ridotta.

UNIP-SM-Segnali e Trasduttori

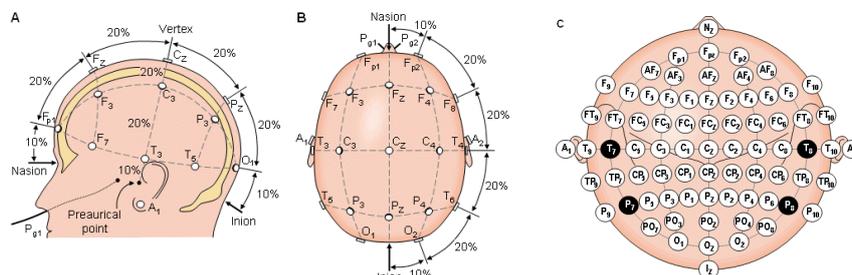
## Elettroencefalogramma

- L'EEG registra l'attività cerebrale che ha sede sulla superficie dell'encefalo ed è generato prevalentemente dalla materia grigia della corteccia e, in minima parte, dalla materia grigia che si trova più in profondità
- L'EEG è una misura del flusso di corrente extracellulare che viene generato dalla somma delle attività di un elevato numero di neuroni disposti in corrispondenza dell'area corticale sottostante l'elettrodo



L'attività generata da un'area corticale viene ben descritta e modellata da un singolo dipolo elettrico equivalente. In questo modo, il potenziale elettrico prodotto, può essere calcolato in qualsiasi punto dello spazio circostante a patto di avere un modello del volume conduttore.

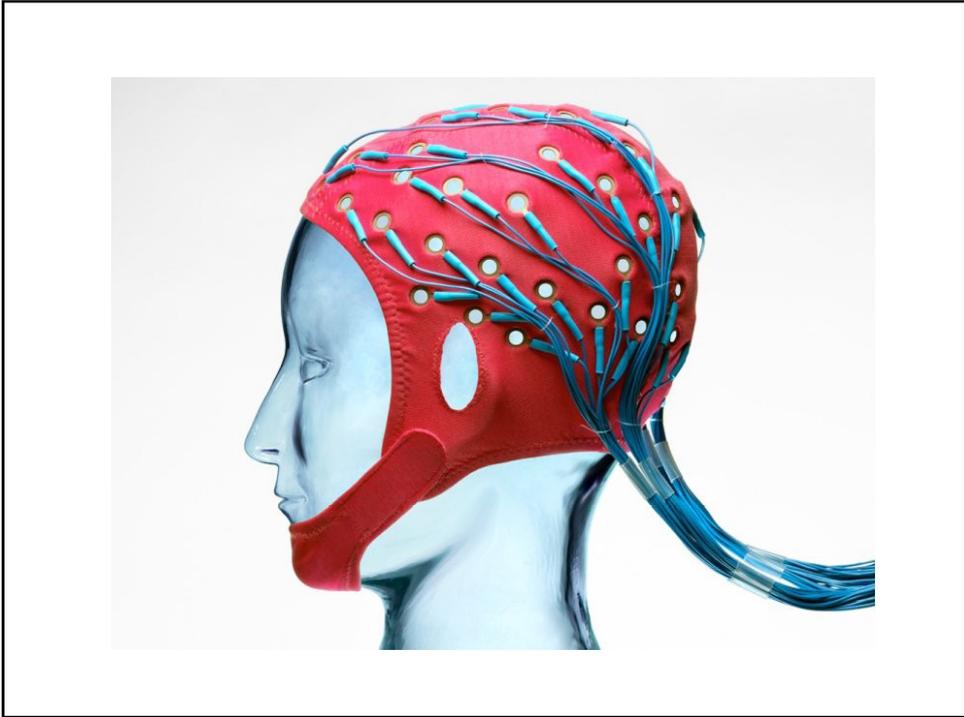
### SISTEMA 10-20



**-BIPOLARI:** ogni montaggio è costituito da derivazioni bipolari sequenziali lungo linee longitudinali (antero-posteriori) e/o trasversali, e su ogni canale si registra la differenza di potenziale esistente tra due elettrodi entrambi attivi.

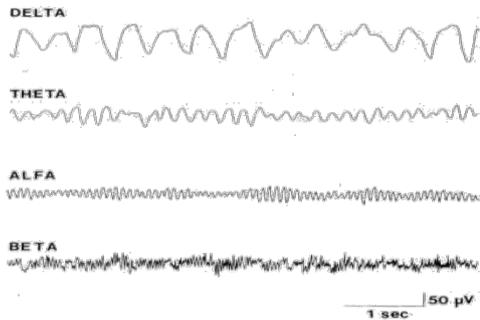
**-UNIPOLARI:** in cui i vari elettrodi sono riferiti ad un elettrodo neutro o alla media di tutti gli elettrodi





### Caratterizzazione dell'EEG in base alla frequenza e all'ampiezza

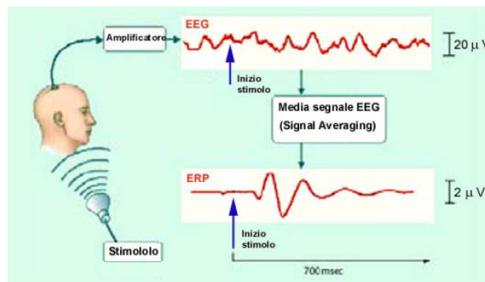
| Ritmo | Frequenza | Ampiezza (μV) | Stati mentali, livelli di coscienza                  |
|-------|-----------|---------------|--|
| delta | <4        | 50-250        | Sonno profondo o se in veglia condizioni patologiche |
| theta | 4-7       | 25-100        | Sonno profondo                                       |
| alfa  | 8-13      | 10-25         | Rilassamento mentale, occhi chiusi                   |
| beta  | 14-30     | 1-20          | Attenzione, concentrazione, aree corticali attivate  |
| gamma | >30       | 1-20          | Attenzione, concentrazione, aree corticali attivate  |



Amplificazione 10<sup>6</sup>

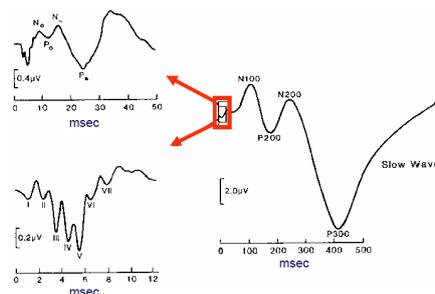
## Potenziali evento correlati (Event Related Potentials, ERPs)

- Gli ERP riflettono l'attività sincrona (nel tempo) di un ampio numero di neuroni che rispondono alla presentazione di uno **stimolo** e che sono coinvolti nella sua elaborazione
- La registrazione di un potenziale evocato ha inizio circa 100 ms prima della presentazione dello stimolo e termina all'incirca 1000ms dopo
- la variazione che viene registrata è molto piccola e per rendere più facile la sua individuazione è necessario estrarre il segnale dal rumore di fondo ad esempio con la tecnica "averaging".



## Componenti degli ERPs

- Le componenti che compongono un ERPs vengono distinte in N o P a seconda se il picco è rivolto verso l'alto o verso il basso e la latenza viene indicata con un numero. A differenza del segnale EEG spontaneo, gli ERPs danno una risposta allo stimolo di pochi μV e tale risposta è legata nel tempo allo stimolo stesso ('time locked');



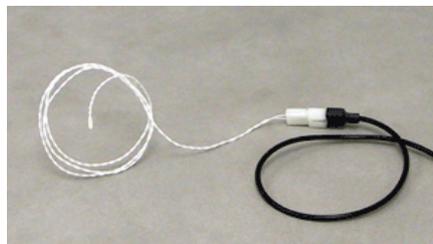
## Segnale respiro

- Si misurano i cambiamenti della circonferenza toracica o addominale per mezzo di un trasduttore piezoresistivo.



Durante il movimento del tronco conseguente alle funzioni vitali di inspirazione ed espirazione, varia l'area trasversale del sensore e viene misurata la variazione di impedenza che ne consegue.

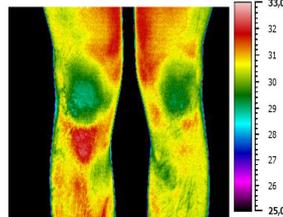
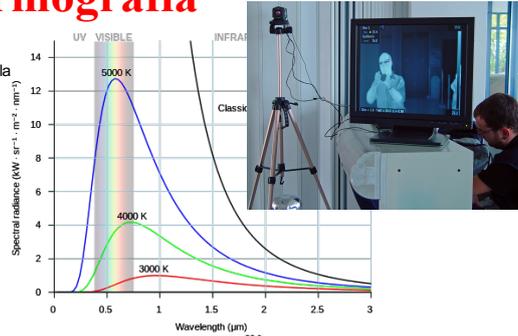
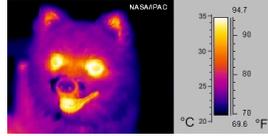
## Temperatura



Utilizza un termistore, un trasduttore che varia la propria resistenza al variare della temperatura

# Termografia

Si misura la radiazione nel vicino infrarosso. Esiste una dipendenza della radiazione emessa con la temperatura.



(Ginocchio destro affetto da entesopatia)

Carolin Hildebrandt, Christian Raschner and Kurt Ammer, An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria, *Sensors* 2010, 10(5) 4700-4715; doi:10.3390/s100504700, <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/5/4700/html>

UNIP-SM-Segnali e Trasduttori