

ORIGINI E CARATTERISTICHE DEI SEGNALI BIOLOGICI

ESEMPI DI SEGNALI BIOLOGICI

Attività elettrica cerebrale (EEG, MEG)

proprietà meccaniche
del timpano

ERG, EOG

pressione arteriosa

flusso sanguigno

suoni cardiaci, polmonari

attività elettrica muscolare (EMG)

radiopacità

impedenza acustica

antropometria

movimenti

livello di idratazione,
flusso sanguigno cutaneo



pressione intracranica

temperatura

pressione intraesofagea

respirazione: volume VO_2 , VCO_2 ,
pressioni pO_2 , pCO_2

gittata cardiaca

attività elettrica cardiaca (ECG)

pH ematico

concentrazioni enzimatiche

mappe di potenziali, temperatura

interazione dinamica

CLASSIFICAZIONE DEI SEGNALI BIOLOGICI

In base al sistema di origine:

- Endocrino
- Nervoso (centrale e periferico)
- Cardiovascolare
- Visivo
- Auditorio
- Muscoloscheletrico
- Respiratorio
- Sanguigno

In base alla natura fisica:

- Bioelettrici (EEG, ECG, EMG...)
- Biomagnetici (MEG, MCG...)
- Biomeccanici (forze, pressioni, flussi, portate ...)
- Bioacustici (fonocardiogramma, suoni respiratori ...)
- Termici (temperatura corporea)
- Biochimici (concentrazioni, pressioni parziali ...)

I TIPI DI SEGNALI

- Bioelettrici
- Biomagnetici
- Biomeccanici
- Bioacustici
- Termici
- Biochimici

SEGNALI BIOELETTRICI

I **segnali bioelettrici** si manifestano come un cambiamento del potenziale elettrico tra tessuti specializzati o organi in un organismo vivente. Sono un indicatore dello stato fisiologico del soggetto.

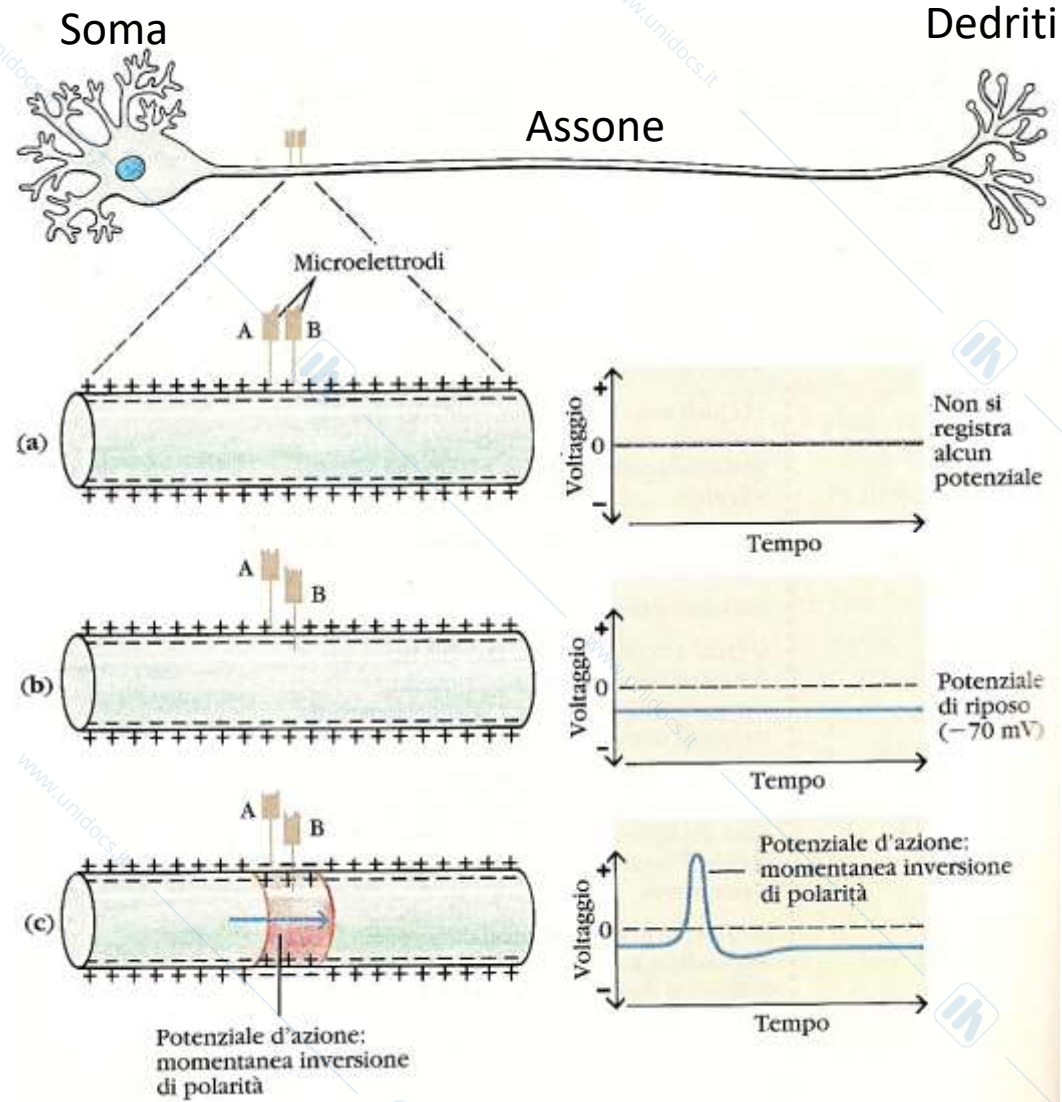
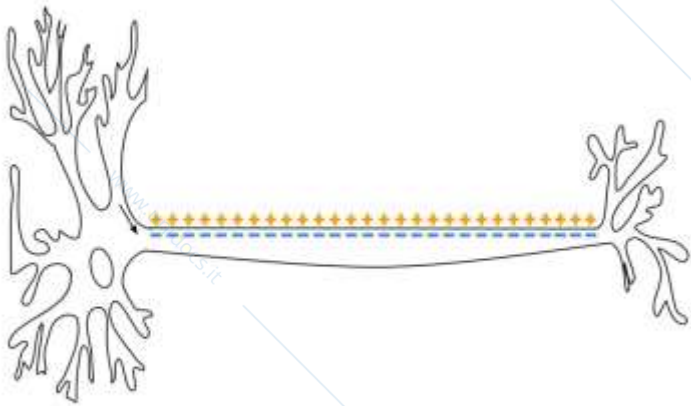
I tessuti eccitabili possono essere suddivisi approssimativamente in tessuti che generano attività elettrica, quali:

- nervi
- muscoli scheletrici
- muscoli cardiaci
- muscoli molli

I tessuti passivi che manifestano anche una piccola differenza di potenziale includono la pelle e gli occhi.

IL POTENZIALE D'AZIONE

Potenziale elettrico che si propaga lungo la membrana dell'assone, mediamente di ampiezza 100 mV, (-70 to +30). La sua registrazione richiede di isolare una cellula e di utilizzare un microelettrodo (dimensioni dell'ordine di alcuni micron) per stimolare la cellula e registrare la sua risposta

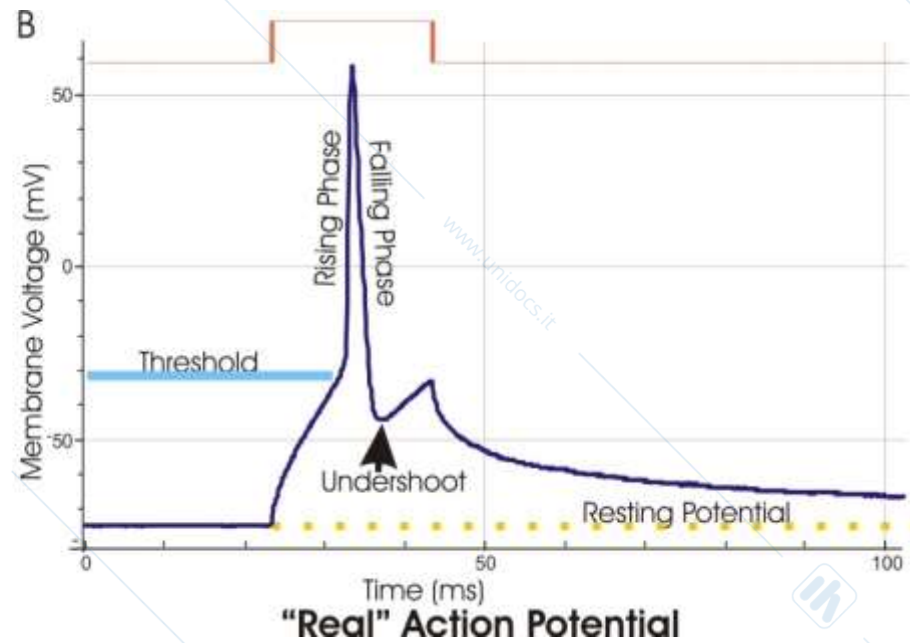
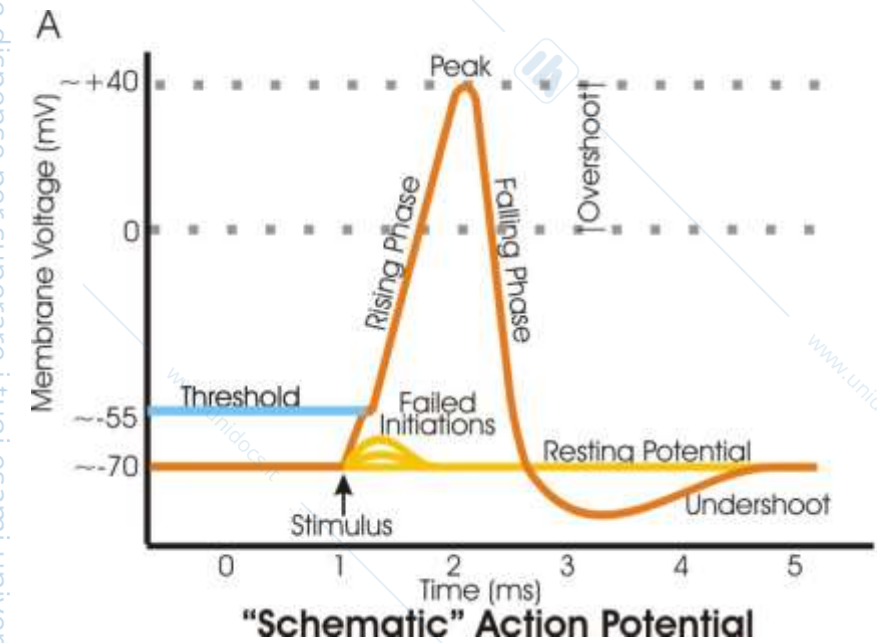


IL POTENZIALE D'AZIONE

Interessa cellule nervose e muscolari

E' la componente fondamentale di tutti i segnali bioelettrici

Ha forma diversa in base alle cellule che si considerano



TIPI DI SEGNALI BIOELETRICI

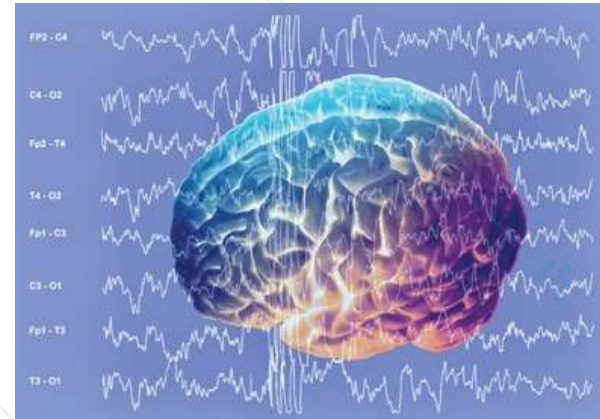
Tipi di segnali bioelettrici (ampiezza massima (p-p) / magnitudine del segnale (min-max) / range spettrale):

- EEG Elettroencefalogramma (200 μV (p-p) / 30-100 μV (p-p) / 0.01 - 100 Hz)
 - ECoG Electrocorticogramma (1000 μV (p-p) / 50-200 μV (p-p) / 0.01 - 500 Hz)
 - EP Potenziale Evocato
 - ENG Elettroneurogramma (100 μV (p-p) / 5 μV - 20 μV (p-p) / 100 - 3000 Hz)
 - ERG Elettroretinogramma (0.5 μV - 1 mV / 0.2 - 200 Hz)
- Neuroni
- EMG Elettromiogramma (sEMG: 5 mV (p-p) / 500 μV -2000 μV (p-p) / 5-500Hz)
 - ECG Elettrocardiogramma (5 mV (p-p) / 500 μV -2000 μV (p-p) / 0.05 - 150 Hz)
- Muscolo
- EOG Elettrooculogramma (5 mV (p-p) / 500 μV -2000 μV (p-p) / 0 - 100Hz)
 - GSR Risposta Galvanica della Pelle (50 μS (p-p) / 1 μS - 10 μS (p-p) / 0 - 10 Hz)
- Altro

ELETTROENCEFALOGRAMMA (EEG)

Potenziale elettrico relativo alla attività cerebrale registrato sullo scalpo in posizioni standard:

- Banda 0.1-50 Hz, ampiezza decine di μV
- E' un segnale stazionario a tratti
- Non è periodico ma ha spesso un ritmo prevalente



Impieghi clinici:

- Individuare e quantificare deficit dell'attività dell'encefalo
- Diagnosi di epilessia
- Monitoraggio durante anestesia
- Studio delle fasi del sonno
- Effetto di farmaci o droghe o meditazione ecc.



MISURA DI EEG: IL SISTEMA 10/20

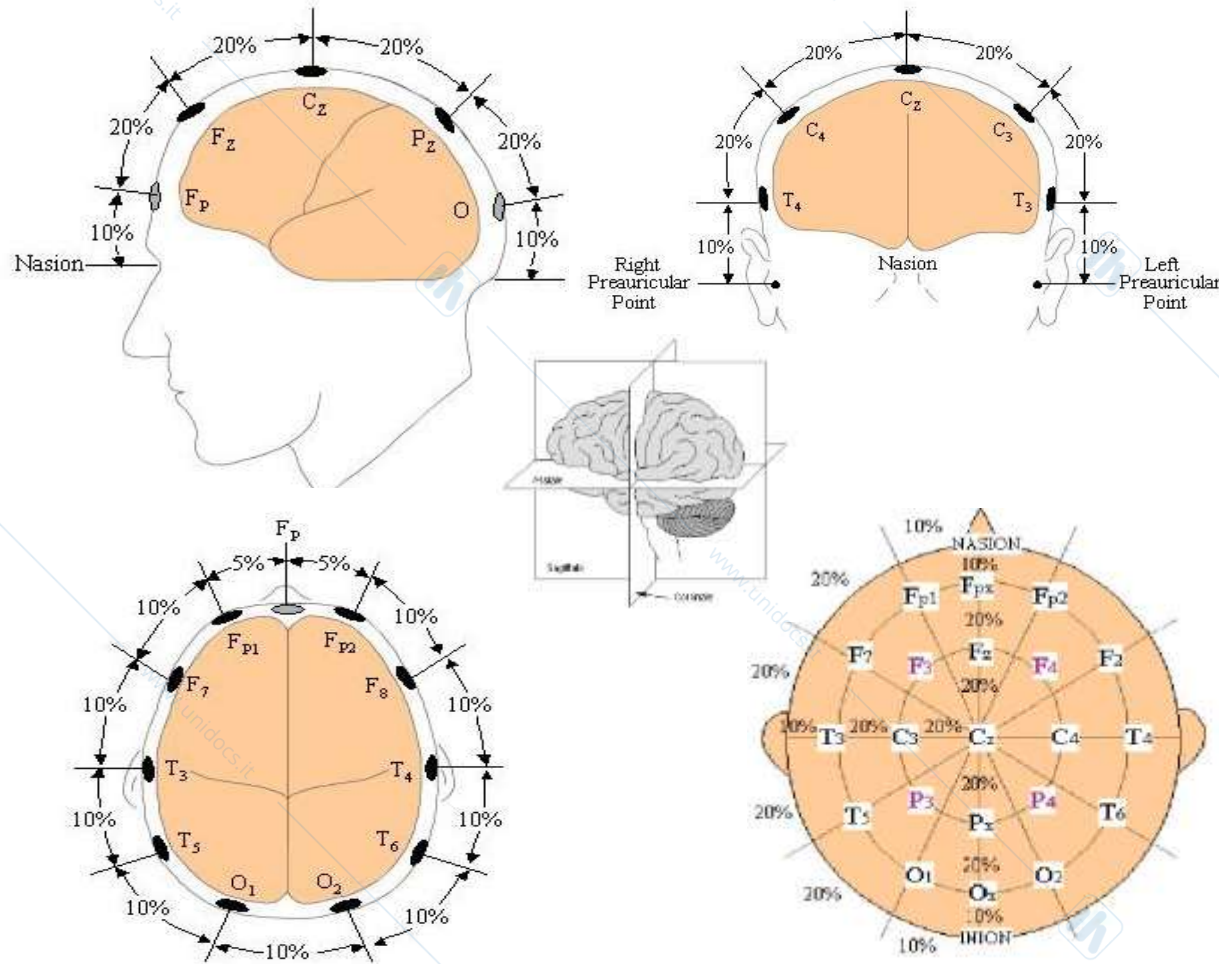
Potenziale elettrico relativo alla attività cerebrale registrato sullo scalpo in posizioni standard: sistema 10/20

Le lettere usate fanno riferimento a posizioni sullo scalpo:

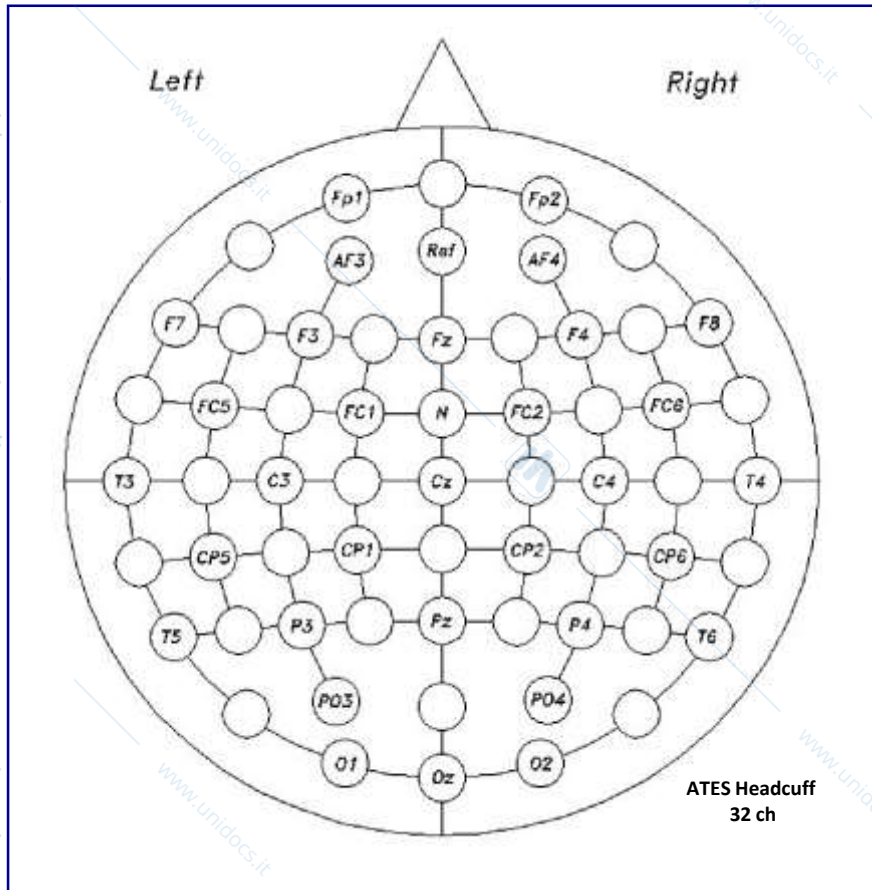
- occipitale (O)
- parietale (P)
- centrale (C)
- frontale (F)
- temporale (T)

Gli indici numerici identificano il lato del cervello:

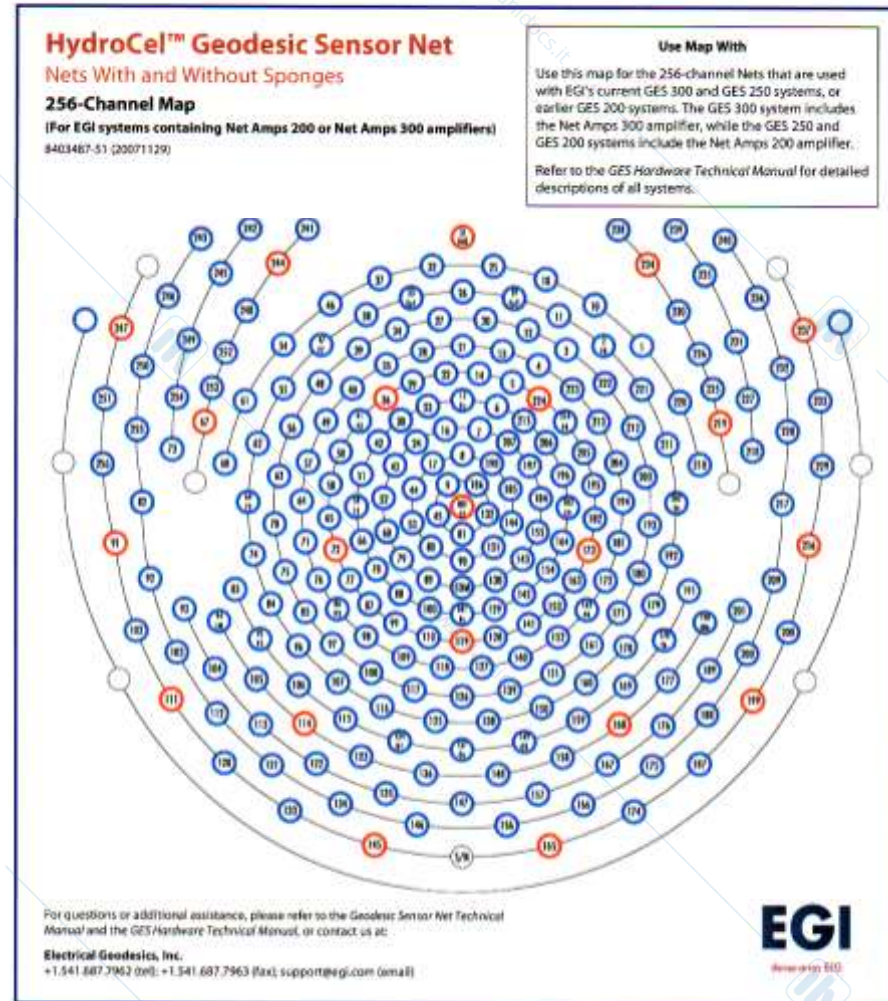
- pari, lato destro
 - dispari, lato sinistro
 - zeta, linea mediana
- e il grado di spostamento dalla linea mediana



MISURA DI EEG: I SISTEMI AD ALTA RISOLUZIONE 10/10 E 10/5



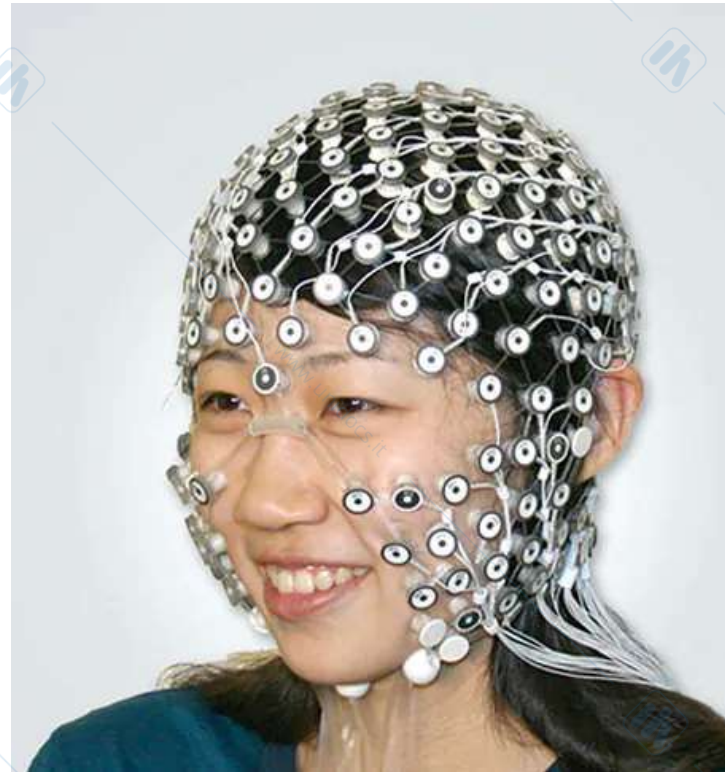
fino 81 elettrodi



High Density EEG
oltre 300 elettrodi

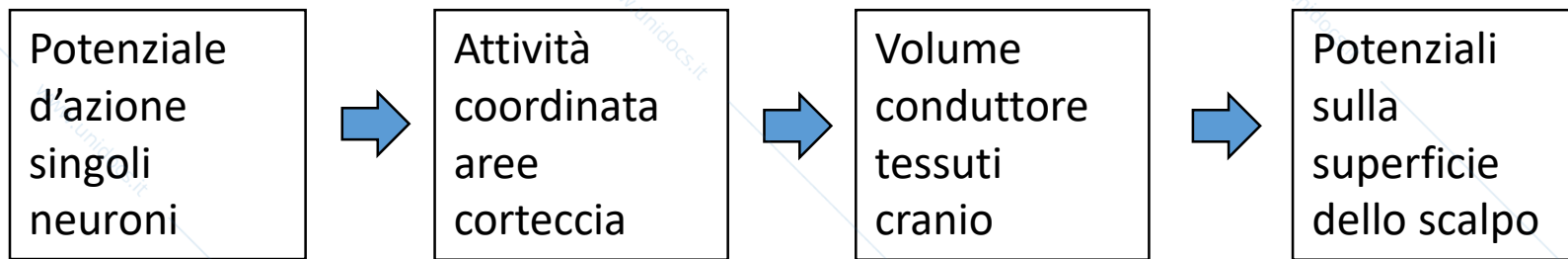
Alta risoluzione spaziale

MISURA DI EEG: STRUMENTI AD ALTA RISOLUZIONE



<https://www.usa.philips.com/healthcare/resources/landing/high-density-eeeg>

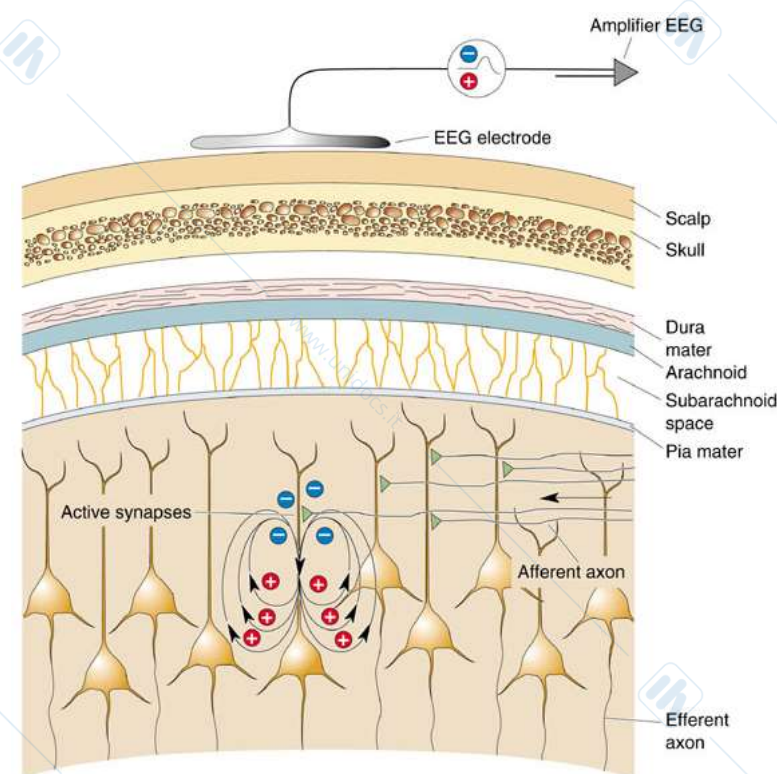
EEG: ORIGINE



I neuroni corticali sono organizzati in modo da formare **ammassi colonnari ad orientamento perpendicolare alla superficie della corteccia cerebrale**, di cui costituiscono le unità funzionali elementari.

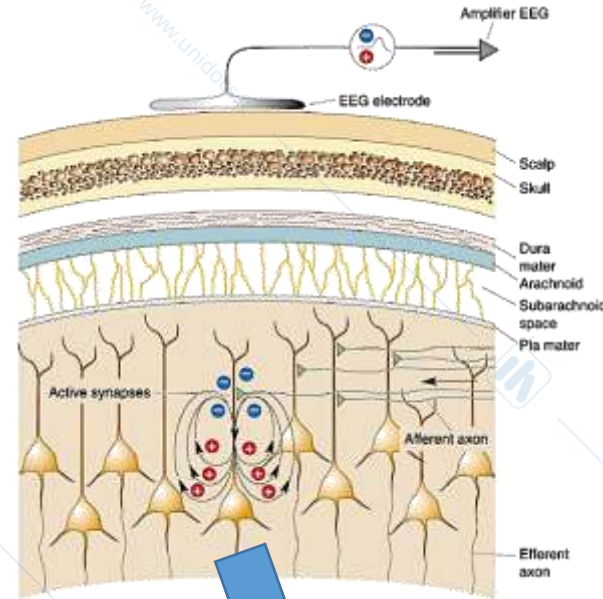
L'EEG è l'espressione dei processi sinaptici (potenziali pre- e post-sinaptici), di potenziali dendritici e probabilmente anche di potenziali della neuroglia (cellule di sostegno).

I potenziali rilevabili tramite EEG sono quelli associati a correnti all'interno dell'encefalo che fluiscono **perpendicolarmente rispetto allo scalpo**.

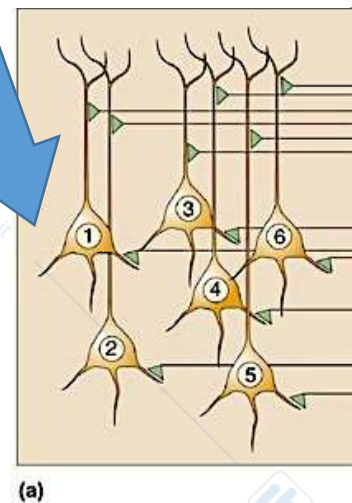
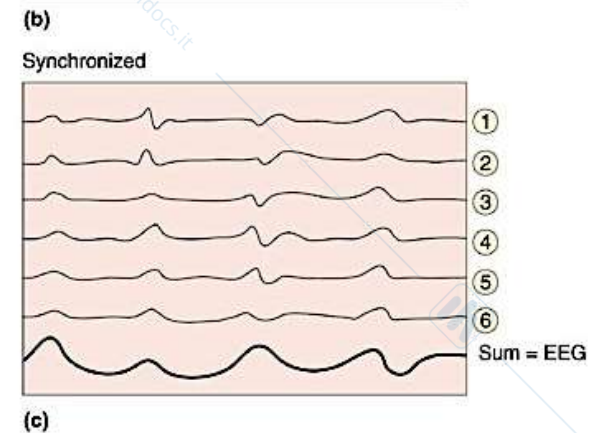
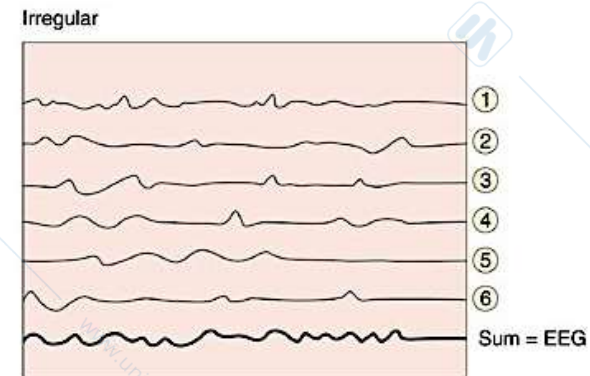


EEG: ORIGINE

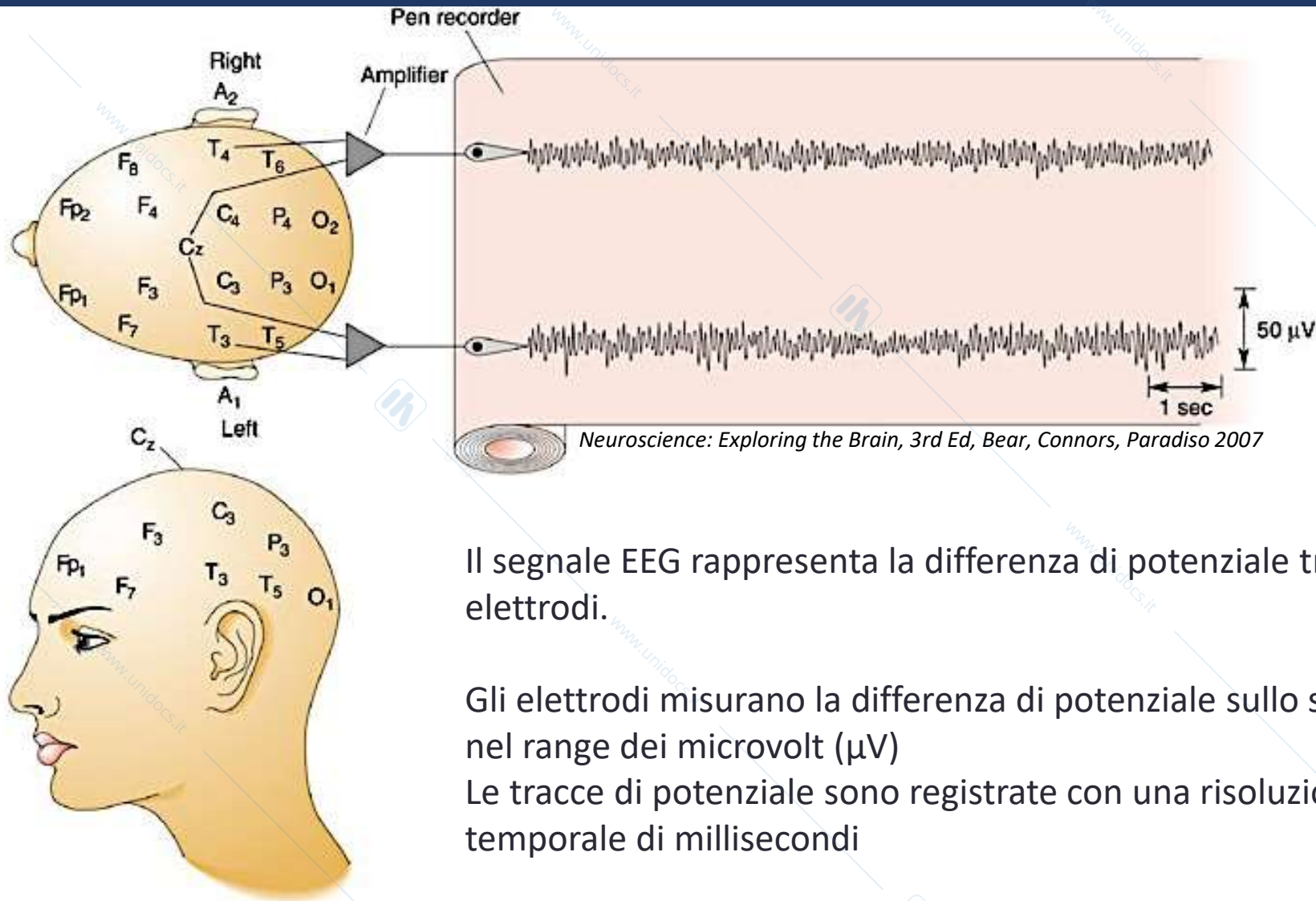
- L'EEG richiede attività sincrona di gruppi di cellule
- L'attività neuronale sincronizzata produce segnali di ampiezza elevata
- Le sorgenti profonde (aree sottocorticali) sono molto più difficili da misurare che correnti superficiali



Neuroscience: Exploring the Brain,
3rd Ed, Bear, Connors, Paradiso 2007



EEG: ORIGINE



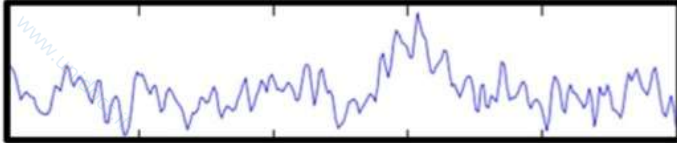
Il segnale EEG rappresenta la differenza di potenziale tra due elettrodi.

Gli elettrodi misurano la differenza di potenziale sullo scalpo nel range dei microvolt (μ V)

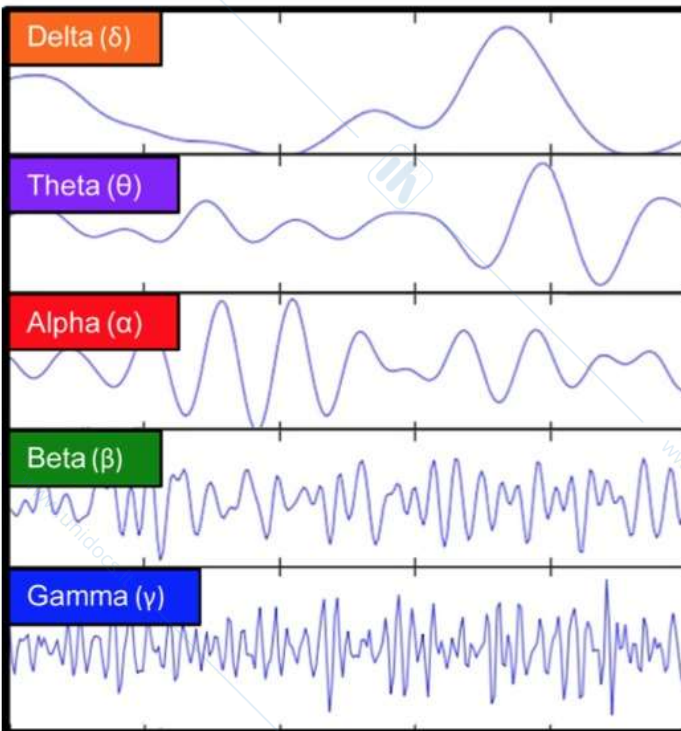
Le tracce di potenziale sono registrate con una risoluzione temporale di millisecondi

EEG: ONDE CARATTERISTICHE

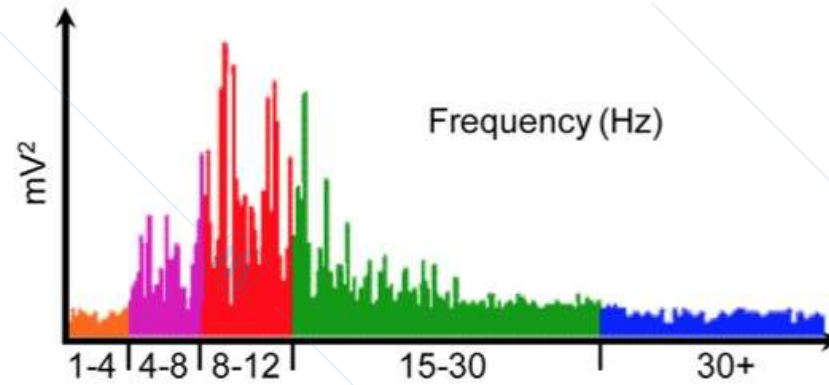
Raw EEG signal



Frequency bands



Power spectrum

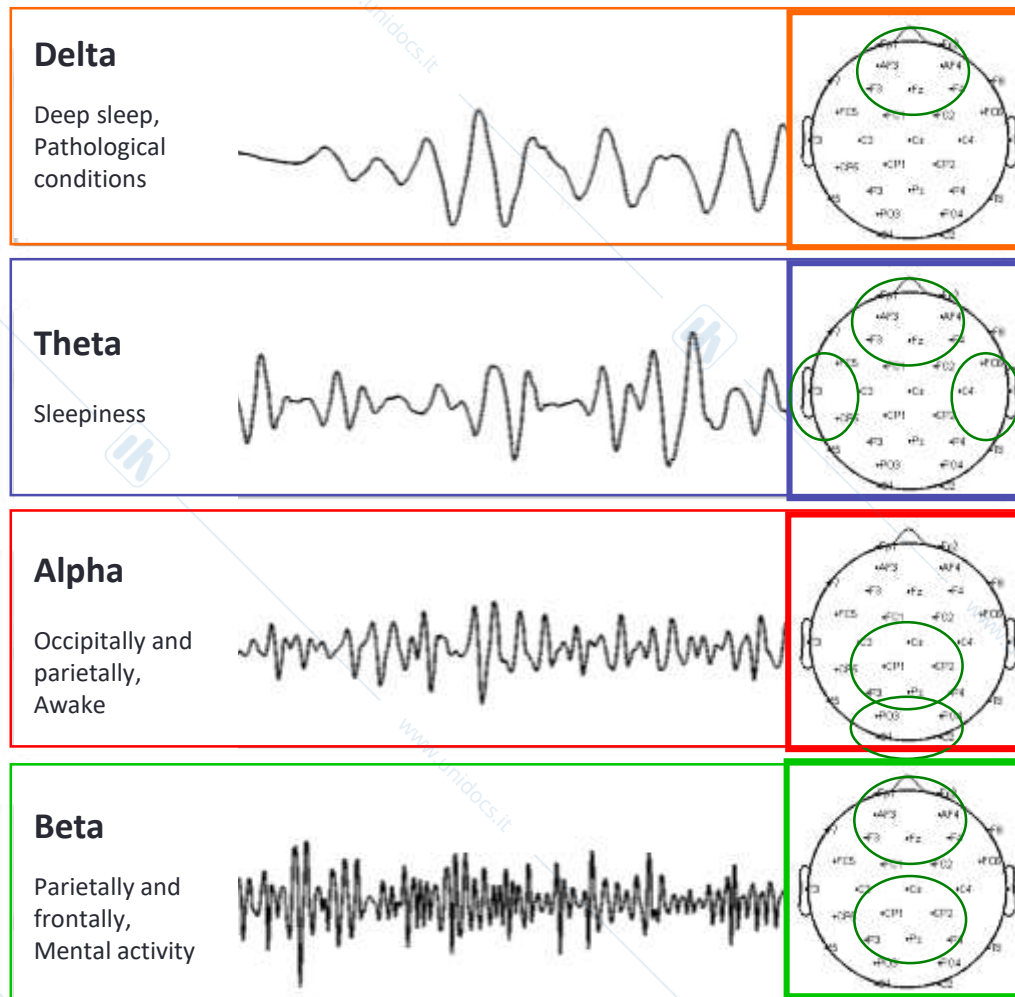


Rhythms	Frequency (Hz)	Amplitude (μV)
Delta	0.5-4	20-200
Theta	4-8	5-100
Alpha	8-13	20-50
Beta	14-30	8-30
Gamma	30-50	2-20

EEG: ONDE CARATTERISTICHE

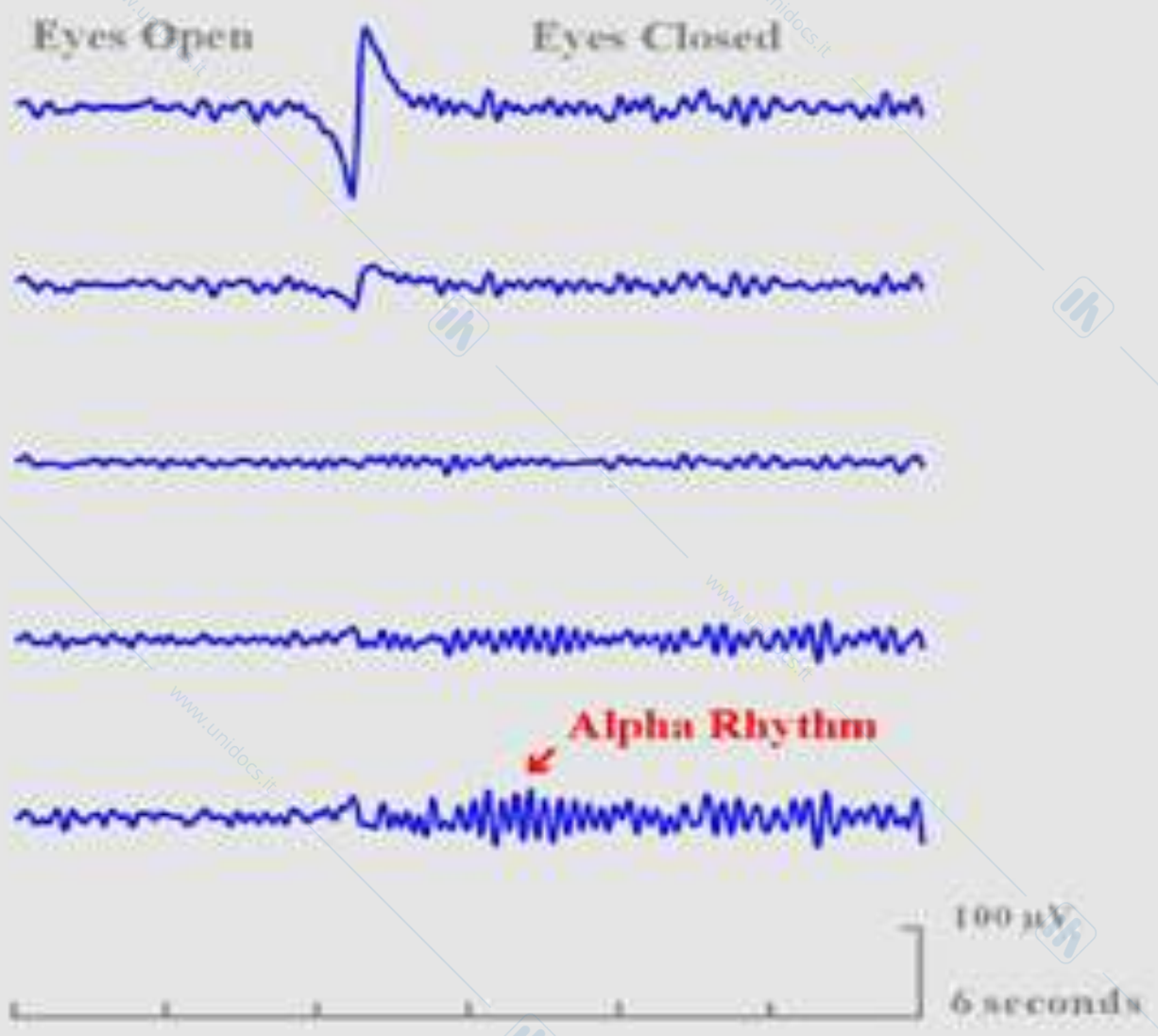
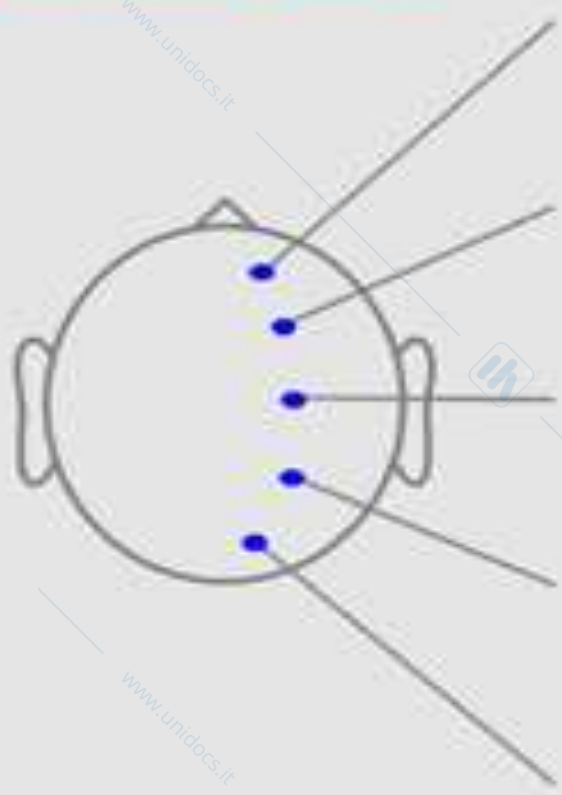
- Onde Alfa → veglia rilassata - occhi chiusi Max ampiezza nelle regioni occipitali
- Onde Beta → veglia attiva - max ampiezza nelle regioni frontali-precentrali
- Onde Delta → sonno profondo
- Onde Theta → bambini da 1 a 6 anni - ipnosi - meditazione

LOCALIZZAZIONE SPAZIALE DEI RITMI



RITMO ALFA

Human EEG



www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it

www.unidocs.it

www.unidocs.it

www.unidocs.it

www.unidocs.it

www.j

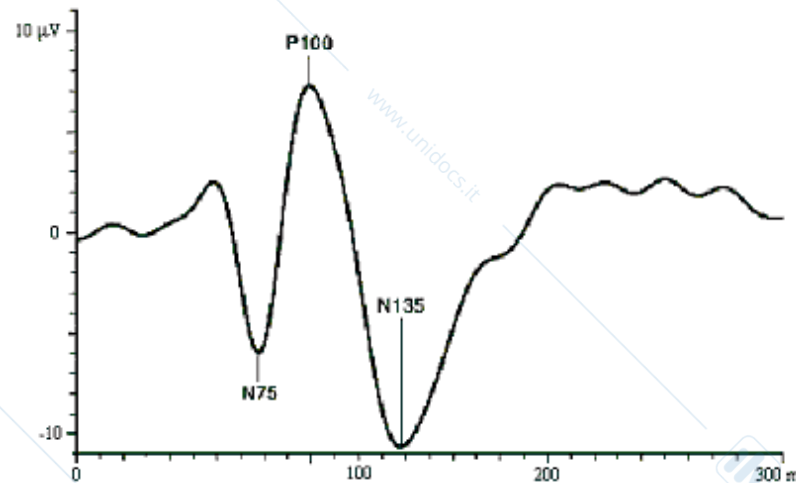
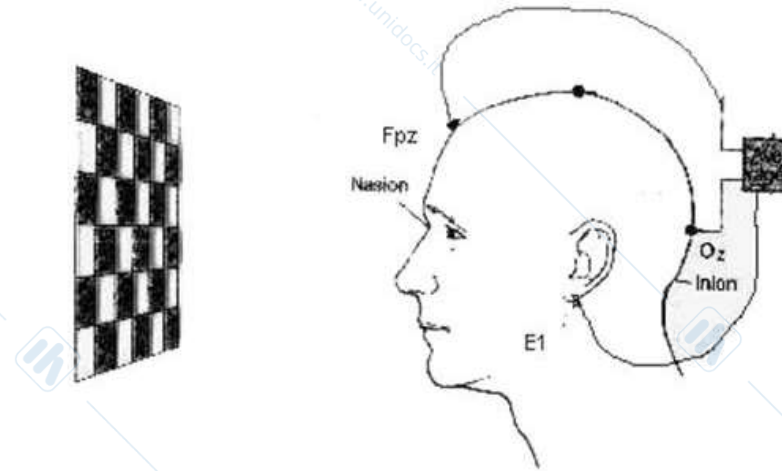
POTENZIALI EVOCATI (PE)

L'attività elettrica osservabile dall'esterno mediante **elettrodi di superficie** posti sullo scalpo in modo standard è la sovrapposizione di:

- **attività spontanea (EEG)**
- **attività legata alla ricezione di stimoli esterni sensoriali (potenziali "evocati")**

EEG vs PE:

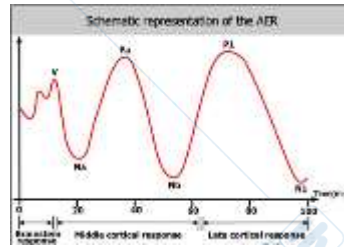
- L'EEG riflette l'attività cerebrale di base
- I PE riflettono la risposta a stimoli sensoriali; tale risposta consente in clinica di verificare ad es. l'**integrità** delle varie vie di conduzione nervosa (periferiche o centrali)



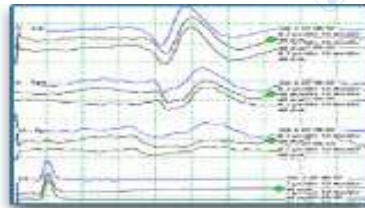
PE: CLASSIFICAZIONE

La prima naturale classificazione è quella in base alla **natura dello stimolo**, ovvero alla natura del sistema sensoriale esplorato:

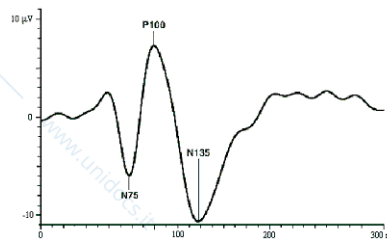
PE **uditivi** (lo stimolo è un suono, ad es. un 'click' in cuffia)



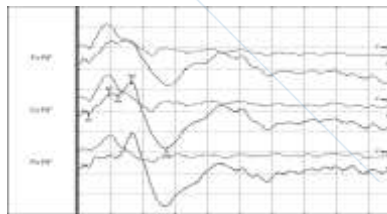
PE **somato-sensoriali** (stimolo è ad es. una debole scarica elettrica superficiale)



PE **visivi** (stimolo è ad es. un'immagine di scacchiera in movimento su un monitor)



PE **cognitivi** (stimolo è ad es. riconoscere la presenza di certe lettere in una stringa)



I PE presentano una successione di picchi e valli.

I parametri di maggior uso clinico sono le **latenze**, ovvero i tempi che intercorrono tra la presentazione dello stimolo e i picchi di attività (massimi, a volte marcati con P, o minimi, a volte marcati con N) registrati.

STIMOLAZIONE MAGNETICA TRANSCRANICA (TMS)

La TMS è una metodica non invasiva introdotta di recente per stimolare la corteccia cerebrale in maniera indolore

TMS: uno stimolo magnetico applicato sullo scalpo induce un movimento nei muscoli controlaterali allo stimolo

Scopo

Studiare il funzionamento dei circuiti e delle connessioni neuronali all'interno del cervello, provocando uno squilibrio piuttosto ridotto e transitorio

ELETTROMIOGRAMMA (EMG)

Il segnale EMG è la registrazione del potenziale extracellulare delle fibre muscolari, strettamente dipendente dal potenziale intracellulare

Come si acquisisce il segnale?

Elettrodi a superficie (surface) o ad ago (needle):

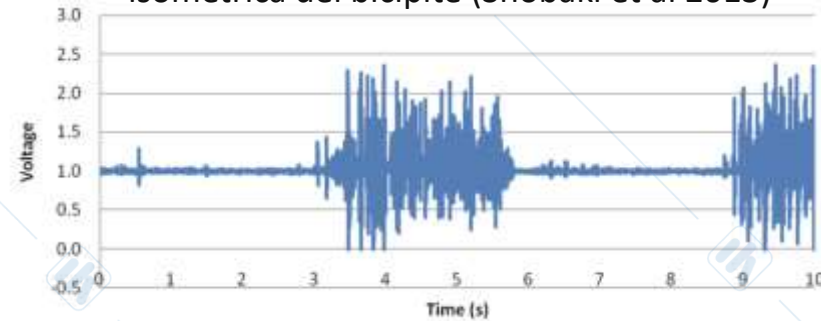
sEMG: 500 μV - 2000 μV (p-p) / 5-500Hz

nEMG: 50 μV - 50 mV (p-p) / 1-20 KHz

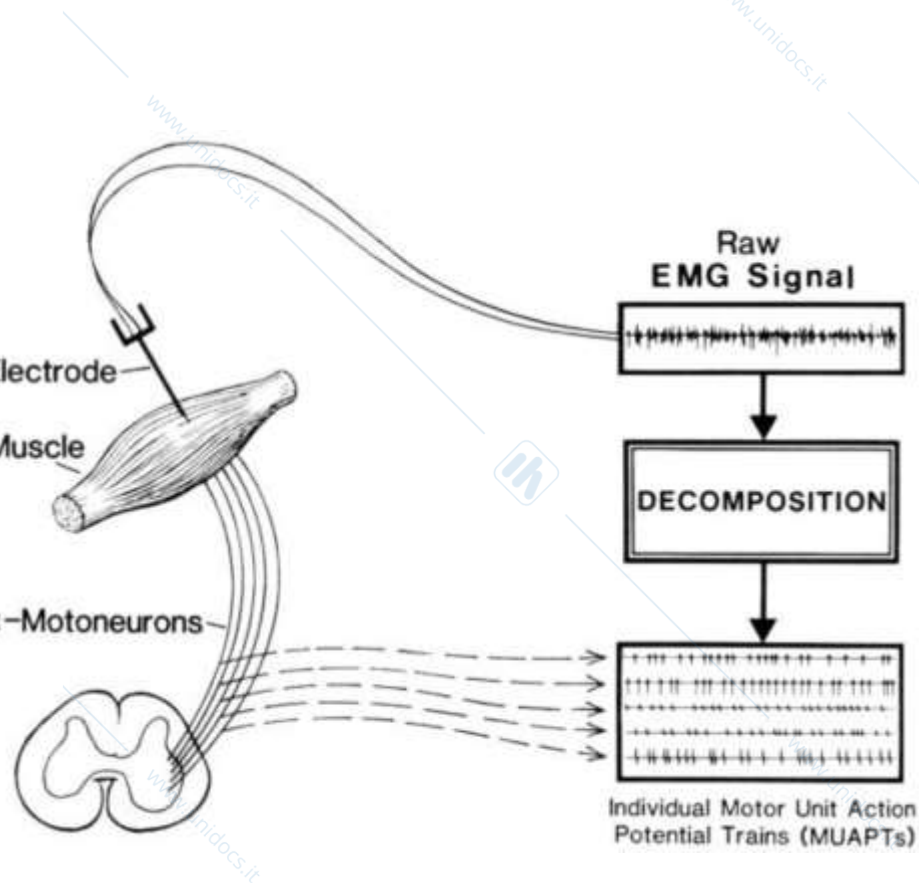
Impieghi clinici

- Diagnosi di patologie a carico del sistema nervoso (neuropatie) e muscolare (miopatie)
- Analisi del movimento
- Controllo di protesi

Segnale EMG grezzo acquisito durante una contrazione isometrica del bicipite (Shobaki et al 2013)



EMG: COSA SI MISURA?



- Tecnica per misurare l'attività elettrica di unità motorie che si sono attivate
- Non misura la forza di per sé, ma il segnale elettrico mandato dalle unità motorie alle fibre muscolari per generare la forza
- EMG è il segnale elettrico misurato dall'elettrodo (a superficie o ad ago)

EMG: SINGLE MOTOR UNIT

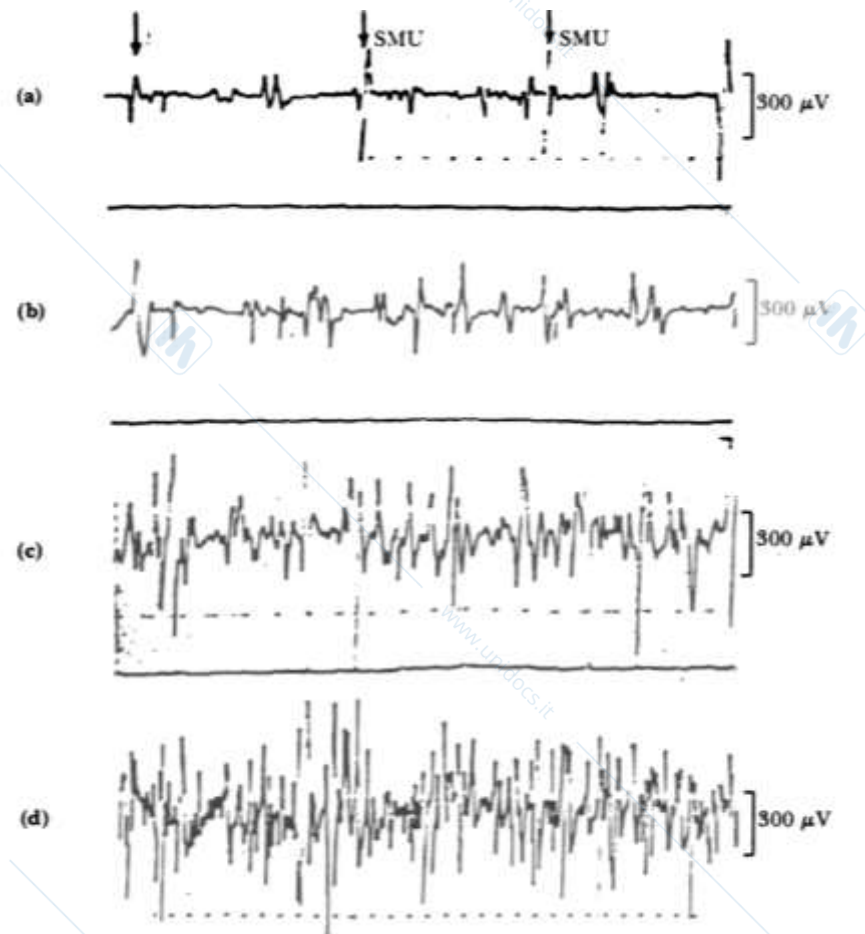
SMU (Single Motor Unit) è il segnale generato da una singola unità motoria (insieme di fibre muscolari innervate da un singolo neurone).

Viene misurata durante un leggero sforzo muscolare.

Se aumenta lo sforzo:

- sommissione temporale (aumenta la frequenza di scarica di una SMU)
- sommissione spaziale (vengono reclutate più unità motorie).

Si arriva così al tracciato di interferenza

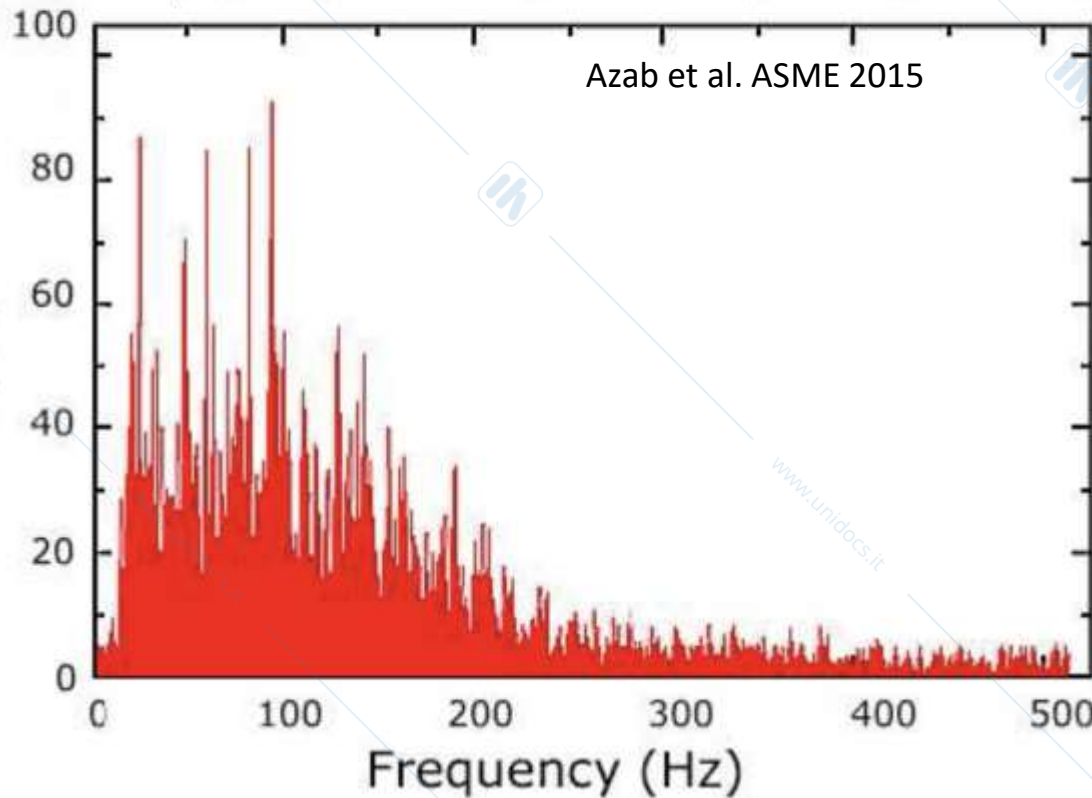


EMG misurati durante contrazioni via via più intense
In a) sono chiaramente distinguibili le SMU
In d) c'è il tracciato di interferenza

EMG: CARATTERISTICHE



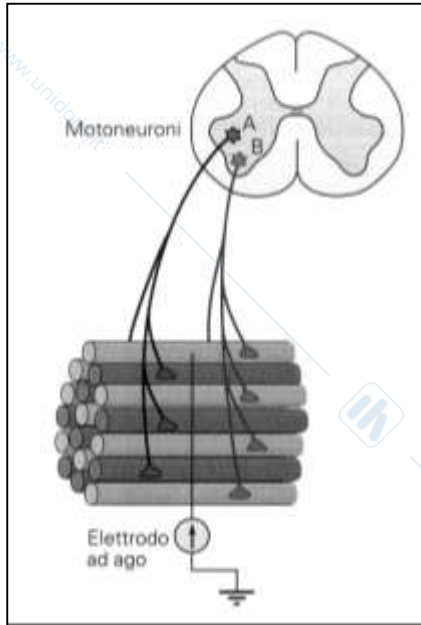
L'ampiezza del segnale EMG è aleatoria



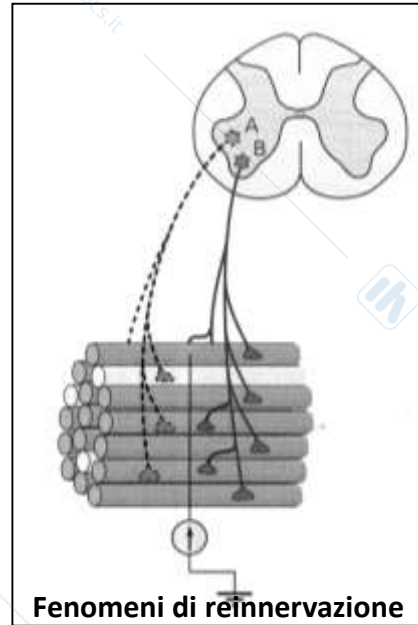
Spettro del segnale EMG

EMG NELLA PATOLOGIA

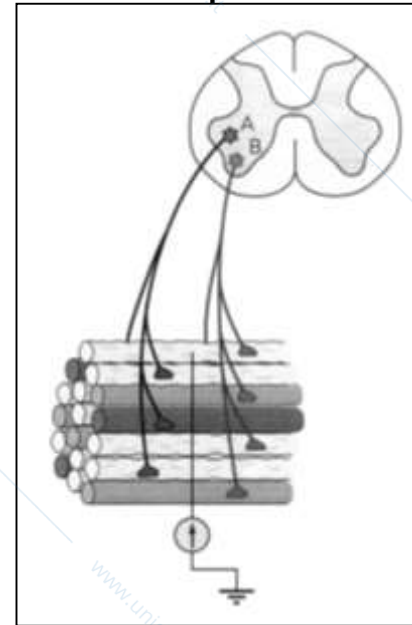
Muscolo normale



Muscolo denervato



Miopatia



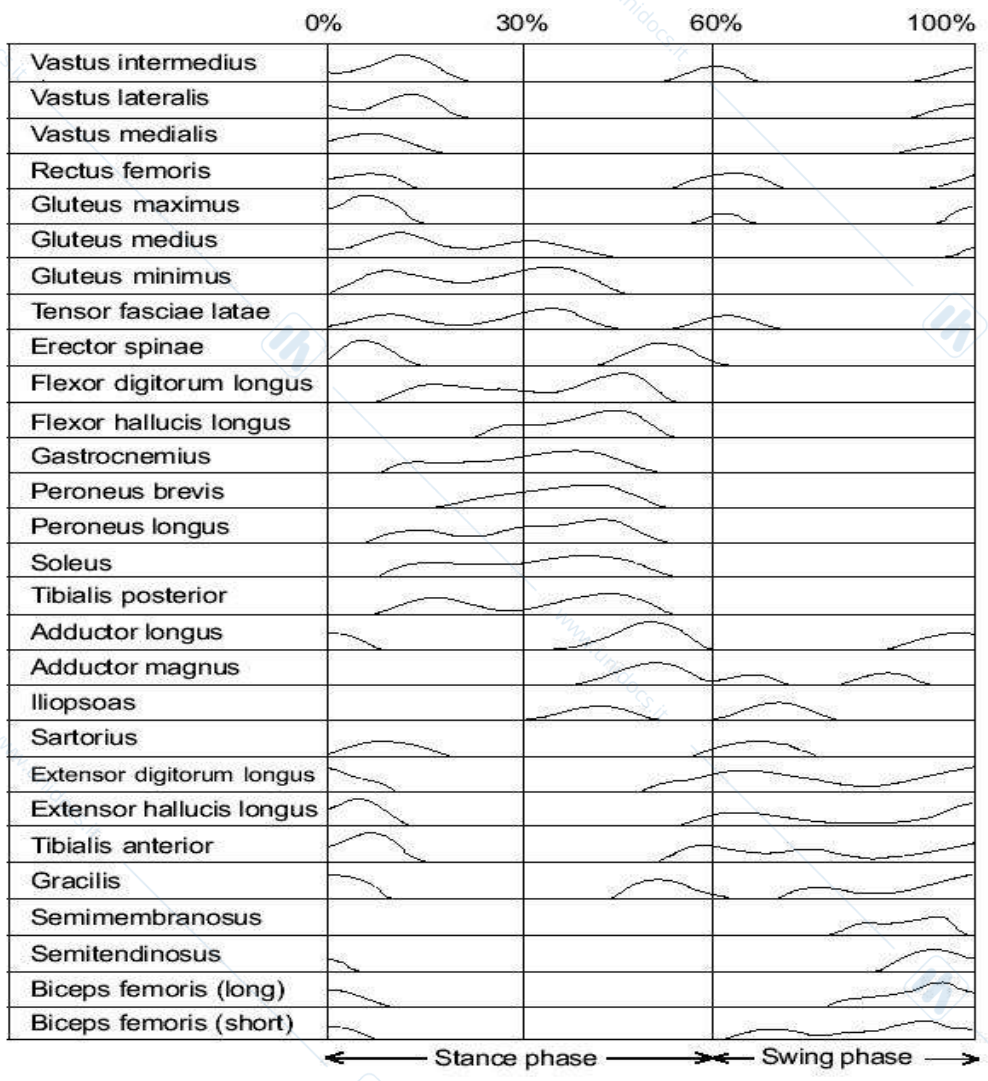
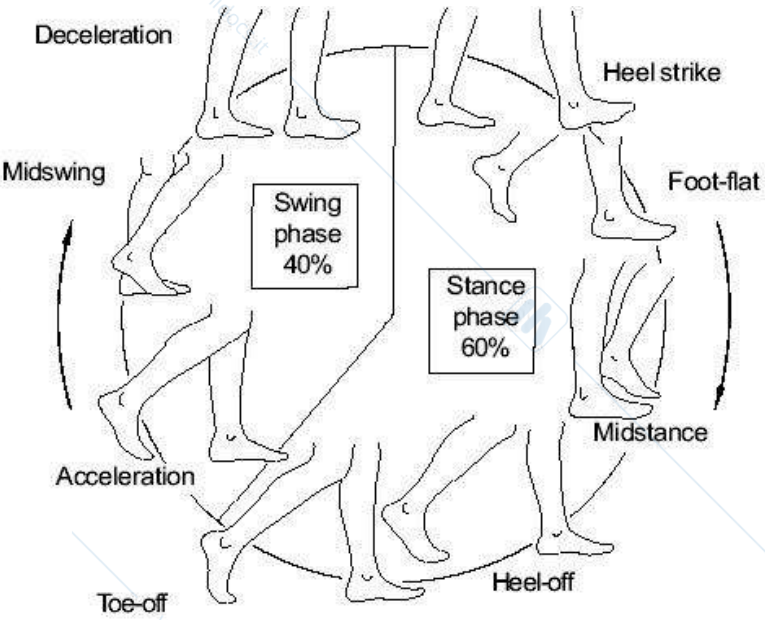
Studio dell'attività muscolare



Principi di Neuroscienze, Kandel et al.

EMG NELLA GAIT ANALYSIS

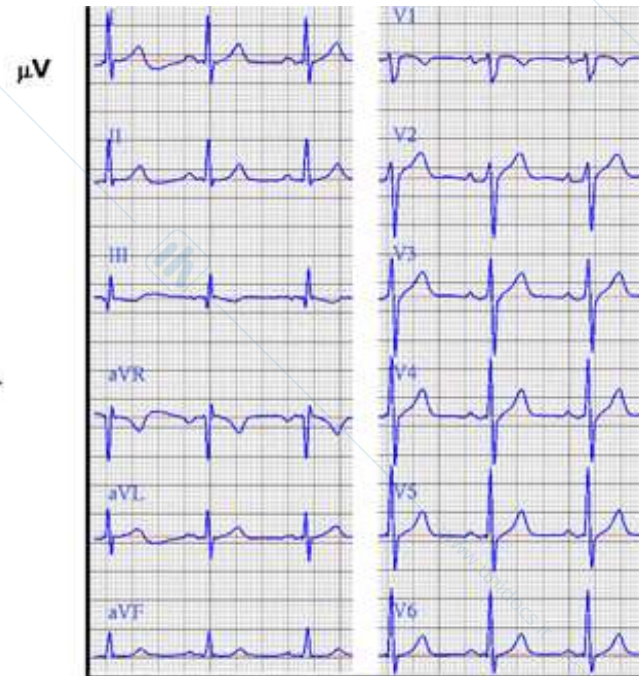
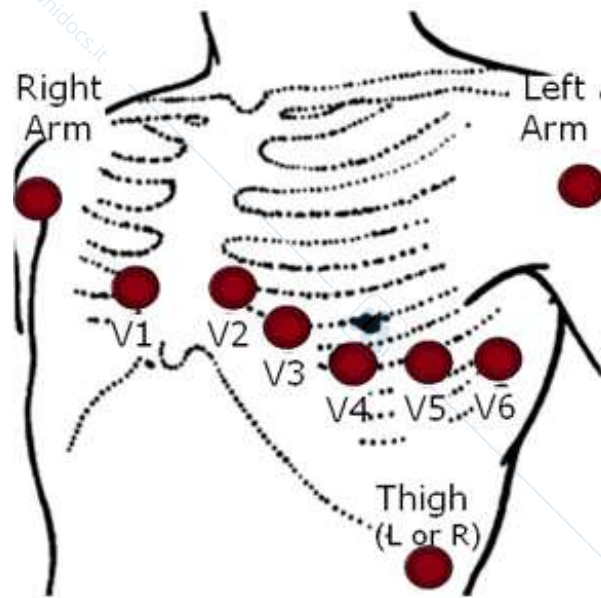
www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari



www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

ELETTROCARDIOGRAMMA (ECG)

Il **segnale ECG** è la registrazione, sul torace, dell'attività elettrica del miocardio



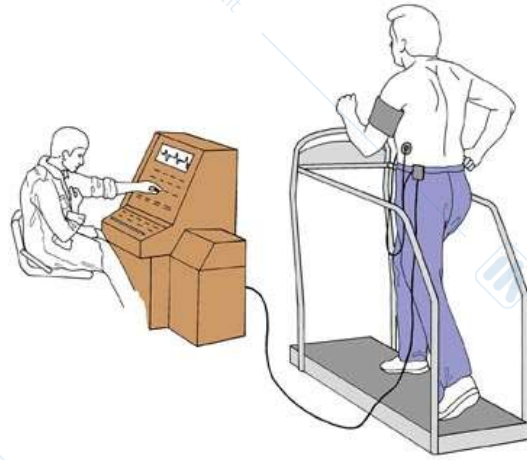
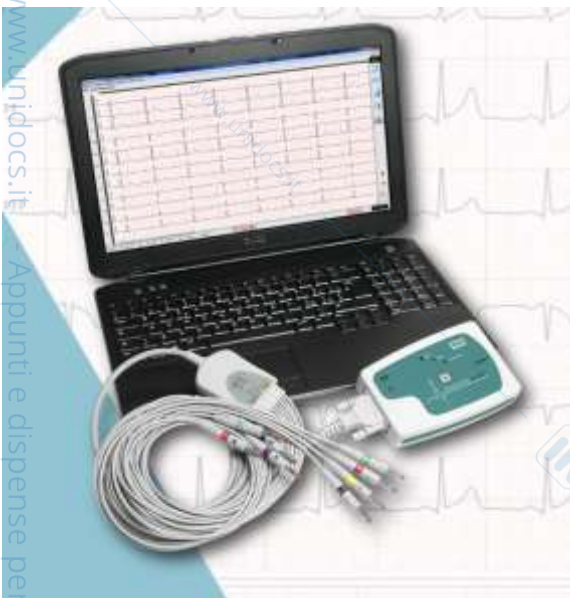
Banda 0.1-100 Hz, ampiezza decine di mV
E' un segnale pseudoperiodico

Ampiezza massima: 5mV (p-p)
Ampiezza tipica del segnale: $500\mu V$ - $2000\mu V$ (p-p)
Banda spettrale: 0.05-150Hz

Impieghi clinici

Diagnosi di alterazioni/patologie quali aritmie, alterazioni della conduzione, ischemia, infarto, ipertrofia ventricolare, ecc.

STRUMENTI DI MISURA DELL'ECG: L'ELETTROCARDIOGRAFO



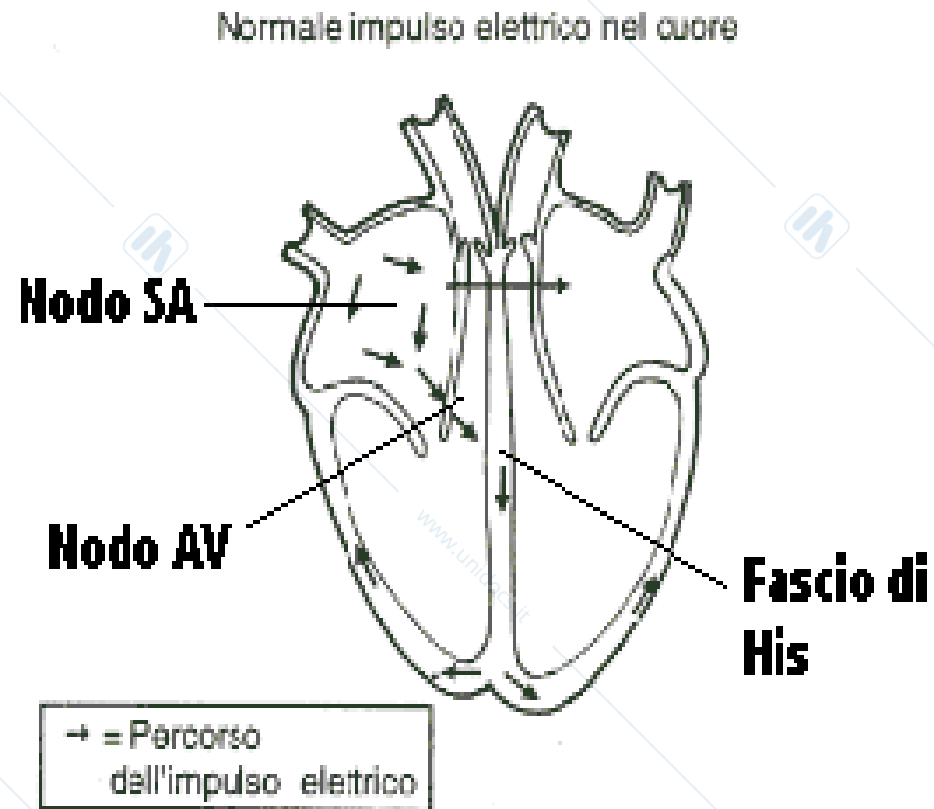
ORIGINE DELL'ECG: POTENZIALI CARDIACI

Il potenziale origina nel nodo seno-atriale (cellule pace maker)

Si propaga prima alle cellule degli atri, poi attraverso il fascio di His a quelle dei ventricoli

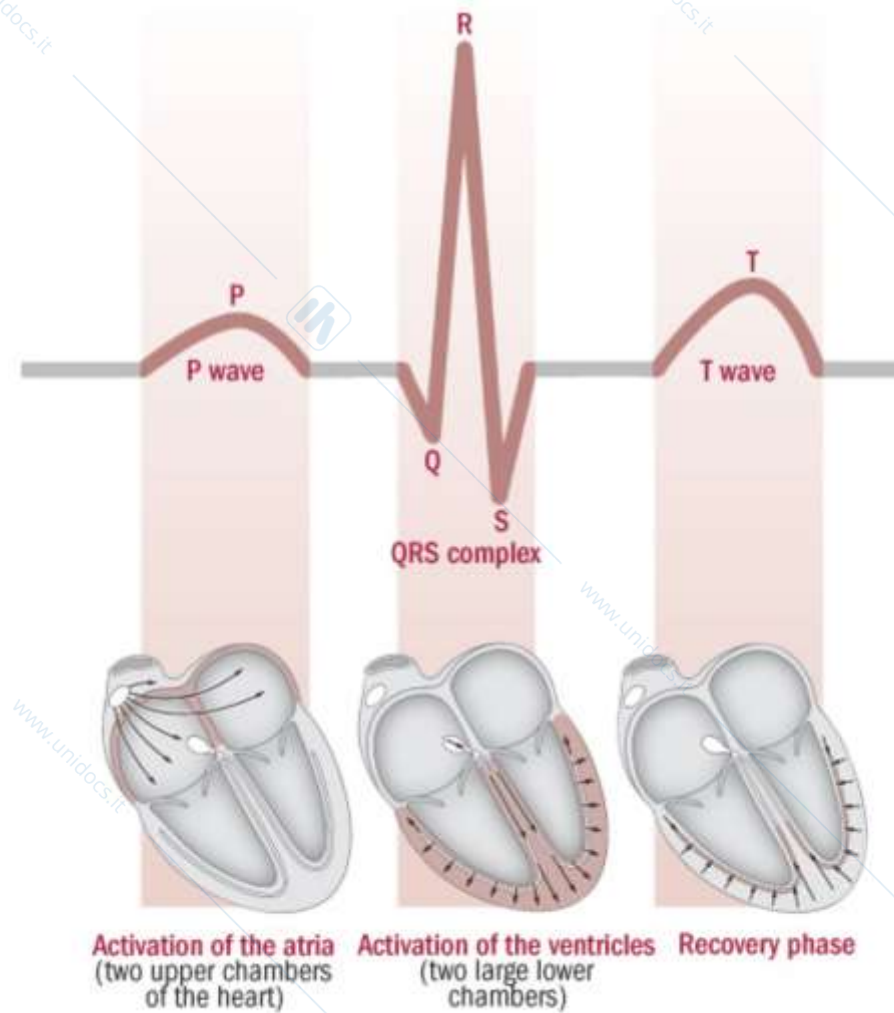
Il potenziale d'azione determina la contrazione (ritmica e con la giusta temporizzazione) delle cellule delle 4 camere del cuore

Attraverso i tessuti nel torace, si propaga alla superficie esterna



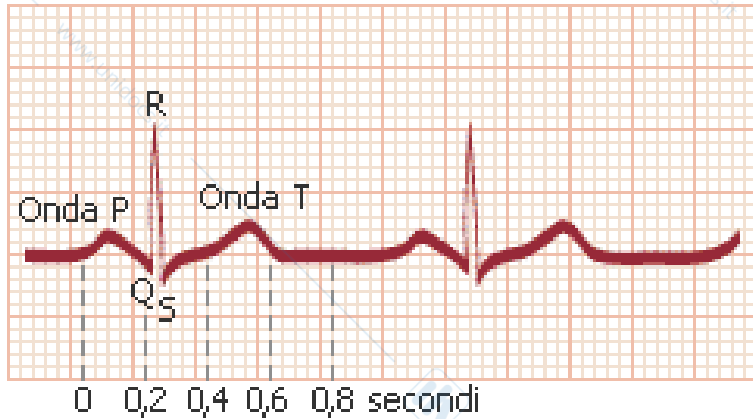
ECG: SIGNIFICATO FISILOGICO

- onda P depolarizza gli atri a partire dal nodo seno atriale
- tratto PQ pausa nodo AV
- complesso QRS depolarizza i ventricoli contrazione cuore
- tratto ST cuore contratto
- onda T ripolarizza i ventricoli

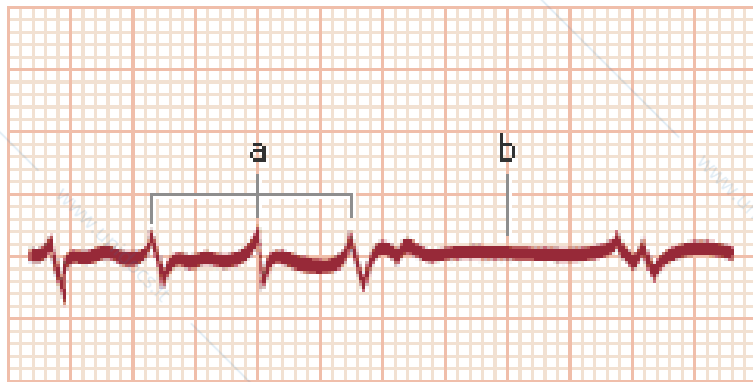


ECG: NORMALE VS PATOLOGICO

Ritmo cardiaco normale



Tachicardia

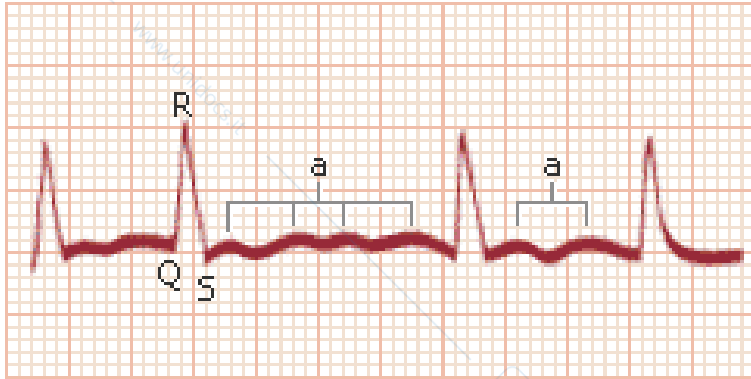


In condizioni patologiche, l'andamento del tracciato risulta alterato e la sequenza delle onde non viene rispettata.

In particolare, nella **tachicardia** vi è un aumento del numero delle pulsazioni, che diventano più rapide e deboli (tratto a) e quindi si arrestano (tratto b)

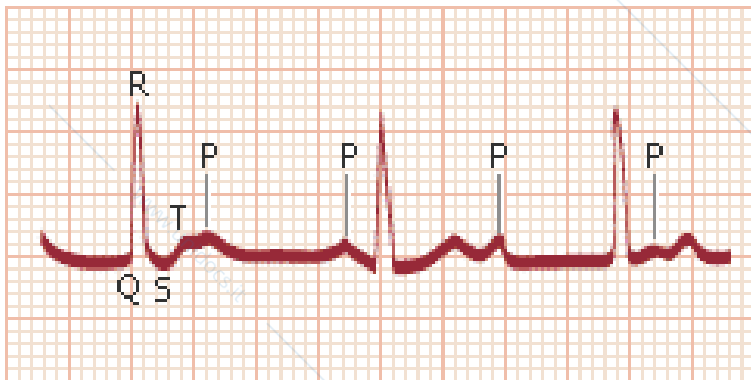
ECG: NORMALE VS PATOLOGICO

Aritmia da fibrillazione



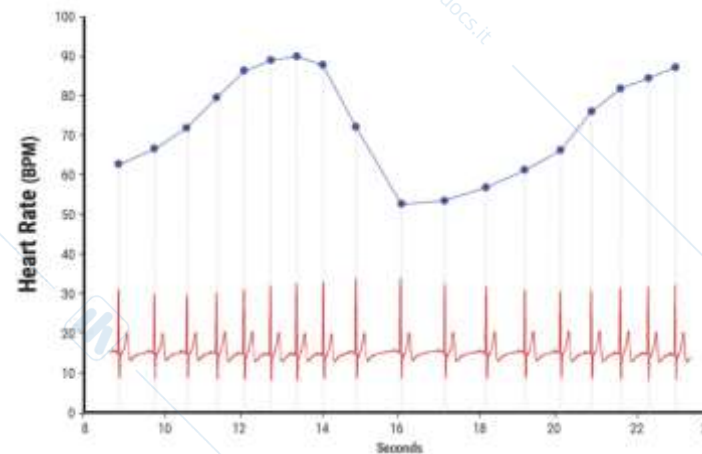
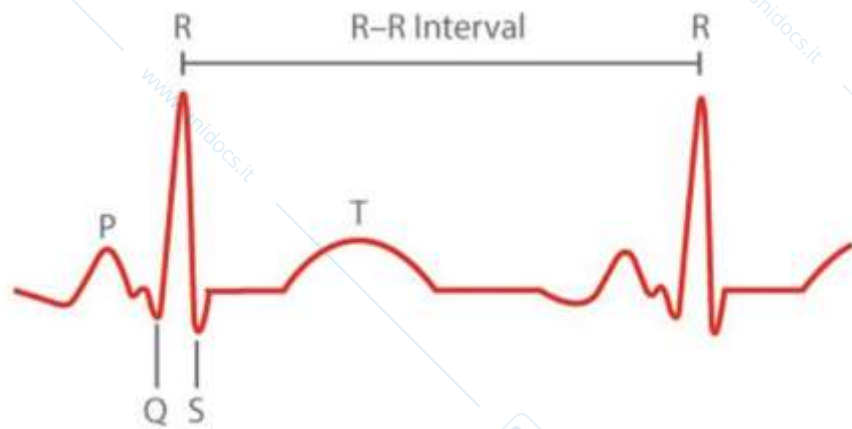
Nell'aritmia da **fibrillazione**, le onde QRS non sono equidistanti, come avviene in condizioni normali, e le onde P sono sostituite dal tratto a, che esprime la fibrillazione degli atri (contrazione non coordinata delle fibre muscolari cardiache);

Blocco atrio-ventricolare



Nel **blocco atrio-ventricolare** si osserva una distribuzione irregolare di onde QRS e di onde P.

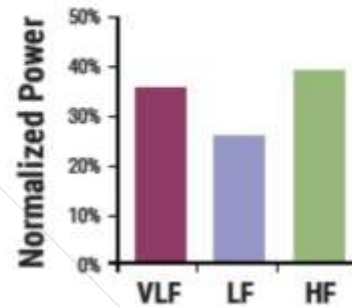
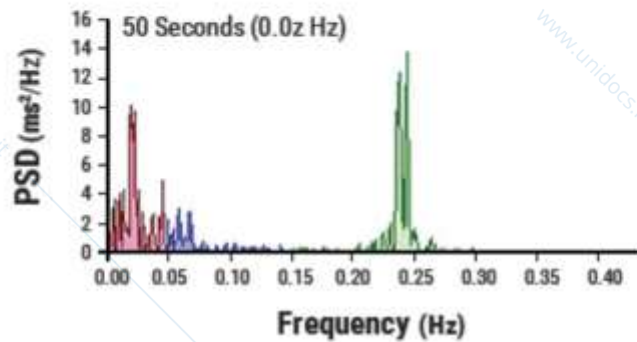
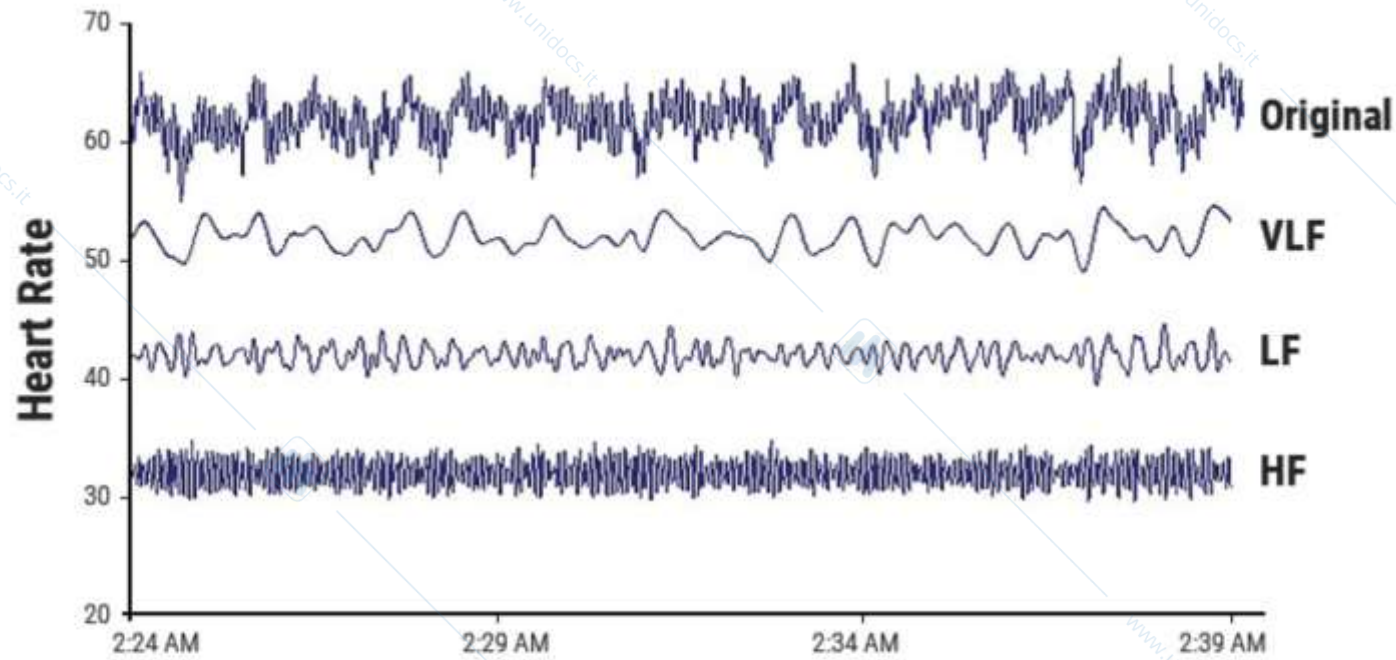
SEGNALI DERIVATI DALL'ECG: HRV (HEART RATE VARIABILITY)



Il tacogramma (a dx) mostra come variano nel tempo, battito dopo battito, i valori di durata dell'intervallo RR (vedi immagine a sx) e quindi la durata di un ciclo cardiaco, o equivalentemente la frequenza cardiaca. E' evidente come tali grandezze non sono costanti nel tempo, ma subiscono delle oscillazioni.

La Heart Rate Variability (HRV) è una tecnica per misurare ed analizzare la variabilità della frequenza cardiaca e sta assumendo una grande importanza in quanto da queste misure è possibile dedurre molte informazioni, per esempio si può valutare il rischio di aritmie cardiache e di infarto, ed anche il bilanciamento dell'attività fra il sistema nervoso Simpatico e Parasimpatico.

SEGNALI DERIVATI DALL'ECG: HRV (HEART RATE VARIABILITY)



ELETTRONEUROGRAMMA (ENG)

Obiettivo dell'ENG: la misura della **velocità di conduzione di un nervo** (sensoriale o motorio)

Lo studio della conduzione nervosa viene eseguito con elettrodi applicati sulla cute, al fine di registrare la risposta subordinata alla stimolazione di un tronco nervoso attraverso uno o più stimoli elettrici.

Esempio: si stimola il nervo sensoriale mediante elettrodi ad anello applicati al dito indice, e si registra in due punti a distanza nota D lungo il percorso del nervo. La velocità di conduzione dei nervi motori è normalmente di circa 50 m/s.

La velocità di conduzione è ridotta nelle polineuropatie e neuropatie infiammatorie oppure nelle neuropatie locali da compressione meccanica, come la sindrome del solco del nervo ulnare o la sindrome del tunnel carpale

Ampiezza: decine di μV

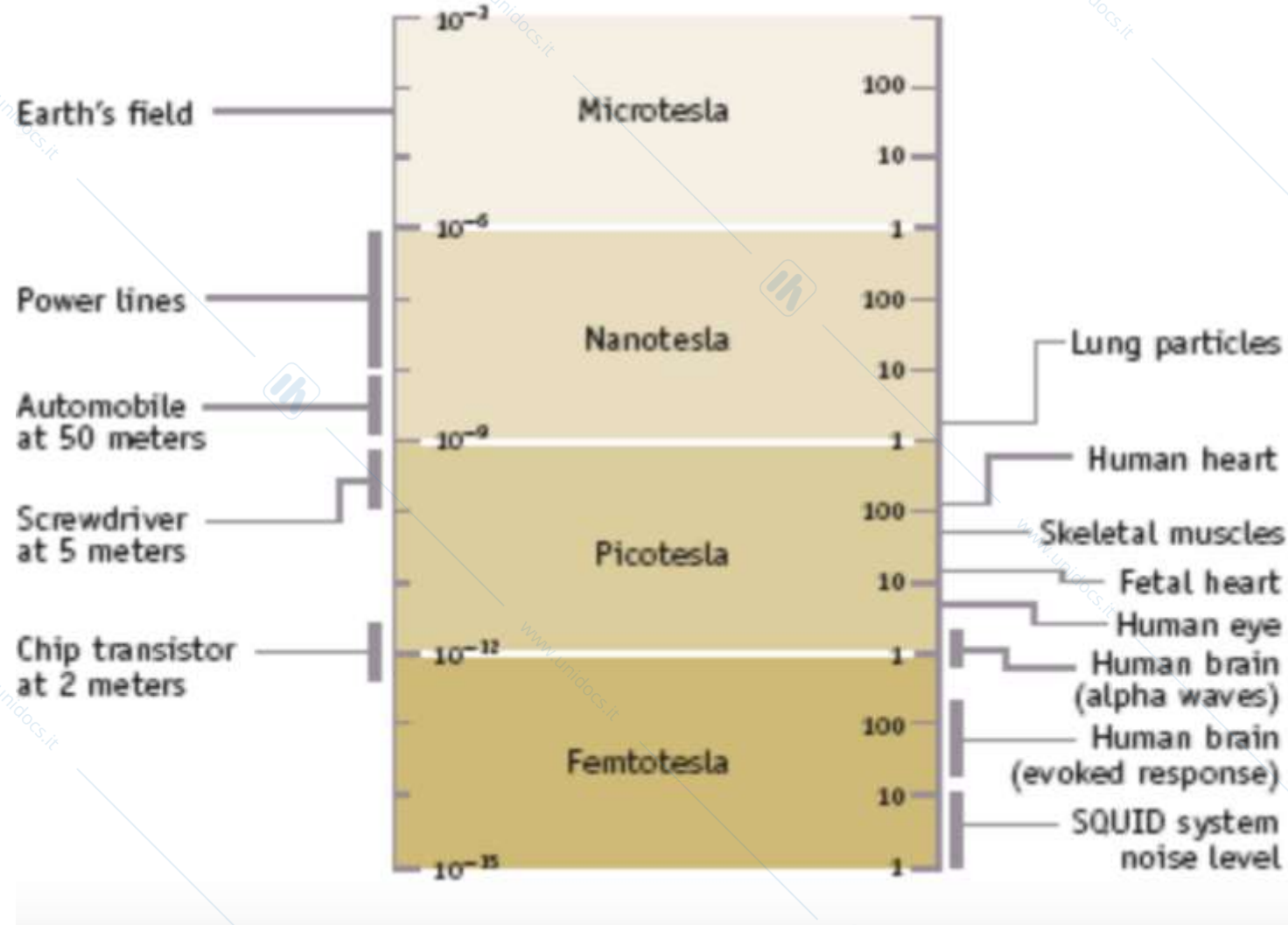
I TIPI DI SEGNALI

- Bioelettrici
- **Biomagnetici**
- Biomeccanici
- Bioacustici
- Termici
- Biochimici

SEGNALI BIOMAGNETICI

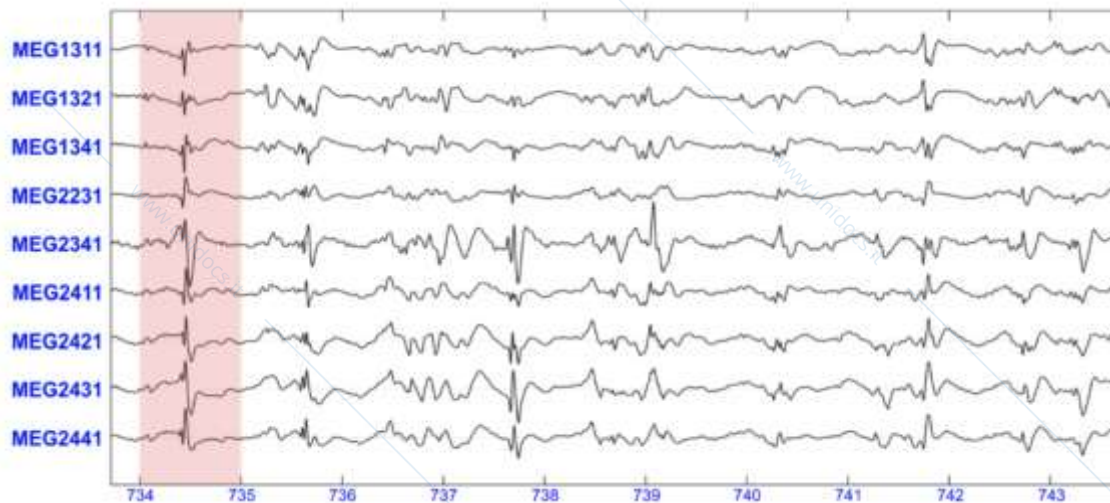
- Vari organi, quali il cuore, i polmoni e il cervello, producono un campo magnetico, che può essere registrato sulla superficie esterna.
- Si parla quindi di magnetocardiogramma (MCG), magnetopneumogramma (MPG) e di magnetoencefalogramma (MEG).
- L'esiguità dei segnali (10^{-15}T) richiede strumentazione complessa e assai costosa (SQUID, Superconducting Quantum Interference Device, funziona alla temperatura dell'elio liquido), pertanto gli studi sono ancora confinati ad un ambito di ricerca.

SEGNALI BIOMAGNETICI



IL SEGNALE MEG

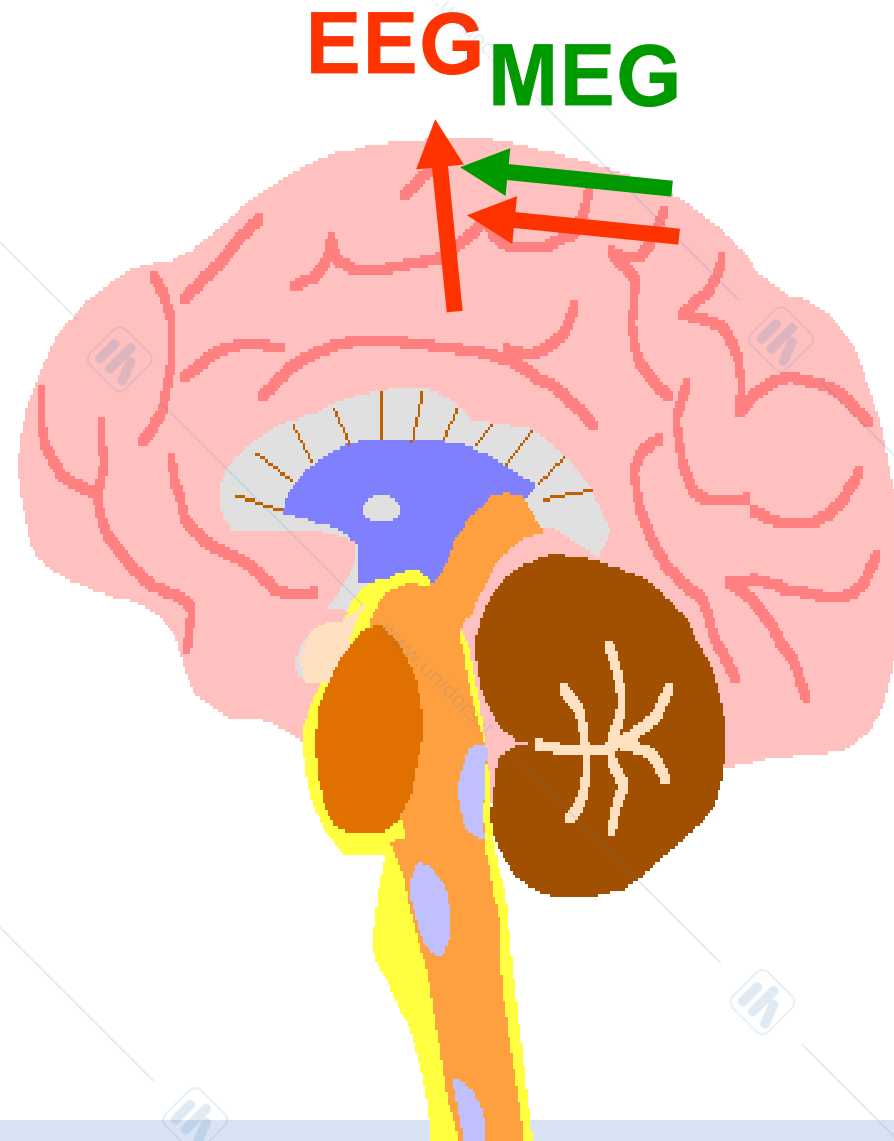
Il **segnale MEG** misura il campo magnetico al di fuori della testa usando un array di detettori magnetici molto sensibili (magnetometri)



SORGENTI DI EEG E MEG

EEG riflette le sorgenti (dipoli) radiali e tangenziali

MEG riflette le sole sorgenti tangenziali



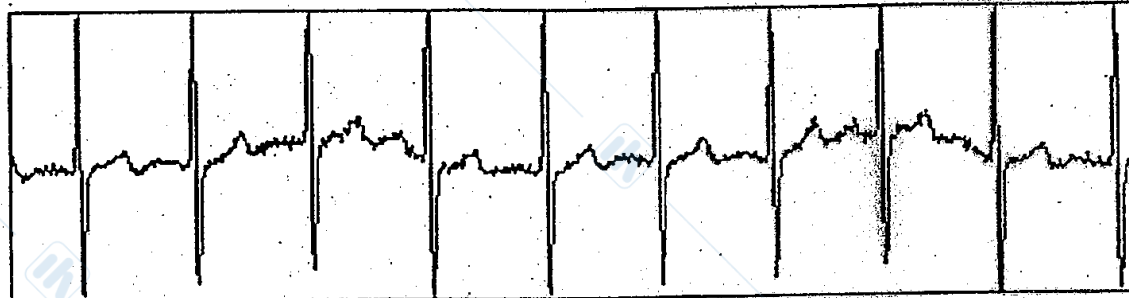
I TIPI DI SEGNALI

- Bioelettrici
- Biomagnetici
- Biomeccanici
- Bioacustici
- Termici
- Biochimici

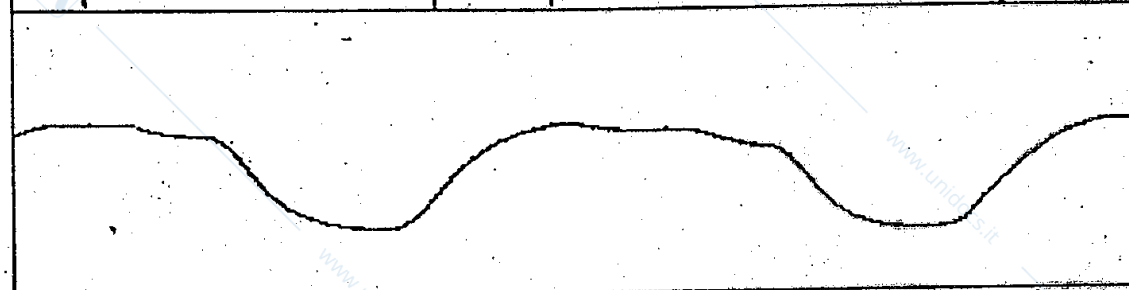
SEGNALI BIOMECCANICI

Si tratta di segnali di natura meccanica, quali ad esempio pressioni, flussi, movimenti

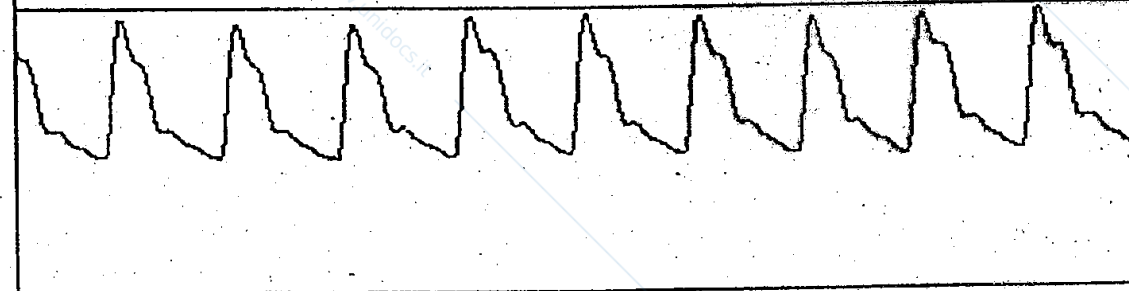
ECG



RESP

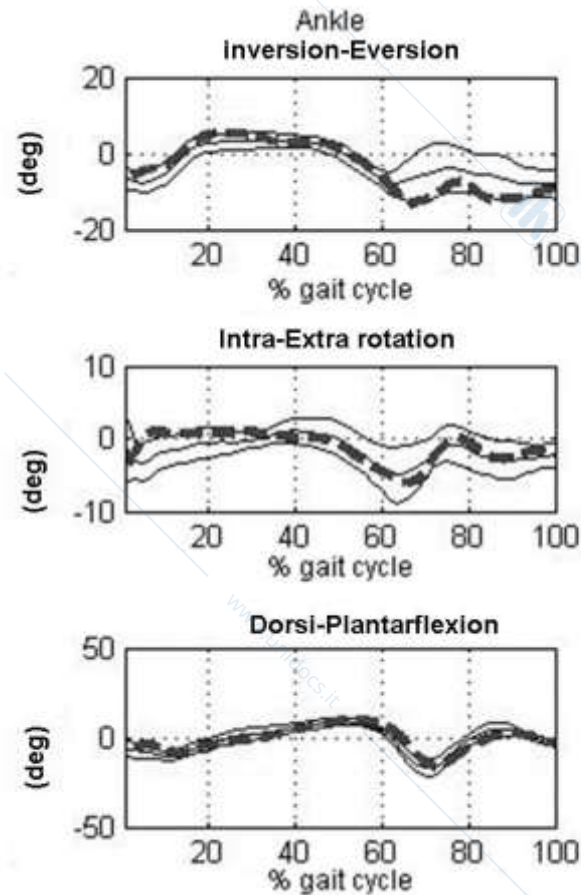


ABP



SEGNALI BIOMECCANICI

Un altro esempio è il segnale derivante da variabili cinematiche, ad es. angoli di rotazione durante il passo



I TIPI DI SEGNALI

- Bioelettrici
- Biomagnetici
- Biomeccanici
- **Bioacustici**
- Termici
- Biochimici

Segnali Bioacustici sono un sottoinsieme dei segnali meccanici che descrivono il suono prodotto dal corpo attraverso vibrazione o movimento

I segnali bioacustici danno accesso a diversi suoni:

- Suono cardiaco (fonocardiografia, PCG)
- Russare (rilevazione ostruttiva dell'apnea notturna)
- Ingoiare
- Scricchiolio di muscoli e articolazioni

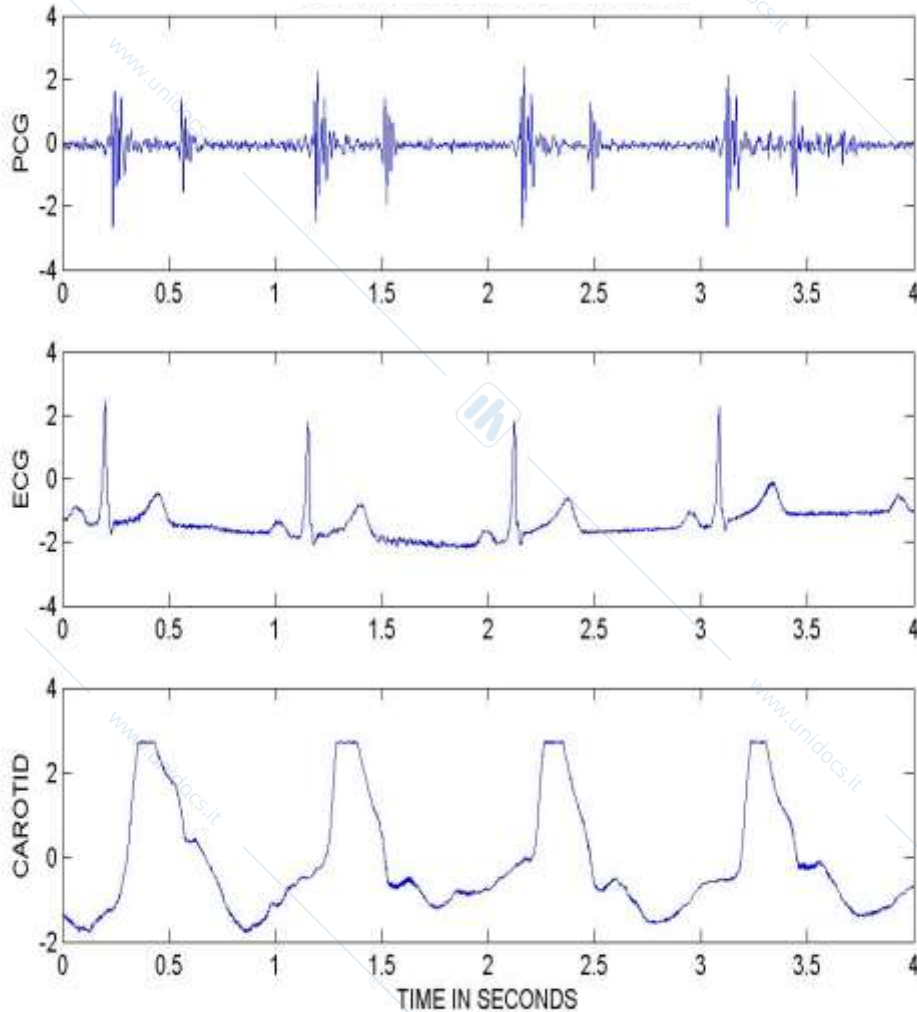
Spesso misurato sulla pelle usando trasduttori acustici come microfoni e accelerometri.

Suoni respiratori

- Suoni respiratori

SEGNALI BIOACUSTICI: FONOCARDIOGRAMMA (PCG)

Registrazione simultanea di ECG, PCG e pressione carotidea

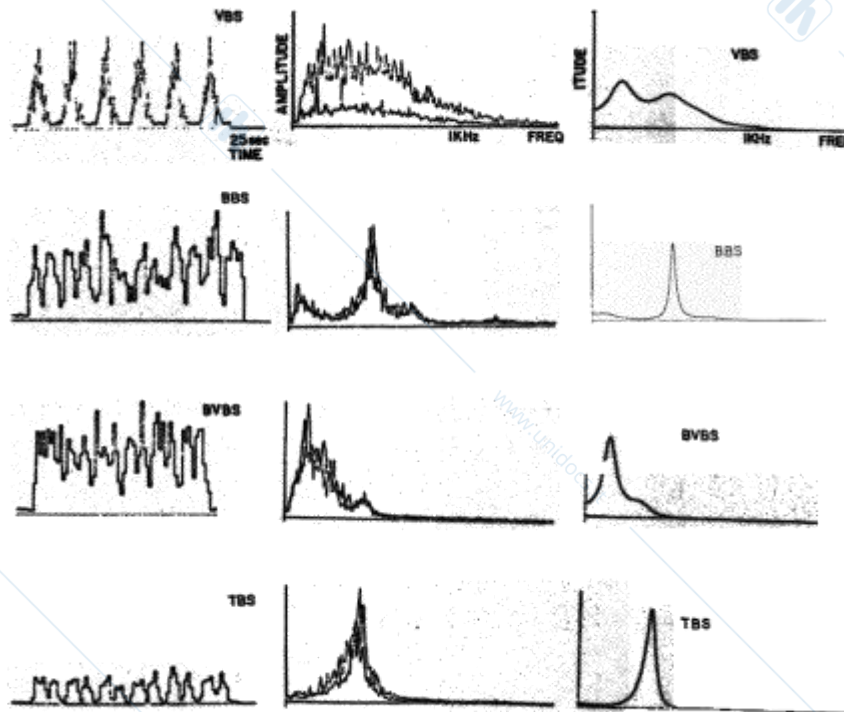


Il **segnale PCG** è la registrazione dei suoni generati dalle vibrazioni del sistema cardiovascolare (apertura e chiusura delle valvole, suoni prodotti dal flusso di sangue nei grossi vasi)

- Viene registrato con microfoni o trasduttori di pressione posti sul torace
- Dà informazioni sul ritmo, la contrattilità cardiaca e sull'eventuale presenza di patologie o anomalie a carico del sistema cardiovascolare

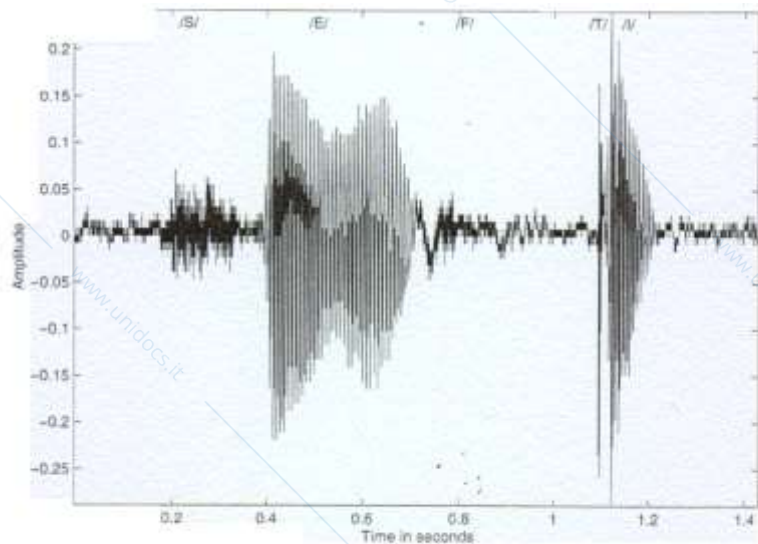
SUONI RESPIRATORI

Il segnale è la registrazione dei suoni prodotti dall'aria che entra negli alveoli e passa poi nei bronchi e nella trachea. Si riconoscono 4 diversi tipi di segnali: alveolare (VBS), bronchiale (BBS) bronco-alveolare (BVBS) e tracheale (TBS), misurati con microfoni in posizioni diverse del torace. Sono comunque segnali pseudoperiodici, con un range di frequenza che va da 20Hz a 2 KHz.



Suoni respiratori:
andamento nel tempo
(sx) e in frequenza (dx)

Si tratta di un segnale oggetto di studio da molti anni, soprattutto nell'ottica di trasmettere e sintetizzare il parlato. Può essere anche utilizzato a scopi diagnostici, in quanto riflette la presenza di anomalie e patologie dell'apparato vocale. E' prodotto dall'espulsione di aria dai polmoni attraverso la trachea fino al tratto vocale. La forma del tratto vocale varia per produrre tipi diversi di suoni elementari (fonemi) che, concatenati tra loro, formano le parole. In pratica, il tratto vocale si comporta come un filtro che modula il segnale che riceve in ingresso. E' evidente quindi che il segnale vocale è fortemente nonstazionario.

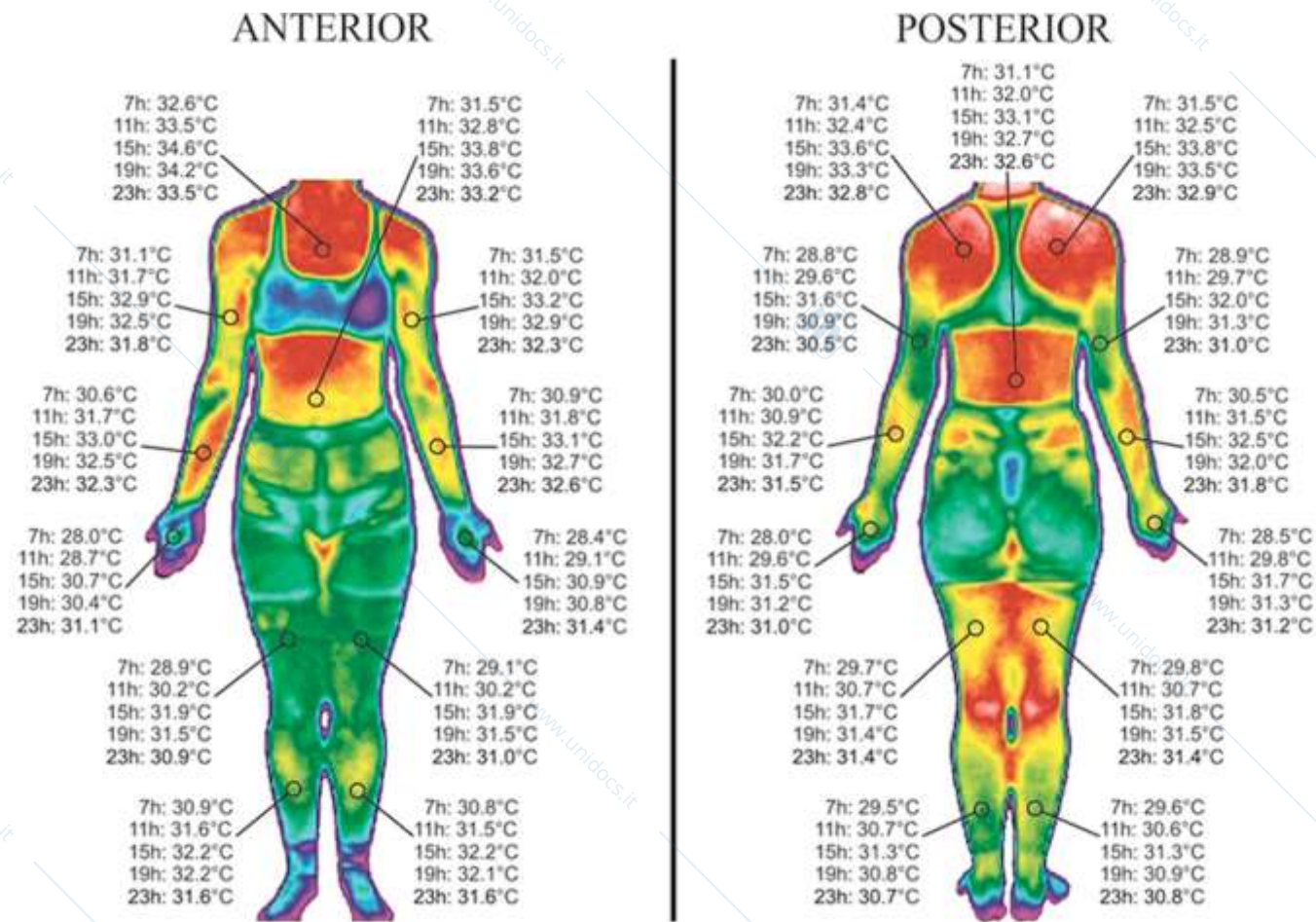


Segnale vocale della parola: "safety"

I TIPI DI SEGNALI

- Bioelettrici
- Biomagnetici
- Biomeccanici
- Bioacustici
- Termici
- Biochimici

SEGNALI TERMICI



Costa e al. 2018; 1-9;72 Journal of Thermal Biology

I TIPI DI SEGNALI

- Bioelettrici
- Biomagnetici
- Biomeccanici
- Bioacustici
- Termici
- **Biochimici**

SEGNALI BIOCHIMICI

Si tratta della registrazione delle fluttuazioni temporali di grandezze chimiche organiche e nonorganiche, quali concentrazioni di substrati, ormoni, enzimi, ioni, pressioni parziali di gas, PH, ecc. Le misure sono generalmente eseguite su campioni di sangue, oppure nell'aria espirata e vengono eseguite il laboratori clinici o di ricerca.



Adapted from Sturis et al., 1991

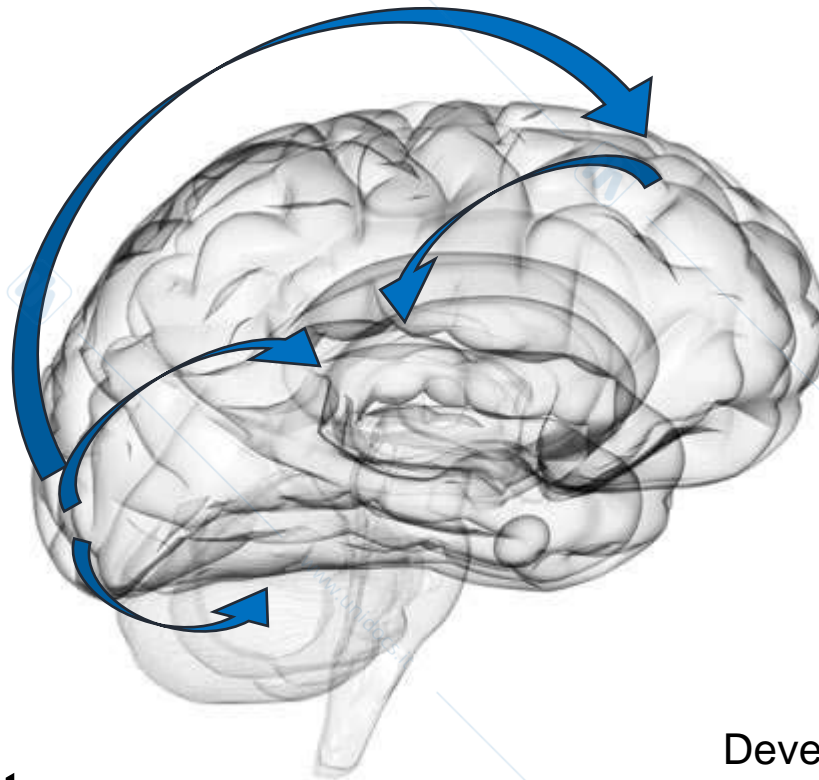
SVILUPPI RECENTI

- Integrazione tra segnali prelevati da posizioni diverse
- Integrazione tra segnali di natura diversa
- Integrazione segnali – immagini
- Wearable sensors

INTEGRAZIONE TRA SEGNALI: CONNETTIVITÀ

«One of the most important goals of neuroscience is to establish precise structure-function relationships in the brain.»

Stephan KE (2004). On the role of general system theory for functional neuroimaging. J.Anat. 205, 443-470.



**Connectivity
variability**



PLASTICITY



Development
Learning
Perception
Adaptive response to injury

INTEGRAZIONE TRA SEGNALI: VIDEOPOLIGRAFIA

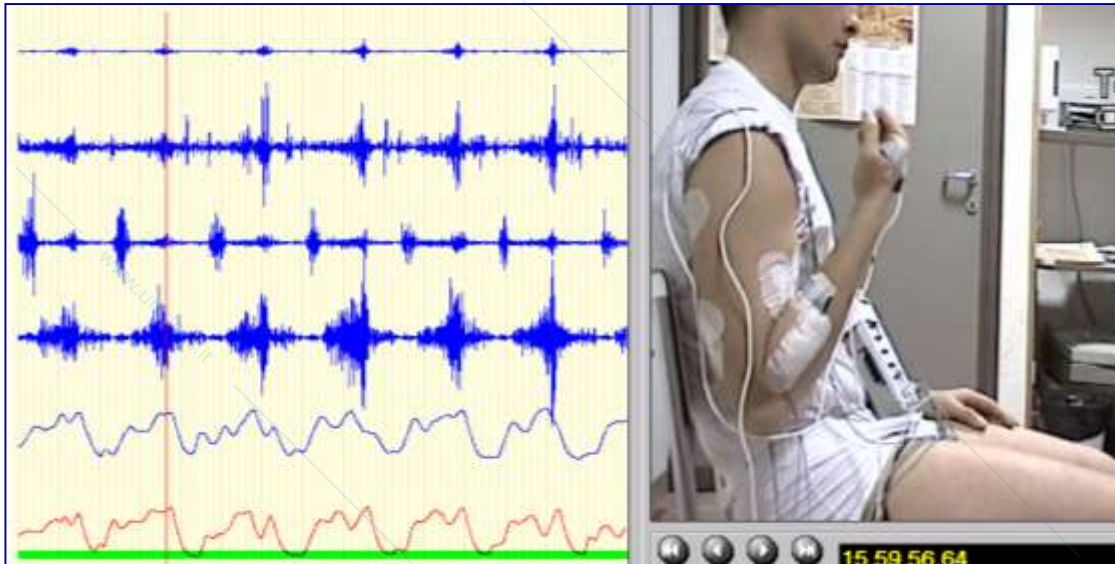
Definizione:

sistema coordinato di videoregistrazione di un movimento durante indagini EMG-EEG

Strumentazione:

- videocamera
- poligrafo

con canali EEG e EMG



WEARABLE SENSORS

Koydemir et al., Annu. Rev. Anal. Chem. 2018

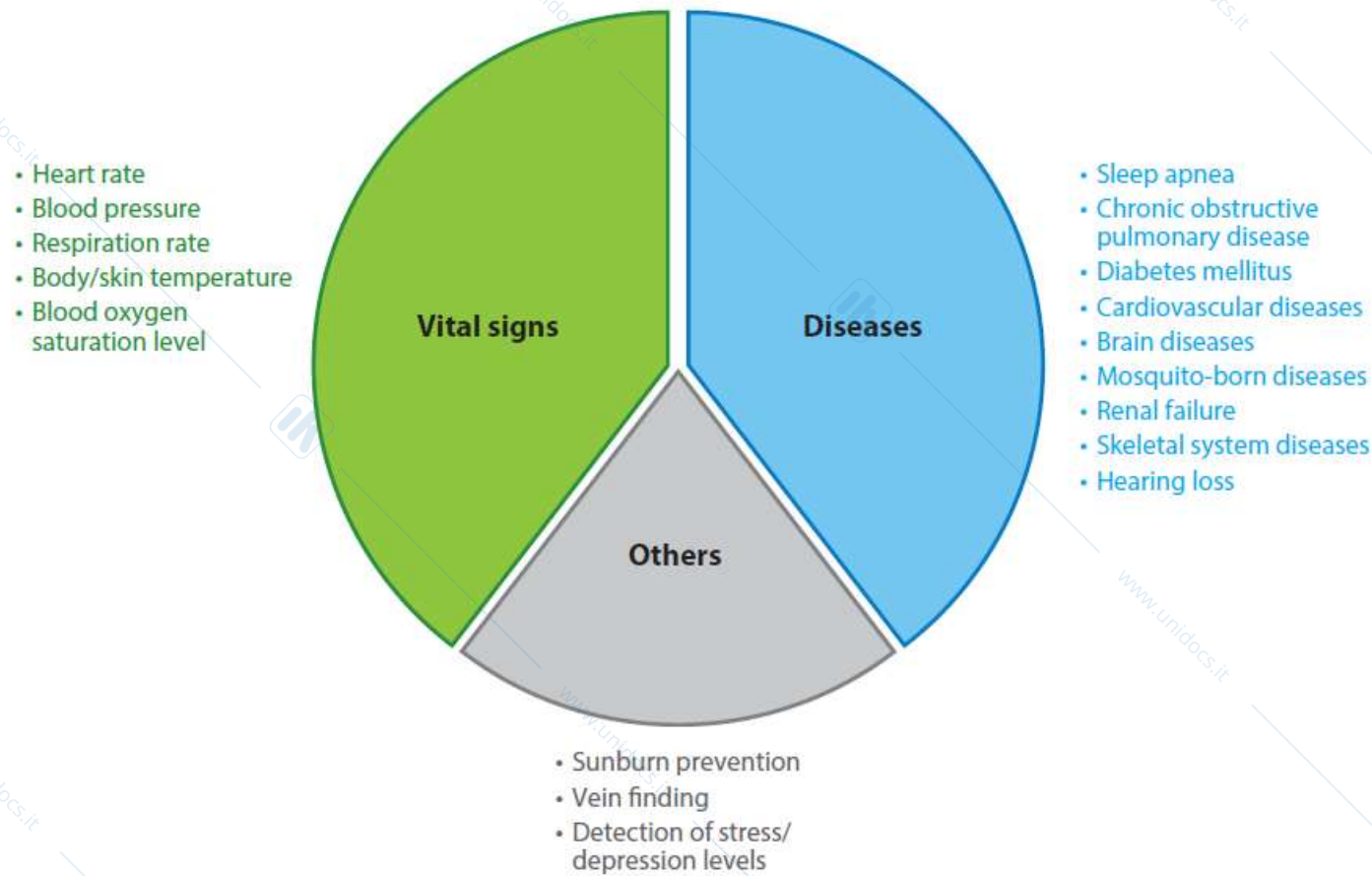


Figure 1

Some biomedical applications of wearables, including those to monitor vital signs, a variety of diseases, and other factors.

WEARABLE SENSORS

Koydemir et al., Annu. Rev. Anal. Chem. 2018

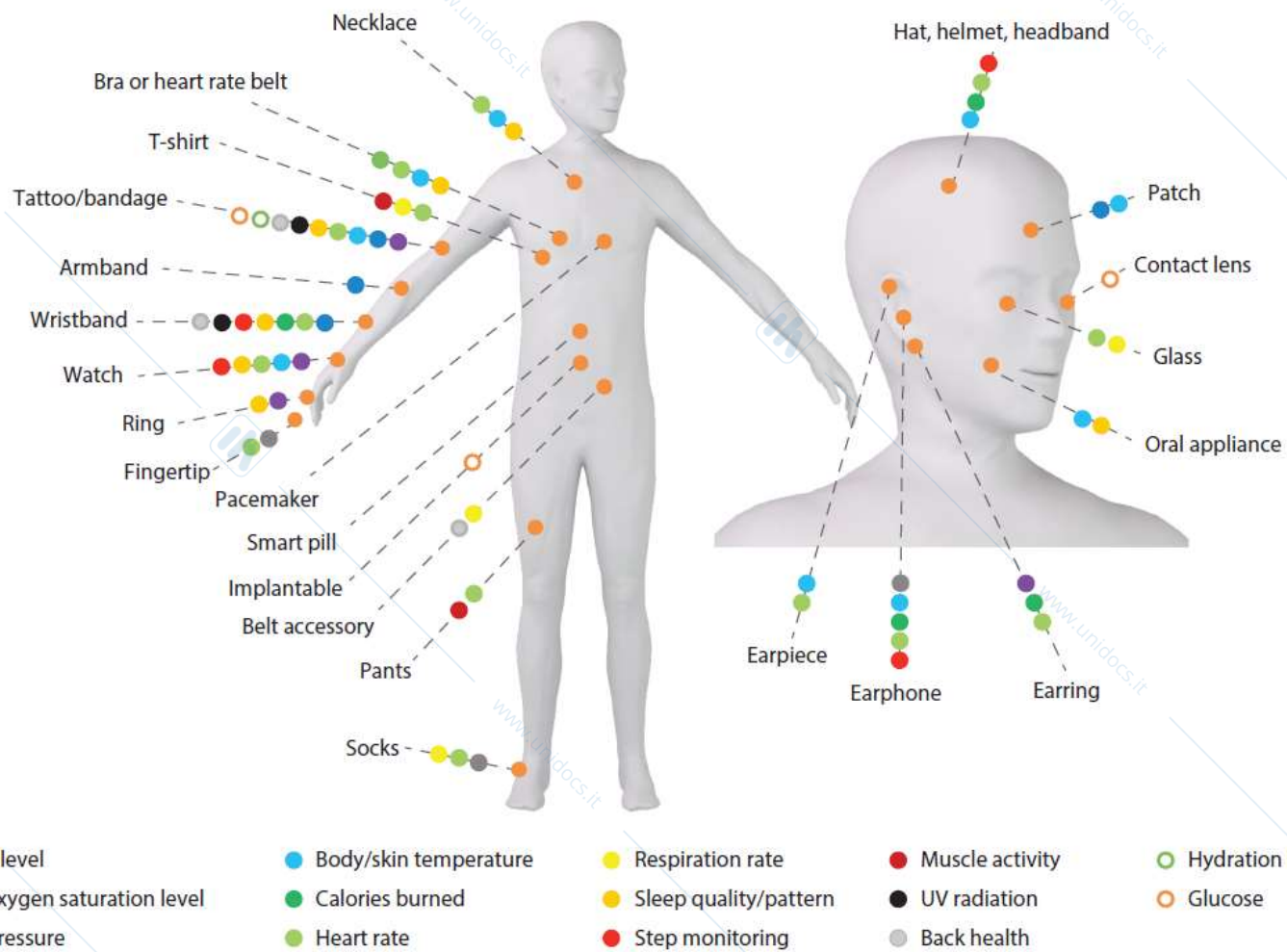


Figure 2

Wearable devices worn on various body parts and the parameters that they can monitor.

WEARABLE EEG SYSTEM

Wearable Sensing



Smarting (GAZE INTELLIGENCE)



Table 1 Physiological parameters and examples of commercial wearable devices and their sensors

Vital sign	Wearable device	Sensor	Reference
Heart rate	Earring (e.g., Ear-O-Smart)	Pulse oximeter	15
Heart rate	Earpiece (e.g., Cosinuss, one earpiece)	Pulse oximeter	20
Heart rate	Earphone (Bragi)	Pulse oximeter	16
Heart rate	Watch (e.g., Samsung Gear Fit, Basis)	Pulse oximeter	17, 21
Heart rate	Fingertip (e.g., Go2 Fingertip Pulse Oximeter)	Pulse oximeter	25
Heart rate	Sensor patch (Avery Dennison Metria)	Electrocardiogram	135
Heart rate	Wristband (e.g., PhyoDe W/Me wristband) Wristband (e.g., iHealth, Omron)	Touch-activated electrocardiogram sensor Pressure sensor	22–24
Heart rate	Glass (e.g., Google Glass)	Gyroscope, accelerometer, image sensor	32
Heart rate	Shirt (e.g., PoloTech)	3D accelerometer	26
Blood oxygen saturation level	Earphone (Bragi)	Pulse oximeter	16
Blood oxygen saturation level	Fingertip (e.g., Go2 Fingertip Pulse Oximeter)	Pulse oximeter	25
Body and/or skin temperature	Earpiece (e.g., Cosinuss one earpiece)	Temperature sensor	20
Body and/or skin temperature	Tattoo (e.g., VivaLnk Fever Scout)	Temperature sensor	29
Body and/or skin temperature	Earphone (Bragi)	Temperature sensor	16
Body and/or skin temperature	Watch (e.g., Basis)	Temperature sensor	17
Respiration rate	Belt accessory (e.g., Spire)	Accelerometer	31
Respiration rate	Smart textile electrocardiogram sensor	Piezo-resistive sensor	2
Respiration rate	Glass	Gyroscope, accelerometer, image sensor	32
Blood pressure	Sensor	Two photoplethysmography sensors	None
Blood pressure	Patch	Potential difference	136
Blood pressure	Wristband (e.g., iHealth, Omron)	Pressure sensor	23, 24

Koydemir et al., Annu. Rev. Anal. Chem. 2018

WEARABLE SENSORS: PRESSIONE ARTERIOSA

HeartGuide OMRON



Segnale di pressione arteriosa durante la giornata



Bracciale gonfiabile
all'interno del cinturino

<https://www.omron-healthcare.it/it/misuratori-di-pressione/heartguide.html>

WEARABLE SENSORS: TEMPERATURA CORPOREA

VivaLink Fever Scout



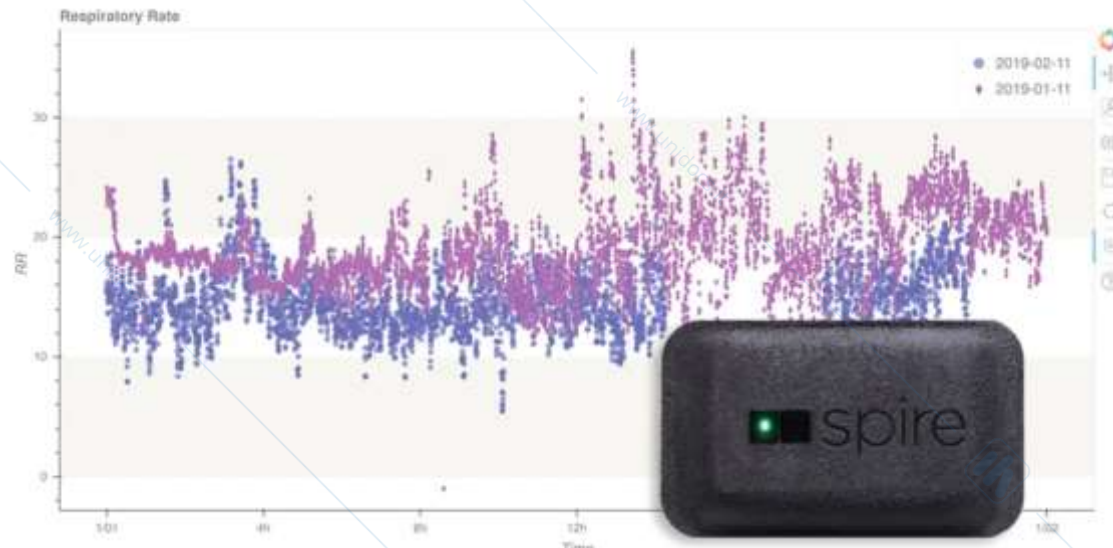
Fever Scout continuously monitors body temperature even during sleep. Users can set temperature thresholds, and be notified on mobile devices when the temperature reaches a certain point. Parents and caregivers can also monitor remotely from another device.



<http://www.vivalnk.com/feverscout>

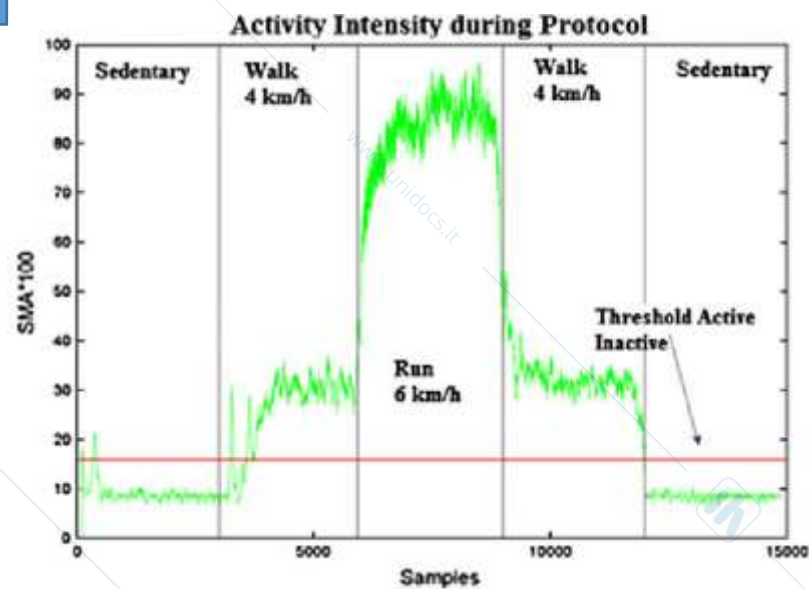
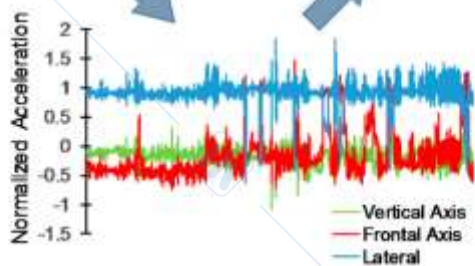
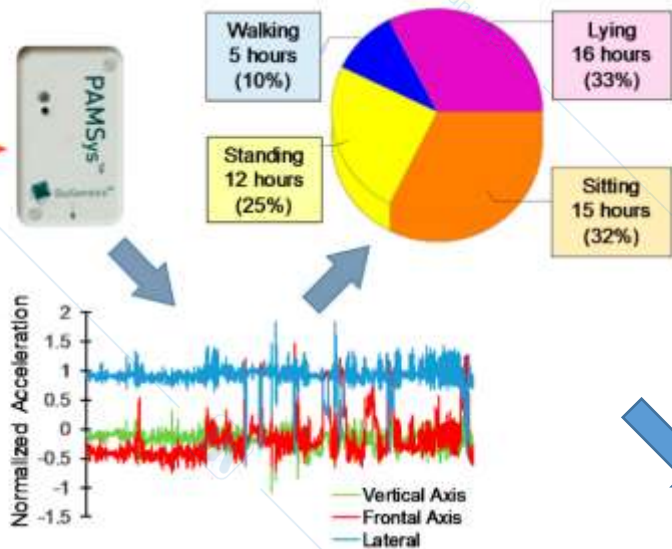
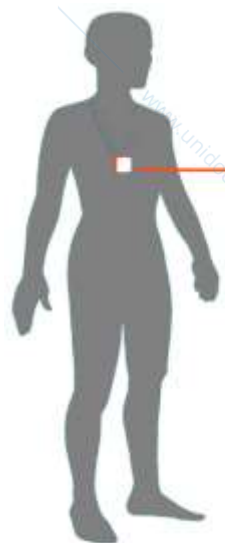
WEARABLE SENSORS: RESPIRAZIONE

Spire Health Tag



<https://spirehealth.com/>

WEARABLE SENSORS: ATTIVITÀ FISICA



WEARABLE SENSORS: CONTINUOUS GLUCOSE MONITORING

Dexcom G6 calibrationless sensor

Sensore impiantabile



Trasmittitore



Phone



WEARABLE SENSORS: CONTINUOUS GLUCOSE MONITORING

