

Implementazione di un algoritmo per analizzare un segnale ECG con Matlab

➤ Introduzione ECG

L'elettrocardiogramma (ECG) è un esame diagnostico che consente la riproduzione grafica dell'attività elettrica del cuore registrata a livello della superficie del corpo e permette di individuare l'eventuale presenza di una malattia cardiaca o di un disturbo del ritmo cardiaco (aritmia).

L'ECG è caratterizzato da "onde" che si ripetono ad ogni ciclo cardiaco ed indicano la specifica attività del cuore legata alla propagazione dell'impulso elettrico cardiaco:

- *Onda P*, deflessione verso l'alto dovuta alla depolarizzazione degli atri. È di piccole dimensioni poiché la contrazione degli atri non è così potente;
- *Complesso QRS*, serie di deflessioni rapide verso l'alto e verso il basso dovute alla depolarizzazione ventricolare.

È costituito da:

Onda Q, negativa e di piccole dimensioni, corrisponde alla depolarizzazione del setto interventricolare;

Onda R, picco positivo molto pronunciato, corrisponde alla depolarizzazione dell'apice del ventricolo sinistro;

Onda S, negativa e di piccole dimensioni, corrisponde alla depolarizzazione delle regioni basale e posteriore del ventricolo sinistro;

- *Onda T*, deflessione verso l'alto che corrisponde alla ripolarizzazione ventricolare.

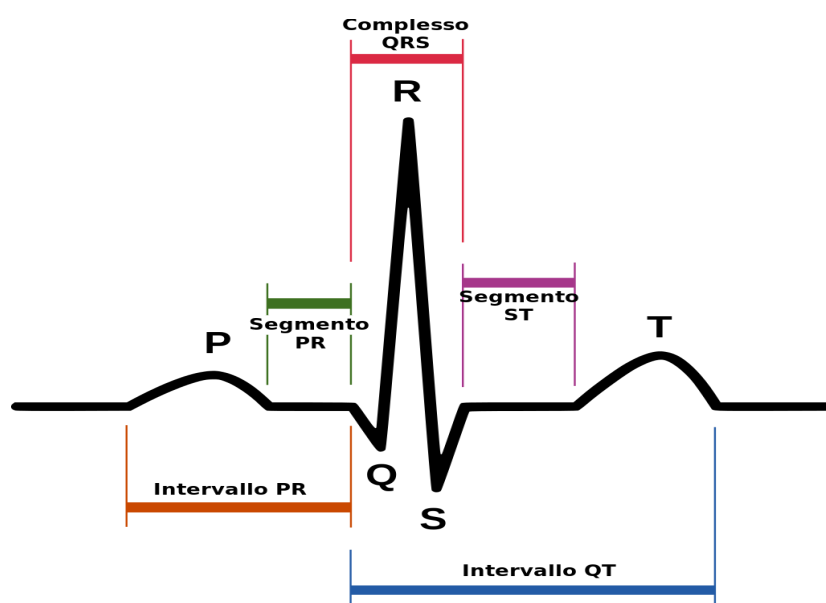


Fig. 1) : Segnale Elettrocardiogramma (ECG)

Dalla figura (Fig. 1)) possiamo vedere una serie di intervalli:

- *Intervallo PQ e PR*, stima del tempo di conduzione attraverso il nodo atrioventricolare;
- *Intervallo QT*, tempo in cui avviene la depolarizzazione e la ripolarizzazione ventricolare;
- *Intervallo ST*, periodo in cui le cellule ventricolari sono depolarizzate;
- *Intervallo RR*, periodo cardiaco.

Componente	Ampiezza (mV)	Durata (s)
Onda P	0,2	0,10
Complesso QRS	1,0	0,08–0,12
Onda T	0,2–0,3	0,16–0,27
Intervallo P–Q	N/A	0,12–0,21
Intervallo Q–T	N/A	0,30–0,43
Segmento T–Q	N/A	0,55–0,70
Intervallo R–R	N/A	0,85–1,00

Fig. 2) : Valori tipici componenti segnale ECG

L'intervallo RR corrisponde a quello che viene chiamato *ciclo cardiaco*. Attraverso la lettura dell'ECG il cardiologo potrà individuare la presenza di specifiche alterazioni del *ritmo cardiaco*.

La *frequenza cardiaca* (numero di battiti al minuto) in condizioni normali è di 60-100 bpm (*beats per minute*).

$$\text{Frequenza Cardiaca} = 60 / \text{Intervallo RR}$$

Se questa diventa troppo bassa si parla di *Bradycardia*, altrimenti di *Tachycardia* (condizioni patologiche).

Obiettivo Esercitazione: Utilizzando Matlab implementare un algoritmo in grado di valutare i punti di interesse di un ECG per poter distinguere un segnale patologico da uno fisiologico (sano).

1. Trovare soglie adeguate per rilevare i picchi R;
2. Trovare le caratteristiche principali del segnale (distanza RR, durata del complesso QRS, frequenza cardiaca);
3. Plottare una funzione di densità di probabilità (*PDF*) con un istogramma e confrontare i casi di segnale patologico e fisiologico.

➤ Implementazione del Programma

I segnali in esame sono 2 tracciati di 400 secondi campionati a 1000Hz, uno per la condizione fisiologica (~ 60 bpm) e l'altro per quella patologica (~ 50 bpm, Bradycardia).

1. Detrend

Una volta caricati i dati si ottengono dei segnali aventi delle oscillazioni lente, sommate alle informazioni utili, che sono dovute a disturbi e che si vuole attenuare o eliminare totalmente attraverso l'uso del '*detrend lineare*'.

Nello specifico un *detrend* comporta la rimozione degli effetti del trend da un set di dati per mostrare solo le differenze di valori rispetto al trend. Un trend lineare in genere indica un aumento o una diminuzione sistematica dei dati.

Per far ciò, si decide quindi di elaborare i segnali in finestre composte da un numero limitato di campioni: ad esempio scegliamo finestre (*wdw*) da 4000 campioni l'una.

2. Localizzazione dei picchi R, calcolo della Soglia e calcolo della Frequenza Cardiaca

Per poter calcolare in modo univoco un valore di soglia per individuare i picchi R si implementa una funzione che si basa su media e deviazione standard del segnale:

$$\text{Soglia} = \text{Media} + (\text{Multiplier} * \text{Deviazione Standard})$$

Dove media si trova attraverso la funzione *mean* e la deviazione standard attraverso la funzione *std* di Matlab, mentre il *multiplier*, che abbiamo settato a 3.5 nel caso di picchi R, ci permette di modificare la soglia al suo variare ed è dovuto al fatto che i campioni del segnale in corrispondenza dei picchi R si discostano di molto dalla media.

Per individuare i picchi R si usa una funzione di Matlab, *findpeaks*, e si fissa come minima altezza dei picchi R ('*MinPeakHeight*') la soglia calcolata e come distanza minima tra due picchi R successivi

('MinPeakDistance') un valore di, ad esempio, 400 campioni, poiché la distanza fisiologica tra 2 picchi R è di circa mezzo secondo che corrisponde a circa 500 campioni.

Tali valori indicano la possibilità di trovare picchi solo dopo una determinata soglia ed ad una data distanza.

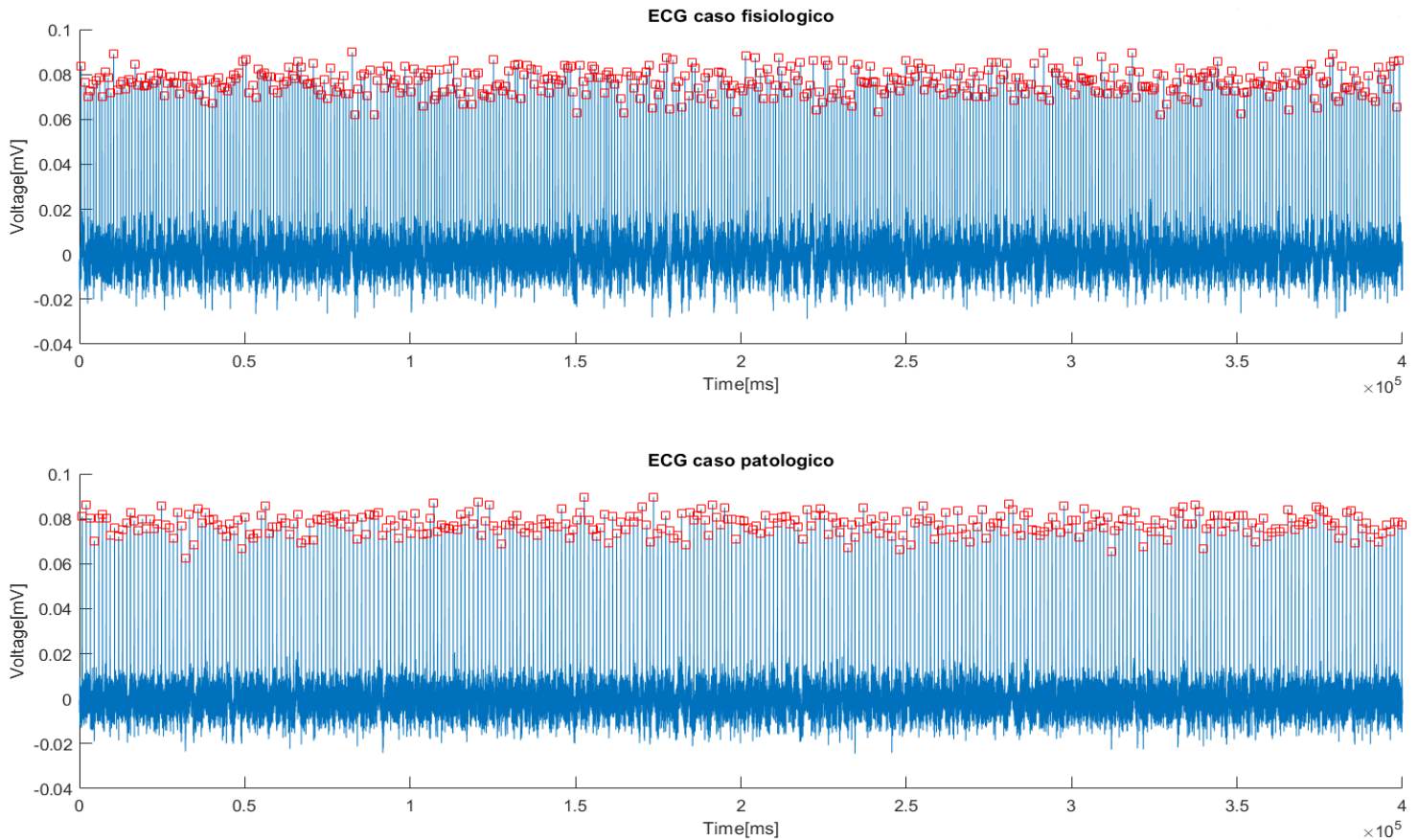


Fig. 3) Visualizzazione dei picchi R (quadrati rossi) per i due tracciati ECG: persona sana e persona tachicardica

Si calcola, successivamente, la frequenza cardiaca come:

$$\text{Frequenza Cardiaca} = 60 / \text{Mean}(\text{RR})$$

dove $\text{Mean}(\text{RR})$ è la distanza media tra i picchi R.

Caso Fisiologico:

Frequenza Cardiaca = 65 bpm

Distanza Media RR = 0,9225 sec

Caso Patologico:

Frequenza Cardiaca = 50 bpm (Bradycardia)

Distanza Media RR = 1,2053 sec

(Il che è coerente col fatto che la distanza media in caso di Bradycardia deve essere maggiore rispetto a quella di un caso fisiologico.)

3. Complesso QRS

Per calcolare la durata del complesso QRS si può determinare la media delle distanze che intercorrono tra i picchi Q ed S del segnale. Si decide di estrarre dai segnali sottoposti a detrend dei campioni centrati in ogni picco R corrispondenti ai singoli complessi, inserendoli in appositi vettori colonna. Così facendo è possibile calcolare l'andamento del QRS medio.

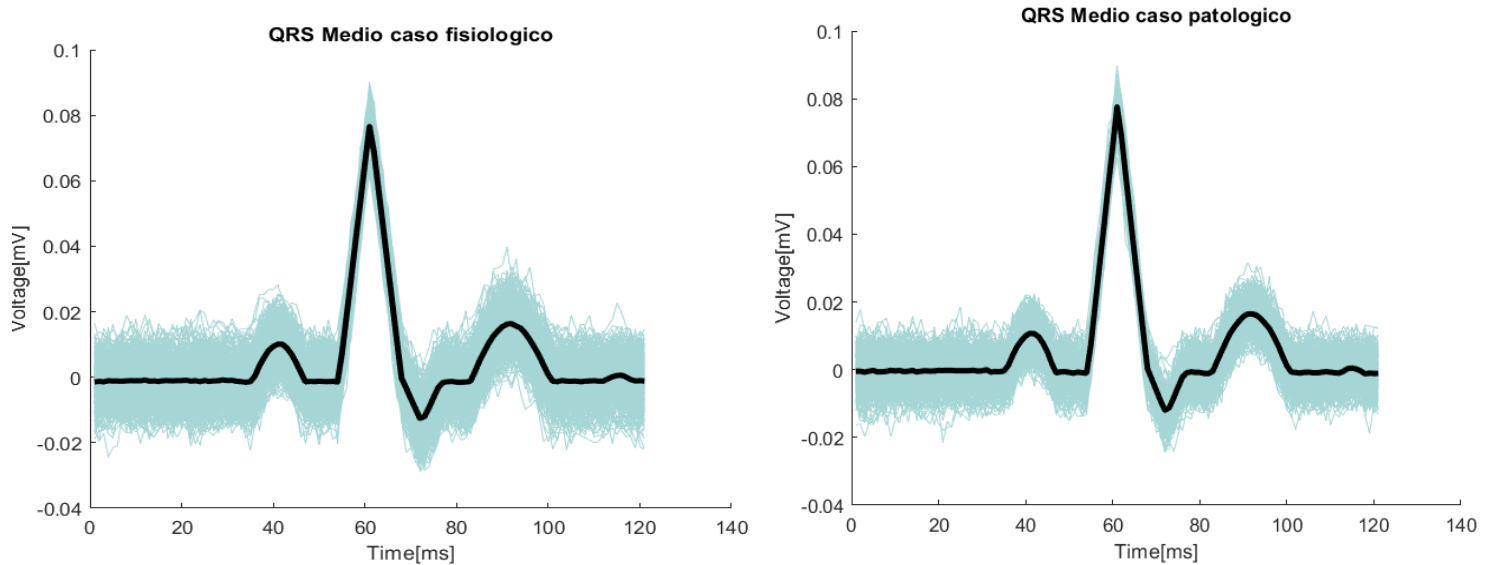


Fig. 4) Visualizzazione dei grafici del Complesso QRS Medio per i 2 casi in esame (traccia nera), le singole linee blu rappresentano i singoli Complessi QRS identificati

La presenza del rumore di fondo rende difficile individuare i picchi Q e R: per far fronte a ciò abbiamo ridotto ulteriormente le finestre, andando a considerare un numero minore di campioni intorno al picco R, così da prendere in considerazione solo i picchi più prossimi a R.

Come nel caso dei picchi R, abbiamo impostato una soglia e una distanza tra picchi minime, così da poter utilizzare la stessa funzione `find_ecg_peak` e avere maggior precisione.

Una volta localizzati i picchi Q e S si può calcolare la distanza QRS come somma fra la distanza QR e la distanza RS, e ottenere infine la distanza QRS media attraverso la funzione `mean`:

Durata Complesso QRS

Caso Fisiologico: 21,9792 millisecondi

Caso Patologico: 21,5964 millisecondi

Tali valori sono coerenti con quanto si può evincere dai grafici dell'andamento dei complessi QRS medi (Fig. 4)).

4. Istogrammi e Confronto fra i Casi Patologico e Fisiologico

Una volta ottenute tutte queste informazioni sui due tracciati siamo stati in grado di plottare gli istogrammi relativi a intervalli RR e durata dei complessi QRS. Per poterli confrontare è stato però necessario costruire una disposizione di bins che fosse comune a entrambi i tracciati, andando quindi a definire dei *bin edges* comuni.

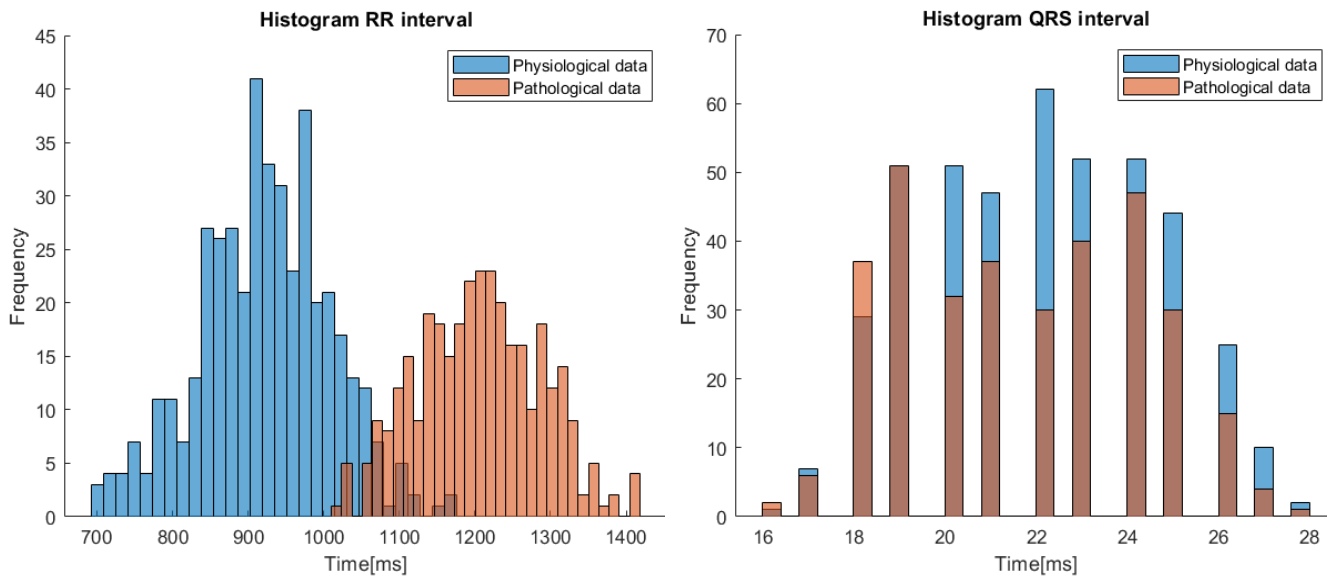


Fig. 5) : Istogrammi della densità di probabilità delle variabili derivate da ECG: intervallo RR e durata QRS (marrone scuro = dati fisiologici sovrapposti ai dati patologici).
Per questi plot sono stati usati 30 bins.

Media e Varianza

Istogramma Intervallo RR:

Caso Fisiologico: Media = 922,5069 ms

Deviazione Standard = 86,5696 ms

Caso Patologico: Media = 1205,3 ms

Deviazione Standard = 81,6868 ms

Istogramma Intervallo QRS:

Caso Fisiologico: Media = 21,9792 ms

Deviazione Standard = 2,5289 ms

Caso Patologico: Media = 21,5964 ms

Deviazione Standard = 2,6118 ms

Gli istogrammi dell'intervallo RR sono poco sovrapposti tra loro, essendo le medie sensibilmente differenti (~ 282,82 ms di differenza), mentre nell'intervallo QRS i due istogrammi sono molto sovrapposti essendo le medie molto simili tra di loro (~ 0,083 ms di differenza).

➤ Conclusione e Considerazioni Finali

Pur non avendo implementato filtri per contrastare l'effetto del rumore, l'algoritmo sviluppato permette di ottenere le informazioni necessarie per l'analisi dei segnali relativi a ECG di soggetti sia sani che patologici.

➤ Fonti e Bibliografia

- Prof L.Avanzino, Slides del corso di Fisiologia AA 2021-2022.

**Dante Baroncini
Manuel Delucchi
Jordan Germano**