





# Quanto lo stile di vita influenza la frequenza cardiaca?

Smart Measurements in Sports and Physical Activity

Gruppo 11

Andrea Pagnotta (matr. 313452),  
Alessio Paolini (matr. 308056),  
Maria Teresa Santamato (matr. 316959),  
Davide Tkalez (matr. 318699)

A.A. 2023-2024

## 1. Introduzione

L'obiettivo di questa analisi è comprendere come lo stile di vita di un individuo influisca sulla frequenza cardiaca durante l'attività fisica.

In particolare, sono stati esaminati tre soggetti caratterizzati da abitudini quotidiane differenti: un soggetto allenato (A), un soggetto non allenato (NA) e un soggetto fumatore allenato (FA). Ciascuno di loro è stato sottoposto allo stesso protocollo di allenamento che prevedeva un incremento nell'intensità dell'attività fisica, svolta su cicloergometro.

È stato utilizzato uno smartphone per rilevare il segnale fotoplethysmografico (PPG) in modo da ricavare il valore di Heart Rate (HR) associato alle diverse intensità di allenamento, quantificate sulla base del Metabolic Equivalent of Task (MET).

Il risultato atteso è ottenere, per i diversi MET considerati, valori minori di HR per il soggetto A rispetto agli altri due soggetti. Inoltre, assume particolare interesse il confronto tra i valori mostrati dal soggetto NA e quelli del soggetto FA.

## 2. Motivazioni e basi teoriche dell'ipotesi

L'analisi dell'HR in funzione del MET in soggetti con diversi livelli di allenamento e abitudini di fumo è rilevante per diverse ragioni. In primo luogo perché l'HR è un indicatore fondamentale dello stato di salute cardiovascolare e della capacità di resistenza di un individuo. Analizzare come esso varia in funzione dell'intensità dell'attività fisica può fornire informazioni preziose sulla capacità di adattamento del sistema cardiovascolare in risposta all'esercizio fisico.

In secondo luogo, il monitoraggio dell'HR e della sua variabilità è ampiamente sfruttato sia nella pianificazione di allenamenti specifici per gli atleti, sia nella riabilitazione. Esistono diversi metodi in letteratura che, partendo dall'HR, consentono di stimare parametri funzionali al miglioramento delle prestazioni di un atleta. Un esempio è il metodo di Karvonen [1], che utilizza il massimo ritmo cardiaco che un individuo può raggiungere ( $HR_{Max}$ ) e la frequenza cardiaca a riposo ( $HR_{Rest}$ ). Grazie a queste variabili, è possibile ricavare il target heart rate ( $HR_{Work}$ ), ossia l'intensità da mantenere, in termini di heart rate, per lavorare ad una specifica percentuale dell'intensità

massima raggiungibile ( $HR_{\text{Max}}$ )(1):

$$HR_{\text{Work}} = HR_{\text{Reserve}} \times \%HR_{\text{Max}} + HR_{\text{Rest}} \quad (1)$$

Dove:

$$HR_{\text{Reserve}} = HR_{\text{Max}} - HR_{\text{Rest}} \quad (2)$$

è la frequenza cardiaca di riserva, che può essere considerata come la frequenza cardiaca media durante l'attività quotidiana.

Si prevede che dall'analisi emerga che il soggetto A mostri valori di HR più bassi e con variazioni minori rispetto al soggetto NA e al soggetto FA.

I soggetti allenati presentano infatti un sistema cardiovascolare più efficiente, il che si traduce in una minore frequenza cardiaca per un dato livello di attività fisica. Questo è dovuto alla maggiore capacità di pompaggio del cuore e alla migliore vascolarizzazione dei muscoli, che permettono un'efficace erogazione di ossigeno e nutrienti durante l'esercizio.

I soggetti non allenati, al contrario, tendono a mostrare una maggiore frequenza cardiaca per lo stesso livello di attività fisica a causa di una minore efficienza cardiovascolare e muscolare [2]. Questo può comportare un maggiore affaticamento e una ridotta capacità di sostenere attività fisiche prolungate o intense.

Infine, è noto che i cambiamenti biochimici che la nicotina induce all'interno dell'organismo dei fumatori portano ad un aumento della frequenza cardiaca [3]. Il fumo provoca infatti infiammazione e danni ai vasi sanguigni e riduce l'efficienza del trasporto di ossigeno e nutrienti ai muscoli; si ipotizza dunque, per i soggetti fumatori, che la combinazione di questi aspetti si traduca in valori di HR più alti e instabili.

### 3. Metodologia

#### 3.1 Protocollo e strumenti utilizzati

Lo scopo dell'esperimento è quindi analizzare la risposta cardiovascolare ad intensità crescenti di esercizio fisico utilizzando il segnale PPG, tenendo conto dei diversi stili di vita dei soggetti coinvolti.

Le caratteristiche antropometriche e comportamentali dei partecipanti sottoposti al protocollo di allenamento sono riportate nella Tabella 1. Inoltre, nessuno dei tre partecipanti risulta affetto da patologie cardiache che comprometterebbero il risultato dell'analisi.

Per determinare se un soggetto potesse essere considerato allenato o meno, sono state seguite le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), che si basano sul livello e sulla frequenza di attività fisica svolta [4]. Allo stesso modo, è stato applicato l'approccio metodologico dell'OMS nella definizione di soggetto fumatore [5].

	Soggetto A	Soggetto NA	Soggetto FA
<b>Età</b>	26	25	25
<b>Altezza (cm)</b>	182	173	185
<b>Peso (kg)</b>	90	85	75
<b>Fumatore</b>	No	No	Sì
<b>Allenato</b>	Sì	No	Sì

Tabella 1: Caratteristiche dei soggetti

I soggetti hanno seguito un protocollo di allenamento controllato che includeva quattro fasi di esercizio su cicloergometro, intervallate da periodi di riposo. In particolare, ogni fase di esercizio prevedeva un ciclo di pedalata della durata di un minuto seguito da un minuto di riposo, con intensità crescente misurata in MET.

Il MET è stato adottato come unità di misura per garantire la standardizzazione dell'intensità dell'esercizio, favorendo una valutazione equa tra tutti i partecipanti. Questo approccio ha permesso di confrontare obiettivamente i livelli di sforzo fisico durante le diverse fasi dell'esperimento, considerando le variazioni individuali di capacità e resistenza cardiovascolare.

Le fasi di esercizio e le rispettive intensità utilizzate sono le seguenti:

- **Prima fase:** 1 minuto a 2 MET, seguito da 1 minuto di riposo.
- **Seconda fase:** 1 minuto a 5 MET, seguito da 1 minuto di riposo.
- **Terza fase:** 1 minuto a 7 MET, seguito da 1 minuto di riposo.
- **Quarta fase:** 1 minuto a 9 MET, seguito da 1 minuto di riposo.

Inoltre, tutti i soggetti hanno effettuato una fase preliminare di riscaldamento della durata di cinque minuti. Durante gli ultimi 20 secondi di ciascuna fase, è stato registrato il segnale PPG utilizzando la fotocamera di uno smartphone. Per acquisire il segnale, i soggetti hanno posizionato l'indice destro sulla fotocamera, che era attivata con il flash acceso. Questo metodo ha consentito di ottenere dati dettagliati sulla variazione del volume sanguigno nei tessuti cutanei, indicatore della frequenza cardiaca.

Nello specifico, per la raccolta dei dati, sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

- **Cellulare Samsung Galaxy S23 Plus:** cattura del segnale PPG durante l'esercizio fisico attraverso fotocamera con risoluzione 8165x6124 Pixel e con una frequenza di campionamento di 60 frames per secondo [fps].
- **Cicloergometro Technogym:** registrazione della potenza erogata espressa in Watt e tempo di esecuzione.

Per determinare l'intensità di esercizio espressa in Watt che i soggetti dovevano mantenere in ciascuna delle quattro fasi, è stato adottato un approccio basato sulla stima empirica del MET, utilizzando la seguente relazione:

$$1 \text{ MET} = 1.1622 \times \frac{[\text{W}]}{[\text{kg}]} \quad (3)$$

Il valore di potenza ottenuto dalla relazione (3) è stato successivamente moltiplicato per l'efficienza meccanica pari al 20%.

Considerando la difficoltà dei soggetti nel mantenere una potenza precisa, è

	Soggetto A	Soggetto NA	Soggetto FA
<b>2 MET</b>	$42 \pm 5$	$40 \pm 5$	$35 \pm 5$
<b>5 MET</b>	$105 \pm 5$	$100 \pm 5$	$87 \pm 5$
<b>7 MET</b>	$146 \pm 5$	$140 \pm 5$	$122 \pm 5$
<b>9 MET</b>	$188 \pm 5$	$180 \pm 5$	$157 \pm 5$

Tabella 2: Potenza [W] mantenuta dai soggetti per diversi livelli di MET

stato deciso di stabilire un range di Watt considerato accettabile come margine di tolleranza (Tabella 2).

Questo approccio ha consentito di procedere con l'analisi utilizzando il cicloergometro Technogym, monitorando che i valori di potenza riportati sul monitor rimanessero entro i range precedentemente individuati e permettendo così un'analisi dettagliata della risposta cardiovascolare alle diverse intensità di esercizio fisico.

### 3.2 Implementazione del Codice Matlab

Dopo aver registrato i video dei diversi soggetti per i diversi livelli di MET, sono stati estrapolati i segnali PPG dai video stessi. Successivamente, da ogni segnale è stato ricavato il valore di HR medio. Questo intero processo è stato realizzato mediante implementazione di un codice matlab.

In particolare il codice utilizzato è suddiviso in due parti principali.

Nella prima parte, mediante la funzione *FromVideoObjtoPPG* è stato estratto il segnale PPG da ciascun video utilizzando il metodo di Lovisotto [6]. Per migliorare la qualità dell'analisi sono stati utilizzati solo i 15 secondi finali del segnale, sui 20 complessivi, in quanto si è riscontrato che i primi 5 secondi fossero affetti da delle componenti di disturbo (Fig.1).

Nella seconda parte del codice i valori dell'HR medio sono stati ricavati dal segnale PPG utilizzando la funzione *fromPPGtoHR*. All'interno di tale funzione, il segnale PPG è stato sottoposto a un filtraggio passabanda tramite un filtro di Butterworth con frequenze comprese tra 0,67Hz e 3,67Hz, al fine di migliorarne la qualità e ridurre il rumore. Il segnale HR è stato ricavato a partire dai picchi del segnale PPG lavorando nel dominio della frequenza con una risoluzione di 0.066Hz. Per ogni segnale HR ottenuti sono stati calcolati i valori di HR medio per tutti i soggetti e per i diversi livelli di MET. I risultati ottenuti sono stati valutati attraverso l'utilizzo di grafici che verranno

analizzati nella sezione 4.

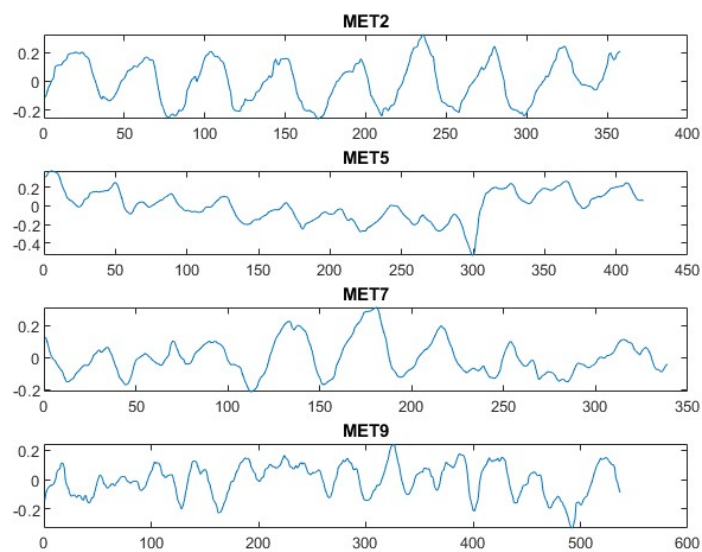


Figura 1: Segnale PPG del soggetto allenato



## 4. Risultati e discussione

### 4.1 Analisi dei risultati

La tabella 3 mostra i valori di heart rate medi registrati durante l'attività fisica per ogni MET su ciascun soggetto:

	Soggetto A	Soggetto NA	Soggetto FA
<b>2 MET</b>	82.70	90.93	66.72
<b>5 MET</b>	92.04	101.05	96.80
<b>7 MET</b>	86.95	105.25	98.61
<b>9 MET</b>	84.01	115.31	123.20

Tabella 3: valori di HR [bpm] al variare del MET

Per una migliore interpretazione dei dati raccolti, sono stati utilizzati i seguenti grafici.

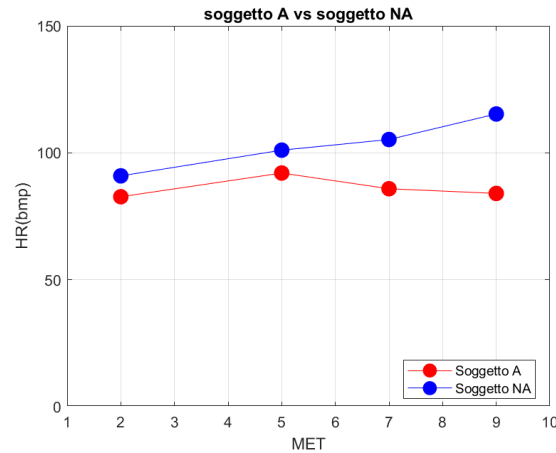


Figura 2: HR del soggetto A e del soggetto NA

Si può osservare come il soggetto A mantenga un HR significativamente più basso a parità di MET rispetto al soggetto NA. Quest'ultimo mostra, infatti, una HR crescente con un andamento approssimativamente lineare. Al contrario, il soggetto A riesce a mantenere un andamento della HR quasi costante (Fig.2).

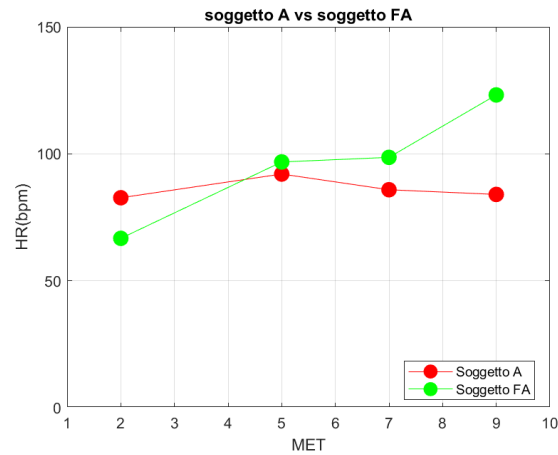


Figura 3: HR del soggetto A e del soggetto FA

Nel confronto tra soggetto A e soggetto FA si può notare come l'HR di quest'ultimo segua un andamento irregolare e subisca un innalzamento repentino tra 2 e 5 MET e tra 7 e 9 MET (Fig.3).

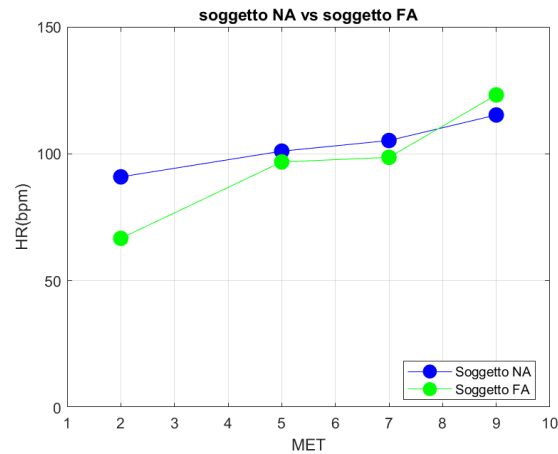


Figura 4: HR del soggetto NA e del soggetto FA

Infine, si è approfondito il confronto tra il soggetto NA e il soggetto FA per evidenziare come, pur mantenendo uno stile di vita attivo, quest'ultimo risenta dell'effetto del fumo sul suo HR. È interessante notare che il soggetto

FA presenta un valore di HR più elevato a 9 MET rispetto al soggetto NA. Questo dato indica un maggiore affaticamento dovuto al fumo (Fig.4).

## 4.2 Discussione

I risultati dei tre grafici confermano l'ipotesi iniziale: i soggetti allenati presentano un HR più basso per ogni livello di MET, confermando che la costanza nell'allenamento migliora l'efficienza cardiovascolare.

Gli effetti negativi del fumo sono evidenti anche in soggetti allenati, mentre la mancanza di allenamento si traduce in un HR più alto durante l'esercizio. Tra fumatori e individui sedentari vi è una riduzione della compliance arteriosa rispetto a quelli fisicamente allenati [7].

D'altro canto, i soggetti fumatori, nonostante l'allenamento, mostrano un HR più alto rispetto ai soggetti allenati: il fumo provoca la formazione di legami tra il monossido di carbonio e l'emoglobina, riducendo la capacità di trasporto dell'ossigeno arterioso e compromettendo l'estrazione dell'ossigeno. Tutto ciò influisce negativamente sul sistema di trasporto e consegna dell'ossigeno, riducendone l'assorbimento durante l'esercizio intenso [8]. Di conseguenza, la capacità aerobica e la tolleranza all'esercizio risultano significativamente compromesse, anche nei fumatori allenati.

## 4.3 Limitazioni

L'analisi condotta presenta evidenti limiti in quanto i test sono stati effettuati solo su tre soggetti, quindi su un campione statisticamente insufficiente per considerare oggettivi i risultati ottenuti. Inoltre non si è tenuto conto di alcune variabili (posizione del dito, sudore, tremore, artefatti da movimento) che potrebbero aver compromesso i segnali acquisiti.

## 4.4 Conclusioni

L'analisi effettuata dimostra che l'allenamento regolare riduce l'HR durante l'attività fisica, mentre il fumo compromette questi benefici, motivo per il quale un approccio che include esercizio regolare e l'astensione dal fumo è essenziale per una salute cardiovascolare ottimale. Per prospettive future, si potrebbe ampliare il campione e soprattutto incoraggiare il soggetto fumatore a smettere di fumare per un determinato periodo in modo da riscontrare un'effetto positivo sull'HR.

## Bibliografia

1. Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart Rate and Exercise Intensity During Sports Activities. *Sports Medicine*, 5, 303–311. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805050-00002>
2. Hellsten Y, Nyberg M. Cardiovascular Adaptations to Exercise Training. *Compr Physiol*. 2015 Dec 15;6(1):1-32. <http://dx.doi.org/10.1002/cphy.c140080>.
3. George Papathanasiou, Dimitris Georgakopoulos, George Georgoudis, Panagiotis Spyropoulos, Despina Perrea, Angelos Evangelou, "Effects of chronic smoking on exercise tolerance and on heart rate-systolic blood pressure product in young healthy adults", *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation*, Volume 14, Issue 5, 1 October 2007, Pages 646–652. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e3280ecfe2c>
4. Strain, T., Flaxman, S., et al. National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: a pooled analysis of 507 population-based surveys with 5·7 million participants. *The Lancet Global Health*(2024) [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00150-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00150-5)
5. <https://www.epicentro.iss.it/passi/indicatori/fumo>
6. Taian Martins Vieira. Lesson 3-3 Heart Rate: "Using smartphone cameras to compute PPG signals and thus the heart rate." Politecnico di Torino, 2024
7. Dymrna Gallagher; Thomas Terenzi; Ronald de Meersman (1992). Heart rate variability in smokers, sedentary and aerobically fit individuals. , 2(6), 383–387. <https://doi.org/10.1007/BF01831395>
8. Effects of chronic smoking on exercise tolerance and on heart rate-systolic blood pressure product in young healthy adults - Giorgio Papatanasio, Dimitri Georgakopoulos, Giorgio Georgoudi, Panagiotis Spiropoulos, Despina Perrea, Angelos Evangelou *Rivista europea di prevenzione e riabilitazione cardiovascolare* , Volume 14, Numero 5, 1 ottobre 2007, Pagine 646–652, <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e3280ecfe2c>