



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in INGEGNERIA BIOMEDICA

**COSTRUZIONE DI UN DATABASE DI SEGNALI
CARDIOVASCOLARI DURANTE LA BOXE ATTRAVERSO
SENSORI INDOSSABILI**

DATABASE CREATION OF CARDIOVASCULAR SIGNALS
DURING BOXING THROUGH WEARABLE SENSORS

Relatore:

Dott.ssa Agnese Sbroolini

Correlatore:

Prof.ssa Laura Burattini

Tesi di Laurea di:

Vignati Gian Lorenzo

Abstract

Il monitoraggio cardiovascolare tramite sensori rappresenta una tecnologia avanzata che consente di tenere sotto controllo, in modo continuo e non invasivo, diversi parametri del cuore e del sistema cardiovascolare. Utilizzando il sensore Fourth Frontier X, è possibile eseguire un monitoraggio costante sugli atleti durante le sessioni di allenamento, registrando il tracciato elettrocardiografico e raccogliendo i parametri fisiologici come la frequenza cardiaca, la variazione del battito cardiaco e la frequenza respiratoria.

Il presente lavoro si concentra nel monitoraggio cardiovascolare di quattro pugili, uno sport particolarmente intenso nel quale il rischio di affaticamento e sforzi estremi può sottoporre il sistema cardiaco dell'atleta a una forte pressione.

Seguendo un protocollo di acquisizione di tre diverse rilevazioni con uno sforzo cardiaco crescente, sono stati raccolti tramite il sensore dei dati con l'obiettivo di mettere in evidenza eventuali anomalie e informazioni fisiologiche e fisiche rilevanti in situazioni differenti, con l'intento di poter prevenire sui problemi cardiaci e cardiovascolari, migliorando la sicurezza degli atleti durante i loro allenamenti e competizioni.

Grazie ai risultati dei parametri ottenuti dal Fourth Frontier X si è costruito un database utile all'analisi delle performance e della salute cardiaca e respiratoria di ciascun atleta. Inoltre, si sono osservate le esistenze di correlazioni tra i parametri ottenendo per la frequenza respiratoria la correlazione nulla, mentre per la frequenza cardiaca una correlazione negativa in relazione con gli anni di allenamento confermando che un atleta più allenato tende ad avere una frequenza cardiaca minore e un recupero migliore dall'affanno.

I risultati ottenuti costituiscono una base utile per approfondimenti futuri, sia per ottimizzare il monitoraggio della salute degli atleti, sia per studiare ulteriormente la relazione tra parametri fisiologici e prestazioni sportive, con l'obiettivo di garantire una maggiore sicurezza negli sport, soprattutto grazie ai sensori indossabili.

Quindi, lo studio, fornirà una panoramica del sistema cardiovascolare, analizzando l'anatomia del cuore, il ciclo cardiaco e il sistema di conduzione elettrica. Verranno fornite inoltre informazioni fondamentali sull'elettrocardiogramma, con lo scopo di spiegare l'interpretazione dell'attività elettrica del cuore e i parametri utili per identificare eventuali patologie cardiache. Infine, verrà sottolineata l'importanza del monitoraggio tramite sensori indossabili negli atleti per avere una comprensione migliore dell'obiettivo in cui si concentra il lavoro.

Indice

Introduzione	I
1. Sistema cardiovascolare	1
1.1. Anatomia del cuore	2
1.2. Ciclo cardiaco	3
1.2.1. Relazione tra elettrocardiogramma e ciclo cardiaco	4
1.3. Sistema di conduzione.....	5
1.3.1. Potenziale d'azione cardiaco e le fasi.....	6
2. Elettrocardiografo	9
2.1. Acquisizione dell'elettrocardiogramma	10
2.1.1. Derivazioni fondamentali	10
2.1.2. Derivazioni aumentate	12
2.1.3. Derivazioni precordiali	13
2.2. Elettrocardiogramma.....	14
2.2.1. Interpretazione dell'elettrocardiogramma	16
2.2.2. Parametri dell'elettrocardiogramma e patologie	16
3. Pugilato	18
3.1. Monitoraggio cardiovascolare dell'atleta.....	20
3.2. Monitoraggio tramite dispositivi indossabili.....	22
3.2.1. Dispositivi monitoraggio salute.....	22
3.2.2. Dispositivi terapeutici.....	26
3.2.3. Dispositivi per attività fisica	26
4. Costruzione del database	28
4.1. Protocollo di acquisizione.....	29
4.1.1. Rilevazioni a riposo.....	30
4.1.2. Rilevazione dopo il riscaldamento.....	30
4.1.3. Rilevazione finale	31
4.2. Analisi dei parametri.....	32

4.2.1. Correlazione di Pearson	35
4.3. Analisi delle acquisizioni dell'elettrocardiogramma.....	36
4.4. Risultati.....	36
4.4.1. Risultati dei parametri.....	37
4.4.2. Risultati correlazione di Pearson	44
4.4.3. Risultati dell'elettrocardiogramma	51
Conclusioni	II
Bibliografia	IV

Introduzione

Il monitoraggio cardiovascolare tramite sensori è una tecnologia avanzata che permette di tenere sotto controllo vari parametri del cuore e del sistema cardiovascolare in modo continuo e non invasivo.

Considerando il sensore Fourth Frontier X, si potrà eseguire un monitoraggio continuo durante le sessioni di allenamento. Inoltre, questo dispositivo consentirà di registrare il tracciato elettrocardiografico e di ricavare i parametri fisiologici come la frequenza cardiaca, la variazione del battito cardiaco e la frequenza respiratoria.

Per questa tesi è stato selezionato lo sport del pugilato in quanto è uno sport molto intenso e nel quale il rischio di affaticamento e sforzi estremi può mettere sotto pressione il sistema cardiaco dell'atleta. Grazie a questo sport è possibile osservare i parametri ricavati dal sensore in funzioni di diverse intensità, in quanto ogni allenamento è caratterizzato da diverse fasi con sforzi crescenti.

L'obiettivo di questa tesi sarà quello di acquisire due sessioni di allenamento, ognuna comprendente di tre rilevazioni con sforzi differenti, di quattro pugili agonisti. Si cercherà di analizzare i segnali elettrocardiografici e si tenterà di mettere in evidenza, tramite la creazione dei database con i parametri ricavati e diagrammi, le informazioni fisiologiche e fisiche rilevanti dei singoli atleti per comprendere meglio il comportamento del sistema cardiovascolare ed eventuali problematiche e anomalie.

Questa tesi, quindi, tenterà di fornire conoscenze utili riguardo il sistema cardiovascolare, l'elettrocardiogramma e l'importanza del monitoraggio dell'atleta tramite sensori per la comprensione dell'obiettivo del progetto.

1. Sistema cardiovascolare

L'apparato cardiovascolare (Figura 1) è suddiviso in due grandi settori che sono circolo sistemico e polmonare, inoltre è costituito dal cuore, l'organo propulsore centrale, e da numerosi canali ramificati, i vasi sanguigni. I vasi sanguigni includono le arterie e le vene, alle prime spetta il compito di portare il sangue lontano dal cuore, nella periferia. Al contrario, le vene, si occupano del ritorno sanguigno dalla periferia del corpo al cuore. Il cuore, invece, funziona come una pompa ed è internamente suddiviso in quattro camere: atrio destro, atrio sinistro, ventricolo destro e un ventricolo sinistro.

L'atrio destro riceve dalle vene sistemiche, vene cave superiore e inferiore, il sangue venoso proveniente dai vari tessuti. Il sangue venoso è ricco di anidride carbonica (CO_2) ma povero di Ossigeno (O_2) e lo si lascia passare nel ventricolo, questo passaggio è mediato dall'ostio della valvola tricuspide. La funzione del ventricolo destro consiste nell'immettere il sangue venoso nell'arteria polmonare. Quest'ultima lo distribuisce in vasi più piccoli formando il circolo polmonare, il quale termina con le vene polmonari che riportano il sangue al cuore, nell'atrio sinistro. Il sangue che fluisce nell'atrio sinistro da venoso diventa arterioso poiché assume ossigeno (O_2) dagli alveoli polmonari rilasciando l'anidride carbonica (CO_2).

Successivamente il sangue passa al ventricolo sinistro, da cui parte il circolo sistemico. Quest'ultimo, composto da vasi più piccoli, pompa il sangue nell'aorta irrorando tutti gli organi e distretti corporei. Nel passaggio attraverso i capillari del circolo sistemico, il sangue ritorna venoso perché cede parte dell'ossigeno (O_2) ai tessuti e si carica di anidride carbonica (CO_2) prodotta dal loro metabolismo [1].

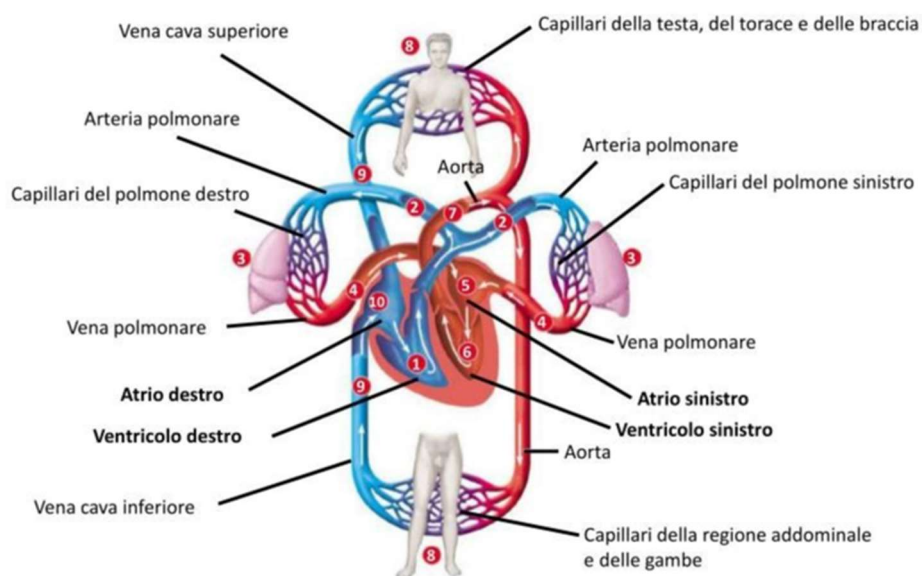


Figura 1: Sistema cardiovascolare.

1.1. Anatomia del cuore

Il cuore è l'organo fondamentale dell'apparato cardiovascolare, in quanto senza di esso non si potrebbe avere la circolazione del sangue e quindi l'azione di pompaggio. È un organo muscolare la cui dimensione approssimativa è paragonabile al pugno dell'individuo, di forma conica, cavo e impari. Il cuore è posizionato al centro della cavità toracica, in un'area denominata mediastino, fra i due polmoni.

La sua parete è composta da tre strati principali:

- Endocardio: è il sottile strato epiteliale che riveste internamente le cavità cardiache e forma le valvole del cuore
- Miocardio: è lo strato muscolare che costituisce la parte principale della struttura ed è rinforzato da uno strato connettivo fibroso.
- Epicardio: è una sottile membrana sierosa che ricopre esternamente il cuore e contribuisce a formare il pericardio insieme alla membrana che lo collega allo sterno e al diaframma.

Anatomicamente il cuore è circondato da una doppia membrana definita pericardio, internamente a questa sacca protettiva scorre il liquido pericardico. Questa struttura permette di ridurre gli urti e gli attriti che possono derivare dal battito costante del cuore. Internamente questo organo ed è diviso in due sezioni, destra e sinistra, separate da un setto. Ognuna delle sezioni è composta da due cavità, la superiore atrio, e una inferiore ventricolo (Figura 2).

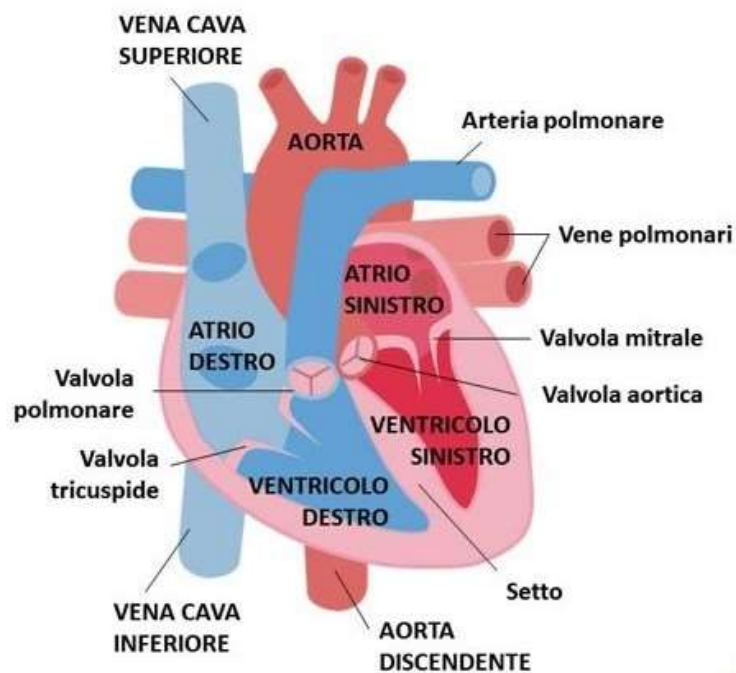


Figura 2: Struttura del cuore.

La cavità dell'atrio destro comunica con quella del ventricolo destro mediante un orifizio atrioventricolare munito di una valvola tricuspide che assicura la chiusura dell'orifizio durante la contrazione del ventricolo, impedendo il reflusso del sangue nell'atrio superiore. In modo analogo, si connettono la cavità dell'atrio sinistro con quella del ventricolo sinistro attraverso un orifizio atrioventricolare mediato da una valvola mitrale o bicuspidi [2].

Altre valvole cardiache che assicurano l'unidirezionalità del flusso sono le valvole semilunari (aortica e polmonare), nominate così per la forma dei lembi valvolari che ricorda la luna crescente, poste tra i ventricoli e le arterie [3].

1.2. Ciclo cardiaco

Per ciclo cardiaco (Figura 3) si intende tutti quegli eventi cardiaci compresi tra l'inizio di un battito cardiaco e l'inizio del successivo battito.

Il ciclo cardiaco si compone di due fasi alternate: una fase di rilassamento chiamata diastole, nel corso del quale il cuore si colma di sangue; e una successiva fase di contrazione chiamata sistole che favorisce la fuoriuscita del sangue dal cuore e la diffusione dello stesso in tutto l'organismo.

Inizialmente il cuore è in condizione di rilassamento (diastole), tutte le valvole atrioventricolari (AV) sono aperte e il sangue passerà "per caduta" dalle vene, all'atrio destro e infine al ventricolo destro. Non si ha nessuna contrazione ma abbiamo solamente il riempimento dei ventricoli in modo passivo (Fase di riempimento dei ventricoli). A questa fase segue la sistole atriale che farà aumentare ancora di poco il riempimento dei ventricoli, aumentando volume e pressione sanguigna. Successivamente si ha la sistole ventricolare che consiste nella contrazione ventricolare nel corso della quale la pressione sale rapidamente provocando la chiusura delle valvole AV.

In questa fase del processo i ventricoli non hanno ancora raggiunto i livelli di pressione sufficienti per aprire le valvole semilunari, le quali resteranno chiuse fino a quando la pressione ventricolare non sarà superiore a quella dell'aorta.

Con l'apertura delle valvole aortiche inizia la fase di eiezione; quindi, inizia l'espulsione del sangue dai ventricoli.

Inizialmente si ha un'eiezione rapida e man mano che il sangue fluisce diventa sempre più lenta provocando un abbassamento della pressione del sangue interna ai ventricoli.

Quando la pressione diventerà minore di quella aortica le valvole si chiuderanno.

Infine, si avrà la diastole isovolumetrica, dove la pressione ventricolare diminuisce rapidamente, ma il volume rimane invariato, costante, perché le valvole AV sono ancora chiuse. Quando la pressione del ventricolo sarà così bassa da essere minore di quella dell'atrio, allora le valvole AV si riaprono e ricomincia il riempimento passivo [4] [5].

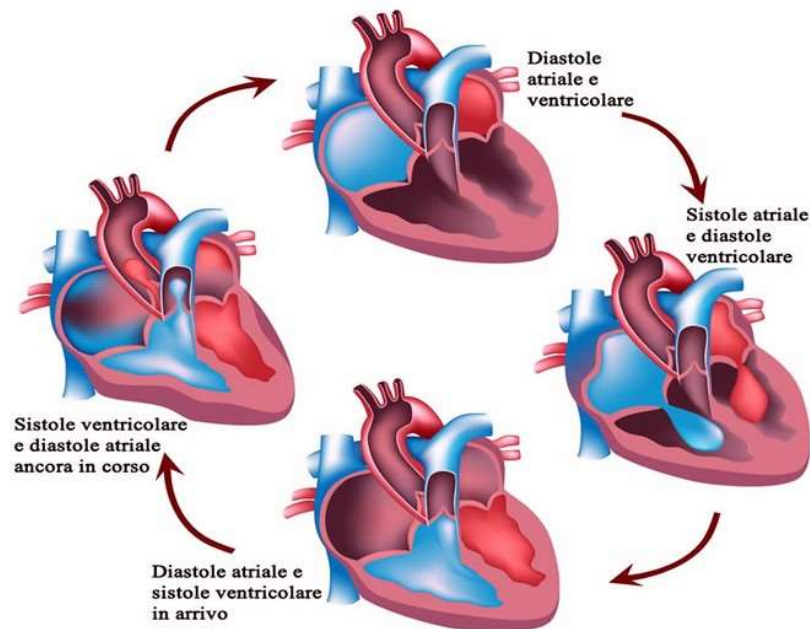


Figura 3: Il ciclo cardiaco.

1.2.1. Relazione tra elettrocardiogramma e ciclo cardiaco

L'Elettrocardiogramma (ECG) (Figura 4) mostra le onde P, Q, R, S e T, le quali andrò a spiegare nel dettaglio nel capitolo relativo l'ECG.

Le diverse onde dell'ECG riflettono la depolarizzazione e ripolarizzazione degli atri e dei ventricoli. Si hanno tre diverse onde:

- **Onda P:** corrisponde alla depolarizzazione degli atri.
- **Complesso QRS:** Trio di onde che deriva dalla propagazione della depolarizzazione elettrica nei ventricoli, responsabile della salita della pressione come si può notare in figura.
- **Onda T:** Onda finale, rappresenta la ripolarizzazione dei ventricoli che corrisponde alla fase di rilassamento ventricolare.

La ripolarizzazione atriale non è rappresentata da nessuna onda, ma è incorporata dal complesso QRS [3] [4].

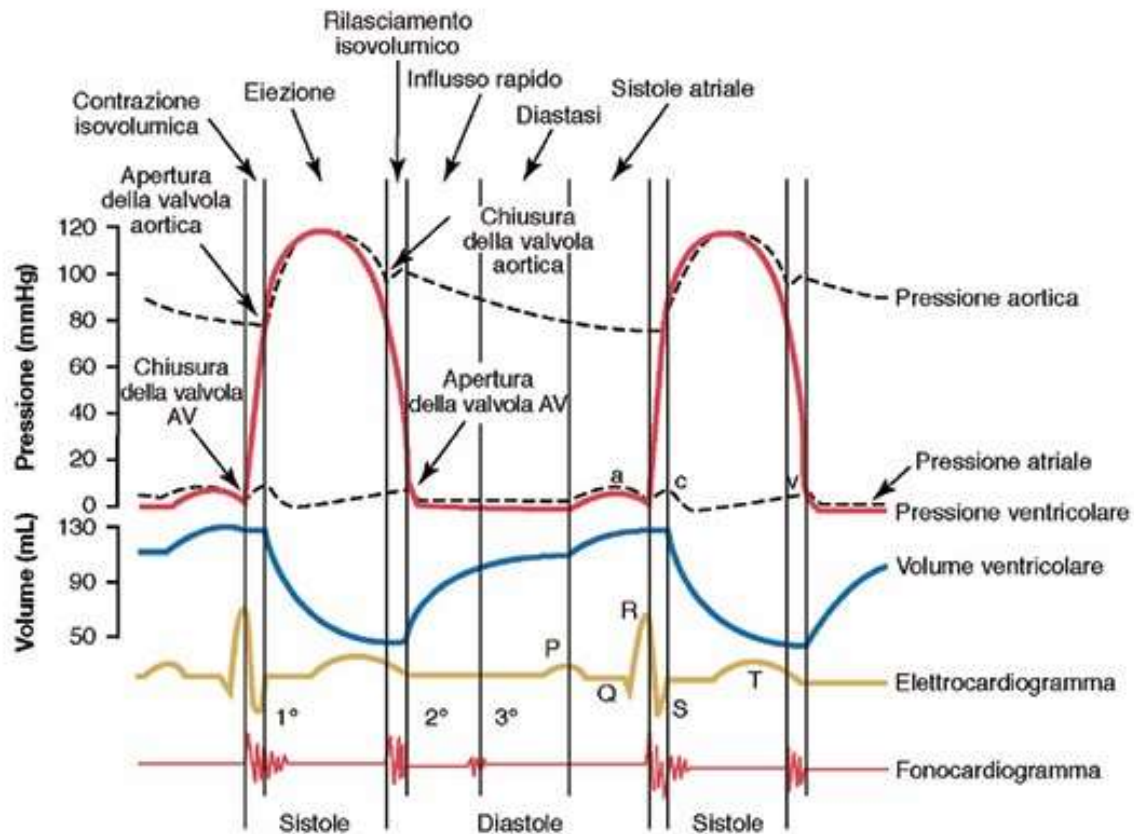


Figura 4: Eventi ciclo cardiaco in funzione del ventricolo sinistro, focus nell'ECG [4].

1.3. Sistema di conduzione

Il sistema di generazione e propagazione dell'impulso elettrico nel cuore è costituito da quattro componenti principali (Figura 5) [6]:

- Nodo senoatriale (SA), le cellule presenti svolgono la funzione di pacemaker e stabiliscono il ritmo di conduzione cardiaca
- Tessuto di conduzione atriale, rende la propagazione dell'impulso al miocardio in modo più semplice conducendolo successivamente al nodo atrioventricolare.
- Nodo atrioventricolare (AV), composto da una propagazione lenta dell'impulso che raggiungerà il ventricolo dopo un ritardo.

- Fascio di His, composto dalle cellule di Purkinje, si divide in due branche principali (destra e sinistra). Le fibre del Purkinje, ramificazioni terminali del fascio di His, si estendono completamente nella superficie endocardica dei ventricoli, permettendo una veloce e coordinata contrazione ventricolare.

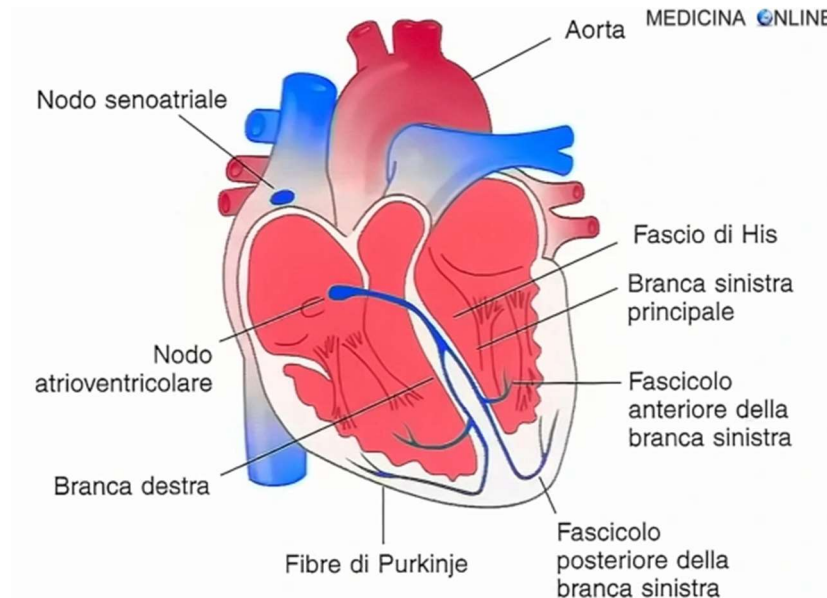


Figura 5: Sistema di conduzione del cuore.

1.3.1. Potenziale d'azione cardiaco e le fasi

L'impulso elettrico cardiaco è un fenomeno elettrico che si verifica nelle cellule del cuore, note come cardiomiociti. Questo processo elettrofisiologico è importante poiché determina la contrazione e il rilassamento coordinato del muscolo cardiaco, essenziale per il pompaggio efficace del sangue. Il potenziale di azione cardiaco, inoltre, si basa su variazioni nella permeabilità delle membrane cellulari agli ioni, principalmente sodio (Na^+), potassio (K^+) e calcio (Ca^{2+}).

Per descrivere il potenziale d'azione cardiaco si osservano cinque fasi (Figura 6): la fase di depolarizzazione rapida, la fase di ripolarizzazione iniziale, la fase di plateau, la fase di ripolarizzazione rapida e la fase di potenziale di membrana a riposo.

Durante la "fase 4", ovvero il **potenziale di membrana a riposo**, le cellule contrattili miocardiche tornano al loro stato di riposo con un potenziale di circa $V_m = -90\text{mV}$, pronte per un nuovo ciclo.

Inoltre, la pompa sodio-potassio permette di mantenere l'equilibrio dinamico a spese del metabolismo cellulare, cioè che le concentrazioni ioniche interno ed esterne siano uguali, indipendentemente dalle correnti di equilibrio passivo.

Per calcolare il potenziale di membrana V_m occorre un'equazione che tenga conto di tutte le specie ioniche implicate e dal diverso peso che i vari ioni hanno. Tale peso è espresso dal coefficiente di permeabilità "P" e il calcolo del potenziale della membrana in condizioni di riposo è approssimabile con l'equazione di Goldman (1):

$$V_m = \frac{RT}{F} * \ln \left(\frac{P_K * [K^+]_{out} + P_{Na} * [Na^+]_{out} + P_{Cl} * [Cl^-]_{in}}{P_K * [K^+]_{in} + P_{Na} * [Na^+]_{in} + P_{Cl} * [Cl^-]_{out}} \right) \quad (1)$$

dove "F" rappresenta la costante di Faraday, "R" la costante dei gas perfetti, "T" la temperatura espressa in kelvin e P_K , P_{Na} , P_{Cl} sono le permeabilità relative del potassio, sodio e cloro.

Inoltre, è possibile calcolare il potenziale di equilibrio dello ione, ovvero, il potenziale di membrana prodotto se la membrana è permeabile a un solo ione tramite l'equazione di Nernst (2):

$$V_{ione} = - \frac{RT}{zF} * \ln \left(\frac{[ione]_{in}}{[ione]_{out}} \right) \quad (2)$$

dove a differenza della precedente equazione si indica con la "z" il numero di cariche ioniche della molecola.

Nella "fase 0", la **depolarizzazione rapida**, il potenziale di membrana diventerà sempre più positivo quando un'onda di depolarizzazione si diffonde in una cellula contrattile. Questo avviene perché i canali voltaggio-dipendenti del sodio (Na^+) si aprono, permettendo al Na^+ di entrare nella cellula, causando rapida depolarizzazione. Prima che questi canali si chiudano, il potenziale di membrana raggiungerà circa +20mV. [3]

La fase di **ripolarizzazione iniziale**, "fase 1", è determinata dalla concomitanza dell'inattivazione dei canali Na^+ con un'attivazione transitoria di una corrente di potassio K^+ . Quindi, appena i canali del Na^+ si chiudono, comincia la ripolarizzazione della cellula e il potassio (K^+) uscirà attraverso i canali aperti K^+ [6].

Dopo la breve ripolarizzazione il potenziale d'azione raggiunge un **plateau**, "fase 2", caratterizzato dalla diminuzione della permeabilità K^+ e aumento della permeabilità Ca^{2+} .

Durante le fasi 0 e 1 i canali del calcio (Ca^{2+}) si sono aperti permettendo l'ingresso di ioni Ca^{2+} nella cellula e, contemporaneamente, alcuni canali del K^+ si sono chiusi riducendo l'uscita di ioni dalla cellula. La concomitanza dell'ingresso di Ca^{2+} e la ridotta uscita di K^+ fa sì che il potenziale d'azione raggiunga un plateau.

La **ripolarizzazione rapida**, "fase 3", consiste nella chiusura dei canali del Ca^{2+} e il plateau termina mentre la permeabilità del K^+ aumenta nuovamente. I canali del K^+ si aprono e il potassio continua ad uscire riportando la cellula al suo potenziale di riposo.

Una volta che il potenziale d'azione si è attivato, un secondo potenziale non può essere innescato per circa 200 ms. Questo ritardo è denominato come periodo refrattario assoluto, ovvero quel lasso di tempo dove i canali Na^+ sono inattivabili e le cellule cardiache non possono essere depolarizzate. Quindi a causa del periodo refrattario assoluto, un secondo potenziale d'azione non può essere innescato fino alla conclusione del precedente. Di seguito a questo periodo si ha il periodo refrattario relativo, dove alcuni dei canali Na^+ sono chiusi ma di nuovo attivabili e, inoltre, i canali per il K^+ sono ancora aperti contribuendo alla ripolarizzazione della membrana [3].

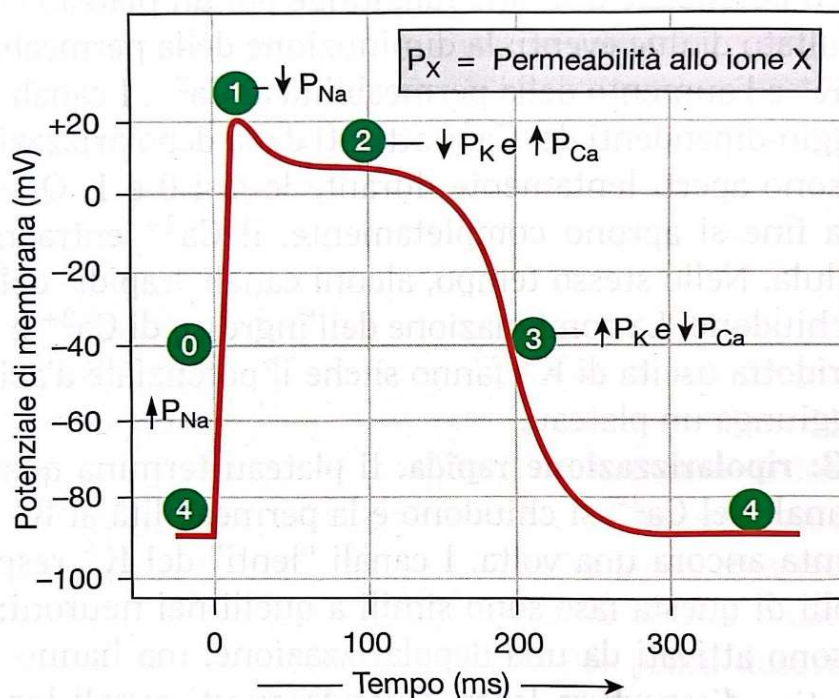


Figura 6: Potenziale d'azione di una cellula cardiaca contrattile [3].

2. Elettrocardiografo

Prima di descrivere l'elettrocardiogramma (ECG) è necessario definire lo strumento medico per l'esecuzione dell'esame diagnostico che consiste nella registrazione dell'attività elettrica del cuore e la restituzione del suo andamento mediante l'elaborazione di un tracciato visibile su uno schermo [7].

L'elettrocardiografo è un dispositivo costituito dai seguenti componenti (Figura 7) [8]:

- Cavo Paziente, insieme di conduttori che inviano il segnale disponibile sugli elettrodi all'ingresso dell'amplificatore.
- Resistore selettore degli ingressi, costituito in ingresso da quattro connettori, tre fondamentali con i quali si possono ottenere anche le aumentate e una derivazione precordiale. In uscita, invece, si hanno due terminali per calcolare la differenza di potenziale.
- Preamplificatore e filtri, consentono di prelevare il segnale dal cavo paziente e, tramite la funzione di filtraggio di scartare le componenti rumorose come interferenze esterne artefatti da movimento causati dal paziente, le quali si sovrappongono al segnale di interesse.
- Amplificatore di potenza, ovvero un amplificatore che permette di convertire una tensione in corrente. Inoltre, l'amplificatore di potenza ha il compito di pilotare il galvanometro registratore.
- Galvanometro registratore a penna calda, dotato di un'estremità riscaldata da una corrente continua, che traccia su una carta cerosa la differenza di potenziale calcolata.
- Sistema di trascinamento della carta, dotato di un motore anch'esso alimentato da una corrente continua che permette di mantenere una velocità di scorrimento della carta millimetrata su dei rulli a 25 mm/s o 50 mm/s.
- Convertitore analogico/digitale, presente solo se è posto in uscita dal preamplificatore e il segnale in uscita può essere trasdotto in bit e poi stampato su carta o visualizzato a schermo.
- Alimentatore, sia a batterie che con la tensione di linea tramite alimentatore switching (UE: 220 V, 50 Hz).



Figura 7: Componenti elettrocardiografo.

2.1. Acquisizione dell'elettrocardiogramma

Apponendo sulla superficie toracica appositi elettrodi su due linee del campo a potenziale diverso, si può rilevare una differenza di potenziale. Quest'ultima varia come varia nel tempo la depolarizzazione e ripolarizzazione del tessuto cardiaco e la sua registrazione in funzione del tempo prende il nome di elettrocardiogramma (ECG).

L'ECG si avvale di diverse derivazioni per ottenere una visione completa dell'attività cardiaca. Si hanno le derivazioni fondamentali e aumentate, ovvero le derivazioni degli arti, le quali esplorano l'attività elettrica sul piano frontale usando elettrodi posti su braccia e gambe, e le derivazioni precordiali, o derivazioni toraciche, sul piano orizzontale posizionando un elettrodo a ventosa su sei punti diversi del torace [9].

2.1.1. Derivazioni fondamentali

Per il rilevamento dei potenziali cardiaci e per misurare una derivazione sono necessari almeno due elettrodi cutanei applicati sulla superficie del corpo e posti in luoghi non equipotenziali, mentre con tre elettrodi si possono misurare tutte e tre le derivazioni fondamentali.

Il problema è quello di determinare i siti in cui applicare gli elettrodi e il fisiologo Willem Einthoven pose gli elettrodi ai vertici di un triangolo equilatero, chiamato “Triangolo di Einthoven”, nominando i tre vertici (Figura 8): RA (braccio destro), LA (braccio sinistro) e LL (gamba sinistra).

Come osservabile dall’immagine sottostante ciascuna derivazione degli arti consiste in una coppia di elettrodi , uno positivo e l’altro negativo, per cui le derivazioni sono definite bipolari e le possiamo distinguere come (3)(4)(5):

$$I=LA-RA \quad (3)$$

$$II=LL-RA \quad (4)$$

$$III=LL-RA \quad (5)$$

Nella realtà gli elettrodi vengono posti effettivamente sul polso della mano destra per RA, su quello della mano sinistra per LA e sulla caviglia sinistra per LL. Fu scelta la gamba sinistra anziché la gamba destra, in quanto all’epoca si pensava che, essendo il cuore è situato nella parte sinistra si potessero avere maggiori vantaggi dal punto di vista di resistenza elettrica. In realtà tale scelta non influenzerebbe nulla [10] [11].

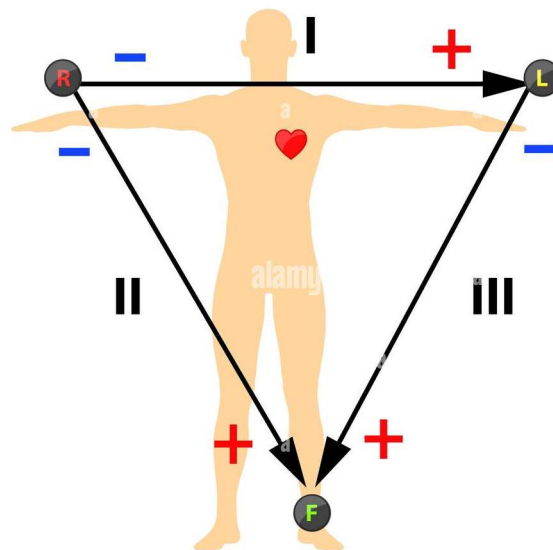


Figura 8: Triangolo di Einthoven con derivazioni fondamentali.

2.1.2. Derivazioni aumentate

Un altro metodo per ottenere un ECG è con l'utilizzo delle tre derivazioni unipolari, poiché con un solo elettrodo si ottiene una derivazione, dove, il potenziale viene ricavato da un sito anatomico rispetto ad uno di riferimento. Poiché si utilizzano gli elettrodi nella disposizione di Einthoven, la rappresentazione sarà quindi sempre nel piano frontale.

Il dottor Emanuel Goldberg, colui che ideò le derivazioni degli arti aumentate, individuò che per acquisire una derivazione era necessario aumentare il voltaggio dell'elettrocardiografo cosicché si sarebbe ottenuto un tracciato della stessa ampiezza delle derivazioni precedenti (I, II, III). Tali derivazioni verranno indicate da Goldberg rispettivamente come "aV_R", "aV_L", "aV_F", Augmented Voltage of Right, Left e Foot, quelle per le quali viene rilevato il potenziale del braccio destro, braccio sinistro e del piede sinistro (Figura 9).

Le derivazioni aumentate possono essere dedotte direttamente dalle derivazioni fondamentali con le seguenti relazioni (6) (7) (8):

$$aV_R = -(I+II)/2 \quad (6)$$

$$aV_L = (I-III)/2 \quad (7)$$

$$aV_F = (II+III)/2 \quad (8)$$

Relazioni biunivoche che legano le aumentate a quelle fondamentali, e viceversa [10].

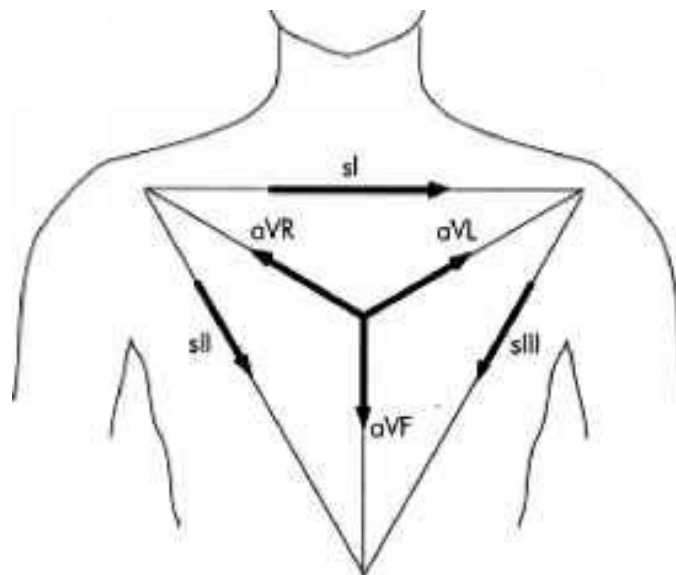


Figura 9: Triangolo di Einthoven con derivazioni aumentate.

2.1.3. Derivazioni precordiali

L'ECG viene registrato con un elettrodo posizionato sulla superficie anteriore del torace, direttamente sopra il cuore in uno dei punti osservabili nella figura sottostante (Figura 10).

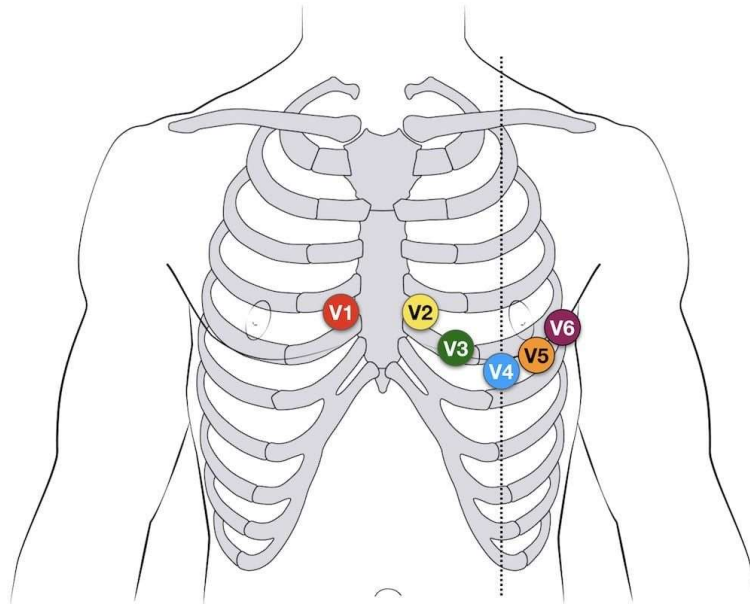


Figura 10: Derivazioni precordiali.

Questo elettrodo è collegato al terminale positivo dell'elettrocardiografo, mentre il terminale negativo è collegato all'elettrodo indifferente costituito dal terminale centrale di Wilson.

Quest'ultimo è formato connettendo ogni elettrodo costituente le derivazioni fondamentali (RA, LA, LL) tramite una resistenza di identico valore, circa 5 k Ω , ad un punto comune che è il terminale centrale.

Disponendo quindi del terminale di Wilson con un elettrodo esplorante si vanno a valutare le differenze di potenziale nei sei determinati siti, uno alla volta, posizionando l'elettrodo sul torace in modo sequenziale nei sei punti dell'immagine.

Le diverse registrazioni, note come derivazioni precordiali V₁, V₂, V₃, V₄, V₅ e V₆, hanno le seguenti posizioni anatomiche:

- V₁: Quarto spazio intercostale a destra del margine sternale.
- V₂: Quarto spazio intercostale a sinistra del margine sternale.
- V₃: A metà tra V₂ e V₄.
- V₄: Quinto spazio intercostale.
- V₅: Linea ascellare anteriore allineata con V₄ e V₆.
- V₆: Allineato esternamente con V₄ e V₅.

Le derivazioni V_1 e V_2 specificano la conduzione degli atri e non dei ventricoli, inoltre, siccome l'elettrodo toracico è situato più vicino alla base del cuore che all'apice, i complessi QRS del cuore normale sono principalmente negativi.

Invece, le derivazioni V_4 , V_5 e V_6 , essendo vicine alla parte apicale del cuore, quindi ai ventricoli, registreranno segnali positivi nella fase di depolarizzazione ventricolare, mentre sono cieche per le onde P [4] [10].

2.2. Elettrocardiogramma

L'ECG è composto principalmente da due componenti: onde e segmenti. Le prime sono deflessioni sopra o sotto la linea base e le diverse onde riflettono la depolarizzazione o ripolarizzazione degli atri e dei ventricoli. I secondi, invece, sono tratti della linea base compresi fra due onde e la loro combinazione ci darà gli intervalli [3].

L'ECG normale è composto da un'onda P, un complesso QRS e un'onda T (Figura 11). Il complesso QRS solitamente è definito da tre onde separate Q, R ed S.

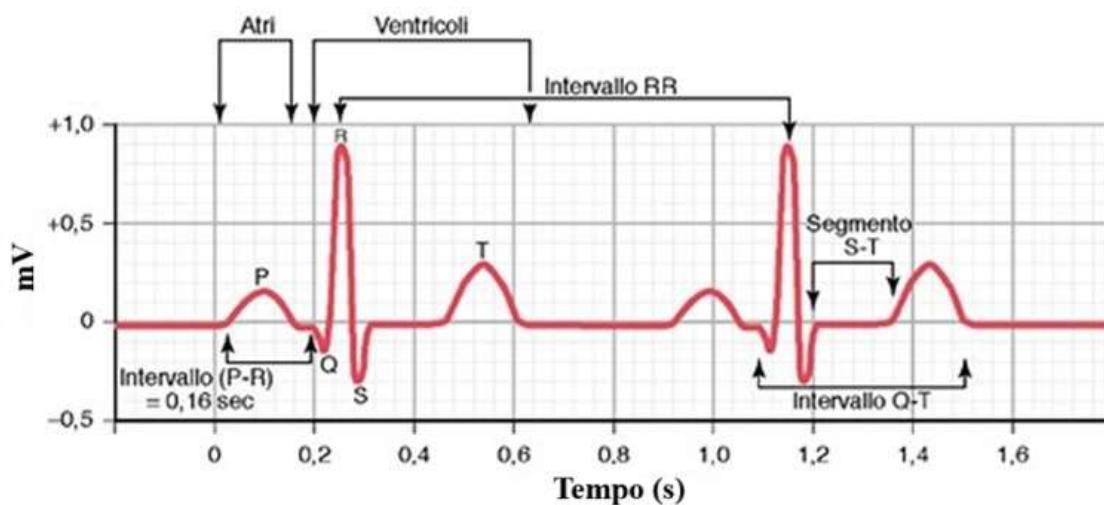


Figura 11: Onde, segmenti e intervalli dell'elettrocardiogramma normale [4].

Le caratteristiche dell'ECG sono le sottoelencate [10][12]:

- **Onda P:** Dovuta all'impulso elettrico avviato dal nodo senoatriale, quindi rappresenta l'attività elettrica legata alla depolarizzazione e contrazione di entrambi gli atri. È un'onda monofasica, arrotondata e di piccole dimensioni con una durata all'incirca di 110 ms.

- Intervallo PR: Continua la contrazione atriale e i segnali elettrici sono rallentati dal passaggio attraverso il nodo atrioventricolare. L'intervallo è il tempo posto tra la depolarizzazione atriale e l'inizio della depolarizzazione ventricolare, con una durata circa di 160 ms.
- Complesso QRS: Si presenta dopo 100ms dall'onda P per consentire il riempimento dei ventricoli. Rappresenta l'impulso elettrico dal nodo atrioventricolare alle fibre del Purkinje che permettono la trasmissione dell'impulso alle cellule miocardiche nella zona apicale, provocando simultaneamente la depolarizzazione ventricolare.
L'onda Q comincia sempre all'inizio del complesso e costituisce la prima deflessione verso il basso (negativa) con una durata di circa 50ms ed è seguita da un'onda R. Quest'ultima si origina quando lo stimolo raggiunge la zona apicale ed è la prima deflessione positiva. Successivamente si ha un'altra onda negativa, l'onda S, generata nel momento in cui l'impulso raggiunge la parete dei ventricoli.
Nel complesso QRS è anche presente la ripolarizzazione degli atri, ma non risulta visibile poiché viene mascherata dalla depolarizzazione ventricolare e normalmente la durata dell'intervallo del complesso varia da 70ms a 100ms.
- Intervallo QT: Rappresenta la durata della sistole ventricolare, depolarizzazione e ripolarizzazione ventricolare, ed è misurato dall'inizio del complesso QRS alla fine dell'onda T.
Il normale range negli adulti è di circa 350-450ms ed è calcolabile dalla seguente formula (9):

$$QTc = \frac{QT}{\sqrt{RR}} \quad (9)$$
 Dove "QTc" è l'intervallo corretto di QT ed "RR" è il tempo compreso tra due complessi QRS.
- Segmento ST: Rappresenta il completamento della depolarizzazione miocardica ventricolare. È un segmento orizzontale piatto lungo la linea base e se così non fosse, ovvero se il segmento fosse sopra o sotto la linea base, sarebbe un segno di una seria patologia.
- Onda T: Indica la ripolarizzazione dei ventricoli, così che possano essere nuovamente stimolati.

- Intervallo RR: Rappresenta la distanza tra due onde R successive, picchi principali del complesso QRS. Misurare il seguente intervallo è utile per il calcolo della frequenza cardiaca (10) e valutare il ritmo cardiaco.

$$FC = \frac{60}{RR} \quad [\text{bpm}] \quad (10)$$

2.2.1. Interpretazione dell'elettrocardiogramma

Per quanto l'ECG sia facile da ottenere, l'interpretare alcuni dettagli può essere più complicato. Per semplificare l'interpretazione dell'ECG dobbiamo iniziare valutando la frequenza cardiaca. La frequenza cardiaca viene misurata, come accennato precedentemente, conoscendo la distanza tra le due onde R o a partire dall'inizio dell'onda P fino all'inizio della successiva. La frequenza normale di un soggetto a riposo varia da 60-100 battiti al minuto (bpm), ma spesso gli atleti hanno frequenze cardiache più basse, condizione nota come bradicardia.

Verificato ciò si passa al determinare se il ritmo del battito cardiaco sia regolare o irregolare, cioè se i battiti si verificano nei giusti intervalli o no. Possiamo riconoscere un ritmo irregolare, o aritmia, da un'extrasistole a condizioni più serie come fibrillazione atriale dove non si verifica più la propagazione del nodo senoatriale agli atri.

Dopo aver verificato frequenza e ritmo cardiaco si osserva se sono presenti tutte le caratteristiche sopraelencate, poiché ognuna ci dà informazioni specifiche.

Infine, bisogna assicurarsi che esista per ciascuna onda P un complesso QRS e se così fosse verificare che la lunghezza del segmento PR sia costante. Questo perché, se non fosse costante si creerebbero problemi di conduzione dei segnali attraverso il nodo atrioventricolare, quindi potrebbero comparire una o più onde P senza che sia presente il relativo complesso QRS, blocco cardiaco [3].

2.2.2. Parametri dell'elettrocardiogramma e patologie

Nell'osservazione dell'ECG bisogna fare particolare attenzione ai parametri sopraelencati, poiché cambiamenti minimi potrebbero portare ad alterazioni e patologie.

Le anomalie o disturbi della conduzione elettrochimica cardiaca vengono classificati con il nome di "blocco atrioventricolare" e se ne conoscono tre principali tipologie:

1. Blocco di primo grado: Valutato nell'ECG come un aumento dell'intervallo PR, gli atri sono contratti, ma il nodo AV attende troppo tempo per far dilatare i ventricoli.
2. Blocco di secondo grado: Nel tracciato ECG si ha la presenza dell'onda P, ma non è seguita dal complesso QRS. Nell'intervallo in cui si è in mancanza del complesso QRS, gli atri vengono riempiti più volte dilatandosi molto, quindi bisogna agire al più presto.
3. Blocco di terzo grado: Come il secondo grado ma più aggravato. Possono essere presenti complessi QRS non preceduti da onde P, cioè gli atri e i ventricoli si contraggono indipendentemente l'uno dall'altro [11].

Riguardo il segmento ST, come detto precedentemente, se il segmento orizzontale è sopra alla linea base sta a significare problemi come ad esempio l'ischemia o infarto, aneurisma ventricolare sinistro, embolia polmonare e pericardite. Mentre, se si ha la depressione del segmento ST, può derivare da variazioni reciproche da infarto del miocardio acuto e ischemia. È particolarmente importante il monitoraggio di questo segmento per la diagnosi precoce di ischemia e di aritmie gravi.

Altro fattore da considerare è la dispersione dell'intervallo QT. Una dispersione maggiore di 100ms, QT lungo, suggerisce l'esistenza del miocardio elettricamente eterogeneo a causa di ischemia o fibrosi, provocando un aumento di aritmie e morte improvvisa. Quindi l'intervallo QT è un indice che potrebbe prevedere la morte, ma non è spesso analizzato in quanto sono presenti frequentemente degli errori di misurazione.

Infine, è importante anche il controllo della frequenza cardiaca. Questo perché la sua variabilità esprime il rapporto tra gli stimoli simpatici e parasimpatici diretti al cuore e una ridotta variabilità potrebbe provocare un ridotto stimolo vagale e un aumento dello stimolo simpatico. Questa conseguenza predice un rischio aumentato di aritmie e mortalità [12].

3. Pugilato

Lo scopo di questo elaborato consiste nell'acquisizione cardiovascolare, osservando il monitoraggio dell'elettrocardiogramma e frequenza cardiaca durante la pratica del pugilato utilizzando sensori indossabili.

Prima di approfondire questo aspetto è essenziale comprendere che cosa sia la boxe e come questa disciplina funzioni.

Il pugilato è uno degli sport da combattimento più antichi che prevede l'incontro tra due atleti dentro il campo da combattimento denominato "ring". I pugili cercano di colpirsi con dei pugni, il tutto sotto osservazione dell'arbitro, anch'esso all'interno del ring. Le dimensioni di quest'ultimo sono di 5 m per lato e all'intero delle corde 4 m per lato.

Questo sport può essere praticato sia da atleti agonisti, ovvero dilettanti e professionisti, che non agonisti, come gli amatori. In entrambi i casi, sia per l'allenamento che per gli incontri, gli atleti si devono munire di bendaggi e guantoni per le mani, paracenti e, obbligatorio, l'uso del caschetto quando si fanno incontri o sparring (Figura 12).

Durante il combattimento è fondamentale il ruolo dell'arbitro, il quale ha il compito di interrompere l'incontro per dare degli avvertimenti ai pugili in seguito a delle eventuali scorrettezze da parte di uno dei due e iniziare il conteggio. Il conteggio servirà a dare pausa al pugile in difficoltà quando è a terra, fuori dalle corde, appoggiato o aggrappato a quest'ultime. Se il pugile in difficoltà viene atterrato e non riesce a riprendersi entro il conteggio (10 conteggi), l'arbitro interrompe l'incontro emettendo di seguito il verdetto di KO senza interpellare i giudici a bordo ring.

Il verdetto stabilito dai giudici si basa sul conteggio dei punti per ogni ripresa e, ovviamente, assegnando la vittoria a chi ne ha di più. I punti sono stabiliti sulla base di colpi regolari, correttezza e tecnica offensiva e difensiva.

Colpi e azioni considerati scorretti sono ad esempio quando si colpisce l'avversario con il dorso della mano o con il palmo, colpi dietro la testa, colpi con la testa, spalla o avambraccio. Oltre ai colpi proibiti esistono dei falli riconducibili a condotte irregolari come il trattenere e colpire l'avversario, simulazione, spingere l'avversario o gravargli sopra.

Nel pugilato si hanno tre tecniche di attacco che si possono eseguire con la mano posteriore o anteriore:

- Diretto, anche chiamato con il termine in inglese “Jab”, si intende il diretto sinistro il cui scopo principale è quello di disturbare l’avversario.
- Gancio, colpo che si basa sulla potenza fornita dalla rotazione dell’anca e poi scaricata su spalla e braccio.
- Montate, colpo dal basso verso l’alto che viene usato principalmente per allontanare o allontanarsi dall’avversario.

Il pugile ha a disposizione diversi modi per difendersi che variano anche in base alla guardia, se destra o mancina:

- Abbassamento, consiste nell’abbassarsi sulle ginocchia senza distogliere lo sguardo dall’avversario.
- Deviazione, si utilizza la mano per deviare un colpo lateralmente.
- Piegamenti, dalla posizione di guardia si fa un piegamento sulle ginocchia con un movimento ad “U”
- Parata, si utilizza un pugno per ostacolare quello dell’avversario eseguito nello stesso lato.
- Schivata, movimento verso il pugno, ma uscendo poi lateralmente. Si può osservare nella foto sottostante (Figura 12) [13].



Figura 12: Attacco e schivata durante un incontro pugilistico.

3.1. Monitoraggio cardiovascolare dell'atleta

La pratica di questo sport, come in molti altri, prevede sia a livello amatoriale che agonistico il monitoraggio cardiaco per verificare e valutare la condizione dell'atleta durante lo svolgimento dell'attività fisica con il fine di autorizzare o meno la pratica dello sport in questione.

Gli atleti sono sottoposti annualmente a dei controlli per l'idoneità sportiva, chiamato "certificato medico sportivo". Quest'ultimo viene rilasciato a seguito di una visita medica dove lo specialista deve visitare personalmente lo sportivo facendo tutti gli accertamenti clinici e di diagnostica strumentale necessari [14].

La visita prevede [15] [16] :

- Raccolta anamnestica, il medico raccoglie informazioni riguardanti la storia clinica, stato di salute e lo stile di vita del paziente.
- Spirografia (Figura 13), che misura la funzionalità respiratoria del paziente valutando la velocità e quantità d'aria che può inspirare ed espirare.



Figura 13: Spirometro per la spirometria.

- Test delle urine.
- Misurazione della pressione arteriosa.
- ECG a riposo.
- IRI test (Indice di Recupero Immediato) che include anche l'ECG sotto sforzo. Permette di valutare la salute cardiovascolare dell'atleta e le sue capacità di recupero in seguito ad uno sforzo fisico.

L'elettrocardiogramma da sforzo consiste nella registrazione di un ECG durante lo svolgimento dell'attività, prevalentemente cyclette, tapisulan e salita e discesa di scalini (Figura 14).

Lo scopo è quello di osservare l'aumento della frequenza cardiaca del soggetto e di valutare la presenza di eventuali disturbi della conduzione a frequenze elevate. Si confronterà sempre il comportamento a riposo, quello durante la prova da sforzo e al termine.



Figura 14: ECG da sforzo (tapisulan).

Nel caso di un riscontro di patologie, l'atleta può essere sottoposto ad una registrazione prolungata dell'ECG, Holter (Figura 15). Quest'ultimo consiste in un monitoraggio continuo della durata minima di 24h durante il quale vengono registrati tutti i parametri in tutte le derivazioni.

Il tracciato viene registrato su un'apposita cassetta magnetica di un registratore o su memorie elettroniche e successivamente letto ed elaborato dal computer [11].

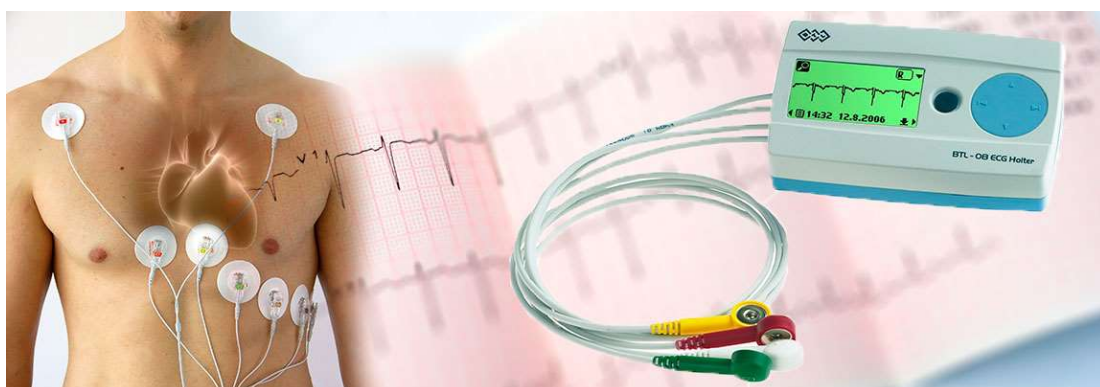


Figura 15: ECG secondo Holter e derivazioni.

3.2. Monitoraggio tramite dispositivi indossabili

Negli ultimi anni si è avuto un incremento dello sviluppo dei sistemi indossabili intelligenti, dispositivi “wearable”, ovvero quei dispositivi che posti attorno al nostro corpo sono in grado di offrire un controllo dell’attività fisica e monitoraggio biomedico. Il risultato di ciò è una tecnologia sanitaria avanzata e minimamente invasiva, che consente un monitoraggio costante di parametri vitali come la temperatura corporea, il battito cardiaco e la saturazione di ossigeno nel sangue, rendendo questi dati accessibili anche al personale medico.

I dispositivi per il monitoraggio sanitario consentono di riconoscere le eventuali anomalie ed emergenze del paziente in modo tale da agire tempestivamente sul sintomo rilevato impedendo l’aggravamento della condizione medica del soggetto. Quindi tramite questa tecnologia si avrà un primo approccio all’assistenza sanitaria.

Oggi questi dispositivi, tramite l’utilizzo di nuovi polimeri flessibili e malleabili, insieme alla riduzione delle dimensioni dei sensori e dei circuiti elettronici, stanno diventando più confortevoli e possono essere classificati in tre categorie principali:

- Dispositivi smart per il monitoraggio della salute.
- Dispositivi terapeutici.
- Dispositivi per il rilevamento di attività fisica [17][18].

3.2.1. Dispositivi monitoraggio salute

Per il monitoraggio della salute si considerano i cerotti “smart” (Figura 16) e un monitor ECG mobile.

Il primo consiste in sottili adesivi composti da piccoli componenti elettronici che include sensori e attuatori integrati, dotati di elaborazione adeguata, accumulo di energia e capacità di comunicazione. Questi componenti raccoglieranno i parametri vitali del paziente in esame e successivamente li trasferiranno tramite delle precise app per medici.

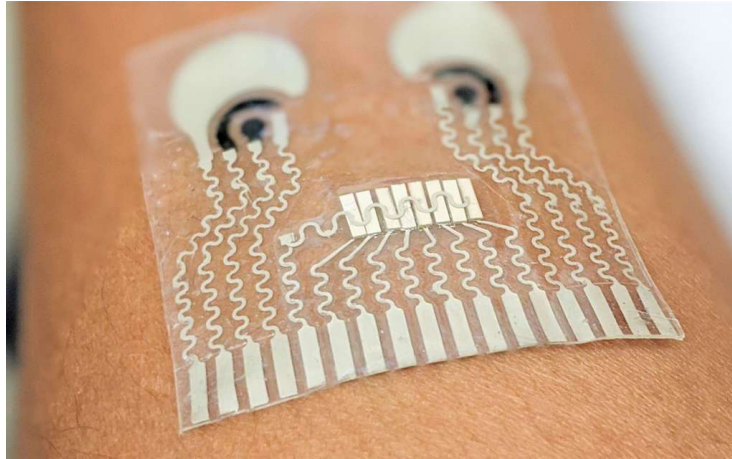


Figura 16: Cerotto smart che monitora la salute del paziente.

Il secondo invece è un dispositivo che registra l'elettrocardiogramma tramite elettrodi wireless che possono essere posizionati al torace o al dito del paziente. In seguito all'acquisizione i dati ECG verranno inviati al medico per essere valutati [18].

Un esempio per la registrazione ECG tramite elettrodi sul torace potrebbe essere quello di utilizzare la smart band Fourth Frontier X (Figura 17), dispositivo utilizzato anche per il monitoraggio dell'attività fisica.



Figura 17: ECG mobile con elettrodi sul torace (Fourth Frontier X).

Il **Fourth Frontier X**, a differenza di un altro dispositivo indossabile come gli orologi ECG, che permettono l'acquisizione dell'elettrocardiogramma solo quando si è fermi per circa 30 secondi, offre un monitoraggio continuo della frequenza cardiaca, della variazione del battito cardiaco, della

frequenza respiratoria, dello sforzo cardiaco e l'ECG in tempo reale fornendo informazioni sulla salute del cuore (Figura 18).

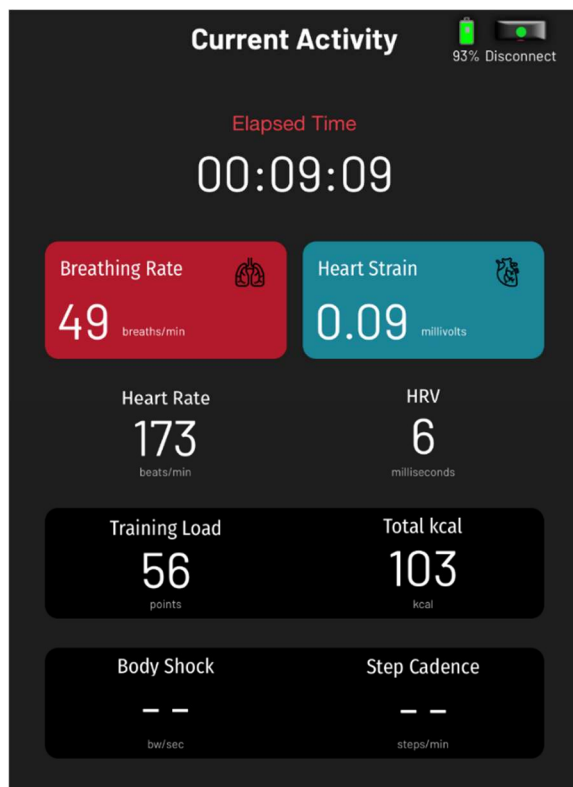


Figura 18: Esempio monitoraggi dall'applicazione mobile del Fourth Frontier X.

Per effettuare l'acquisizione si deve inizialmente accendere il dispositivo tramite un pulsante, accedere alla schermata iniziale dell'applicazione "Frontier X" e connetterlo. Successivamente si applica poca acqua sulla pelle e sugli elettrodi lucidi della smart band, così da garantire una buona qualità del segnale durante l'attività fisica. A questo punto si può fare indossare la fascia al paziente in esame assicurandosi che il pulsante del dispositivo sia rivolto verso il basso e che il dispositivo sia posizionato proprio al centro del petto (Figura 17).

Prima di iniziare l'allenamento, bisogna verificare la qualità del segnale trasmettendo l'ECG in diretta sull'applicazione mobile e una volta verificata la qualità del segnale si avvia la registrazione.

L'acquisizione registrata potrà essere visualizzata tramite l'applicazione di riferimento dove sarà possibile osservare l'ECG correlato alla frequenza cardiaca e all'intensità (celeste corrisponde alla minore intensità, rosso alla maggiore intensità) dello sforzo registrata (Figura 19). Inoltre, la registrazione sarà condivisibile in modo sicuro con chiunque tramite una versione in PDF (Portable Document Format) di più semplice lettura [19].

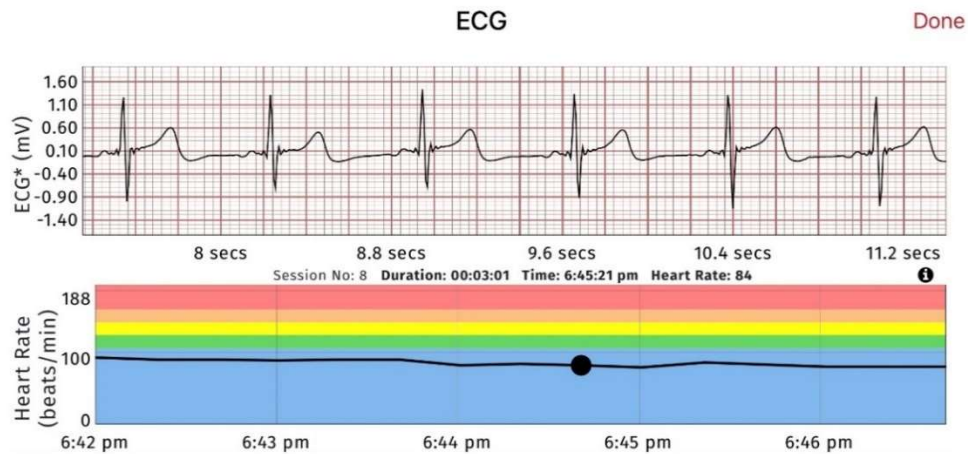


Figura 19: Esempio ECG correlato alla frequenza cardiaca e intensità.

Uno strumento alternativo che consente la registrazione ECG tramite elettrodi posizionati nelle dita può essere il **KardiaMobile 6L** (Figura 20). Esso contiene due elettrodi sulla superficie superiore, così da porre la mano sinistra su un lato e la mano destra sull'altro, inoltre sulla parte inferiore del dispositivo si ha un altro elettrodo da porre sulla pelle nuda della gamba sinistra.

Il KardiaMobile 6L è in grado di registrare due tipi di ECG:

- ECG a derivazione singola: Utilizzo due elettrodi superiori per registrare il ritmo cardiaco e fornire una visione unica dell'attività elettrica cardiaca, paragonabile alla derivazione I.
- ECG a sei derivazioni: Uso tutti e tre gli elettrodi per fornire informazioni sul ritmo cardiaco da sei diversi punti di vista, paragonabile alle derivazioni I, II, III, aV_F, aV_L e aV_R.

Al completamento della registrazione ECG viene fornita “un’analisi istantanea” che indicherà il ritmo sinusale normale, la fibrillazione atriale, la tachicardia e la bradicardia. I risultati verranno poi forniti all'apposita app “Kardia” poi trasmesso tramite bluetooth in modalità wireless allo smartphone [20].



Figura 20: ECG mobile con elettrodi sulle dita (KardiaMobile 6L).

3.2.2. Dispositivi terapeutici

I dispositivi terapeutici si suddividono in due tipologie differenti in base alla loro funzione: i dispositivi che si occupano della gestione del dolore e la riabilitazione e i dispositivi per la terapia respiratoria.

Un esempio di dispositivo terapeutico sono i guanti intelligenti (Figura 21), usati da coloro che hanno perso il controllo delle mani, spesso in seguito ad un ictus, così da recuperare l'uso attraverso dei movimenti ripetuti di braccia e mani.

Il dispositivo è dotato di sensori che identificano e leggono i movimenti riabilitativi svolti durante una riabilitazione. In seguito, i dati vengono inviati tramite la relativa applicazione ad un terapeuta professionista che sarà in grado di fare una diagnosi e un eventuale cambio di terapia [18].



Figura 21: Guanto per riabilitazione da ictus [18].

3.2.3. Dispositivi per attività fisica

Questi dispositivi sono nati inizialmente non per l'uso medico, ma con il passare degli anni e grazie allo sviluppo della tecnologia offrono funzioni per monitorare parametri vitali in tempo reale.

Tra questi dispositivi possiamo trovare smartwatch, orologi "intelligenti" e smart band, come il Fourth Frontier X spiegato precedentemente.

Gli smartwatch permettono di aiutare il soggetto nella prevenzione e autogestione da malattie cardiovascolari misurando il battito cardiaco ed acquisizione ECG (Figura 22). Successivamente, i

dati raccolti verranno sincronizzati con un'applicazione e inviati ad un professionista per ulteriori analisi.



Figura 22: Registrazione ECG con smartwatch.

Infine, gli smartwatch, come i fitness-tracker, possono monitorare il movimento di un utente, fornendo i chilometri percorsi, il numero dei passi e calorie bruciate e inoltre parametri come la frequenza cardiaca, la pressione sanguigna e il livello di ossigeno.

Quindi, questi dispositivi forniscono un monitoraggio costante e non invasivo di dati fondamentali, contribuendo alla diagnosi e al controllo delle malattie. Risulta perciò necessario garantire la precisione dei dati assicurando così che queste tecnologie siano sicure ed efficienti nel favorire la salute del soggetto [18][19].

4. Costruzione del database

Lo scopo di questo capitolo è quello di spiegare la metodologia per l'acquisizione dell'ECG tramite il sensore Fourth Frontier X (Figura 23) e successivamente analizzare e confrontare i risultati dei parametri ottenuti.



Figura 23: Smart band e sensore Fourth Frontier X

Come è stato illustrato nel precedente capitolo lo sport preso in esame è il pugilato. Attraverso l'utilizzo del sensore nei pugili nel corso dell'allenamento è stato possibile monitorare tre fasi di attivazione negli atleti caratterizzate ognuna da un'intensità di volta in volta crescente che raggiunge il suo picco nella rilevazione finale.

L'obiettivo finale dell'elaborato prevede la costruzione del database contenente tutti i parametri per ogni atleta nelle diverse sessioni di allenamento e successivamente l'analisi e la discussione di ciò che si è ottenuto.

Oltre i parametri saranno presenti anche le relative registrazioni dell'elettrocardiogramma, ma, in quanto il sensore fornisce solo un'attività di rilevazione e non di denominazione dello stato dell'ECG le registrazioni non potranno essere analizzate, ma per far ciò bisognerebbe chiedere la diagnosi di un cardiologo esperto.

L'analisi e il confronto di ciascun'acquisizione favorisce così l'individuazione di eventuali anomalie e se necessario attuare un intervento preventivo, tramite dei medici specializzati, nei confronti di specifiche patologie cardiovascolari e respiratorie.

Infine, le acquisizioni possono aiutare il monitoraggio personale dell'atleta per far sì che di volta in volta migliori nella sua singolare prestanza fisica.

4.1. Protocollo di acquisizione

Per effettuare le seguenti registrazioni è stato sviluppato un protocollo di acquisizione da attuare agli atleti agonisti i cui dati sono riportati nella tabella sottostante (Tabella 1):

Soggetti	Sesso	Età (anni)	Peso	Altezza	Anni di pugilato	Allenamenti a settimana
1	M	22	75 kg	177 cm	5	5
2	M	24	68 kg	172 cm	8	4
3	M	19	60 kg	168 cm	6	4
4	M	17	65 kg	180 cm	11	4

Tabella 1: Dati degli atleti in esame.

Per ottenere i seguenti dati sono stati assegnati ad ognuno dei soggetti i moduli da compilare riguardanti i dati anagrafici e l'informativa per il trattamento di dati personali per la finalità di ricerca scientifica e statistica.

Dai seguenti moduli si è potuto affermare che tutti gli atleti analizzati sono sani e in ottima condizione fisica, in quanto tutti sono intenti a competere in competizioni regionali o nazionali. Quindi sono tutti in assenza di patologie e malattie cardiache, inoltre, nessuno dei soggetti nel corso dell'analisi ha assunto farmaci.

Successivamente sono iniziate le acquisizioni facendo fare ad ogni soggetto la misurazione a riposo, la misurazione dopo il riscaldamento e la misurazione finale in una fase attiva agonistica, il tutto svolto per due allenamenti ciascuno.

Le acquisizioni effettuate tramite il sensore Fourth Frontier, utilizzate prevalentemente per un utilizzo sportivo, non rispettano lo schema delle derivazioni utilizzate nelle configurazioni mediche di uso comune.

Tuttavia, nel corso delle analisi il sensore è stato posto al centro del petto, ciò ha permesso di misurare un tracciato simile alla derivazione precordiale V1 o V2 (Figura 10), ovvero derivazioni poste nella zona anteriore del torace che rilevano l'attività elettrica del cuore.

4.1.1. Rilevazioni a riposo

Prima di iniziare l'acquisizione dell'ECG e dei parametri come la frequenza cardiaca, la frequenza respiratoria e HRV, ciascun atleta è stato fatto sedere in una posizione stabile e successivamente tramite l'applicazione del sensore si è avviata la registrazione.

Al soggetto, per tutta la durata dell'acquisizione di cinque minuti (Figura 24), si è chiesto di rilassarsi senza effettuare movimenti in modo tale da ridurre i possibili rumori da artefatti da movimento, ovvero quei rumori che si verificano quando il movimento del soggetto interferisce nella registrazione dei dati da parte di un sensore, generando dei segnali di difficile interpretazione.

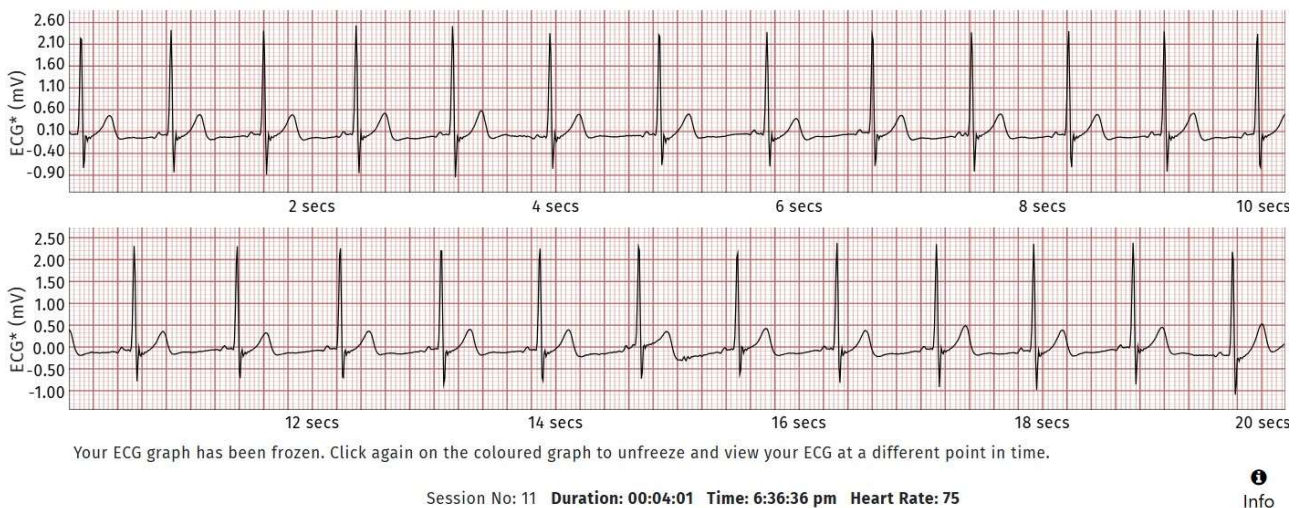


Figura 24: Esempio di 20 s per la rilevazione a riposo relativa ad una frequenza cardiaca di 75bpm, acquisizione estratta dall'applicazione Frontier X (Soggetto 3).

4.1.2. Rilevazione dopo il riscaldamento

Per la seguente rilevazione si è aspettato il completamento del riscaldamento del pugile. Il riscaldamento consisteva nella prima parte una serie di esercizi propedeutici per rinforzare ed evitare infortuni a caviglie, polsi e spalle.

Successivamente sono stati eseguiti degli esercizi per aumentare la mobilità del bacino, in quanto è il movimento fondamentale per lanciare colpi e schivare, dopodiché si è passati al riscaldamento delle braccia e mani attraverso la “Shadow boxing”, una simulazione di combattimento.

Nella seconda parte, l'atleta, per l'attivazione delle gambe, ha effettuato una corsa per una durata di dieci minuti. L'intensità della corsa aumentava costantemente ad ogni fischio dell'allenatore.

La registrazione dell'ECG è avvenuta come nella fase di riposo, è stato fatto sedere l'atleta e successivamente è stata avviata l'acquisizione per una durata di due minuti (Figura 25).

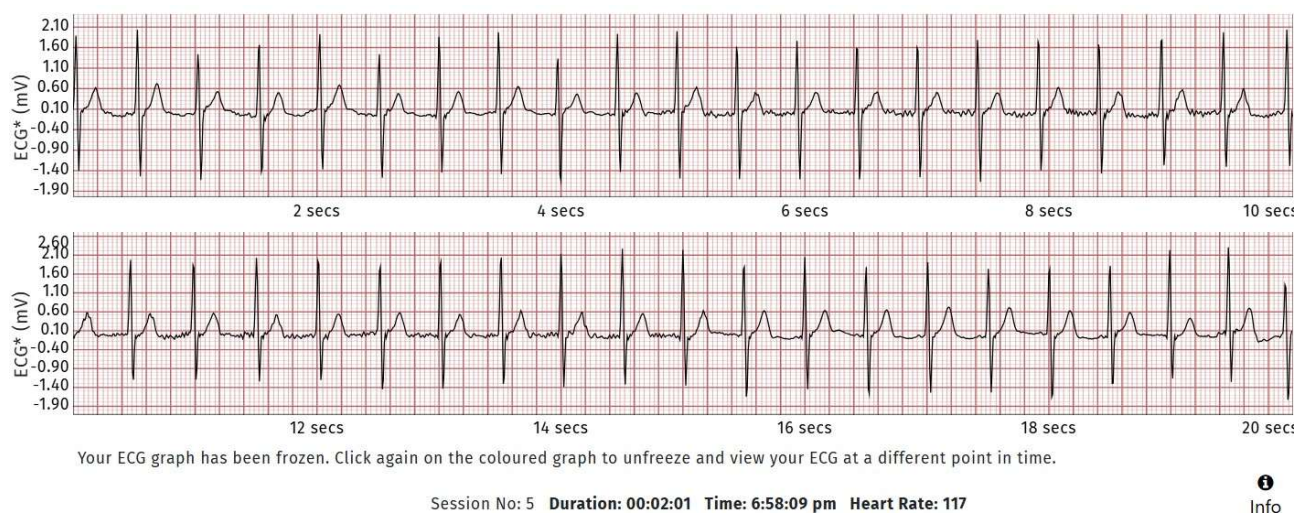


Figura 25: Esempio di 20 s per la rilevazione dopo riscaldamento relativa ad una frequenza cardiaca di 117 bpm, acquisizione estratta dall'applicazione Frontier X (Soggetto 3).

4.1.3. Rilevazione finale

L'ultima registrazione è stata fatta nel corso dell'allenamento, durante una fase attiva agonistica dove sono state simulate delle situazioni di combattimento.

L'acquisizione è stata fatta durante delle sessioni al sacco e sessioni con il compagno alternando fasi di attacco e di difesa. Le riprese al sacco o con il compagno hanno una durata ciascuna di tre minuti e quindi tra una sessione e l'altra si ha un periodo di riposo di un minuto. La fase di riposo è funzionale in quanto permette di simulare le riprese di un combattimento vero e proprio.

Il segnale è stato registrato per una durata circa di 10-15 minuti, includendo così diverse riprese intervallate dalla fase di recupero (Figura 26).

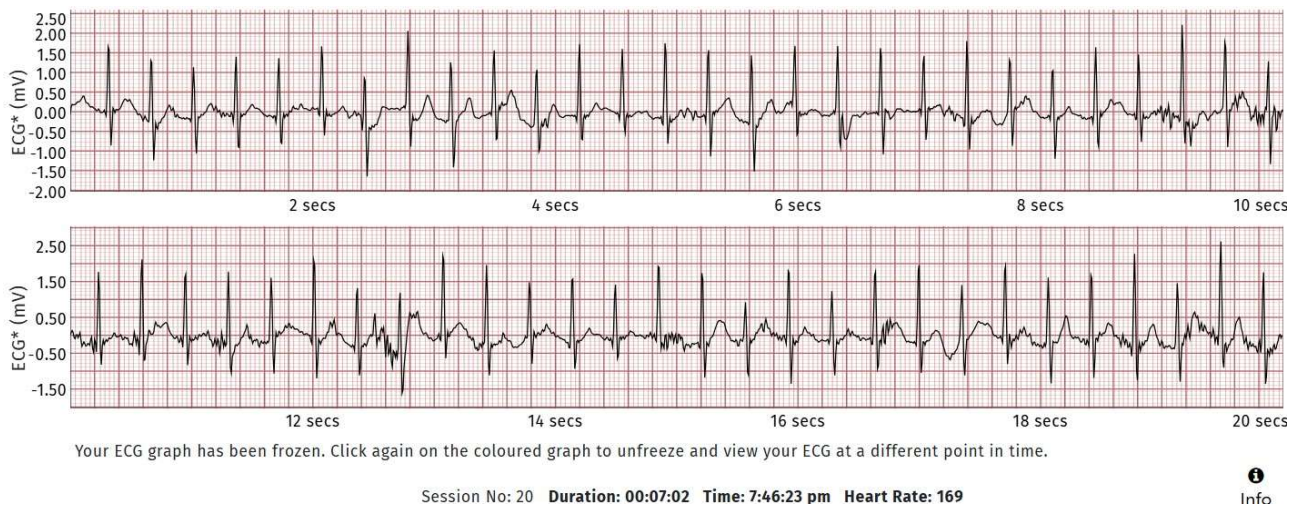


Figura 26: Esempio di 20 s per la rilevazione finale relativa ad una frequenza cardiaca di 196bpm, acquisizione estratta dall'applicazione Frontier X (Soggetto 3).

4.2. Analisi dei parametri

L'applicazione, come detto precedentemente, restituisce dei parametri oltre l'ECG e saranno organizzati in quattro tabelle. Ogni tabella sarà relativa ad entrambe le sessioni di allenamento per ogni soggetto e verrà fornita la media, i valori massimi, i valori minimi e il range (11). Quest'ultimo viene calcolato in quanto l'applicazione fornisce il valore massimo e minimo dei parametri.

$$\text{Range} = \text{Valore massimo} - \text{Valore minimo} \quad (11)$$

I parametri inseriti in tutte le tabelle sono:

- Frequenza cardiaca (F_c), il numero di battiti del cuore al minuto e si misura in bpm (battiti/min).
- Frequenza respiratoria (F_r), il numero di respiri compiuti da un soggetto nell'arco di un minuto (respiri/min).
- Variazione del battito cardiaco a riposo (HRV), sono microvariazioni influenzate dal sistema nervoso autonomo, osservabili tra due picchi R-R.

Tornando al calcolo del range, è ritenuto importante il risultato relativo alla frequenza cardiaca e alla frequenza respiratoria, il quale ci fornirà informazioni fisiologiche e fisiche rilevanti.

Considerando la frequenza cardiaca si potrà dedurre dai valori che un range ampio indicherà una buona capacità di adattamento del sistema cardiovascolare, in quanto si passerà da un valore tanto elevato ad un valore tanto minimo della frequenza cardiaca. Quindi durante l'allenamento la

frequenza cardiaca aumenterà e nella fase di recupero si potrà osservare la frequenza calare (Figura 29, Figura 31).

Invece, un range basso e limitato o una frequenza cardiaca crescente o con valori costantemente elevati, identificheranno un affaticamento e stress e quindi una condizione fisica poco prestante (Figura 33, Figura 34).

Utilizzando lo stesso processo di analisi sarà possibile individuare la frequenza respiratoria, la quale ci fornirà informazioni sulla capacità del sistema respiratorio di adattarsi in funzione alle necessità fisiologiche.

Un range più ampio e una rapida discesa permetteranno di evidenziare una buona capacità di recupero dell'atleta sottoposto ad uno sforzo fisico e questo potrà riflettere in una buona forma fisica. Inoltre, ci assicurerà che il corpo sarà in grado di regolare la respirazione in base al fabbisogno di ossigeno questo perché durante l'attività fisica la frequenza respiratoria aumenta con l'aumentare della frequenza cardiaca e di conseguenza verrà fornito più ossigeno ai muscoli e la rapida discesa della frequenza respiratoria starà ad indicare sia che l'atleta è in fase di recupero sia il recupero effettivo (Figura 35, Figura 36).

Mentre un range limitato o una frequenza di respirazione in costante aumento o che mantiene valori costantemente elevati, come per la frequenza cardiaca, potrà indicare che l'atleta è in una condizione di affaticamento e di stress (Figura 37, Figura 38).

Infine, si andrà ad osservare il valore restituito dell'HRV, ovvero la variabilità della frequenza cardiaca che rappresenta il controllo che il sistema nervoso ha sulle nostre funzioni fisiologiche. Il sistema nervoso è diviso in due branche, il sistema simpatico ("resta e riposa") e il parasimpatico ("lotta o fuggi"), e l'HRV rappresenta l'espressione di questi due sistemi, più in particolare il loro equilibrio (Figura 27) [23].

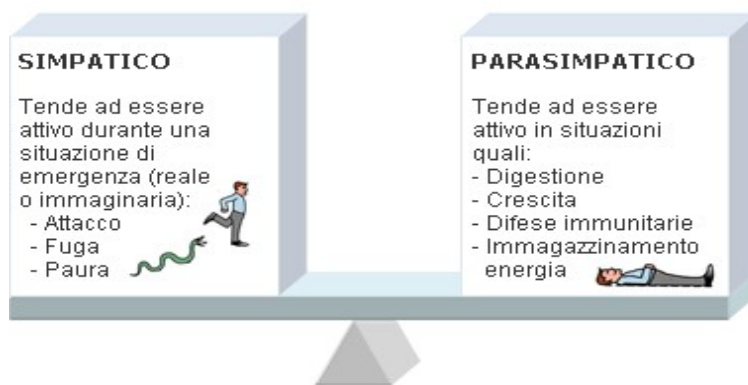


Figura 27: Equilibrio tra i due sistemi simpatico e parasimpatico [23].

Il monitoraggio dell'HRV sarà importante per valutare la condizione fisica degli atleti, il loro stato di stress e il recupero tra le sessioni di allenamento, ovvero se si è pronti ad affrontare un nuovo allenamento o c'è bisogno di più riposo, poiché è anche un indicatore del rischio di problemi cardiovascolari [21].

Un HRV a valori alti indicherà [23]:

- Grande variabilità tra i battiti che indica minore livello di stress e un'ottima forma generale
- Maggior recupero
- Maggiore regolarità delle funzioni fisiologiche

Mentre un HRV a valori bassi indicherà:

- Scarsa capacità di recupero dopo lo sforzo fisico, affaticamento
- Regolarità nei battiti, quindi indice di elevato stress
- Problematiche cardiovascolari

Secondo il Fourth Frontier la maggior parte degli individui ha valori compresi tra “0ms” (stress) e “100ms” o più (recupero) (Figura 28). Il miglior momento per valutare l'HRV è nella condizione di riposo prima dell'allenamento piuttosto che subito dopo l'attività fisica, questo perché durante l'allenamento è normale che il valore dell'HRV sia minimo [19][24].

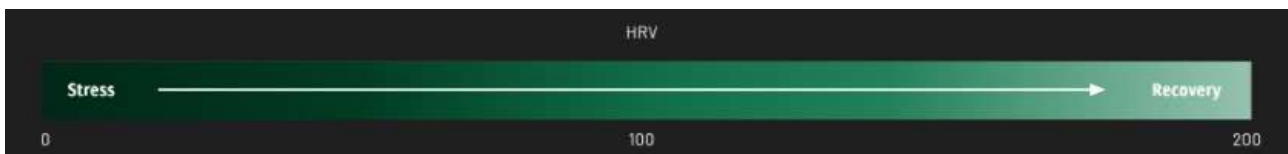


Figura 28: Range indicativo forniti dal Fourth Frontier X [19].

Dalla seguente figura possiamo definire che più i valori degli atleti osservati sono vicino allo “0ms” più si avranno problematiche cardiovascolari, affaticamento e stress. Mentre avvicinandosi ad un valore sempre più alto come, ad esempio, un HRV maggiore di “80ms” risulterà già che si avrà un ottimo equilibrio e una buona capacità di recupero efficace. Secondo il Fourth Frontier, un valore maggiore di 100ms è indice di atleti altamente allenati o di individui con una salute cardiovascolare eccellente (Figura 39, Figura 40, Figura 41, Figura 42).

4.2.1. Correlazione di Pearson

In aggiunta all'analisi dei parametri, verrà esaminata una possibile correlazione tra alcuni dei parametri precedentemente elencati con gli anni di allenamento e la correlazione di Pearson determinerà la forza e la direzione di una relazione andando a calcolare il coefficiente di correlazione "r" tramite l'apposita funzione Excel ("PEARSON").

L'indice "r" ottenuto sarà sempre compreso tra i valori "+1", che indicherà una forte relazione positiva dove all'aumentare di una variabile anche l'altra aumenterà in proporzione, e "-1", una forte relazione negativa. Infine, un valore in prossimità dello "0" indicherà la presenza di nessuna correlazione tra le due variabili, più l'indice sarà vicino allo zero, più la relazione è debole [25].

Ciò che si andrà ad analizzare sono inizialmente i valori della frequenza cardiaca e successivamente la frequenza respiratoria, entrambe in relazione con gli anni di allenamento.

Vengono analizzate queste relazioni in quanto ci si aspetta che un atleta che si allena da molti anni, rispetto ad uno che si allena da meno, abbia un sistema cardiovascolare e respiratorio più efficiente e che questo possa permettere un migliore recupero dopo l'esercizio fisico, con una frequenza cardiaca che torna rapidamente ai livelli basali, e una riduzione della frequenza cardiaca a riposo. Quest'ultima dovuta al fatto che il cuore, essendo più allenato, riesce a pompare più sangue per ogni battito, fenomeno della Bradicardia degli atleti. Secondo quanto detto ci si aspetterebbe una correlazione negativa tra gli anni di allenamento e la frequenza cardiaca.

Invece, una maggiore efficienza del sistema respiratorio porterebbe ad una migliore respirazione durante l'attività fisica la quale favorirebbe il controllo del respiro e permettere di evitare l'affanno, perciò quello che ci si aspetterebbe è anche qui una correlazione negativa.

Riguardo la frequenza respiratoria si andrà ad osservare il valore massimo, il valore minimo e il range della rilevazione finale di tutti gli atleti in esame, in quanto è la registrazione dei parametri nel corso dell'allenamento e quindi il momento in cui l'atleta ha la maggiore frequenza respiratoria e l'eventuale affanno.

Invece, per la frequenza cardiaca, si andrà ad osservare il valore massimo, il valore minimo e il range della rilevazione a riposo e il range della rilevazione dopo il riscaldamento di tutti gli atleti in esame.

Si osserverà la rilevazione a riposo in quanto un atleta più allenato, rispetto ad uno meno allenato, avrà un cuore più efficiente nel pompare sangue; perciò, l'organo riuscirà a pompare più sangue per ogni battito cardiaco e ciò porterà ad una riduzione della frequenza cardiaca a riposo.

Mentre si osserverà la rilevazione dopo il riscaldamento poiché tramite quei valori si riesce a monitorare l'eventuale recupero dall'affanno degli atleti e quindi una frequenza respiratoria minima che dovrebbe tornare ai livelli basali.

Secondo quanto è stato appena detto non viene studiato il valore massimo e il valore minimo della frequenza cardiaca perché ciò che interessa è una correlazione negativa tra il range e gli anni di allenamento, questo perché il range mi rappresenta l'efficienza del recupero e un range ampio implica una capacità di recupero più rapida e significativa e per far sì che l'efficienza del recupero sia migliore dovremmo ottenere con l'aumento degli anni un minore range.

4.3. Analisi delle acquisizioni dell'elettrocardiogramma

L'ECG fornisce una rappresentazione grafica dell'attività elettrica del cuore, consentendo di rilevare variazioni nel ritmo cardiaco, anomalie e alterazioni nella conduzione elettrica.

Come già accennato, è fondamentale sottolineare che il sensore Fourth Frontier X si limita a registrare i segnali senza fornire diagnosi o indicazioni sulle condizioni patologiche rilevate.

Per questo motivo è consigliabile far osservare e analizzare i pattern cardiaci che il sensore restituisce ad un cardiologo, così da evitare allarmismi dovuti a diagnosi errate e identificare e distinguere diverse condizioni cliniche dove possibile.

Inoltre, sarebbe opportuno approfondire i segnali ECG, in quanto il sensore non rispetta lo schema delle derivazioni utilizzate nelle configurazioni mediche di uso comune, ma è approssimabile alla derivazione precordiale V1 o V2 in quanto il Fourth Frontier X è posto al centro del petto.

Infine, ciò che si andrà ad osservare sarà solamente il segnale ECG in presenza di rumore dovuto ad un posizionamento errato degli elettrodi o artefatti da movimento, poiché è l'unica cosa che il sensore riscontra in funzione del segnale elettrocardiografico.

4.4. Risultati

In questo sottocapitolo vengono presentati i risultati principali emersi dall'analisi delle acquisizioni raccolte durante il tirocinio.

Il capitolo è suddiviso in tre sezioni principali: "Risultati dei parametri", "Risultati correlazione di Pearson" e "Risultati dell'elettrocardiogramma"

Nella prima sezione, verranno esaminati i parametri fisiologici rilevati, come la frequenza cardiaca, la frequenza respiratoria e la variabilità della frequenza cardiaca (HRV).

Nella seconda sezione si cercheranno correlazioni significative tra gli anni di allenamento e i parametri sopra citati.

Nella terza sezione, verrà invece discussa l'interpretazione del tracciato elettrocardiografico in presenza di artefatti da movimento o errori nel posizionamento dell'elettrodo.

4.4.1. Risultati dei parametri

Uno studio del 2017 [22] eseguito su atleti professionisti ha rilevato che dopo un minuto di riposo dalla conclusione dell'attività fisica la frequenza cardiaca scende in media di 23 battiti al minuto (bpm). Si può anche verificare un calo totale della frequenza cardiaca tra i 15 e i 25 bpm al minuto dal termine dell'esercizio [23]. Questo andamento si verifica negli atleti in salute che possiedono delle ottime qualità di recupero e probabilmente privi di problemi cardiaci e cardiovascolari

Di seguito riporto i valori di recupero (Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32) di 2 atleti su cui ho eseguito la registrazione tramite il sensore Fourth Frontier a testimonianza di quanto citato:

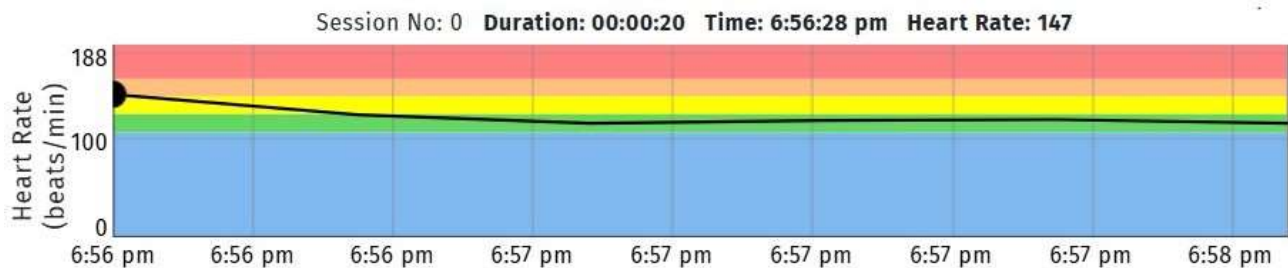


Figura 29: Rilevamento dopo riscaldamento del secondo allenamento del soggetto 3, 147 bpm alle ore 18:56:28.

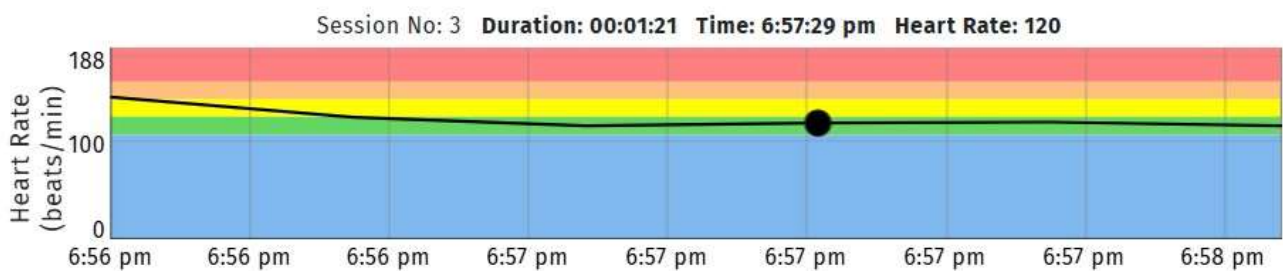


Figura 30: Rilevamento dopo riscaldamento del secondo allenamento del soggetto 3, 120 bpm alle ore 18:57:29. Calo di 27 bpm in 1 min.

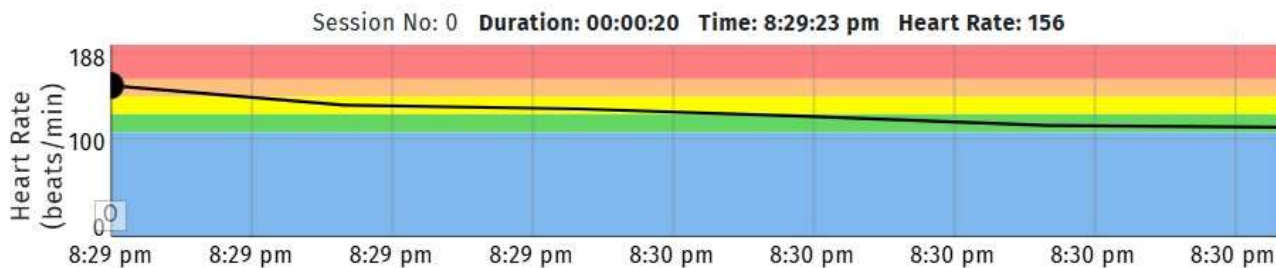


Figura 31: Rilevamento dopo riscaldamento del primo allenamento del soggetto 1, 156 bpm alle ore 20:29:23.

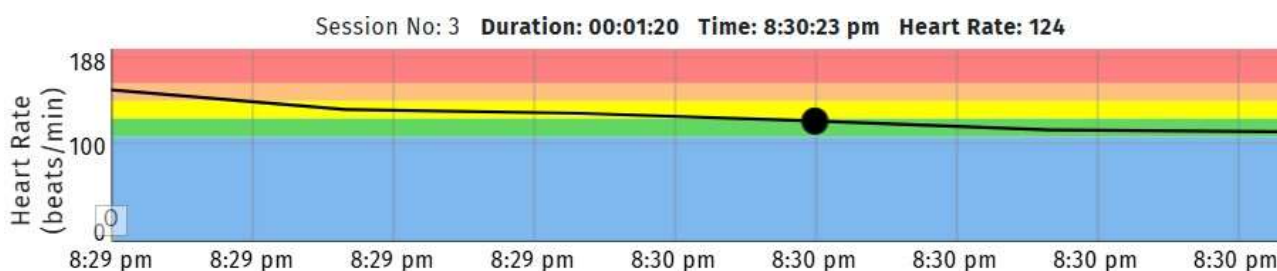


Figura 32: Rilevamento dopo riscaldamento del primo allenamento del soggetto 1, 124 bpm alle ore 20:30:23. Calo di 32 bpm in 1 min.

Considerando ora il range di bassa ampiezza o una frequenza cardiaca crescente o con valori costantemente elevati si sono identificati i seguenti casi (Figura 33, Figura 34):

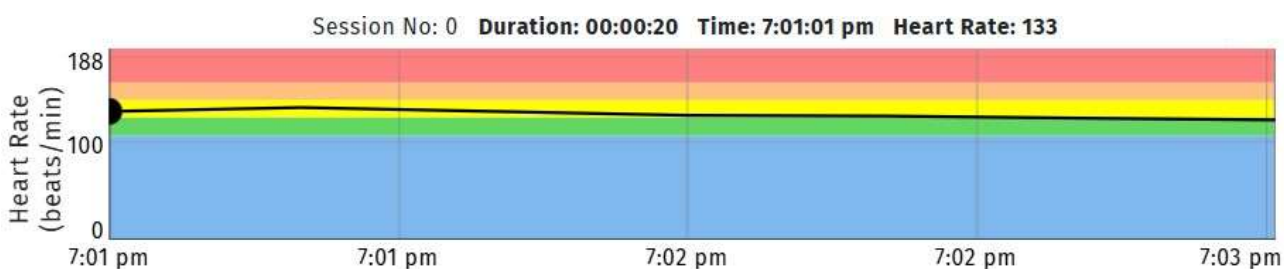


Figura 33: Rilevamento dopo riscaldamento del primo allenamento del soggetto 4.

La frequenza cardiaca elevata costante, quindi un range di ridotta ampiezza, testimonia l'affaticamento e lo stress dopo l'attività di riscaldamento. Questo confermato anche dal basso calo di frequenza cardiaca poiché si passa da 133bpm a 124bpm.

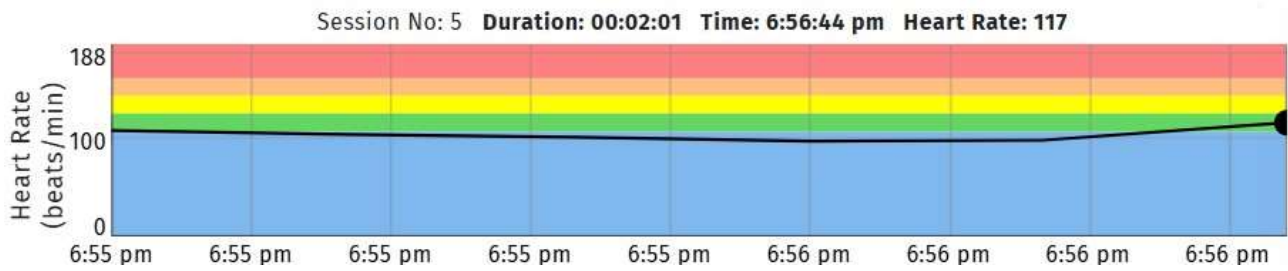


Figura 34: Rilevamento dopo riscaldamento del primo allenamento del soggetto 3.

La frequenza cardiaca elevata costante testimonia che il soggetto non è riuscito a recuperare l'affanno e lo stress dopo l'attività di riscaldamento. Inoltre, l'aumento finale della frequenza cardiaca visibile nel grafico testimonia come il soggetto si trovi in una situazione di sovraffaticamento e questo ha reso difficile il recupero.

Passando alla frequenza respiratoria si possono osservare i relativi grafici che identificano un range più ampio e una rapida discesa (Figura 35, Figura 36).

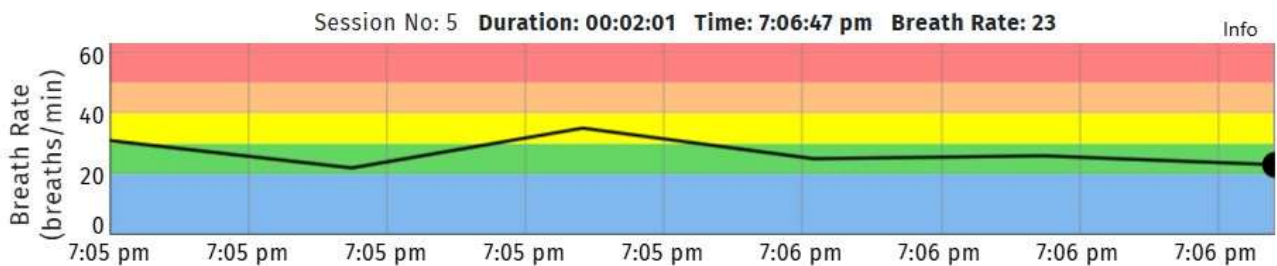


Figura 35: Rilevamento dopo riscaldamento del secondo allenamento del soggetto 4.

La frequenza respiratoria che cala da circa 30 respiri al minuto ad un 23 respiri al minuto evidenzia che si è in fase di recupero, nonostante ci sia una crescita di respiri a metà registrazione.

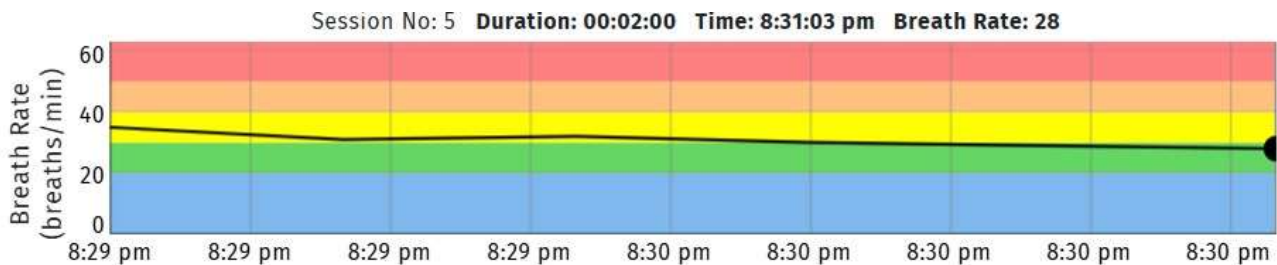


Figura 36: Rilevamento dopo riscaldamento del primo allenamento del soggetto 1.

La frequenza respiratoria che cala da circa 35 respiri al minuto ad un 28 respiri al minuto senza alcuna crescita di frequenza intermedia rappresenta una buona capacità di recupero dell'atleta dopo uno sforzo fisico e questo può riflettere in una buona forma fisica e in un efficiente sistema respiratorio.

Osservando invece un range limitato o una frequenza di respirazione in costante aumento sta ad indicare che l'atleta è in una condizione di affaticamento e di stress e questo può implicare un sistema respiratorio meno efficiente (Figura 37, Figura 38).

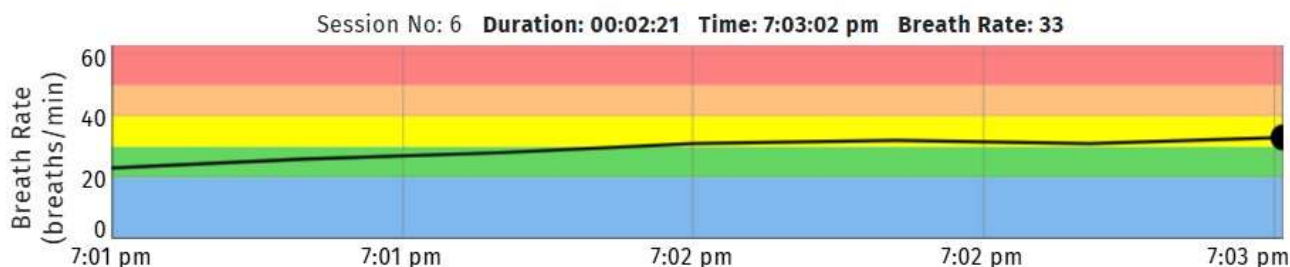


Figura 37: Rilevamento dopo riscaldamento del primo allenamento del soggetto 4. La frequenza respiratoria cresce da circa 23 respiri al minuto ad un 33 respiri al minuto.

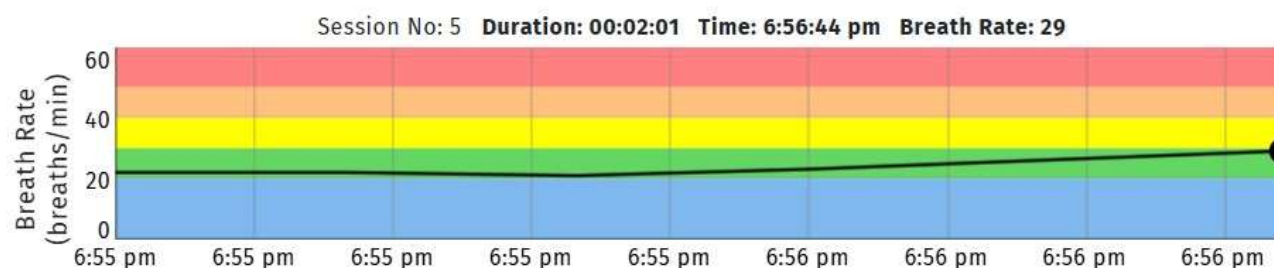


Figura 38: Rilevamento dopo riscaldamento del primo allenamento del soggetto 3. La frequenza respiratoria cresce da circa 22 respiri al minuto ad un 29 respiri al minuto.

Infine, riprendendo ciò che il Fourth Frontier afferma riguardo l'HRV, ovvero che atleti vicino al valore "0ms" hanno problematiche cardiovascolari, affaticamento e stress, mentre i soggetti con un HRV maggiore di "80ms" hanno un ottimo equilibrio e una capacità di recupero efficace, possiamo descrivere ed interpretare i seguenti grafici (Figura 39, Figura 40, Figura 41, Figura 42):

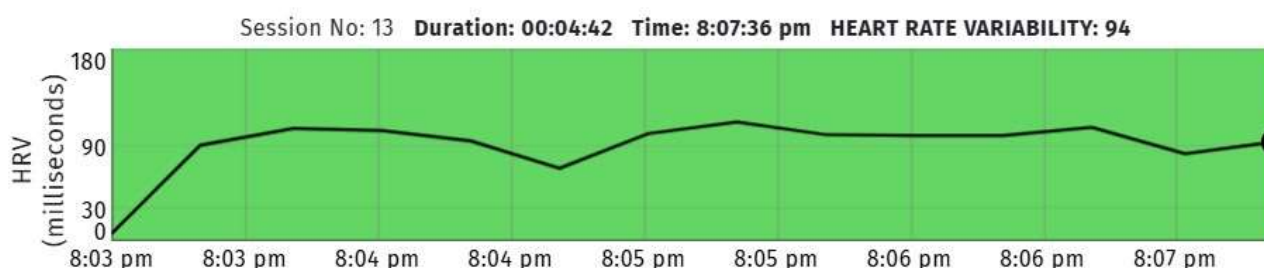


Figura 39: Rilevamento a riposo del primo allenamento del soggetto 1.

Il valore restituito dell'HRV è alto, segnale di un'ottima forma fisica e minore stress, una buona capacità di recupero e buona salute cardiovascolare.

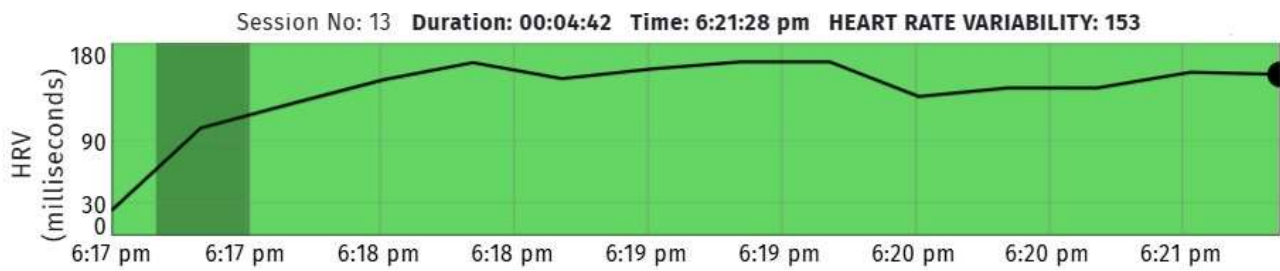


Figura 40: Rilevamento a riposo del primo allenamento del soggetto 2.

Il valore dell'HRV è molto alto, segnale di un'ottima forma fisica per atleti di alto livello, capacità di recupero e salute cardiovascolare ottima. Il primo tratto del grafico è non interpretabile perché è stato deviato da un segnale rumoroso.

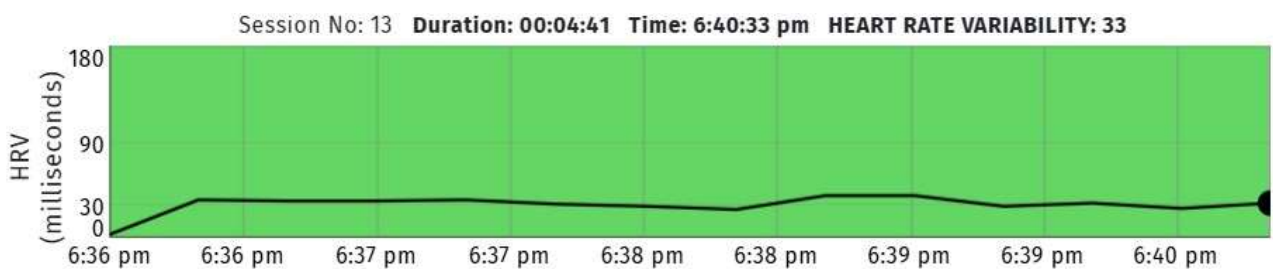


Figura 41: Rilevamento a riposo del primo allenamento del soggetto 3. .

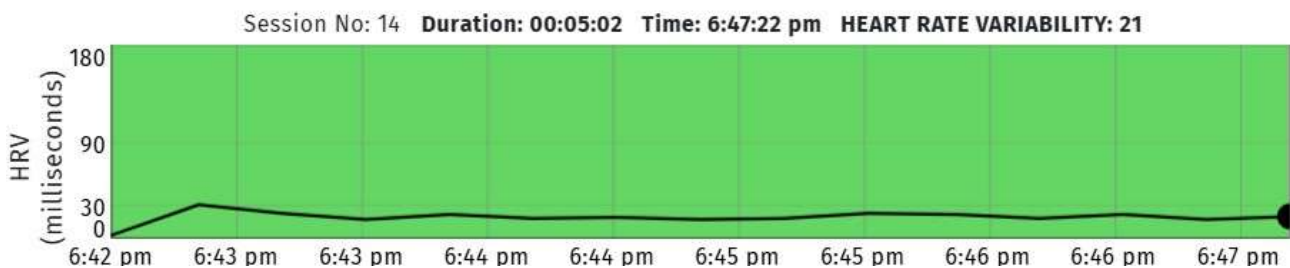


Figura 42: Rilevamento a riposo del secondo allenamento del soggetto 4.

Per entrambi casi (Figura 41, Figura 42) l'HRV risulta molto basso e questo potrebbe indicare la necessità di migliorare il recupero dopo lo sforzo fisico poiché si è in continuo affanno. Inoltre, migliorare la gestione della regolarità nei battiti che può indurre lo stress e problematiche cardiovascolari.

Di seguito elenco le tabelle riguardanti i parametri appena analizzati e discussi per ogni soggetto preso in osservazione (Tabella 2, Tabella 3, Tabella 4, Tabella 5).

Sessione	Rilevazione	Parametri	Media	Max	Min	Range	
1°	1	Fc	52	66	47	19	
		HRV	97	113	69		
		Fr	12	15	11	4	
	2	Fc	129	156	113	43	
		HRV	4	5	3		
		Fr	31	35	28	7	
	3	Fc	<i>Non interpretabile</i>				
	HRV						
	Fr						
2°	1	Fc	49	64	44	20	
		HRV	<i>Non interpretabile</i>				
		Fr	11	23	6	17	
	2	Fc	111	133	49	84	
		HRV	<i>Non interpretabile</i>				
		Fr	29	35	24	11	
	3	Fc	161	179	137	42	
		HRV	7	18	2		
		Fr	39	43	36	7	

Tabella 2: Parametri del soggetto 1. Alcuni dati sono non interpretabili perché derivano da una registrazione con un altro ritmo o rumore.

Sessione	Rilevazione	Parametri	Media	Max	Min	Range
1°	1	Fc	50	64	45	19
		HRV	150	165	132	
		Fr	13	23	10	13
	2	Fc	89	95	84	11
		HRV	20	23	15	
		Fr	20	23	17	6
	3	Fc	150	179	108	71
		HRV	8	17	5	
		Fr	40	46	23	23
2°	1	Fc	56	88	48	40
		HRV	126	180	96	
		Fr	18	25	13	12
	2	Fc	79	88	68	20
		HRV	<i>Non interpretabile</i>			
		Fr	24	24	23	1
	3	Fc	158	175	131	44
		HRV	7	10	4	
		Fr	43	49	39	10

Tabella 3: Parametri del soggetto 2.

Sessione	Rilevazione	Parametri	Media	Max	Min	Range
1°	1	Fc	74	81	71	10
		HRV	33	40	27	
		Fr	17	24	13	11
	2	Fc	105	117	98	19
		HRV	10	16	4	
		Fr	24	29	21	8
	3	Fc	176	195	146	49
		HRV	5	12	3	
		Fr	45	53	24	29
2°	1	Fc	75	83	71	12
		HRV	33	40	29	
		Fr	16	19	14	5
	2	Fc	125	147	117	30
		HRV	11	22	6	
		Fr	30	33	25	8
	3	Fc	149	178	113	65
		HRV	5	21	3	
		Fr	38	45	22	23

Tabella 4: Parametri del soggetto 3.

Sessione	Rilevazione	Parametri	Media	Max	Min	Range
1°	1	Fc	83	88	77	11
		HRV	32	53	17	
		Fr	16	25	14	11
	2	Fc	130	137	124	13
		HRV	3	4	2	
		Fr	29	33	23	10
	3	Fc	144	180	132	48
		HRV	3	5	2	
		Fr	39	43	36	7
2°	1	Fc	87	95	81	14
		HRV	20	32	18	
		Fr	20	26	15	11
	2	Fc	149	165	141	24
		HRV	7	21	3	
		Fr	27	35	22	13
	3	Fc	170	186	136	50
		HRV	5	9	3	
		Fr	45	51	22	29

Tabella 5: Parametri del soggetto 4.

4.4.2. Risultati correlazione di Pearson

Ciò che si è ottenuto dalla correlazione di Pearson non è il risultato sperato. Andando ad osservare la relazione tra la frequenza respiratoria e gli anni di allenamento si è riscontrato in tutti e tre i casi, valore massimo, valore minimo e range, che il coefficiente di Pearson è “0” e ciò sta ad indicare che non esiste una relazione lineare tra queste due variabili (Tabella 6, Tabella 7, Tabella 8) (Figura 43, Figura 44, Figura 45).

Soggetto	Valori MAX (Finale)	Anni di allenamento	Coefficiente di Pearson
1	43	5	0,07
2	46	8	
2	49	8	
3	45	6	
3	53	6	
4	51	11	
4	43	11	

Tabella 6: Correlazione di Pearson tra i valori massimi della rilevazione finale delle due sessioni di allenamento per ogni atleta in relazione con gli anni di allenamento.

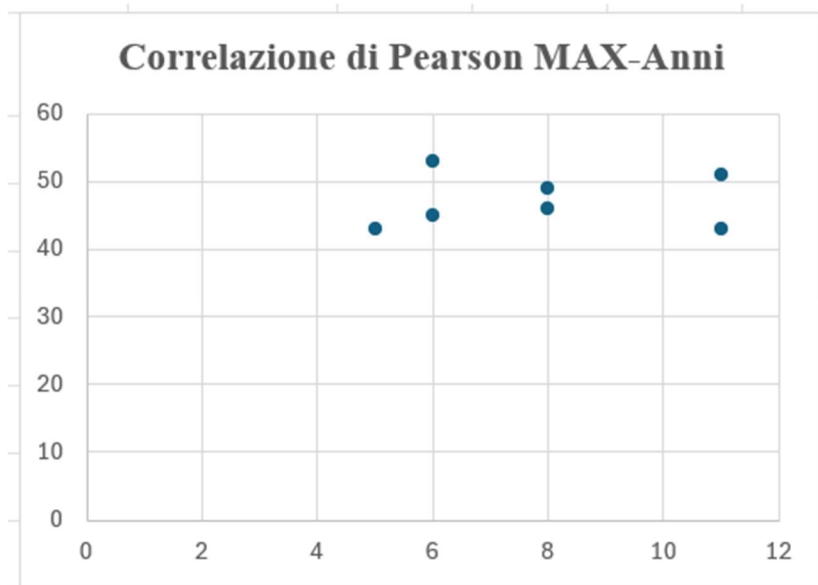


Figura 43: Relativo grafico a dispersione della “Tabella 6”.

Soggetto	Valori Min (Finale)	Anni di allenamento	Coefficiente di Pearson
1	36	5	0,03
2	39	8	
2	23	8	
3	24	6	
3	22	6	
4	36	11	
4	22	11	

Tabella 7: Correlazione di Pearson tra i valori minimi della rilevazione finale delle due sessioni di allenamento per ogni atleta in relazione con gli anni di allenamento.

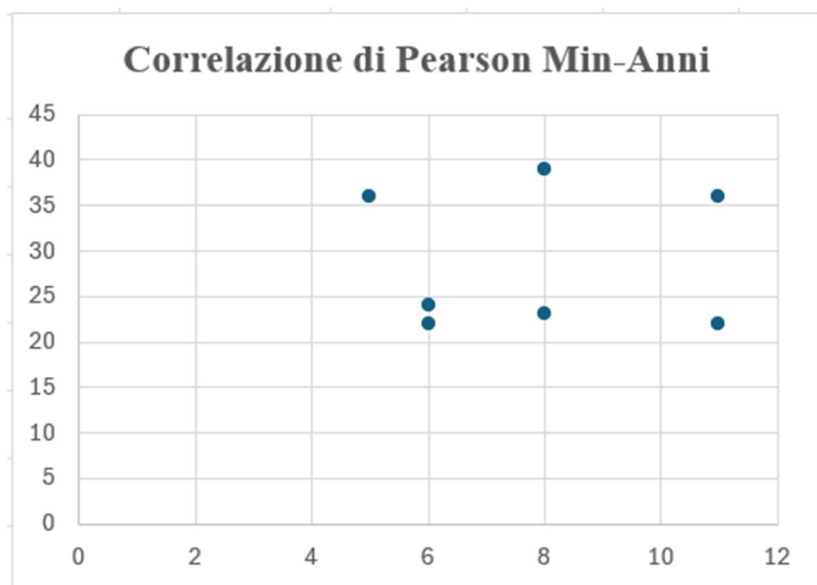


Figura 44: Relativo grafico a dispersione della “Tabella 7”.

Soggetto	Range (Finale)	Anni di allenamento	Coefficiente di Pearson
1	7	5	0,01
2	10	8	
2	23	8	
3	29	6	
3	23	6	
4	7	11	
4	29	11	

Tabella 8: Correlazione di Pearson tra i range della rilevazione finale delle due sessioni di allenamento per ogni atleta in relazione con gli anni di allenamento.

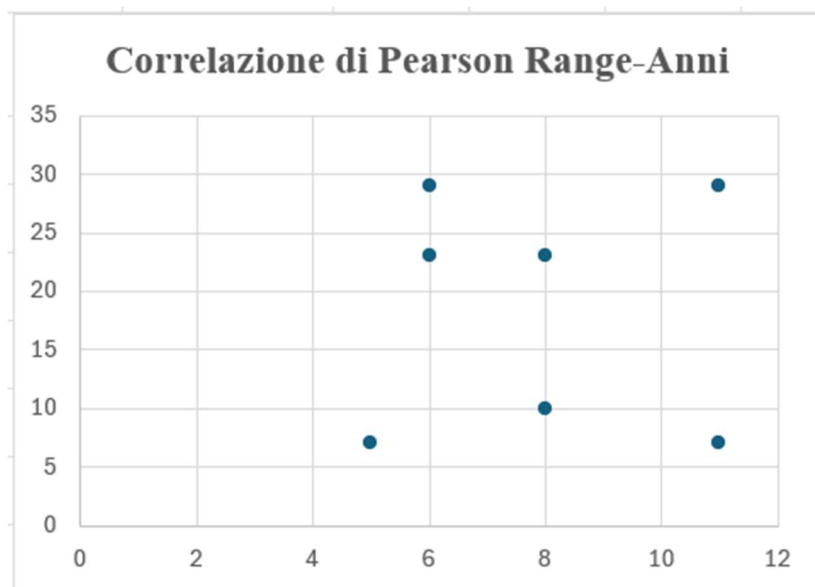


Figura 45: Relativo grafico a dispersione della “Tabella 8”.

In modo analogo si è osservata la relazione tra la frequenza cardiaca e gli anni di allenamento e ciò che si è ottenuto per la rilevazione a riposo non è il risultato sperato in quanto per il valore massimo e minimo si ha una correlazione positiva di circa “+0,7 e +0,6” e ciò risulterebbe inusuale perché ci indica che all’aumentare degli anni di allenamento aumenta anche la frequenza cardiaca (Tabella 9, Tabella 10) (Figura 46, Figura 47). Mentre per il range il coefficiente di Pearson è “0” e ciò sta ad indicare che non esiste una relazione lineare tra queste due variabili (Tabella 11) (Figura 48).

Soggetto	Valori MAX (Riposo)	Anni di allenamento	Coefficiente di Pearson
1	66	5	0,69
1	64	5	
2	64	8	
2	88	8	
3	81	6	
3	83	6	
4	88	11	
4	95	11	

Tabella 9: Correlazione di Pearson tra i valori massimi a riposo delle due sessioni di allenamento per ogni atleta in relazione con gli anni di allenamento.

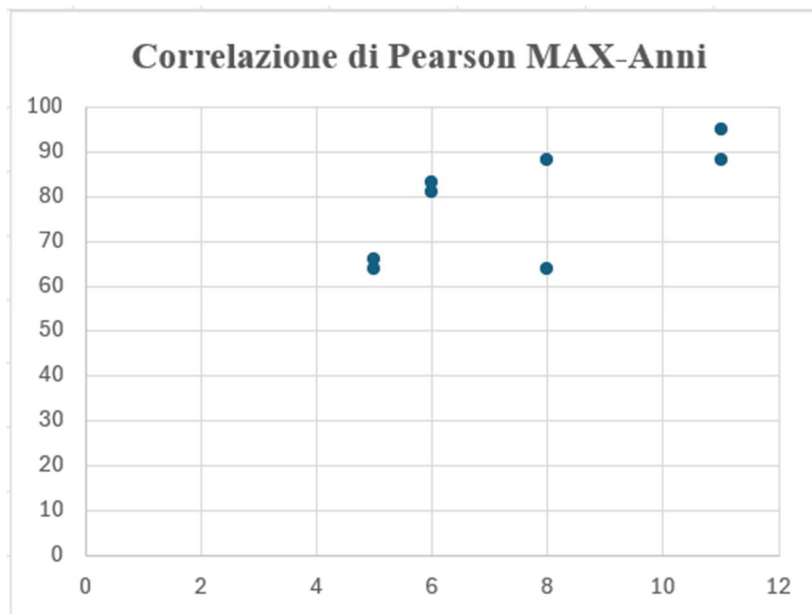


Figura 46: Relativo grafico a dispersione della “Tabella 9”.

Soggetto	Valori Min (Riposo)	Anni di allenamento	Coefficiente di Pearson
1	44	5	0,58
1	47	5	
2	45	8	
2	48	8	
3	71	6	
3	71	6	
4	81	11	
4	77	11	

Tabella 10: Correlazione di Pearson tra i valori minimi a riposo delle due sessioni di allenamento per ogni atleta in relazione con gli anni di allenamento.

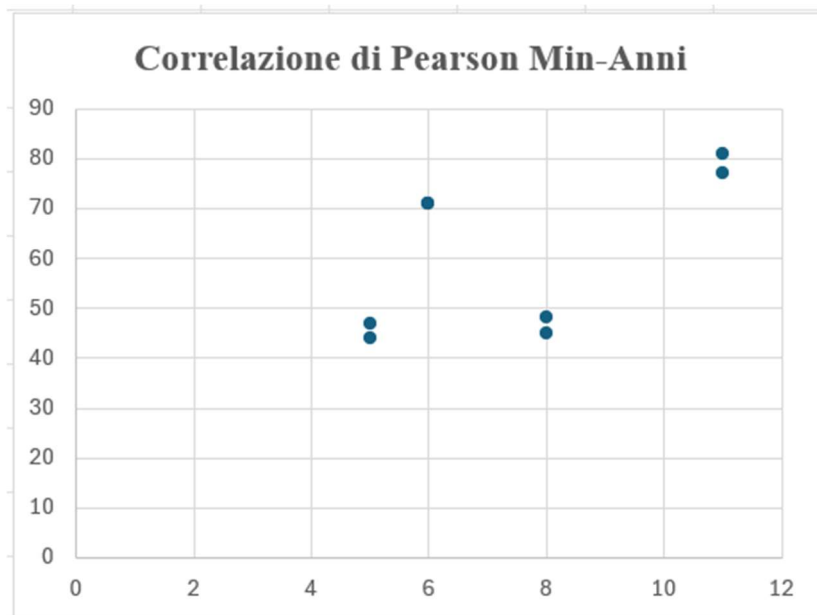


Figura 47: Relativo grafico a dispersione della “Tabella 10”.

Soggetto	Range (Riposo)	Anni di allenamento	Coefficiente di Pearson
1	19	5	-0,08
1	20	5	
2	19	8	
2	40	8	
3	10	6	
3	12	6	
4	11	11	
4	14	11	

Tabella 11: Correlazione di Pearson tra i range a riposo delle due sessioni di allenamento per ogni atleta in relazione con gli anni di allenamento.

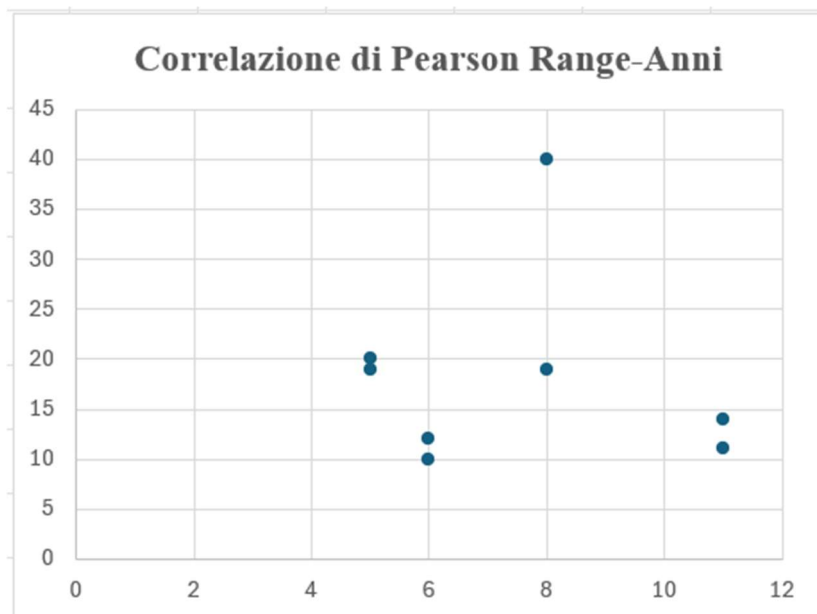


Figura 48: Relativo grafico a dispersione della “Tabella 11”.

Invece, valutando il range della rilevazione dopo il riscaldamento, si è ottenuto che il coefficiente di Pearson è uguale a “-0,60” e ci indica una notevole relazione negativa, quindi all’aumentare degli anni di allenamento, oltre a una frequenza cardiaca che tende a diminuire, gli atleti tendono anche a

recuperare più rapidamente dopo l'esercizio e ciò indicherebbe un miglioramento del sistema cardiovascolare con un cuore più efficace (Tabella 12) (Figura 49).

Soggetto	Range (Dopo riscaldamento)	Anni di allenamento	Coefficiente di Pearson
1	84	5	-0,60
1	43	5	
2	20	8	
2	11	8	
3	30	6	
3	19	6	
4	24	11	
4	13	11	

Tabella 12: Correlazione di Pearson tra i range dopo riscaldamento delle due sessioni di allenamento per ogni atleta in relazione con gli anni di allenamento.

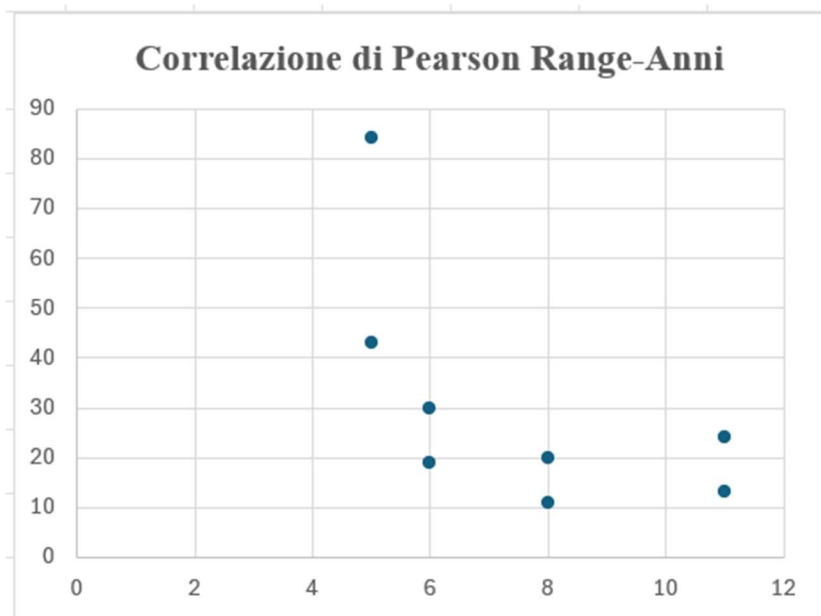


Figura 49: Relativo grafico a dispersione della “Tabella 12”.

4.4.3. Risultati dell'elettrocardiogramma

Tra i risultati ottenuti si identifica solamente il segnale ECG in cui il ritmo cardiaco non è interpretabile in quanto viene specificato dal sensore fornendo la percentuale di rumore registrata nel corso dell'attività fisica. Ciò si verifica in particolare durante la rilevazione finale, ovvero la fase di allenamento in cui l'atleta raggiunge il picco di sforzo e affanno dove frequentemente è possibile registrare il rumore da movimento (Figura 50).

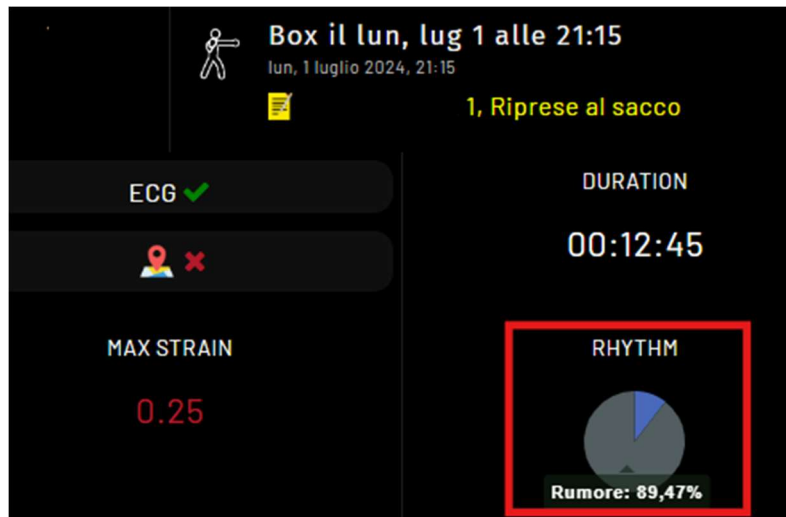


Figura 50: Rilevazione finale della prima sessione di allenamento del soggetto 1 con la percentuale di rumore pari ad 89,47%.

Andando ad analizzare dettagliatamente la rilevazione si può osservare come il rumore sia predominante in quanto è pari all'89,47% e in mezzo a questo disturbo potrebbe esserci una piccola porzione di ritmo cardiaco, ma fortemente sovrastato dal rumore.

A causa degli artefatti da movimento, che potrebbero causare anche lo spostamento del sensore, è difficile distinguere con un'adeguata correttezza le caratteristiche dell'ECG, come onde P, complessi QRS e onde T (descritte nel secondo capitolo), e ciò rende difficile l'analisi del segnale ECG. Inoltre, il segnale è caratterizzato per la gran parte da picchi multipli, oscillazioni irregolari e ampie variazioni dell'ampiezza del segnale ECG (Figura 51, Figura 52).

Ovviamente, in corrispondenza di questa porzione di segnale ECC, anche i relativi parametri analizzati nel precedente sotto-capitolo restituiranno dei valori non interpretabili ("Undefined"), come è anche possibile osservare nella Tabella 2 (Figura 53).

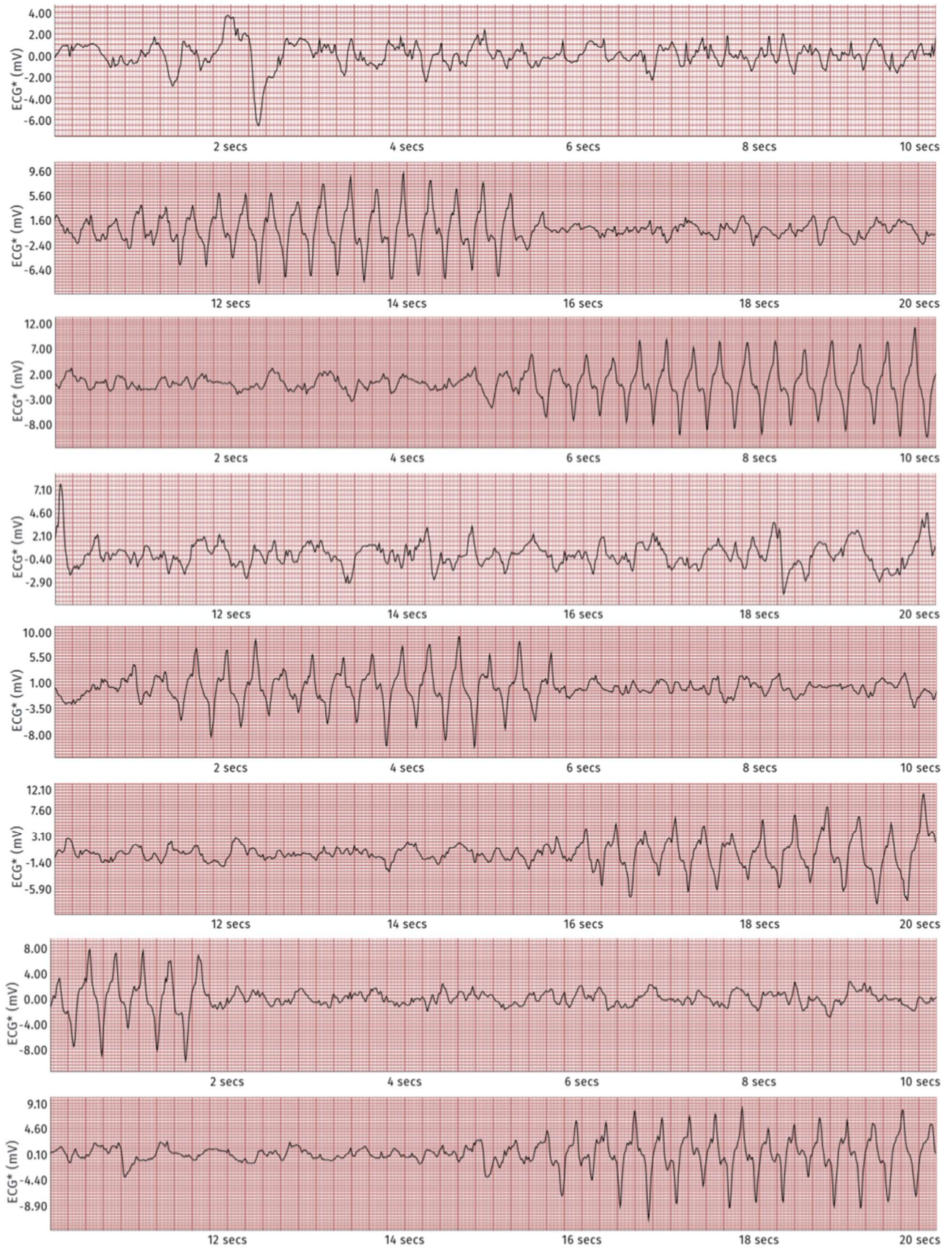


Figura 51: Rilevazione finale della prima sessione del soggetto 1 non interpretabile (primi 80s).

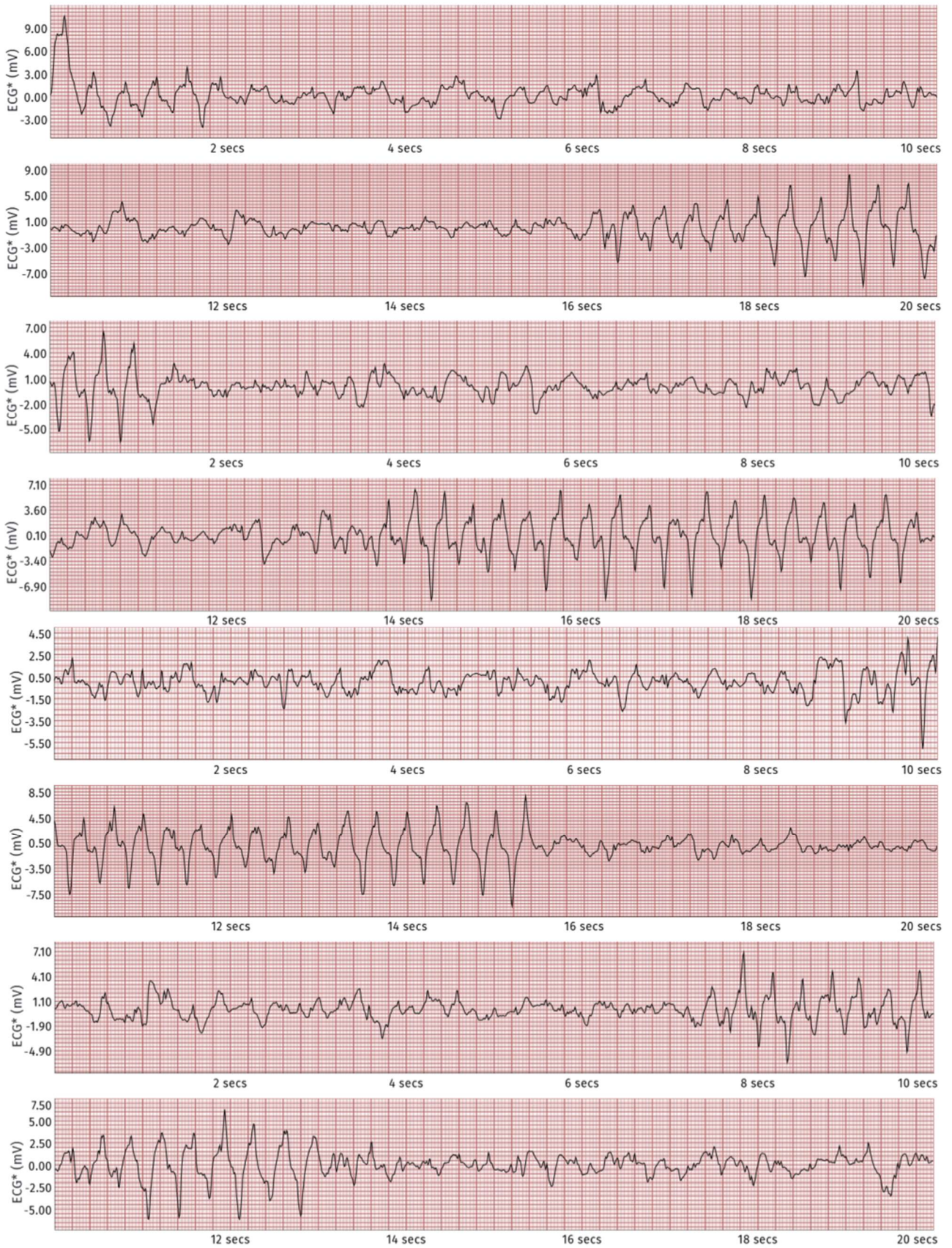


Figura 52: Rilevazione finale della prima sessione del soggetto 1 non interpretabile (successivi 80s).

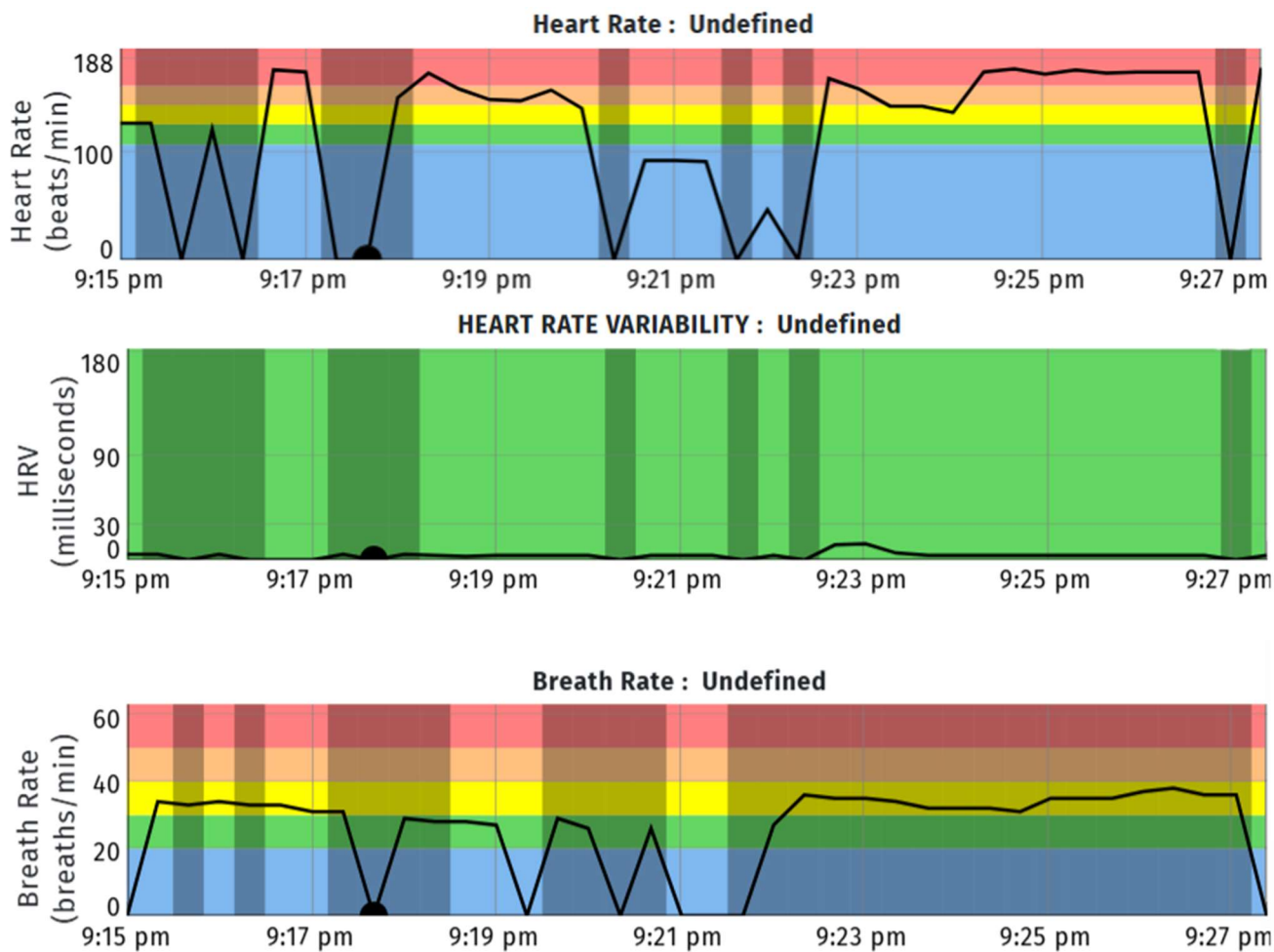


Figura 53: Parametri irrilevanti del soggetto 1 durante la rilevazione finale della prima sessione d'allenamento (per questo nella tabella dei parametri è scritto "Non Interpretabile").

Discussione e Conclusione

Questo studio ha consentito di evidenziare le condizioni cardiovascolari e respiratorie di quattro pugili tramite il monitoraggio grazie al sensore Fourth Frontier X. Grazie a questo dispositivo, è stato possibile raccogliere e registrare molteplici dati come il tracciato ECG; tuttavia, come già accennato nel corso della trattazione per la diagnosi è consigliabile far riferimento a dei medici specializzati in quanto il sensore non restituisce nessuno stato dei vari pattern cardiaci. Inoltre, grazie alla registrazione dei dati come la frequenza cardiaca, la variabilità del battito e la frequenza respiratoria, è stato costruito un database utile all'analisi delle performance e della salute cardiaca e respiratoria dei singoli atleti.

Attraverso un protocollo che prevede tre livelli di sforzo crescente, si è potuto osservare come varia la reazione cardiaca degli atleti in situazioni di intensità, permettendo di identificare, tramite i diversi parametri nelle tabelle, le eventuali anomalie e potenziali rischi cardiovascolari e respiratori.

In seguito, grazie alle correlazioni ipotizzate, si è rilevato come esiste una relazione tra la frequenza cardiaca e gli anni di allenamento confermando che un atleta più allenato tende ad avere una frequenza cardiaca minore e un recupero migliore dall'affanno e quindi un sistema cardiovascolare più efficace. Purtroppo, le altre correlazioni ipotizzate non hanno restituito ciò che si desiderava, questo perché le relazioni studiate possono anche dipendere da altri fattori che influenzano maggiormente la frequenza cardiaca e respiratoria, come il tipo di allenamento, lo stile di vita o la genetica.

Questo monitoraggio continuo rappresenta un importante passo avanti per la salvaguardia della salute degli atleti, poiché permetterebbe di migliorare le condizioni di sicurezza durante l'allenamento e le competizioni, inoltre, la promozione dell'utilizzo di sensori indossabili potrebbe favorire l'aumento di un approccio preventivo nella gestione della salute cardiovascolare nello sport.

Per far sì che il sensore indossabile, utilizzato nel corso delle acquisizioni, diventi maggiormente prestazionale dovrebbe migliorare la capacità di fornire una diagnosi approssimativa per ogni rilevazione ECG, nonostante ciò, è sempre opportuno affidarsi a medici specializzati. Inoltre, potrebbe essere funzionale migliorare la sensibilità ai rumori e interferenze cercando di filtrarle. Quest'ultimo punto potrebbe risultare particolarmente importante nei casi in cui le registrazioni vengano effettuate in condizioni di alta intensità agonistica poiché la qualità dei dati può essere facilmente compromessa.

La tesi ha quindi evidenziato l'importanza di un monitoraggio continuo per prevenire problemi cardiaci, approfondendo anche la comprensione del sistema cardiovascolare e dell'ECG. I risultati

ottenuti costituiscono una base utile per approfondimenti futuri, sia per ottimizzare il monitoraggio della salute degli atleti, sia per studiare ulteriormente la relazione tra parametri fisiologici e prestazioni sportive, con l'obiettivo di garantire una maggiore sicurezza negli sport, soprattutto quelli ad alta intensità.

In questo contesto, il monitoraggio cardiaco continuo non si limita esclusivamente agli atleti che praticano sport ad alta intensità, ma è consigliabile estenderlo ad atleti di qualsiasi disciplina sportiva. Il monitoraggio tramite sensore indossabile permetterà di rilevare in tempo reale anomalie più o meno pericolose sia per atleti professionisti che amatoriali prevenendo complicazioni non osservabili senza il monitoraggio continuo.

Anche per atleti di sport di squadra e sport di resistenza, i parametri che vengono ricavati sono di fondamentale importanza, in quanto vengono utilizzati per osservare le condizioni individuali e di conseguenza aumentare o diminuire i carichi fisici durante gli allenamenti, oltre a migliorare la gestione dello sforzo fisico e del recupero.

Quindi, il monitoraggio continuo attraverso sensori indossabili offrirà molti vantaggi oltre alle prevenzioni cardiache e respiratorie negli sport ad alta intensità, ma estendendosi a qualsiasi disciplina aiuterà a creare un ambiente più sicuro minimizzando i rischi e massimizzando i risultati.

Bibliografia

- [1] Gianni Losano, Raffaella Rastaldo e Amedeo Chiribiri. Fisiologia cardiovascolare: un approccio integrato. River Publishers. 31 gennaio 2013.
- [2] Glauco Ambrosi, Dario Cantino, Paolo Castano, Silvia Correr, Loredana D'Este, Rosario F. Donato, Giuseppe Familiari, Francesco Fornai, Massimo Gulisano, Annalisa Iannello, Ludovico Magaudda, Maria F. Marcello, Alberto M. Martelli, Paolo Pacini, Mario Rende, Pellegrino Rossi, Chiarella Sforza, Carlo Tacchetti, Roberto Toni, Giovanni Zummo. Anatomia dell'uomo. Edi-Ermes. 2006. Seconda edizione.
- [3] Dee Unglaub Silverthorn, Fisiologia Umana un approccio integrato. Pearson. 2020. Ottava edizione.
- [4] Arthur C. Guyton, John E. Hall. Fisiologia medica. Edra Masson. 2012. Dodicesima edizione.
- [5] Enzo Belardinelli, Guido Valli, Carlo Marchesi. Bioingegneria del sistema cardiovascolare. Pàtron editore. Settembre 1987. Prima edizione
- [6] Fiorenzo Conti. Fisiologia medica volume 2. Edi-Ermes. 2020. Terza edizione.
- [7] Humanitas. Elettrocardiografo. Sito: <https://www.humanitas.it/enciclopedia/strumenti-medici/elettrocardiografo/>
- [8] Centro medico spazio benessere. Sito: [Elettrocardiogramma \(ECG\): Guida Completa | Centro Medico SB \(centromedicospaziobenessere.it\)](http://www.centromedicospaziobenessere.it)
- [9] Rosaria Russo, Gian Polo Fadini. L'interpretazione dell'elettrocardiogramma. Manuale rapido di apprendimento. Piccin. 2004. Prima edizione.
- [10] Dale Dublin. Interpretazione dell'ECG. Monduzzi. 2018. Sesta edizione riveduta e corretta.
- [11] Francesco P. Branca. Fondamenti di ingegneria clinica Vol.1 . Springer. 2000. Prima edizione.
- [12] Thomas Cascino, Michael J. Shea. Manuale MSD per i professionisti, "Elettrocardiografia". Dicembre 2023. Sito: [Elettrocardiografia - Disturbi dell'apparato cardiovascolare - Manuali MSD Edizione Professionisti \(msdmanuals.com\)](http://www.msdmanuals.com)
- [13] Cristiano Passa. Melarossa. Pugilato o boxe: che cos'è, tecnica e regole, stili, benefici, controindicazioni, storia. 2023. Sito: [Pugilato: storia, etica e valori, combattimenti, tecnica e regole \(melarossa.it\)](http://www.melarossa.it)

- [14] Sabrina Mirabelli. Certificato medico sportivo: regole ed età. 4 giugno 2021. Sito: [Certificato medico sportivo: regole ed età \(laleggepertutti.it\)](#)
- [15] Gruppo San Donato. Certificato di idoneità sportiva: cos'è e chi lo rilascia. 21 settembre 2021. Sito: [Cos'è il Certificato medico sportivo e chi lo rilascia | Palazzo della Salute - Sport Medicine \(grupposandonato.it\)](#)
- [16] Policlinico Universitario Agostino Gemelli IRCCS. Certificato Medico per lo Sport: Tutto Quello che Devi Sapere. 2 aprile 2024. Sito: [Il certificato medico per lo sport \(policlinicogemelli.it\)](#)
- [17] Annalisa Procopio. Alla scoperta dei dispositivi “wearable”: la tecnologia del futuro che migliorerà ogni aspetto della vita quotidiana. 10 settembre 2017. Sito: [Alla scoperta dei dispositivi "wearable": la tecnologia del futuro che migliorerà ogni aspetto della vita quotidiana \(ingegneriabiomedica.org\)](#)
- [18] HealtTech360. Wearable device in Sanità: cosa sono e quali sono i vantaggi. 24 marzo 2023. Sito: [Wearable device sanitari cosa sono: i vantaggi per la salute \(healthtech360.it\)](#)
- [19] Fourth Frontier. Sito: [24 Hour ECG & Heart Rate Monitor in UK | Fourth Frontier – Fourth Frontier Technologies Ltd](#)
- [20] Istruzioni per l'uso di KardiaMobile 6L. AliveCor. agosto 2021. Edizione tradotta dall'inglese Rev 4.
- [21] Dr. Johann de Chickera. Che cos'è la variabilità della frequenza cardiaca e la matematica del cuore. 12 gennaio 2022. Sito: [Che cos'è la variabilità della frequenza cardiaca e la matematica del cuore? - Salute e benessere assoluti \(absolutehealthparis.com\)](#)
- [22] Suzic Lazic J, Dekleva M, Soldatovic I, Leischik R, Suzic S, Radovanovic D, Djuric B, Nesic D, Lazic M, Mazic S. Heart rate recovery in elite athletes: the impact of age and exercise capacity. Clin Physiol Funct Imaging (2017);37(2):117-123.
- [23] Jenny McCoy. Perché la velocità di recupero cardio è importante per il runner e come migliorarla. 22 agosto 2023. Sito: [Velocità di recupero cardio: cos'è e come migliorarla \(runnersworld.com\)](#)
- [24] Fisioterapista Roberto Bombagi. Variabilità della Frequenza Cardiaca (HRV): il valore per misurare e gestire lo stress. Sito: [Variabilità della Frequenza Cardiaca \(HRV\): il valore per misurare e gestire lo stress \(fisiomagazine.com\)](#)

- [25] Michele Marro. Cos'è HRV, come si misura e come può essere utile al preparatore atletico. Sito: [Cos'è HRV, come si misura e come può essere utile al preparatore atletico - Pagina 4 di 4 - Scienza & Sport \(scienzaesport.it\)](#)
- [26] Paola Pozzolo. La correlazione lineare r di Pearson. 28 marzo 2020. Sito: [Coefficiente di correlazione lineare \$r\$ di Pearson - Paola Pozzolo](#)