



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
BIOINGEGNERIA**

**“Analisi della variabilità del ritmo cardiaco per il  
monitoraggio dello stress e la sua possibile  
integrazione nelle Smart Chairs”**

**Relatore: Prof. Alessandro Paccagnella**

**Laureanda: Federica D'angelo**

**ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024**

**Data di laurea 11/04/2024**

*A te che ero il tuo orgoglio,  
a te che avresti dato qualsiasi cosa per vivere questo momento,  
a te che oggi da lassù mi starai guardando,  
con quei tuoi grandi occhi, pieni di fierezza mista a felicità.  
A te che sei stato il mio migliore amico,  
Papà,  
la tua saggezza e il tuo amore mi guideranno per tutta la vita.  
Mi mancano i tuoi consigli, il tuo sorriso e le tue battute,  
sempre al mio fianco nei momenti belli e brutti.  
Ti porto nel mio cuore, ogni giorno.*

*Con immenso amore,  
Federica.*



## **ABSTRACT:**

La società moderna ci porta a passare molto del nostro tempo seduti di fronte ad un pc, il che ha causato un notevole aumento dei livelli di stress che sta avendo un impatto sempre più negativo sulla salute fisica, mentale e delle performance.

I lavori d'ufficio, lo smart working, lo studio, il gaming online, tutte attività che hanno fatto sì che negli ultimi tempi ci sia stato un notevole aumento di stress dovuto in gran parte ad una scorretta postura mantenuta durante le nostre sessioni.

La postura scorretta crea delle pressioni su articolazioni, muscoli e organi interni causando conseguenze invalidanti che influenzano il nostro corpo e la nostra psiche.

Questa tesi tratterà la possibilità di stabilire, tramite la misurazione della variabilità del battito cardiaco (HRV) con l'ausilio di biosensori, il rapporto tra postura e stress, provando che una corretta postura permetterà di diminuire i livelli di stress.

La variabilità del battito cardiaco (HRV) è un indicatore non invasivo dell'equilibrio del sistema nervoso autonomo (SNA) e vedremo come può essere utilizzata per monitorare lo stress.

L'analisi effettuata e l'approccio integrato proposto avrà un impatto significativo sul benessere individuale, migliorando la qualità della vita e aprendo nuove prospettive nel campo della tecnologia non invasiva quotidiana.

In ultimo vedremo come esempio l'applicazione di questo studio alla progettazione di una Smart Chair che permetterà all'utente, tramite un app di ausilio e tramite chiari e diretti messaggi visivi, di mantenere la postura più corretta possibile durante tutta la durata della propria attività, permettendogli appunto di massimizzare le prestazioni mantenendo un giusto equilibrio psicofisico durante l'attività svolta.



## INDICE

INTRODUZIONE	8
<b>Capitolo 1: Stress</b>	<b>11</b>
1.1 Stress	
1.2 Rischi di stress prolungato	
1.3 Problemi correlati a stress, postura e benessere	
<b>Capitolo 2: Monitoraggio del Battito Cardiaco e HRV</b>	<b>18</b>
2.1 Cuore e Sistema Nervoso	
2.2 HRV	
2.3 Misurazioni e Metriche	
2.4 Ruolo del HRV come indicatore di stress	
2.5 Ruolo dello stress nella postura	
2.6 Stress cognitivo indotto: Test di Stroop	
2.6.1 Test di Stroop e HRV	
2.6.2 Test di Stroop e Postura	
<b>Capitolo 3: Analisi HRV e Test di Stroop</b>	<b>42</b>
3.1 Descrizione del Database	
3.2 Procedura di analisi	
3.3 Illustrazione dei risultati	
<b>Capitolo 4: Il mio progetto di Smart Chair</b>	<b>64</b>
4.1 Smart Chair	
4.2 Stato dell'arte nel monitoraggio del battito cardiaco e postura nelle Smart Chairs	

4.3 Gaming Smart Chair

**Capitolo 5: Privacy, sicurezza dati e considerazioni etiche** 76

5.1 Privacy e sicurezza delle informazioni

5.2 Considerazioni etiche legate alla valutazione continua dello stress

**Capitolo 6: Conclusioni** 78

BIBLIOGRAFIA 81

RINGRAZIAMENTI

## INTRODUZIONE:

La società contemporanea ci impone ritmi sempre più frenetici e una pressante richiesta di performance, mettendo a dura prova il nostro equilibrio fisico e mentale. In questo contesto, sempre più volto allo smart working o comunque allo stare di fronte ad un pc seduti ad una scrivania, emergono problematiche connesse a stress, postura e benessere, elementi interconnessi che plasmano la nostra salute in maniera profonda. Esploreremo come questi tre aspetti della vita quotidiana si influenzino reciprocamente, contribuendo al delicato equilibrio che definisce la nostra qualità di vita ed ai risultati in ambito professionale.

Lo stress, in particolare, si è rivelato un fenomeno diffuso, con impatti significativi sulla salute e sulle prestazioni quotidiane.

Esso è una reazione naturale del corpo di fronte alle sfide quotidiane, ma quando diventa cronico, assume proporzioni dannose. Le cause di stress possono essere molteplici, legate all'ambiente lavorativo, alle relazioni interpersonali, o a eventi traumatici. A livello fisiologico, il corpo è sottoposto a un carico eccessivo, con conseguenti problemi cardiovascolari (ipertensione, aritmia cardiaca, infarto) e immunitari, alterazione pressione sanguigna, disturbi del sonno (insonnia, apnee notturne) problemi digestivi (gastrite, ulcera peptica), depressione e ansia. Sul versante psicologico, lo stress cronico può generare un aumento considerevole di ansia, depressione e indebolire la capacità di concentrazione.

L'essere umano reagisce a molteplici agenti stressanti attraverso un connubio fisico e mentale ai fini di stabilire adattamento e benessere generale. Nel caso in cui gli stimoli siano troppo intensi o prolungati, questo crea disfunzioni dei sistemi biologici. Si perde il controllo autonomico dello stress con possibile aumento di rischi cardiovascolari e muscoloscheletrici. Il sistema nervoso autonomico, infatti, è soprattutto un sistema effettore, che controlla la muscolatura liscia, il muscolo cardiaco e le ghiandole esocrine. Le cellule effettrici del SNA si trovano appunto in periferia, localizzate all'interno dei gangli autonomici, neuroni post-gangliari, e vengono attivati da neuroni pre-gangliari, situati nel tronco cerebrale o nel midollo spinale.

Dal punto di vista anatomico il sistema nervoso è divisibile in tre sezioni: toraco-lombare (ortosimpatico), cranio-sacrale (parasimpatico) e sistema enterico. Il ruolo principale del sistema vegetativo è quello di regolare l'ambiente interno. Il sistema ortosimpatico presiede



alle reazioni di lotta e di fuga, mentre il sistema parasimpatico governa il riposo e la digestione. L'ortosimpatico risponde a sollecitazioni dall'ambiente esterno, mentre il parasimpatico mantiene la situazione basale in condizioni normali. In tali condizioni il ritmo cardiaco (HV) è appunto regolato interamente dal nodo seno-atriale (nodo SA) mentre la frequenza (HRV) è modulata interamente dall'associazione tra influsso simpatico (orto-simpatico) e parasimpatico, sempre in corrispondenza del nodo seno-atriale.

L'HRV può essere registrato, analizzato ed interpretato per aiutarci a capire in che modo il nostro corpo stia affrontando le sfide della vita e dell'ambiente. Dalla letteratura scientifica si riscontra che l'HRV sia un indice affidabile dello stress, una bassa HRV è associata ad una condizione stressante e un'alta HRV ad una condizione non stressante, una buona gestione dello stress o un ottimo recupero dello stesso.

Il sistema nervoso autonomo (SNA) è responsabile della regolazione automatica delle funzioni corporee, tra cui la frequenza cardiaca. L'HRV, ossia la variabilità del tempo tra i battiti cardiaci consecutivi, è un indicatore non invasivo dell'equilibrio del SNA.

Diversi studi hanno dimostrato che l'HRV è un indicatore affidabile dello stress. In condizioni di stress, l'HRV tende a diminuire, indicando una riduzione della capacità del corpo di adattarsi alle situazioni di tensione.

Sarà esplorato come lo stress influenza HRV, e viceversa, nonché la postura, tensioni muscolari e contrazioni involontarie, creando un circolo vizioso che mina il benessere generale e sarà quindi dimostrato come periodi di rilassamento piuttosto che periodi di stress indotto, attraverso stress cognitivo e Test di Stroop, possano diminuire questi livelli di stress andando ad aumentare la variabilità cardiaca e la capacità dell'organismo di reagire a stimoli esterni.

La postura, spesso trascurata nella nostra routine quotidiana, è un elemento chiave per la salute fisica. Le lunghe ore trascorse in posizione seduta o in attività che richiedono un uso prolungato di dispositivi elettronici (smartphone, tablet, etc.) possono portare a una postura scorretta. Questo impatta direttamente sulla salute della colonna vertebrale, generando mal di schiena, tensioni muscolari e deformità spinali che a loro volta influenzano negativamente i livelli di stress aumentandoli e generando un circolo vizioso.

La presente tesi investigherà un approccio attraverso l'analisi della variabilità del ritmo cardiaco (HRV) come indicatore affidabile dello stress e la sua integrazione in una delle svariate possibili soluzioni pratiche: la Smart Chair per il gaming; i dati recepiti dai sensori, collegati alla sedia mediante un oggetto indossabile (bracciale wireless), verranno elaborati restituendo dei

messaggi visivi tramite dei led inseriti nella sedia e nell'oggetto di misurazione stesso che variando i colori nelle varie tonalità RGB aiuteranno l'utente a capire quando la sua postura è corretta e quando no, piuttosto che quando sia l'ora di una piccola pausa, aiutando così l'utente a massimizzare la sua performance durante la sessione al PC.

Tali dati saranno registrati su apposita applicazione che permetterà all'utente di visualizzare anche l'andamento temporale dei propri valori di stress e dei miglioramenti nel tempo.

Lo sviluppo di un sistema di monitoraggio dello stress basato sull'HRV integrato nella Smart Chair può fornire un nuovo strumento per la gestione dello stress e la promozione del benessere, oltre che avere una moltitudine di utilizzi differenti in ambito di controllo piuttosto che dell'aumento delle performance.

Nel tentativo di comprendere a fondo il legame tra stress, postura e benessere, sarà analizzata la connessione intricata tra questi tre elementi.

Questo elaborato esamina il database “Non-EEG Dataset for Assesment of Neurological Status”, estratto dall’ATM Physionet, in cui è presente un dataset di segnali fisiologici non cerebrali di 20 soggetti sottoposti a diverse fasi di stress e rilassamento. Estruendo i dati del HR in condizioni di stress cognitivo e rilassamento, si analizza HRV nel dominio del tempo, nei rispettivi parametri mRR, SDNN, RMSSD e NN50.

Si è riscontrato come i loro valori cambino nel passaggio da una fase di rilassamento a stress.

In accordo con la letteratura, tutti sono diminuiti dal rilassamento a stress, rispettivamente mRR, SDNN, RMSSD e NN50.

Da questi ultimi risultati si è evinto come la risposta allo stress sia efficace ma dipenda molto dalla durata di esposizione allo stress, dalla sua natura, e come effettivamente essa sia una risposta soggettiva, influenzata da molteplici parametri come sesso, età, allenamento, genetica etc.

## CAPITOLO 1

### 1.1 Stress

*“Lo stress viene da dentro; è la tua reazione alle circostanze, non le circostanze stesse.”*

*Brian Tracy*

Lo stress è stato definito in molti modi da molte persone diverse nel corso degli ultimi anni. Argomento di notevole interesse per professionisti, medici, ingegneri, scienziati sociali, antropologi, psicologi e zoologi.

E' un problema base della società moderna. In una crescita esponenziale, minaccia la salute e la qualità della vita dell'uomo in tutto il mondo industrializzato. Le conseguenze sono innumerevoli, che vanno dai disagi a patologie gravi, psichiche e/o fisiche.

Mente e corpo, stati d'animo, pensiero, e reazioni fisiologiche sono strettamente integrate e si condizionano a vicenda istante per istante. Benessere psichico e benessere fisico sono due aspetti imprescindibili l'uno rispetto l'altro.

Al giorno d'oggi si sono sviluppate, grazie ai continui sviluppi delle neuroscienze, nuove psicoterapie e "tecnologie mentali" nonché programmi integrati di supporto, in grado di risolvere, anche in tempi brevi, numerose problematiche psichiche portando a un aumento della consapevolezza e del controllo sui propri stati d'animo e quindi sui comportamenti.

L'educazione mentale risulta parte integrante di qualunque programma di benessere.

Qualsiasi discussione sullo stress sarebbe sicuramente incompleta senza una menzione del lavoro del dottore Hans Selye, considerato da molti il padre della ricerca sullo stress, iniziando a studiare il fenomeno dello stress oltre 60 anni fa.

Il suo lavoro classico e ancora ampiamente rispettato, “The Stress of Life”, pubblicato per la prima volta nel 1946, definisce lo stress: “una risposta non specifica del corpo a una richiesta.”

Questa definizione sullo stress è tuttora il nostro “gold standard” su ciò che accade nel nostro corpo quando veniamo messi fuori gioco dal nostro confortevole equilibrio.

La reazione fisiologica allo stress è la risposta del nostro corpo a qualsiasi cambiamento, minaccia o pressione esercitata su di esso, da forze esterne o interno. Il nostro corpo cerca di ritrovare il suo stato normale e di proteggersi da potenziali danni, quindi, mantenerci vivi e in salute.

Oggi, gran parte dello stress che sperimentiamo è prodotto nella nostra mente. Percepriamo una minaccia (perdita del lavoro, rabbia del coniuge, mancato rispetto di una scadenza) e iniziamo a preoccuparci. I nostri corpi, non avendo la capacità di distinguere una scadenza da una bestia pelosa, reagiscono ancora più o meno allo stesso modo di 4000 anni fa.

Lo stress è inevitabile. Essere completamente senza stress significa essere morti! Tuttavia, non tutto lo stress è spiacevole. Selye distingueva tra stress piacevole, che chiamò *eustress*, e stress spiacevole o *distress*.

Quando discutiamo di stress oggi ci riferiamo solitamente al disagio, ma stress riguarda anche situazioni o eventi piacevoli: matrimoni, lauree, nascite, promozioni, ricevere premi, ricongiungimento con vecchi amici e innumerevoli altri. Qualsiasi cambiamento, positivo o negativo, richiede una risposta da parte dei nostri corpi per adattarsi e riportarci al nostro stato relativamente pacifico.

Possiamo anche considerare lo stress come uno stato di squilibrio tra le richieste (da fonti interne o esterne) e le nostre capacità percepite di soddisfarle. Ciò viene sperimentato in modo più acuto quando ci si aspetta che le conseguenze del soddisfare la domanda saranno molto diverse dalle conseguenze del non soddisfare la domanda. Ad esempio, se ti venisse chiesto di creare una brochure di marketing e ti sentissi sicuro della tua conoscenza del prodotto e della tua capacità di organizzare le informazioni, creare una grafica accattivante e dare una svolta interessante e attraente alle informazioni, troverai l'intera esperienza molto meno stressante che se ti considerassi inadeguatamente informato, uno scrittore mediocre e non particolarmente creativo. Sarebbe doppiamente stressante se, oltre alla pressione per un capolavoro strabiliante, i destinatari iniziali fossero un beta-test gruppo dei clienti più grandi e apprezzati dell'azienda, a cui verrebbe chiesto di fornire un feedback sulle loro reazioni al nuovo prodotto in base al tuo articolo di marketing.

La risposta allo stress è innescata da un fattore di stress. Alcuni fattori di stress comuni includono:

- Minacce fisiche
- Minacce alla nostra immagine di sé
- Un evento importante della vita
- Litigio o conflitto con un amico/parente/collega

- Scadenze strette
- Perdita di qualcosa o qualcuno a cui teniamo

Affinché un evento possa essere etichettato come fattore di stress, deve essere percepito come tale. Una richiesta da parte del tuo coniuge di ritirare una prescrizione in farmacia può essere percepita come un compito del tutto ragionevole e adattarsi perfettamente ad altre commissioni per quel giorno (non stressante). D'altra parte, potrebbe richiedere un notevole gioco di destrezza con un programma già pieno e causare cattivi sentimenti o una discussione tra te e il tuo coniuge (stressante).

Come lo stress stesso, i fattori di stress sono di due tipi: *distressor* ed *eustressor*. L'opportunità di alzarsi durante una riunione e dire alcune parole può essere percepita come spaventosa, minacciosa o rischiosa per un individuo, ma un secondo individuo potrebbe aspettarsi o sperare di essere chiamato in causa e vederla come un'opportunità per apparire. Il primo vede la situazione come *distressor*, il secondo come *eustressor*, o come una sfida positiva.

Lo stress è cumulativo. I nostri corpi sono ben attrezzati per affrontare una ragionevole quantità di stress nel corso della nostra vita. Tuttavia il nostro mondo sta diventando sempre più complesso ed esigente. È particolarmente importante oggi, e diventerà sempre più fondamentale nei decenni futuri, assicurarsi di disporre di tecniche di coping adeguate per gestire le nostre vite stressanti.

Le tecniche di coping sono modelli di pensiero e abitudini comportamentali che neutralizzano i fattori di stress o ne mitigano l'impatto su di noi. Quando riceviamo una recensione negativa sul lavoro, i nostri pensieri spesso si concentrano su idee come "il mio manager non ha avuto un'opportunità adeguata per osservare quanto duramente ho lavorato" o "il mio supervisore semplicemente non apprezza le competenze non tecniche". Probabilmente hai chiamato questi pensieri razionalizzazioni. Questo è esattamente quello che sono; razionalizzare è un meccanismo di coping.

Il coping è il nostro sforzo di gestire le richieste che percepiamo come negative. Gli esseri umani sviluppano automaticamente complessi meccanismi di coping; fa parte del processo di socializzazione e maturazione. Questi meccanismi di coping differiscono ampiamente da un individuo all'altro. E vanno dal banale al grave.

All'estremità estrema o grave si trova ciò che gli psichiatri chiamano repressione. Quando nella vita accade qualcosa di veramente devastante, soprattutto quando si verifica in giovane età, le

nostre menti potrebbero semplicemente distruggerne ogni traccia nel disperato tentativo di mantenere la normalità.

All'estremità più lieve dello spettro ci sono strategie inconsce di coping, come muoversi più lentamente in una giornata calda o restare a letto quando non ci sentiamo molto bene. Ci impegniamo anche in molte attività di coping deliberate, come metterci del cotone nelle orecchie quando lavoriamo in una stanza rumorosa, coccolare il cane o il gatto quando ci sentiamo soli o non amati, o fare un lungo bagnoschiuma dopo una giornata difficile.

A volte dobbiamo integrare questi meccanismi quotidiani di coping per soddisfare richieste elevate.

Un ultimo elemento completa la nostra comprensione generale della natura dello stress: la sua immagine speculare, la soddisfazione. Lo stress e la soddisfazione spesso funzionano come un'altalena; quando uno sale l'altro scende. Ma non è sempre così. È possibile che qualcuno provi un forte stress e un'elevata soddisfazione, se ha una sensazione di controllo e scelta nella situazione e dispone di meccanismi di coping funzionali. Non è altrettanto probabile, tuttavia, che qualcuno con una bassa soddisfazione sia anche poco stressato. Generalmente, i sentimenti di scontento o insoddisfazione vanno di pari passo con alti livelli di stress.

Tutte queste alterazioni si riscontreranno sul battito cardiaco e le nostre tecniche di coping cercano di rallentare il nostro battito, con conseguente rilassamento generale.

## **1.2 Rischi di Stress Prolungato**

Lo stress prolungato può avere gravi impatti sulla salute fisica e mentale di un individuo, come evidenziato da numerose ricerche scientifiche. Esamineremo alcuni dei rischi associati a uno stress cronico, sostenendo le affermazioni con riferimenti ad articoli scientifici.

- *Rischio di Malattie Cardiache:*

Numerose ricerche collegano lo stress prolungato all'aumento del rischio di malattie cardiache. Lo stress cronico può contribuire all'infiammazione sistemica e all'aumento della pressione sanguigna, fattori che aumentano la suscettibilità alle malattie cardiovascolari. Uno studio ha evidenziato l'associazione tra lo stress cronico e l'aumento del rischio di eventi cardiaci [1].

- *Impatto sul Sistema Immunitario:*

Lo stress prolungato può indebolire il sistema immunitario, rendendo l'organismo più suscettibile alle infezioni. Ricerche, come quella pubblicata su "Psychological Bulletin", hanno dimostrato che lo stress cronico può influenzare negativamente la risposta immunitaria, compromettendo la capacità del corpo di difendersi da agenti patogeni [20].

- *Effetti Neurologici:*

Gli effetti dello stress prolungato sul cervello sono ampiamente documentati. La produzione eccessiva di cortisolo, l'ormone dello stress, può danneggiare le cellule cerebrali e interferire con la formazione di nuovi neuroni. Uno studio pubblicato su Nature Reviews Neuroscience ha esaminato gli impatti del cortisolo sul cervello, evidenziando la sua associazione con la riduzione della plasticità cerebrale e la compromissione delle funzioni cognitive [21].

- *Problemi Psicologici:*

Lo stress cronico è un fattore di rischio per disturbi psicologici come ansia e depressione. Uno studio longitudinale pubblicato su "Journal of Abnormal Psychology" ha dimostrato che l'esposizione continua a eventi stressanti è associata a un aumento significativo del rischio di sviluppare disturbi dell'umore.

- *Effetti sull'Apparato Muscolo-Scheletrico:*

La tensione muscolare derivante dallo stress prolungato può portare a problemi muscolo-scheletrici, come il mal di schiena. Ricerche hanno esplorato la connessione tra lo stress cronico e il manifestarsi di sintomi dolorosi nel sistema muscolo-scheletrico. Tuttavia, per quanto lo stare seduti offra comfort, a differenza di molte posizioni del corpo fisicamente faticose, lo stare seduti a lungo in posizioni scorrette dovute a stress hanno conseguenze importanti per il corpo umano come tensioni muscolari, mal di schiena, deformità muscolo-scheletriche, mal di testa, gonfiore degli arti inferiori e fenomeni simili [1].

- *Aumento del Rischio di Disturbi Gastrointestinali:*

Uno stress prolungato può influenzare la salute gastrointestinale, contribuendo all'insorgenza di disturbi come il colon irritabile. Studi ha esaminato la relazione tra lo stress cronico e i disturbi gastrointestinali funzionali [22].

In sintesi, la letteratura scientifica fornisce evidenze sostanziali che collegano lo stress prolungato a una serie di rischi per la salute. Comprendere e affrontare questi rischi è

fondamentale per preservare il benessere generale e prevenire gravi conseguenze a lungo termine.

### **1.3 Problemi correlati a stress, postura e battito cardiaco**

Aristotele affermò saggiamente che 'Nulla è nell'intelletto che prima non sia stato nei sensi', una prospettiva che trova riscontro nella complessità della connessione tra mente e corpo. Alberto Oliverio, nel suo libro "La mente, istruzione per l'uso", sottolinea l'importanza del controllo corporeo, affermando che perdere il controllo sul proprio corpo implica inevitabilmente perdere il controllo sui pensieri ed emozioni.

La Prof. Cecilia Morosini, esperta in neurologia clinica e riabilitativa presso l'università Bicocca di Milano, aggiunge una prospettiva cruciale, affermando che qualsiasi malattia mentale, psicotica o nevrotica, compromette l'unità psichica e corporea, e suggerisce che il ripristino dell'unità corporea è cruciale in questi casi.

Gli studi scientifici evidenziano che azioni e movimenti giocano un ruolo centrale nei processi di rappresentazione mentale fin dalla fase embrionale, in cui l'embrione si configura innanzitutto come un organismo motorio. La percezione segue l'azione, e le informazioni propriocettive, provenienti da recettori disseminati nell'organismo, determinano la nostra percezione della posizione spaziale e della conformazione corporea.

Lo stress comporta tensione muscolare, inizialmente a livello volontario e successivamente anche a livello involontario, con effetti che possono bloccare lo stato di benessere. Questa tensione muscolare può influire sulla postura e, attraverso la rete del sistema connettivale, generare disfunzioni muscolo-scheletriche e organiche.

Il corpo umano si configura come un intricato network, una rete integrata che unisce sia fisicamente che chimicamente gli organi, i sistemi e gli apparati. Sia che si tratti dei circuiti cerebrali, attivati da emozioni e pensieri, dei circuiti nervosi vegetativi, stimolati da sollecitazioni o feedback di altri organi o sistemi, sia che si manifesti attraverso il sistema connettivo mediante spinte e tensioni meccaniche, o tramite segnali emessi dagli organi endocrini o immunitari, ogni componente della rete riconosce, in modo interconnesso, i messaggi provenienti da ciascun elemento.

Il legame che unisce queste componenti è stretto e bidirezionale. Tra gli eventi biologici, fisici e quelli psichici, si stabilisce un rapporto reciproco, anziché una semplice relazione causa-effetto. I fenomeni psichici inducono modificazioni nel resto del corpo, e, a loro volta, le modificazioni del corpo influenzano stati psichici e comportamentali.



È palese che un approccio terapeutico alle problematiche legate allo stress debba sfruttare questa complessità della "grande connessione" per ottenere massima efficacia. L'obiettivo principale è promuovere il ripristino di una comunicazione equilibrata tra i vari sistemi che compongono il corpo umano. Contemporaneamente, la consapevolezza di questi meccanismi si configura come un valido alleato nella prevenzione dei disagi causati dallo stress e nella promozione di un elevato stato di benessere psico-fisico. Comprendere la reciproca influenza tra mente e corpo consente di adottare strategie preventive mirate, creando un ambiente propizio per la salute globale dell'individuo. In questo modo, si apre la strada a un approccio più completo e consapevole alla gestione dello stress, orientato non solo alla cura dei sintomi ma anche alla promozione di uno stato di salute ottimale.

Nella frenesia della vita quotidiana, l'equilibrio tra stress, postura e benessere emerge come un aspetto cruciale per la nostra salute globale.

In questo contesto, il benessere emerge come la vittima silenziosa di stress e postura scorretta. La perdita di equilibrio tra corpo e mente può compromettere la qualità della vita, influenzando anche la capacità di concentrazione, la qualità del sonno e persino la soddisfazione personale.

Lo stress può contribuire direttamente a una postura scorretta attraverso la tensione muscolare, creando un circolo vizioso che alimenta entrambi i problemi. Allo stesso tempo, una postura scorretta può aumentare i livelli di stress, creando un nesso intricato tra mente e corpo. Comprendere queste interconnessioni è essenziale per sviluppare strategie efficaci di gestione dello stress e promuovere una postura sana.

Tecniche di gestione dello stress, come la mindfulness e l'esercizio fisico, possono essere integrate in programmi che promuovono una postura corretta. L'educazione sulla consapevolezza posturale, insieme a interventi ergonomici negli ambienti di lavoro, può contribuire a prevenire e affrontare questi problemi.

In un mondo sempre più frenetico, riconoscere e affrontare queste tematiche diventa imperativo per preservare la nostra salute complessiva. Sviluppare una consapevolezza attiva dei segnali che il nostro corpo ci invia, combinata con strategie efficaci di gestione dello stress e attenzione alla postura, può costituire la chiave per un benessere duraturo e un equilibrio sano tra mente e corpo.

## CAPITOLO 2: MONITORAGGIO DEL BATTITO CARDIACO E HRV

### 2.1 Cuore e Sistema Nervoso

Il cuore è un muscolo che si contrae ritmicamente per fornire nutrimento e ossigeno ai tessuti attraverso il sangue. È costituito da due pompe, le quali sono a sua volta costituite da due cavità: l'atrio e il ventricolo destro e sinistro. La pompa di destra è addetta alla circolazione polmonare mentre quella di sinistra fornisce il sangue ad altri distretti corporei e al cuore stesso, creando la circolazione sistemica e coronarica.

Esso si colloca nella cavità toracica, in un'area denominata mediastino, posizionato in modo che i suoi due terzi si localizzino alla sinistra del piano mediano. La dimensione di un cuore adulto può essere approssimata a quella di un pugno. Esso è racchiuso in un sacco chiamato pericardio costituito da due foglietti: quello esterno denominato sacco pericardico (pericardio parietale), provvisto principalmente di strato fibroso e quello interno chiamato epicardio (pericardio viscerale), un sottile strato sieroso che riveste la superficie del cuore. Tra i due c'è uno spazio chiamato cavità pericardica, riempita di un liquido che lubrifica i due foglietti permettendo al cuore di battere con minore attrito. Seguono altri due strati, il miocardio e un sottile endocardio che riveste le cavità cardiache.

La circolazione del sangue dipende dall'attività contrattile del miocardio, il quale è costituito da fibre specializzate che possono produrre spontaneamente impulsi elettrici. Nell'atrio destro è presente il nodo seno atriale (S-A), un pacemaker naturale che sincronizza il ritmo di contrazione dell'intero cuore. L'impulso elettrico eccitatorio, infatti, è generato proprio a livello del nodo S-A e si propaga passando dagli atri fino al nodo atrio ventricolare (A-V) collocato alla base dell'atrio destro. Successivamente l'impulso arriva all'apice dei ventricoli tramite il fascio di His ed in seguito raggiunge le pareti dei ventricoli costituite dalle fibre del Purkinje. La depolarizzazione prodotta dagli impulsi stimola la contrazione delle aree interessate permettendo il passaggio del sangue dagli atri ai ventricoli, ai polmoni e al resto del corpo, ripetendosi a ogni ciclo.

Per pompare in modo efficace il sangue il cuore dispone di valvole che assicurano un flusso unidirezionale. Esiste una valvola tra ogni atrio e il suo ventricolo e un'altra nel punto in cui da ogni ventricolo si origina un'arteria. Ciascuna valvola è costituita da due o tre lamine di tessuto fibroso chiamate cuspidi o lembi. Le valvole atrioventricolari (AV) regolano le aperture tra gli atri e i ventricoli e si distinguono in valvola AV destra (tricuspide) e in valvola AV sinistra (bicuspid), anche conosciuta come valvola mitrale. Le valvole semilunari regolano il flusso sanguigno dai ventricoli alle grandi arterie e si dividono in valvola polmonare, che controlla

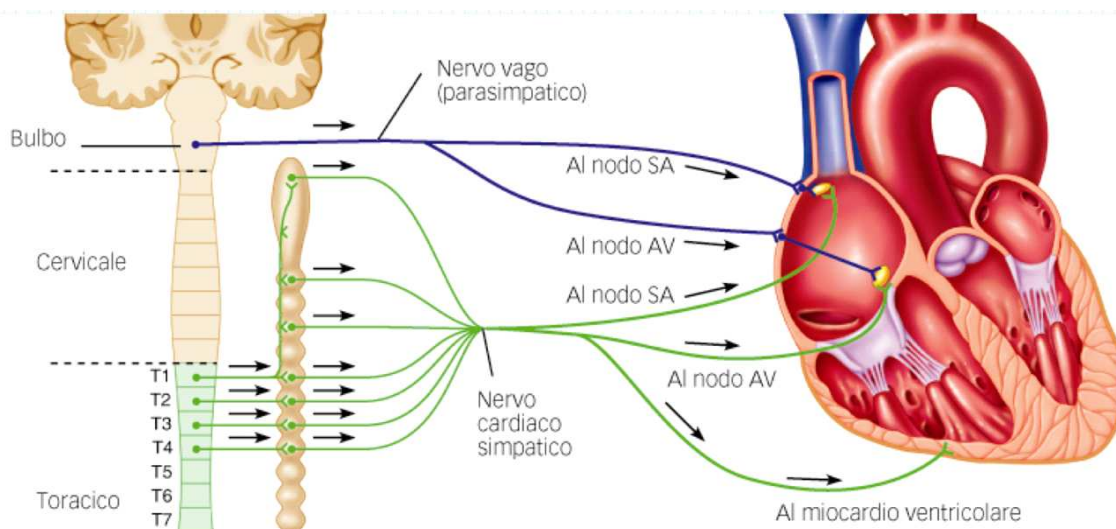
l'uscita dal ventricolo destro nel tronco polmonare, e in valvola aortica, che controlla l'uscita dal ventricolo sinistro in aorta. Le valvole cardiache si aprono e si chiudono per via di cambiamenti nella pressione sanguigna.

Il ciclo cardiaco comprende tutti gli eventi elettrici, meccanici e di flusso che si verificano all'interno del cuore a ogni battito, a riposo la sua durata è di 800 ms. È caratterizzato da due fasi distinte ma complementari: la fase sistolica, quella di contrazione e la fase diastolica, quella di rilascio. La fase sistolica è definita come il periodo di tempo in cui la pressione intraventricolare incrementa rapidamente e i ventricoli si contraggono, il sangue viene quindi espulso nella rete di circolazione sistemica e polmonare. Temporalmente la sua durata è di 500 ms ed è limitata dalla chiusura e la successiva apertura delle valvole A-V. La fase diastolica è definita come il periodo di tempo in cui i ventricoli sono rilassati e il sangue fluisce molto rapidamente dentro di essi, facendo sì che il volume intraventricolare aumenti e che la pressione subisca un rapido abbassamento. Temporalmente la sua durata è di 300 ms e coincide con l'intervallo tra l'apertura e la chiusura delle valvole A-V.

Il sistema parasimpatico (vagale) ha un effetto inibitorio sul ritmo di contrazione grazie alle innervazioni a livello del nodo seno atriale (S-A) e atrio ventricolare (A-V). Il sistema nervoso simpatico, invece, ha un'azione eccitatoria e agisce in modo specifico sulla forza di contrazione ventricolare grazie alle numerose innervazioni molto distribuite anche nei ventricoli oltre che nel nodo S-A e A-V. La frequenza cardiaca è definita come il numero di battiti in unità di tempo (bpm) ed è regolata dall'attività del sistema nervoso autonomo. La frequenza media del cuore è di 70 battiti al minuto. Tale valore viene ottenuto grazie all'azione inibitoria di tipo tonico del sistema nervoso autonomo esercitata sul nodo S-A, che riduce la frequenza cardiaca di 20-30 battiti al minuto [5]. In assenza di questa azione continua, il ritmo di contrazione avrebbe valori molto più alti, all'incirca 107 battiti al minuto.

Il SNA è costituito da due sottoinsiemi: il sistema simpatico e il sistema parasimpatico. Questi differiscono per anatomia e funzione ma possono innervare gli stessi organi bersaglio ed avere su di essi effetti cooperativi o contrastanti. Il sistema simpatico stimola gli adattamenti corporei in situazioni che coinvolgono attenzione, esercizio, stress, pericolo o trauma; provoca quindi un aumento della pressione arteriosa, del flusso ematico indirizzato ai muscoli scheletrici e al muscolo cardiaco, della forza di contrazione cardiaca, dell'HR e della glicemia. Il sistema parasimpatico a confronto ha un "effetto calmante", diminuendo i processi appena descritti; infatti, la sua attivazione è finalizzata all'immagazzinamento delle riserve energetiche. Normalmente entrambe i sistemi sono attivi contemporaneamente, dimostrando un equilibrio tra il tono simpatico e quello parasimpatico che si modifica a seconda delle necessità corporee

e nessuno dei due svolge un'azione completamente eccitatoria o calmante. Il SNA ha componenti sia al livello del SNC che del SNP. La via motrice autonoma verso un organo bersaglio è formata da due neuroni e da una loro sinapsi in un ganglio autonomo. Il primo neurone, detto neurone pregangliare, è localizzato con il soma nel tronco cerebrale o nel midollo spinale e si porta in un ganglio del SNA, fuori dal SNC. Qui avviene una sinapsi con un neurone gangliare e si origina una fibra postgangliare che raggiunge la cellula bersaglio. Il sistema simpatico origina dalle regioni toracica e lombare del midollo spinale. È provvisto di fibre pregangliari brevi e postgangliari lunghe. Le fibre dei neuroni pregangliari escono da un settore di nervi spinali e si portano nella catena gangliare simpatica, serie di gangli adiacenti alla colonna vertebrale su entrambi i lati, dal livello cervicale a quello coccigeo. Una volta entrate nella catena le fibre pregangliari o terminano nel ganglio in cui sono entrate e contraggono sinapsi direttamente con un neurone postgangliare oppure proseguono, contraindo sinapsi con altri gangli e collegandoli tra loro. Altre invece non contraggono sinapsi. Le fibre nervose (fibre postgangliari) lasciano la catena attraverso tre vie: nervi spinali, simpatici e splancnici. La prima è diretta alla maggior parte delle ghiandole sudoripare, dei muscoli scheletrici, dei muscoli piloerettori e dei vasi sanguigni della cute. La seconda permette alle fibre postgangliari di raggiungere cuore, polmoni, esofago e vasi sanguigni toracici. Si ricordano i nervi cardiaci diretti al cuore che contengono anche fibre parasimpatiche.



*Figura 1 Sistema Nervoso Simpatico e Parasimpatico nel cuore*

L'ultima via invece si porta agli effettori nella cavità addomino-pelvica. Il sistema parasimpatico origina invece dall'encefalo e dalla regione sacrale del midollo spinale; i somi dei neuroni pregangliari sono localizzati nel mesencefalo, nel ponte, nel midollo allungato e in determinati segmenti del midollo spinale. Inviano fibre pregangliari che terminano in gangli terminali all'interno o in prossimità degli organi bersaglio. Al contrario del sistema simpatico,

quello parasimpatico ha fibre pregangliari lunghe e quelle post brevi. Le fibre parasimpatiche lasciano il tronco encefalico attraverso quattro nervi cranici: il nervo oculomotore, il nervo facciale, il nervo glossofaringeo e il nervo vago. Quest'ultimo trasporta circa il 90% di tutte le fibre pregangliari parasimpatiche e le distribuisce al cuore, al plesso polmonare e a quello esofageo fino alla cavità addominale.

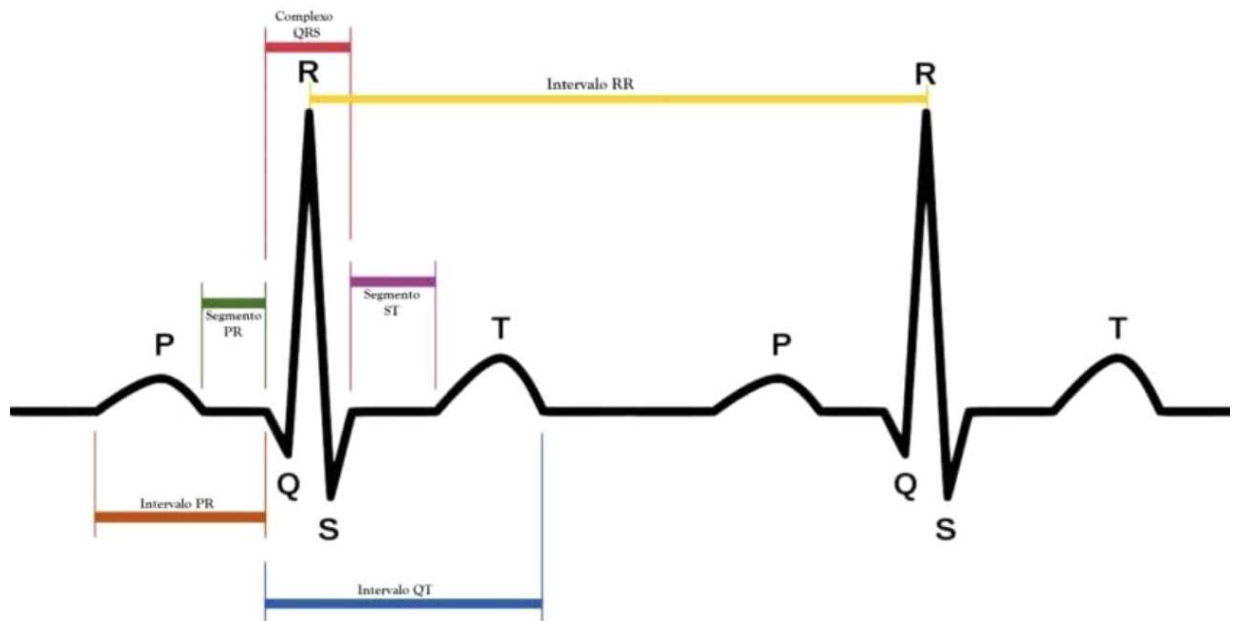
Il SNA, nonostante il suo nome, non è indipendente. Infatti, le sue efferenze originano nel SNC e riceve afferenze da corteccia cerebrale, ipotalamo, midollo allungato e rami somatici del SNP. L'ipotalamo è sede di molti nuclei deputati al controllo autonomico. Infatti, si è visto come la stimolazione artificiale di diverse sue regioni può attivare la risposta di combattimento o fuga, tipica del sistema nervoso simpatico, o esercitare effetti calmanti tipici del sistema parasimpatico.

Anche se il cuore batte a una propria frequenza, riceve un'innervazione sia simpatica che parasimpatica che modifica il ritmo cardiaco e la forza della contrazione come illustrato in Figura 1. L'innervazione simpatica diretta al cuore origina tra i segmenti cervicali inferiori e i toracici superiori del midollo spinale, da cui le fibre efferenti passano alla catena del simpatico, dunque, verso l'alto ai tre nervi cervicali. I nervi cardiaci originano dai gangli cervicali, attraversano il plesso cardiaco e continuano nel miocardio ventricolare. Alcune fibre innervano anche gli atri. Il sistema parasimpatico innerva invece il cuore attraverso il vago che si dirama a destra ad innervare il nodo SA e a sinistra il nodo AV; i ventricoli ricevono una stimolazione vagale scarsa o assente. La stimolazione simpatica è più lenta di quella parasimpatica che è quasi istantanea (<1s). Nella condizione di stress descritta nel paragrafo 1.2, i potenziali d'azione dei motoneuroni simpatici innescano il rilascio di adrenalina e NA ma prima che avvenga un aumento dell'HR c'è un ritardo di 5 s. Ciò comporta che qualsiasi cambiamento improvviso dell'HR, in aumento o in diminuzione, è principalmente mediato dal vago.

L'ECG è un segnale biomedico generato dalla propagazione dell'impulso elettrico nel cuore ad ogni battito cardiaco. Come si è illustrato nel capitolo precedente, l'impulso elettrico che viaggia nel tessuto cardiaco è dovuto a un flusso di cariche elettriche di cui i nervi e i muscoli costituenti il cuore ne sono la sorgente. Queste cariche in movimento producono dei potenziali locali che a loro volta generano un campo elettrico che si propaga fin sulla superficie toracica con le sue linee equipotenziali, grazie ai tessuti e ai fluidi corporei che fungono da conduttori. Se sul torace (ma in realtà il campo è rilevabile in tutto il corpo) vengono posti appositi elettrodi su due linee del campo a potenziale diverso, si può rilevare una differenza di potenziale. Questa differenza di potenziale varia nel tempo, come la depolarizzazione e la ripolarizzazione alla base dell'attività elettrica del cuore, e registrandola in funzione del tempo si ricava l'ECG. Esso

è un segnale quasi periodico che si ripete con un periodo che è il reciproco dell'HR. Quest'ultima per un individuo umano in condizioni normali e a riposo assume valori nell'intervallo compreso tra i 60 e i 100 bpm, stabilito da diverse associazioni mediche, tra cui l'American Heart Association. La variabilità dell'ECG è dovuta in uno stesso soggetto a cause fisiologiche, quali ad esempio l'attività fisica o forti stress emotivi, a cause patologiche e anche a interferenze associate a rumori esterni o ad altri segnali biologici; mentre tra soggetti diversi è associata all'età, al sesso, alla statura e alla composizione corporea. Il segnale elettrocardiografico riflette l'attività elettrica del cuore che può essere così misurata; esso costituisce l'indagine clinica di maggior importanza nella diagnostica cardiologica.

Come si può osservare in Figura 2, la morfologia dell'ECG è il risultato di un'integrazione spazio-temporale dell'attività elettrica di tutti i cardiociti, dunque, riflette la variazione dei potenziali d'azione durante il ciclo cardiaco. Essa è caratterizzata da tre eventi principali: l'onda P, il complesso QRS e l'onda T, connessi tra loro attraverso il segmento PR e quello ST. Il tutto è mostrato in Figura 2. L'onda P è generata dalla depolarizzazione degli atri, dovuta dalla propagazione dell'impulso dal nodo SA fino al nodo AV, seguita dalla rispettiva contrazione in corrispondenza del segmento PR. Il complesso QRS rappresenta invece la depolarizzazione dei ventricoli, risultato della trasmissione dell'impulso lungo il setto, l'apice e la base del cuore; segue il segmento ST che coincide con la contrazione dei ventricoli. Infine, c'è l'onda T che descrive la ripolarizzazione ventricolare, dunque il rilassamento del miocardio ventricolare, seguito da un tratto in cui per alcuni ms il cuore sta fermo. La parte del segnale che coincide con la ripolarizzazione atriale non è invece visibile poiché è sormontata dal complesso QRS. La grandezza di quest'ultimo è associata al fatto che i ventricoli costituiscono quasi tutta la massa muscolare cardiaca e generano una corrente elettrica elevata per via della loro intensa contrazione. In alcuni individui è possibile individuare anche l'onda U, prodotta dalle ultime cellule ventricolari che si rilassano.



*Figura 2 ECG in successione ciascuno caratterizzato dalle tre forme caratteristiche, l'onda P, il complesso QRS e l'onda T. L'intervallo RR rappresenta la distanza temporale tra i picchi R dei due complessi QRS.*

L'ECG può essere studiato in tempo e in ampiezza; viene infatti rappresentato in un sistema cartesiano dove l'asse x coincide con l'asse dei tempi (ms) e l'asse y con quello delle ampiezze (mV). Quindi l'intervallo PR è il tempo di conduzione atrio-ventricolare, ovvero indica quanto tempo il segnale elettrico impiega a passare dagli atri ai ventricoli e un suo allungamento può essere associato a una problematica cardiaca, come un'ostruzione. Mentre l'intervallo QT è il tempo di depolarizzazione e ripolarizzazione ventricolare e sia una sua eccessiva brevità che eccessiva lunghezza è associata a patologie, quali la short QT syndrome e la long QT syndrome. Relativamente alle ampiezze, con il picco R si raggiungono valori compresi tra 1 e 3 mV.

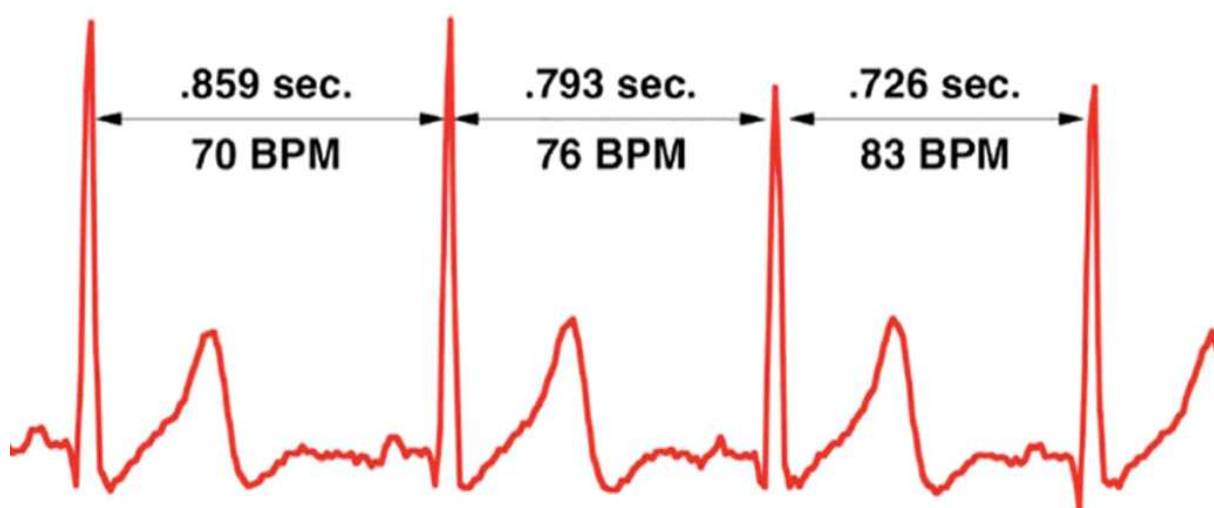
## 2.2 HRV

La variabilità della frequenza cardiaca o heart rate variability (HRV) è definita come i cambiamenti nell'intervallo di tempo tra battiti cardiaci consecutivi, chiamati intervalli interbattito [6].

L'HR è il numero di battiti cardiaci al minuto, HRV è la fluttuazione degli intervalli di tempo tra battiti cardiaci adiacenti (anche intervalli RR, ad indicare la distanza tra due picchi R successivi). L'HRV è considerata "una misura della funzione neurocardiaca che riflette le

interazioni cuore-cervello e le dinamiche del sistema nervoso autonomo”, quindi un indice della capacità del cuore di rispondere alle variazioni fisiologiche e psicologiche dell’organismo e dello stato funzionale del sistema simpatico e parasimpatico.

C’è una relazione tra l’HR e la quantità di HRV: all’aumentare del primo c’è meno tempo tra i battiti cardiaci per verificarsi variabilità, di conseguenza l’HRV diminuisce; al contrario, a frequenze più basse c’è tempo tra i battiti cardiaci e quindi la variabilità aumenta. Un livello ottimale di HRV riflette uno stato di salute dovuto alla capacità di autoregolazione, di adattabilità e di resilienza ai diversi eventi ambientali quali respirazione, esercizio fisico, stress, sonno, ortostatismo, alterazioni emodinamiche e metaboliche. Invece, un’elevata variazione è dannosa per l’organismo in particolare per il cuore e il sistema nervoso; come anche troppa poca variabilità, che porta alla disgregazione del sistema. [9]



*Figura 3 Heart Rate Variability*

In generale, l’HRV è considerata una misura che riflette la capacità dell’organismo di reclutare in modo efficiente risorse cognitive ed affettive necessarie per l’adattamento ad ambienti mutevoli e complessi. Nello specifico, un’alta HRV è stata associata più direttamente alla salute mentale riflettendo buone capacità di regolazione emotiva e migliori abilità sociali. Numerosi studi hanno osservato che in individui con depressione sono presenti bassi livelli di HRV dovuti ad una minore attività parasimpatica. Per questo motivo una riduzione dell’HRV può configurarsi come possibile fattore diagnostico e prognostico della depressione [11].

L’organismo umano reagisce agli agenti stressanti sia a livello psichico che fisico, ai fini di un adattamento e benessere generale. Qualora questi stimoli siano troppo intensi o prolungati si generano delle risposte disadattive allo stress. Queste comportano delle disfunzioni dei sistemi biologici, tra cui il sistema nervoso autonomo (SNA). Infatti, si perde la regolazione del



controllo autonomico dell'adattamento cardiaco ai fattori di stress, con possibile aumento del rischio cardiovascolare. Il cuore batte a una propria frequenza e ad ogni battito autonomamente si contrae e pompa il sangue nel circolo polmonare e sistemico. Questo è possibile grazie a un sistema di conduzione dello stimolo elettrico generato da flussi di ioni attraverso le cellule cardiache. Tuttavia, il SNA regola il ritmo cardiaco attraverso una rete di nervi simpatici e parasimpatici che attraversa il cuore. Le cariche in movimento generano dei potenziali elettrici che si propagano sin sulla superficie del corpo. Se registrati nel tempo si ricava il segnale elettrocardiografico che misura l'attività elettrica del cuore ad ogni battito. Per l'azione di controllo del SNA sul cuore la frequenza cardiaca (Heart Rate, HR) non è costante e la sua variabilità riflette le interazioni cuore-cervello. L'HRV può essere studiata su diverse scale temporali a ultra-breve termine, a breve termine e a lungo termine e valutata attraverso diverse metriche. Dalla letteratura si evince che l'HRV sia un indice affidabile dello stress: una bassa HRV è da associare a una condizione di stress, mentre un'alta HRV a una buona gestione dello stress o ripresa da esso. Il questo viene associato a diversi parametri come gli intervalli RR e da questo si estrae e valuta quattro parametri dell'HRV: il RR medio, il SDNN, il RMSSD e il pNN50.

### **2.3 Misurazioni e Metriche**

Ci sono diversi modi per calcolare l'HRV ma tutti riguardano la quantità di variazione degli intervalli tra battiti cardiaci. Si possono effettuare registrazioni elettrocardiografiche a breve termine (~5 min), a ultra-breve termine (<5 min) e a lungo termine solitamente di 24 h. Inoltre, si può descrivere l'HRV utilizzando misurazioni nel dominio del tempo, nel dominio della frequenza e non lineari. Quest'ultime, note anche con il nome di "caos matematico", sono migliori per quantificare l'imprevedibilità e la complessità degli intervalli RR. L'HRV è una risposta a diverse perturbazioni fisiologiche, alcune mediate dal SNA tramite impulsi nervosi efferenti, vagali e simpatici, altre regolate da processi quali la ventilazione, l'attività baroriflessa e la termoregolazione. I processi che presentano fluttuazioni più lente e risposte a stimoli di maggior numero e intensità per essere ben rappresentati richiedono epoche di registrazioni più lunghe, al contrario di quelli che generano fluttuazioni più brevi. Di conseguenza, anche per il diverso significato fisiologico, i valori di HRV a breve e ultra-breve termine non sono intercambiabili con quelli a 24 h, sebbene calcolati con le stesse formule matematiche. Le misurazioni HRV a breve termine sono generate da due processi distinti ma sovrapposti; uno è legato alla relazione complessa e dinamica tra i sistemi simpatico e parasimpatico che è stata descritta nei capitoli precedenti, l'altro ai meccanismi regolatori che

controllano l'HR tramite l'aritmia sinusale respiratoria (RSA), il riflesso dei barocettori e le variazioni ritmiche del tono vascolare. [10] Per RSA si intende l'accelerazione e la decelerazione del cuore guidate dalla respirazione attraverso il baroriflesso. Quest'ultimo è uno dei meccanismi omeostatici che mantiene la pressione sanguigna a livelli costanti e si basa su neuroni specializzati nominati barocettori. Questi recettori elastici si trovano nell'arco aortico e nelle arterie carotidi interne e rispondono allo stiramento indotto dalla pressione del vaso sanguigno. I barocettori sono sempre attivi in quanto inviano informazioni sullo stato della pressione al cervello. Questo a sua volta media i cambiamenti indotti dai primi mediante i nervi simpatici e parasimpatici. In seguito ad un aumento della pressione sanguigna, i vasi si dilatano e i barocettori si allungano e si attivano ulteriormente. A questo punto sparano i potenziali d'azione più rapidamente, portando all'inibizione del sistema simpatico e all'attivazione di quello parasimpatico. Il risultato finale è una diminuzione dell'HR e di conseguenza della pressione sanguigna. Similmente l'attivazione simpatica e l'inibizione parasimpatica consentono al baroriflesso di elevare la pressione sanguigna e l'HR. Durante la fase inspiratoria l'HR aumenta, conseguenza della riduzione del tono vagale, perché i barocettori sono attivati dal maggior afflusso di sangue nel cuore per via di un abbassamento della pressione atriale, in generale intratoracica, dovuto dalla contrazione del diaframma e dall'espansione della cavità toracica. Al contrario, durante la fase espiratoria l'HR diminuisce; il diaframma si rilassa portandosi verso l'alto, diminuisce l'estensione della cavità toracica, mentre la pressione all'interno aumenta. Quindi l'atrio è meno espanso, c'è meno ritorno venoso e una minore attivazione dei barocettori che non sopprimono il tono parasimpatico. Alle registrazioni di 24 h dell'HRV contribuiscono invece i ritmi circadiani, la temperatura corporea interna, il metabolismo e il sistema renina-angiotensina (SRA) [10]. La termoregolazione, il terzo meccanismo di controllo, si colloca tra i meccanismi lenti di regolazione. Esso presenta quattro circuiti di controreazione due dei quali fanno aumentare la temperatura, gli altri due la diminuiscono. Se la temperatura supera la soglia di benessere il circuito si chiude in modo da ridurre la termogenesi, dovuta a combustioni interne, o da aumentare l'irraggiamento. Al contrario, se la temperatura diminuisce troppo, raggiungendo un livello non ottimale, il circuito si chiude in modo da ridurre l'evaporazione e l'irraggiamento. Le variazioni di temperatura prodotte da questo sistema di regolazione determinano delle oscillazioni della resistenza periferica vascolare che si traducono in variazioni della pressione sanguigna. Di conseguenza si attiva il meccanismo del riflesso barocettivo. Sulla resistenza periferica vascolare agisce anche il meccanismo di controllo umorale dell'SRA. L'SRA è un meccanismo ormonale che regola la pressione sanguigna, il volume plasmatico circolante e il tono della muscolatura arteriosa. Qualora le cellule iuxtaglomerulari del rene percepiscano una riduzione del volume

sanguigno circolante e una bassa pressione o ricevano degli stimoli come quelli del sistema nervoso simpatico, per il rilevamento da parte dei barocettori della diminuzione della pressione cardiaca, rilasciano direttamente nel flusso sanguigno l'ormone renina. Questo viene poi convertito in angiotensina I, successivamente in angiotensina II. Quest'ultimo è un potente vasocostrittore che provoca il restringimento dei vasi sanguigni, quindi, un aumento della pressione sanguigna. Questo sistema ha una latenza di alcuni minuti, di conseguenza, produce delle oscillazioni molto lente della pressione sanguigna. Ne consegue una fluttuazione dell'HR in bassissima frequenza.

#### *Analisi nel dominio del tempo*

Lo studio dei parametri nel dominio del tempo quantificano l'HRV osservato per un periodo di monitoraggio che varia da 60 s a oltre 24 h.

Alcuni di essi sono calcolabili dagli intervalli interbattito RR, altri invece dalle loro differenze. Riporteremo di seguito alcuni di essi.

- *SDNN – Deviazione standard di tutti gli intervalli NN*

$$SDNN = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RR_i - Mean)^2}{N - 1}} \quad N = \text{numero totale di intervalli RR} \quad (1)$$

$$Mean = \frac{\sum_{i=1}^N RR_i}{N} \quad (2)$$

Si misura in ms, è uno degli indici più semplici e richiede l'esclusione dei battiti cardiaci "anomali", come per esempio i battiti ectopici che hanno origine al di fuori del nodo SA dell'atrio sinistro, ma anche artefatti o battiti mancanti.

Sia il sistema simpatico che parasimpatico contribuiscono a questo indice.

Se ricavato da una registrazione di 24 h diventa un indice del "rischio cardiaco", soggetti con  $SDNN < 50$  ms vengono classificati come non sani, soggetti con  $50 < SDNN < 100$  ms hanno una salute compromessa, infine soggetti con  $SDNN > 100$  ms vengono classificati come sani [8].

- *NN50 - Numero di coppie adiacenti che differiscono di oltre 50 ms nell'intera registrazione*

$$NN50 = \sum_{i=1}^N (|RR_{i+1} - RR_i| > 50 \text{ ms})$$

(3)

Richiede l'osservazione di almeno 2 min.

- *pNN50 - Conteggio NN50 diviso il numero totale degli intervalli RR*

$$pNN50 = \frac{NN50}{N} \times 100$$

(4)

Si esprime in percentuale e anch'esso richiede un'osservazione minima di 2 min. è un indice in rapporto con l'attività del sistema nervoso simpatico e potrebbe essere più affidabile del (1) in acquisizioni brevi.

- *RMSSD - Valore quadratico medio delle differenze tra NN intervalli adiacenti*

$$RMSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2}{N - 1}}$$

(5)

Si misura in ms e richiede un'osservazione minima di 5 minuti, anche se nella letteratura sono stati proposti anche per periodi dai 10 ai 60 s. Richiede l'applicazione della radice quadrata della media della somma dei quadrati delle differenze. Rispecchia principalmente i cambiamenti mediati dal vago che si riflettono sulla variabilità della frequenza cardiaca; per misurazioni in un'intera giornata viene strettamente correlato al pNN50, e si preferisce in merito a quest'ultimo poiché fornisce una valutazione migliore dell'SRA.

Valori molto bassi di RMSSD sono da considerarsi un allarme per il rischio di morte improvvisa nell'epilessia [8].

### *Analisi nel dominio della frequenza*

Nel dominio delle frequenze, il segnale viene suddiviso in diverse componenti, tre principalmente, di cui se ne osserva le variazioni nell'ampiezza (potenza spettrale) in funzione della frequenza. Lo studio dell'HRV nel dominio della frequenza richiede l'utilizzo della trasformata di Fourier quadratica per avere la stima della potenza spettrale degli intervalli RR. Per avere Hz bisogna moltiplicare per il mRR.

Il Power Spectral Density (PSD) fornisce informazioni su come la potenza è distribuita in relazione alla frequenza. Nel PSD si osservano quattro diverse componenti dell'HRV, dove la loro intensità varia in diverse gamme di frequenza:

- ULF – Ultra Low Frequency - Banda a frequenza ultra bassa [  $< 0,0033$  Hz ]
- VLF – Very Low Frequency - Banda a frequenza molto bassa [  $0,0033 - 0,04$  Hz ]
- LF – Low Frequency – Banda a bassa frequenza [  $0,04 - 0,15$  Hz ]
- HF – High Frequency – Banda a frequenza molto alta [  $0,15 - 0,4$  Hz ]

La frequenza ultra-bassa (ULF), dove  $f < 0,003$  Hz potrebbe riflettere il ritmo circadiano e neuroendocrino, la frequenza bassissima (VLF) riflettere cambiamenti vasomotori, termoregolatori, la bassa frequenza (LF) riflette l'attività simpatica e barorecettoriale, infine l'alta frequenza (HF) riflette attività parasimpatica.

Poiché la frequenza  $f = 0,003$  Hz al confine fra le bande ULF e VLF corrisponde ad un periodo di tempo di 333 s, le registrazioni a breve termine di durata  $< 5$  min sono limitate all'analisi delle caratteristiche VLF, LF e HF, mentre la banda ULF richiede registrazione a lungo termine; clinicamente, vengono impiegati monitor ECG portatili che tipicamente registrano fino a 24 ore (monitor Holter).

I segnali HR possono contenere potenza a frequenze superiori a 0,4 Hz, il limite superiore della gamma HF. Le frequenze HF riflettono principalmente la potenza cardiaca parasimpatica mentre le frequenze LF hanno una componente prevalentemente simpatica, il rapporto LF/HF può essere quindi utilizzato come misura dell'equilibrio simpatico-vagale, cioè il relativo contributo di attività simpatica e parasimpatica.

### **2.4 Ruolo del HRV come indicatore di stress**

Nei diversi metodi per la misurazione dello stress, il più classico e di approccio prettamente psicologico, si basa sulla compilazione di questionari che ricercano la presenza di fattori di stress nella vita del paziente oppure la manifestazione di sintomi legati allo stress. Questa

metodologia presenta problemi alla soggettività nel reagire a stimoli di stress. Quindi, per avere una valutazione più oggettiva dello stress, si sono introdotti altri metodi che si basano sulle alterazioni fisiologiche indotte dal corpo, dovute a un'iperattivazione del sistema nervoso simpatico e a un'inibizione del parasimpatico. Ne consegue che lo stress può essere rilevato direttamente registrando l'attività del sistema nervoso attraverso microneurografia, cioè misurare l'attività elettrica di un nervo periferico tramite microelettrodi, ma risulta un approccio invasivo e solitamente si preferisce optare per metodi meno invasivi. Uno di questi comporta il rilevare attraverso le analisi del sangue il livello di NA che, come si è visto nel paragrafo precedente, in condizioni di stress viene rilasciato in grandi quantità. Insieme al NA si può misurare anche i livelli di cortisolo, che può essere misurato attraverso analisi del sangue, dell'urina o della saliva.

Un altro metodo si basa sullo studio dell'attività cardiaca e pressoria del soggetto poiché sia l'HR sia la pressione dipendono dalla bilancia simpato-vagale, caratterizzante la condizione di stress. Si monitora un soggetto con l'elettrocardiogramma (ECG) e un holter pressorio e si rileva lo stress tramite la variazione di tre fattori: la conduttanza cutanea e la pressione arteriosa a riposo, che in condizioni di stress tendono ad aumentare, e l'HRV che invece tende a diminuire.

Bisogna tener conto dei fattori fisiologici influenzano l'azione sul sistema simpato-vagale e di conseguenza l'HRV. In primis l'età, poiché viene influenzata dalla maturazione e invecchiamento delle cellule sistema nervoso. Studi recenti hanno riportato un aumento dell'HRV negli ultimi mesi di gestazione e i primi mesi di vita.

Altri studi identificano una diminuzione dell'HRV con l'aumento dell'età e durante il ritmo circadiano, dovuto all'assunzione di alcol, fumo, disidratazione, farmaci, infiammazioni, stress, ansia e depressione.

Anche il sesso incide sulla variabilità, poiché in diversi studi si è riscontrato una mHR maggiore rispetto gli uomini, e di conseguenza una dominanza vagale superiore.

La postura adottata da un soggetto può alterare anch'essa la variabilità, in particolare in posizione supina l'SRA aumenta e in posizione eretta diminuisce per effetto del riflesso barocettivo.[6]

HRV riflette le attività del sistema nervoso autonomo, e può essere un ottimo per misurare le rispettive funzioni simpatica e parasimpatica. *In particolar modo una bassa HRV è indice dell'HR monotonamente regolare*; è quindi da associare a funzioni alterate del sistema nervoso autonomo regolatorio che riducono la capacità dell'organismo di adattarsi ai diversi stimoli

esterni ed interni. Ecco perché l'HRV può essere considerata un metodo efficace e non invasivo per misurare il SNA in diverse situazioni cliniche per vari studi, compreso lo stress.

Molti studi hanno ottenuto come riscontro che l'HRV bassa indica un corpo sotto stress, e al tempo stesso, l'HRV alta indica che il corpo ha una forte capacità di adattarsi e contrastare lo stress, o si trova già in una fase avanzata del recupero dello stesso.

In condizioni di stress, rispetto a quelle di riposo, si ha una diminuzione dei parametri nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza dell'HRV.

Lo stress mentale porta ad un aumento della prevedibilità, della regolarità dell'intervallo RR e di conseguenza della riduzione della complessità, con andamento dei segnali più stabile e periodico. [10]

Periodi molto lunghi di stress comportano uno squilibrio tra i due rami del SNA, caratterizzato da un'iperattivazione del sistema simpatico, quindi da risposte prolungate allo stress, e da un ritardo della fase di recupero in cui predomina il sistema vagale. A lungo termine questa condizione porta all'usura dei sistemi fisiologici, compromettendo in particolare la salute cardiovascolare.

Si è visto come l'HRV sia un indice affidabile dello stress e allo stesso tempo può essere considerato un ottimo biomarcatore della ripresa fisiologica dallo stress.

Diverse strategie si sono dimostrate efficaci nell'aumentare l'HRV, meditazione, riposo e il sonno notturno, correlati ad un controllo cardiaco parasimpatico elevato, l'attività fisica, la musica, la termogenesi indotta dall'esposizione al freddo, che oltre ad aumentare l'attività vagale riduce le infiammazioni del corpo, l'agopuntura, l'osteopatia e il biofeedback.

Il biofeedback è una tecnica che consente agli individui di avere informazioni sui loro processi fisiologici, di prenderne consapevolezza e di essere in grado di controllarli e modificarli al fine di migliorare la propria salute mentale e fisica. A fornire queste informazioni sono dei dispositivi di biofeedback quali quello elettrotermico, respiratorio e dell'HRV (HRVB).

Un numero crescente di prove dimostra come la telemedicina contribuisca a portare risultati positivi sulla salute mentale. In questo settore rientrano anche i dispositivi appena nominati. Infatti, è stato condotto uno studio che ha dimostrato come l'utilizzo di un dispositivo indossabile basato sull'ECG possa aiutare le persone a regolare la loro HRV e quindi a ridurre i sintomi di ansia. Risultati analoghi si possono ottenere anche in condizioni di depressione e stress. Per otto settimane ai partecipanti allo studio è stato chiesto di indossare continuamente un dispositivo elettrocardiografico, il Lief Smart Patch, e di interagire con un coach per la gestione dello stress a distanza. Il Lief Smart Patch registra l'HR e l'HRV in tempo reale e

attraverso vibrazioni e segnali visivi guida agli esercizi di HRVB correlati all’RSA. Infatti, il dispositivo invia un feedback di vibrazione quando l’HR del soggetto inizia a diminuire, invitandolo a espirare attraverso una app sul suo smartphone; al contrario, quando l’HR inizia ad accelerare la vibrazione viene disattivata e l’utente viene invitato a inspirare. Questo tipo di esercizio dura 3 min e l’obiettivo è quello di aumentare al massimo l’RSA del soggetto. Come risultato si è ottenuto un aumento dell’HRV di 11.4 ms calcolato secondo l’algoritmo RMSSD. Questo risultato ha dimostrato come l’HRVB sia efficace per regolare l’HRV e quindi per ripristinare il controllo nervoso autonomo [12].

Come detto in precedenza, molti individui sono soggetti a forti condizioni di stress sul posto di lavoro. Di conseguenza, si ha la necessità di trovare dei modi pratici ed efficaci per aiutare i lavoratori combattere lo stress. Uno studio ha valutato l’efficacia della respirazione controllata basata su una app (BioBase) nel migliorare il recupero fisiologico nei lavoratori che sono stati indotti a stress cognitivo ed emotivo. I soggetti sono stati sottoposti a una condizione di stress per 5 min, successivamente a 5 min di recupero caratterizzati dalla respirazione basata sull’app e dalla scansione del corpo consapevole (mindfulness). L’app BioBase permette di eseguire un esercizio in cui gli utenti sono guidati a respirare con una frequenza di 6 respiri al minuto per 5 min portando alla sincronizzazione tra frequenza respiratoria e cardiaca e grandi aumenti dell’HRV. Infatti, si ha la risposta di rilassamento desiderata: ci si concentra sulla respirazione diaframmatica con conseguente diminuzione della frequenza respiratoria e attivazione del nervo vago. I risultati hanno dimostrato come nella fase di recupero l’HRV sia aumentata e tre dei suoi parametri presi in esame, cioè il RMSSD, il pNN50 e la potenza HF siano aumentati [13].

## **2.5 Ruolo dello stress nella postura**

*“Che si tratti di fatti fisiologici, mentali o spirituali, traduciamo tutto in tensione muscolare”*

*F. Matthias Alexander*

La postura può essere definita come parte visibile di molteplici adattamenti invisibili interni all’organismo che riassumono la posizione istantanea del corpo nello spazio e la sua netta relazione spaziale fra segmenti anatomici su cui influiscono diversi fattori, genetici, patologici, traumatici, neurofisiologici, biomeccanici, ambientali e psico-emotivi.

Le emozioni e lo stress sono una parte vitale della vita umana ed influenzano il benessere fisico e mentale di ogni individuo.



Il nostro corpo ha avuto il tempo per adattarsi biomeccanicamente alla deambulazione e alla vita attiva, ma solo 200 anni per vivere in una posizione prevalentemente seduta. Un tale cambiamento improvviso contribuisce certamente al verificarsi del dolore nel corpo umano causato da una seduta irregolare ed eccessiva.

Diversi studi hanno evidenziato come disturbi muscolo scheletrici siano correlati alla posizione seduta prolungata, in particolare mal di schiena.

Van Uffelen definisce secondo studi statistici, che i lavoratori australiani a tempo pieno siedono per una media di 4,2 ore a lavoro e 2,9 ore nel tempo libero [2].

Inoltre, mostrarono che l'impiegato medio trascorre 50.000 ore seduto durante la sua vita lavorativa, in un tipico posto di lavoro d'ufficio, con postazione pc, e circa il 40% degli impiegati sviluppa problemi di mal di schiena e deformità che derivano dalla mancanza di attività fisica quando si lavora al computer.

Il sondaggio di Eurobarometro ha mostrato che l'11% di tutti gli europei di età superiore a 14 anni resta seduto per più di 8,5 ore al giorno. Durante il periodo di COVID-19 queste ore sono aumentate ulteriormente, quasi raddoppiate [3].

Una delle principali cause della malattia dovuta a una seduta scorretta potrebbe essere il fatto che diversi tipi di sedie da ufficio, prodotti da diversi produttori, hanno parametri e soluzioni regolabili diverse che confondono maggiormente gli utenti. Essi spesso non utilizzano tutte le regolazioni e l'ergonomia ottimale [4].

L'impatto dello stress sulla postura è stato oggetto di numerosi studi e ricerche, e i risultati hanno dimostrato che lo stress ha un impatto significativo sullo sviluppo di alterazioni posturali e svariate patologie.

Quando siamo sottoposti a stress, il corpo rilascia adrenalina e cortisolo che causano un aumento della tensione muscolare. Questa tensione muscolare può accumularsi nel tempo e diventare cronica, causando dolori e rigidità. Essa si sviluppa soprattutto all'altezza di spalle, collo e viso.

Lo stress cronico può portare a differenti problemi di salute quale mal di testa, problemi digestivi, alterazione del sonno, problemi di salute mentale come ansia e depressione, e tensione muscolare.

Le tensioni muscolari croniche possono anche causare problemi di salute più gravi, come patologie articolari e muscolari. Ad esempio, la tensione muscolare cronica può causare un

sovraccarico su articolazioni e muscoli, portando a lesioni e danneggiamenti a lungo termine (ad esempio tendiniti, artrosi, discopatie). La tensione muscolare cronica può limitare la flessibilità e la mobilità, aumentando anche il rischio di cadute e lesioni.

Quando il corpo è stressato, i muscoli si irrigidiscono. La tensione muscolare è quasi una reazione riflessa allo stress: il modo in cui il corpo si protegge da lesioni e dolore.

Con lo stress improvviso, i muscoli si irrigidiscono tutti in una volta, per poi rilasciare la tensione quando lo stress passa. Lo stress cronico fa sì che i muscoli del corpo siano in uno stato di guardia più o meno costante. Quando i muscoli sono tesi e tesi per lunghi periodi di tempo, ciò può innescare altre reazioni del corpo e persino promuovere disturbi legati allo stress.

Sia la cefalea di tipo tensivo che l'emicrania, ad esempio, sono associate a tensione muscolare cronica nella zona delle spalle, del collo e della testa. Anche il dolore muscoloscheletrico nella parte bassa della schiena e negli arti superiori è stato collegato allo stress, in particolare allo stress lavorativo.

Milioni di individui soffrono di condizioni dolorose croniche secondarie a disturbi muscoloscheletrici. La tensione muscolare e, infine, l'atrofia muscolare dovuta al disuso del corpo, promuovono condizioni muscoloscheletriche croniche legate allo stress.

È stato dimostrato che le tecniche di rilassamento e altre attività e terapie per alleviare lo stress riducono efficacemente la tensione muscolare, diminuiscono l'incidenza di alcuni disturbi legati allo stress, come il mal di testa, e aumentano il senso di benessere. Per coloro che sviluppano condizioni di dolore cronico, è stato dimostrato che le attività antistress migliorano l'umore e le funzioni quotidiane [14].

Sono stati condotti molti studi che descrivono posture sedute stressanti ad alto e basso rischio per la salute.

Un conseguente rischio di posture ad alto rischio prolungate sono: lordosi lombare con eccessiva inclinazione pelvica anteriore, flessione laterale del collo o tronco, tronco non supportato dallo schienale, parte bassa della schiena convessa, eccessiva inclinazione del tronco, tronco contorto e posture sbilanciate.

Quando il lavoratore dirige l'attenzione sui compiti cognitivi stressanti, il compito posturale può diventare incustodito e possono verificarsi cambiamenti posturali avversi senza che il lavoratore ne sia consapevole.

Le undici categorie di postura (analizzate da studi precedenti) raffigurano posture sedute a basso rischio (le prime due sono quelle raccomandate) mentre le altre categorie sono ad alto rischio [15,16,17].

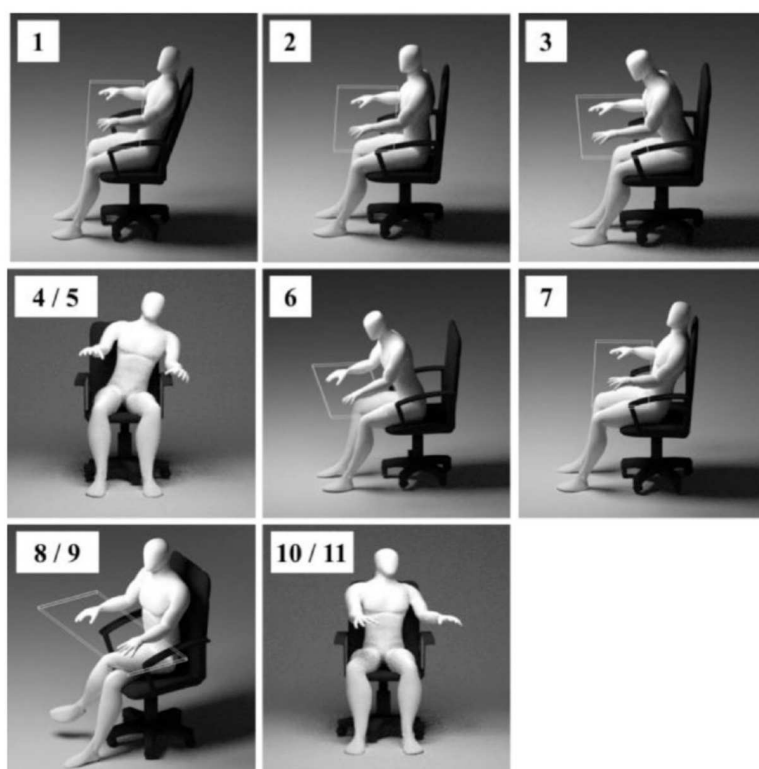
La flessione in avanti del tronco nella posizione 3 aumenta le forze di compressione sui dischi intervertebrali ed è correlato a lombalgia.

Le posizioni 4 e 5 generano carichi compressivi asimmetrici sui dischi intervertebrali.

Le posizioni 6 e 7 sono caratterizzate dalla mancanza di un supporto lombare, che causa appiattimento della colonna, tensione sui legamenti e altri tessuti connettivi vicini portando carichi eccessivi sui dischi.

Le posizioni 8 e 9 a “gambe incrociate” creano regioni di alta pressione asimmetriche e aumentano i picchi di pressione nei fianchi e nelle coscienze, con conseguente dolore e disagio.

Le posizioni 10 e 11 comportano la rotazione del tronco. La torsione prolungata del tronco aumenta i rischi di lombalgia e dolori muscoloscheletrici.



*Figura 4 Undici categorie di postura seduta analizzate: (1) appoggiarsi allo schienale mantenendo la schiena dritta, (2) staccare la schiena dallo schienale e mantenere il tronco eretto, (3) flettere il tronco in avanti di circa 45 gradi (curvo), (4) appoggiato a un bracciolo con flessione laterale (sinistra), (5) appoggiato ad un bracciolo con flessione laterale (destra), (6) seduto sul bordo d'attacco con il tronco convesso, (7) appoggiato all'indietro con le anche leggermente in avanti (slump), (8) gambe incrociate (sinistra), (9) gambe incrociate (destra), (10) rotazione del tronco di circa 20 gradi (sinistra) e (11) rotazione del tronco di circa 20 gradi (destra).*

In situazioni stressanti la nostra posizione seduta, anche quella eretta, tende a variare; secondo la letteratura, in fasi di stress cognitivo, dove viene richiesta maggiore concentrazione per effettuare uno specifico compito o tendiamo ad essere stressati per un lavoro difficile che richiede un notevole sforzo, tendiamo a protrarre le spalle in avanti e fare pressione sull'area toracica, assumendo posizioni scorrette, che nel lungo periodo possono portare dolori importanti, dalle posizioni 1 e 2 modifichiamo la nostra postura verso la 3 e la 6.

## **2.6 Stress cognitivo indotto: Test di Stroop**

Il test Stroop è comunemente usato come fattore di stress mentale nella ricerca cardiovascolare ed è costituito da tre componenti: lettura rapida, identificazione dei colori e interferenza. Il test di Stroop è stato originariamente introdotto da John Ridley Stroop nel 1935 e successivamente adattato per valutare vari aspetti cognitivi, inclusi quelli correlati allo stress, ed è stato definito come “il Gold Standard delle misure attentive” come una serie di carte che presentavano stimoli congruenti e incongruenti. Essenzialmente è composto da tre tipi di stimoli: rettangoli colorati che fungono da controllo, nomi di colori scritti nel colore congruente (es. 'VERDE' in verde) e nomi di colori presentati in un colore incongruente ('VERDE' in rosso). Il test richiede ai soggetti di nominare il colore dei rettangoli, le parole degli stimoli congruenti e il colore degli stimoli incongruenti, senza leggere la parola stessa. L'obiettivo è valutare la capacità del partecipante di sopprimere risposte automatiche e reagire in modo flessibile a uno stimolo.

Quando vengono presentati stimoli incongruenti, il soggetto entra in una situazione stressante piena di conflitto perché la sua risposta è influenzata dal suo apprendimento (la tendenza a leggere la parola e non nominare il colore). Questo rallentamento della risposta venne rinominato “interferenza di Stroop” o “effetto Stroop”, non presente quando i soggetti rispondono a parole-colore congruenti

Tra tutti fattori di stress, è stato riscontrato che solo il test di Stroop attiva tutti i componenti del SNS. Fauvel et al hanno concluso che questo test potrebbe essere utile anche negli studi epidemiologici, nonché nella valutazione terapeutica delle variazioni della pressione sanguigna e della frequenza cardiaca in condizioni di stress mentale [23]. Abbiamo utilizzato la versione computerizzata di questo test in cui le singole parole relative ai colori appaiono in sequenza sullo schermo. Gli studi hanno dimostrato che il test Stroop computerizzato provoca un aumento della frequenza cardiaca, diminuisce l'HRV e aumenta la secrezione di catecolamine, rendendolo così un fattore di stress mentale adatto e ben standardizzato (20, 21, 22, 29).

Essa consiste nella presentazione di stimoli le cui caratteristiche sono conflittuali.

Stroop utilizzò 5 parole e colori (rosso, blu, verde, marrone e porpora) scritte in caratteri neri o colorati; per alcuni stimoli il colore della parola era congruente con il significato (es. parola: verde colore: verde) e per altri incongruente (es. parola: verde colore: blu).

Valutando i tempi di reazione verbale, Stroop osservò che tutti i partecipanti rispondevano con una latenza maggiore quando parole-colore erano incongruenti rispetto alla condizione di congruenza, attribuendo il prolungamento del tempo di reazione al fenomeno di interferenza tra le caratteristiche fisiche e semantiche degli stimoli.

Nel contesto dello stress, il Test di Stroop viene spesso utilizzato in varianti specifiche, tra cui il Test di Stroop del Colore-Parola. In questa versione, ai partecipanti vengono mostrate parole che designano colori, ma il test è strutturato in modo che il colore della parola può essere congruente o incongruente con il colore effettivo del testo. Ad esempio, la parola "rosso" può essere scritta con l'inchiostro rosso (congruente) o con l'inchiostro blu (incongruente).

Il test misura la velocità con cui i partecipanti sono in grado di nominare i colori in cui le parole sono scritte. La teoria è che la presenza di parole che designano colori incongruenti rallenti il tempo di reazione a causa di interferenze cognitive. Uno stress elevato può influenzare negativamente le prestazioni nel test di Stroop, poiché lo stress può compromettere la capacità di concentrazione e di gestione delle risposte cognitive.

L'analisi dei dati del test di Stroop può fornire informazioni sulla flessibilità cognitiva, l'inibizione di risposte automatizzate e la capacità di adattamento alle interferenze. Tuttavia, è importante considerare che il test di Stroop da solo potrebbe non essere sufficiente per una diagnosi accurata dello stress, e solitamente viene utilizzato in combinazione con altri strumenti e misure cliniche.

### **2.6.1 Test di Stroop e HRV**

Il test Stroop è uno dei protocolli più utilizzati per indurre stress cognitivo e attivare in modo affidabile il sistema nervoso simpatico (SNS). Lo stress cognitivo si riferisce a uno stato di stress che è principalmente legato a fattori cognitivi, come pensieri, percezioni e processi mentali. Questo tipo di stress può derivare da una varietà di situazioni, come ad esempio la pressione mentale per risolvere problemi complessi, prendere decisioni difficili o affrontare situazioni che richiedono una concentrazione intensa.

Le fonti di stress cognitivo possono includere sovraccarico di informazioni, multitasking e sfide cognitive che richiedono sforzi mentali significativi.

Ad esempio, situazioni di lavoro impegnative, scadenze strette, o compiti che richiedono una grande attenzione possono contribuire allo stress cognitivo.

Questo tipo di stress può avere effetti negativi sulla salute mentale e fisica, influenzando le prestazioni cognitive, la memoria, la capacità decisionale e la qualità del sonno.

Questo test viene utilizzato dalla letteratura scientifica per indurre stress cognitivo e valutare la modifica di determinate variabili ad esse correlate, nel nostro caso la variabilità cardiaca.

Numerosi studi hanno analizzato questa relazione tra stress cognitivo indotto dal Test di Stroop.

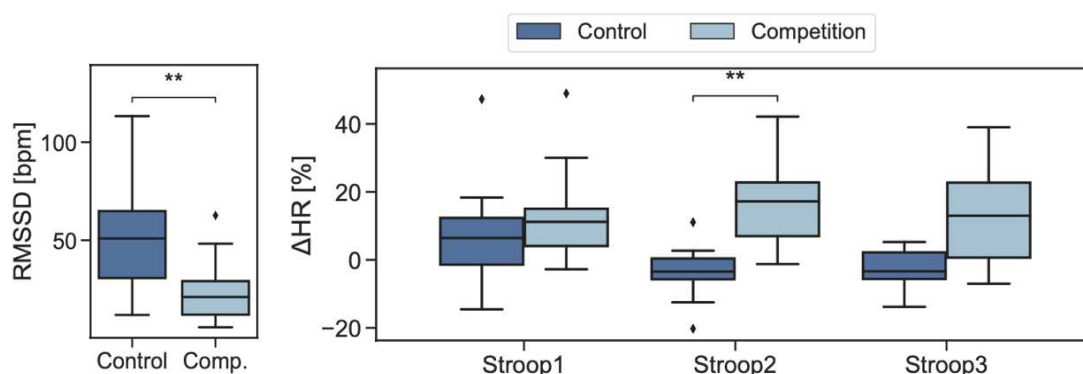


Figura 5 Risultati dell'analisi del Test di Stroop The Stroop Competition "A Social-Evaluative Stroop Test for Acute Stress Induction" (2022).

In uno studio si è analizzato la risposta allo stress di 22 partecipanti, 50% donne e 50% maschi, che hanno eseguito il normale test di Stroop per tre volte consecutive. Le risposte allo stress sono state valutate utilizzando registrazioni ECG per estrarre la frequenza cardiaca (HR) e la variabilità della frequenza cardiaca (HRV) e cortisolo. Complessivamente i partecipanti hanno sperimentato una maggiore attivazione del SNS, indicata da livelli di HR significativamente più alti e di HRV più bassi. Inoltre, i livelli complessivi di cortisolo erano significativamente più alti. [29]

Un altro studio ha esaminato le possibili differenze di genere nell'HRV e nella frequenza cardiaca (HR) durante il ST (Stroop Test). I partecipanti sani (21 uomini, 34 donne) sono stati posti in posizione supina (nessuna attivazione ortostatica) e quindi esposti a un periodo di

rilassamento di 5 minuti e ad un periodo di ST computerizzato di 5 minuti (nessuna vocalizzazione). Sono stati differenze significative nei parametri HR e HRV in entrambi i sessi durante il ST rispetto ai valori di rilassamento (basale). D'altra parte, non sono state riscontrate differenze significative nell'HR e nell'HRV tra maschi e femmine (ad eccezione di un HR basale più elevato nelle donne). Inoltre, la reattività allo stress ST non ha mostrato differenze di genere. [30]

Nel complesso tutti gli studi hanno evidenziato come il ST influenza l'attività cardiaca, portando ad una notevole diminuzione degli indici dell'HRV.

## **2.6.2 Test di Stroop e Postura**

Il Test di Stroop e la postura nonostante siano in campi di studio diversi, si hanno correlazioni intrinseche tra postura e prestazioni cognitive in contesti specifici, contribuendo a una comprensione più approfondita delle interazioni mente-corpo.

Alcuni studi suggeriscono che una postura aperta ed eretta può essere associata a un maggiore senso di fiducia e potrebbe influenzare positivamente le funzioni cognitive, inclusa l'attenzione. D'altra parte, la postura può essere influenzata anche da fattori cognitivi ed emotivi. Situazioni stressanti o compiti cognitivamente impegnativi possono influenzare la postura di una persona.

Nell'articolo "A Sitting Posture Monitoring Instrument to Assess Different Levels of Cognitive Engagement", Daniele Bibbo e i suoi collaboratori analizzano mediante l'inserimento di otto sensori di pressione su una normale sedia d'ufficio, rispettivamente quattro nello schienale e quattro nella seduta, scelta per massimizzare il rilevamento delle variazioni di postura dei 117 partecipanti durante il Test di Stroop e nell'aumentare della sua difficoltà.[28]

I risultati raccolti sono stati analizzati considerando tre diversi intervalli di tempo in base al livello di difficoltà del test (basso, medio e alto).

Questo studio ha evidenziato la presenza di movimento presumibilmente a causa del maggiore coinvolgimento cognitivo.

La sedia è stata dotata di sensori di pressione tattile analogico (ATS, Plug & Wear PW073/PW074, Italia) e fibre conduttrici. Gli ATS hanno un'elevata flessibilità ed estensibilità. Nella sedia progettata sono stati inseriti gruppi di 4 ATS sono posizionati sotto il tessuto, rispettivamente 4 nella seduta e 4 nello schienale in modo da poter registrare tutte le variazioni di posture durante il ST.

Diverse combinazioni di ATS in 8 posture, simili alla Figura 4. L'ATS si attiva quando il suo livello di pressione supera una certa soglia (come un "interruttore"). Viene utilizzato un microprocessore (MCU) e 2 canali A/D, uno per ogni set ATS, limitando il consumo energetico.

Per comprendere meglio la variazione di postura dei partecipanti, sono stati effettuati tre diversi ST in ordine crescente di difficoltà, rispettivamente:

TI1: intervallo di tempo in cui le parole erano visualizzate in nero e parole e colori erano congruenti. TI2: intervallo di tempo in cui parole e colori non erano congruenti, con un piccolo numero di parole (3–6). TI3: Intervallo di tempo in cui parole e colori non erano congruenti, con un gran numero di parole (9-12).

In questo modo sono stati individuati intervalli con un livello crescente di impegno, e di conseguenza con un livello crescente di stress.

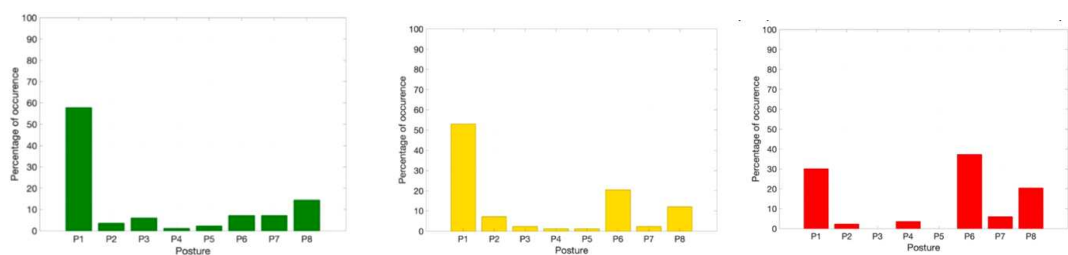


Figura 6 Risultati dell'analisi del Test di Stroop correlate alla postura adottata in una sedia intelligente effettuata da Daniel Bibbo et al in "A Sitting Posture Monitoring Instrument to Assess Different Levels of Cognitive Engagement"

Nell'intervallo TI1 (Figura 6a), il 59% dei partecipanti ha adottato la postura P1 mentre il 7%, il 7% e il 14% erano rispettivamente nelle posture P6, P7 e P8.



Nell'intervallo TI2 (Figura 6b), il 53% dei partecipanti ha adottato la postura P1, mentre l'adozione combinata delle posture P6, P7 e P8 è aumentata rispetto a TI1 (ovvero dal 28 al 36%).

Nell'intervallo TI3 (Figura 6c), un numero ridotto di partecipanti ha adottato la postura P1 (30%) e la maggior parte dei partecipanti era nelle posture P6, P7 e P8 (64%).

Nel complesso, l'analisi eseguita ha mostrato che il sistema di monitoraggio proposto potrebbe essere utilizzato per identificare le variazioni della postura del corpo relative ai diversi livelli di impegno di un utente seduto durante l'esecuzione di compiti cognitivi.

Questo studio condotto dall'Università Roma 3 conferma quanto affermato dalla letteratura; in particolare quando al nostro corpo viene richiesta maggiore concentrazione cognitiva, istintivamente con il passare del tempo la maggior parte delle volte tendiamo ad una protusione del busto anteriormente.

Come si evince dallo stesso studio, la connessione tra Test di Stroop e postura varia tra gli individui. Alcune persone possono reagire più intensamente dal punto di vista fisico allo stress mentale rispetto ad altre che potrebbero risultare meno influenzate.

## **CAPITOLO 3: ANALISI HRV E TEST DI STROOP**

### **3.1 Descrizione del database**

In precedenza, si è descritto come lo stress sia un fenomeno complesso che coinvolge diversi meccanismi dell'organismo umano, regolati dal sistema nervoso. I livelli di stress possono essere determinati attraverso le variazioni di diversi parametri fisiologici.

In questa tesi per l'analisi dell'HRV correlato allo stress è stato considerato il database "Non-EEG Dataset for Assessment of Neurological Status" disponibile in PhysioNet.

PhysioNet è il forum online per la diffusione e lo scambio di registrazioni di segnali biomedici e un open-source software per analizzarli; PhysioBank è invece un grande archivio di registrazioni digitali di segnali fisiologici e dati relativi, a uso della comunità di ricerca biomedica. ATM PhysioBank è una struttura automatica per esplorare PhysioBank utilizzando il proprio browser web.

Il dataset preso in considerazione dall'open-source è un set di segnali fisiologici non EEG, raccolti presso il Quality of Life Laboratory presso l'Università del Texas a Dallas, per dedurre lo stato neurologico come stress fisico, stress cognitivo, stress emotivo e rilassamento di 20 soggetti sani.

Gli strumenti di acquisizione dei dati sono biosensori che monitorano l'attività elettrodermica (EDA), la temperatura, l'accelerazione, l'HR e il livello di ossigeno arterioso (SpO2).

Tra i file pubblicati in PhysioNet è presente il dataset in diversi formati con due record per soggetto: uno con i segnali dell'accelerometro, ovvero temperatura e dell'EDA, l'altro contenente i segnali di SpO2 e dell'HR. Le registrazioni dei segnali non durano più di 39 minuti e differiscono tra i soggetti di secondi/minuti. È disponibile anche un file con le informazioni su ciascun soggetto d'analisi.

Nella procedura sperimentale, durante la quale sono stati registrati continuamente i segnali non cerebrali, a ciascun soggetto è stato chiesto di svolgere in ordine dei compiti. Questi sono raggruppati in otto fasi, corrispondenti ai diversi stati neurologici:

1. Primo rilassamento: 5 min.
2. Stress fisico: stare in piedi per 1min, camminare su un tapis roulant a un miglio all'ora per 2 min, dunque camminare/fare jogging sul tapis roulant a tre miglia all'ora per 2 min.
3. Secondo rilassamento: 5min.
4. Mini-stress emotivo: 40s in cui sono state lette al volontario le istruzioni per la parte successiva riguardante lo stress cognitivo.
5. Stress cognitivo: contare alla rovescia per sette, iniziando da 2485, per 3 min. Quindi eseguire il test Stroop per 2 min. Questo ha consistito nel leggere i nomi dei colori scritti con un inchiostro di colore diverso; quindi, dire di che colore era l'inchiostro.
6. Terzo rilassamento: 5min.
7. Stress emotivo: al soggetto è stato detto in 1min che gli sarebbe stata mostrata una clip di 5 min da un film dell'orrore sull'apocalisse di zombie, L'Orda. Dopo il minuto di attesa è stata mostrata la clip.
8. Quarto rilassamento: 5min.

Durante le quattro fasi di rilassamento al volontario è stato chiesto di sedersi in silenzio e ascoltare una porzione di musica calma e rilassante. L'obiettivo di queste sessioni è di stabilire una linea di base per le metriche fisiologiche misurate; dunque, osservare come queste variano durante le quattro attività neurologiche e la sensibilità e la specificità di ciascuna.

I dati sono stati acquisiti da due dispositivi indossabili da polso non invasivi, rispettivamente Q Affectiva e un ossimetro WristOx2 wireless Nonin 3150, a frequenze diverse. I due dispositivi sono stati sincronizzati distintamente e tra loro quotidianamente con uno stesso laptop, utilizzando due pacchetti software in grado di interfacciarsi con essi. Il Q Affectiva misura l'EDA, la temperatura e l'accelerazione, nelle tre dimensioni dello spazio, a una frequenza di 8 Hz. L'EDA misura le variazioni elettriche sulla superficie della pelle dovute a cambiamenti nel sistema nervoso simpatico. In particolare, si registra un aumento della conduttanza elettrica della pelle per via di sudorazione, che potrebbe non essere percepita dal soggetto, causato da fattori stressanti a cui il soggetto stesso è esposto, come eccitazione emotiva, carico di lavoro cognitivo o sforzo fisico. Quindi la temperatura cutanea è necessaria per una corretta interpretazione dell'EDA. Il bracciale misura anche l'accelerazione, monitorando quindi l'attività motoria del soggetto. Il Nonin WristOx2 registra, a una frequenza di 1 Hz, HR e SpO2 attraverso un pulsossimetro. SpO2 è una stima della quantità di ossigeno nel sangue calcolata dalla saturazione dello stesso.

Quest'ultima è data dal rapporto tra l'emoglobina ossigenata (HbO<sub>2</sub>) e l'emoglobina deossigenata (Hb) nel sangue. La prima è di colore rosso brillante mentre la seconda scuro; quindi, il pulsossimetro integrato nel bracciale emette luce rossa e infrarossa per poi stimare la saturazione di ossigeno. Tale stima si ricava dal rapporto tra le due luci che si trasmettono attraverso il dito. I valori normali di SpO<sub>2</sub> variano tra il 95% e il 100%.

Qualora i due bracciali da polso si allentassero si potrebbero ricavare delle misure errate. Quindi si è verificata la validità dei dati acquisiti da entrambi i dispositivi. Per Q Affectiva qualora gli elettrodi perdessero il contatto con la pelle si perderebbe il segnale EDA; quindi, si è considerato di utilizzare un filtro passa basso sui dati EDA per eliminare eventuali abbandoni. Alla fine, si è deciso di rimuovere altre variazioni più legittime rispetto ai primi. Invece, i dati relativi alla temperatura e all'accelerazione non risentono della perdita di contatto tra gli elettrodi e la pelle. Di conseguenza tutti i dati acquisiti dal primo bracciale sono stati considerati validi. Al contrario il Nonin WristOx2 riceve dati non validi e li segnala attraverso un flag. Anch'essi sono dovuti ad eventuali abbandoni causati dal bracciale allentato o spostato. Si è notato che queste perdite di contatto erano rare e brevi, meno di cinque campioni alla volta. Inoltre, le variazioni di HR e SpO<sub>2</sub> erano lente rispetto alla durata degli abbandoni stessi. Di conseguenza, si sono sostituite le acquisizioni di HR e SpO<sub>2</sub> mancanti con l'ultima lettura valida.

La Tabella 1 riporta le informazioni su età, sesso, peso, altezza dei soggetti sottoposti al test e forniti da Physionet. L'età dei soggetti varia tra 19 – 33 anni, di cui 14 sono di sesso maschile e 6 di sesso femminile. Viene arricchita la tabella inizialmente fornita con il BMI dei rispettivi soggetti calcolato come:

$$BMI = \frac{Peso [KG]}{(Altezza [m])^2}$$

SOGGETTI	Sesso	Età	Altezza [m]	Peso [Kg]	BMI	Classificazione BMI
1	M		30	1,77	94	30,00 <i>Obesità Classe I</i>
2	M		28	1,72	68	22,99 Normale
3	M		28	1,77	91	29,05 <i>Preobeso</i>
4	M		22	1,67	58	20,80 Normale
5	M		30	1,82	82	24,76 Normale
6	F		30	1,67	58	20,80 Normale
7	F		33	1,57	90	36,51 <i>Obesità Classe II</i>
8	M		27	1,82	64	19,32 Normale
9	M		25	1,77	68	21,71 Normale
10	M		23	1,80	64	19,75 Normale
11	M		26	1,70	71	24,57 Normale
12	F		32	1,62	53	20,20 Normale
13	F		29	1,67	64	22,95 Normale
14	F		19	1,60	50	19,53 Normale
15	M		23	1,65	64	23,51 Normale
16	M		24	1,80	54	16,67 <i>Sottopeso</i>
17	M		23	1,67	57	20,44 Normale
18	M		23	1,77	64	20,43 Normale
19	M		22	1,67	64	22,95 Normale
20	F		24	1,60	44	17,19 <i>Sottopeso</i>

Tabella 1 Dati dei rispettivi soggetti sottoposti ad analisi con visione dell'età, sesso, altezza e peso e BMI. L'ultima colonna riporta la classificazione BMI secondo l'OMS.

In relazione al BMI misurato di ogni soggetto, esso viene inserito in distinte categorie secondo quanto stipulato dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità).

<i>Classificazione</i>	<i>BMI</i>	<i>Rischio di malattie associate</i>
Sottopeso	< 18,50	Basso (ma aumentato rischio di altre patologie)
Intervallo normale	18,50 - 24,99	Medio
Sovrappeso:	>= 25,00	
Preobeso	25,00 - 29,99	Aumentato
Obeso classe I	30,00 - 34,99	Moderato
Obeso classe II	35,00 - 39,99	Grave
Obeso classe III	>= 40,00	Molto grave

Classificazione di valori di BMI alti negli adulti viene associato al rischio di potenziali malattie legate all'obesità, come malattie cardiovascolari, diabete di tipo 2, cancro, osteoartrite, dolore cronico della schiena, malattie della cistifellea etc.

I valori di BMI sono indipendenti dall'età e simili per entrambi i sessi. I rischi associati all'aumento del BMI sono continui e graduali ed iniziano ad un valore di BMI superiore a 25.

### **3.2 Procedura di analisi**

In questa tesi il set di dati descritto finora è stato preso in esame per verificare come l'HRV, con i suoi domini, sia un indice affidabile di rilevamento dello stress, in questo caso cognitivo.

Individuato il database in PhysioNet attraverso l'ATM PhysioBank si sono scaricati i file contenenti i segnali HR e SpO2 dei 20 soggetti in formato .csv .

Dei cinque tipi di segnali presenti nel database è stato considerato per tutti i 20 soggetti soltanto il segnale HR e di questo si sono analizzati i dati dal 10 min fino ai 25 min e 40 s, che corrispondono rispettivamente alla terza, quarta, quinta e sesta fase di analisi.

I primi e gli ultimi cinque minuti coincidono con la fase di rilassamento, mentre i 10 min e 40 secondi centrali corrispondono rispettivamente al mini-stress emotivo e stress cognitivo, in cui presente anche il test di Stroop della durata di 2 min.

Effettuando un'analisi preliminare dei dati, si è deciso di unire terza e quarta fase, in quanto la fase di mini-stress emotivo non riportava differenze significative rispetto alla precedente, dovuta anche alla tempistica ristretta di 40s.

Invece, si è deciso di dividere in due fasi distinte la sesta fase dello stress cognitivo, in quanto interessati al test di Stroop e ad un possibile confronto con il conto alla rovescia, due metodologie distinte per indurre stress cognitivo.

Successivamente, attraverso l'uso del software Matlab, per ciascun soggetto è stato caricato il file con il record contenente i segnali di SpO2 e HR; quindi, si è selezionato il segnale HR.

Per ogni soggetto il segnale HR ha una lunghezza temporale inferiore di 2500 s. Di questi inizialmente si sono ricavati dai 600 ai 1540 s, corrispondenti alla terza, quarta, quinta e sesta fase. Poi con la stessa procedura, il segnale risultante è stato ulteriormente partizionato in quattro segmenti corrispondenti rispettivamente:

1. PRIMO RILASSAMENTO (0 - 340s) corrispondente alla terza fase di rilassamento in aggiunta la quarta fase di mini-stress emotivo della durata di 40s.
2. FASE STRESS COGNITIVO (340 - 520 s) in cui si analizza solo in conto alla rovescia
3. TEST DI STROOP (520 – 640 s)
4. SECONDA FASE DI RILASSAMENTO (640 – 940 s)

Di seguito, da ciascuna delle quattro fasi si è ricavato il corrispondente vettore degli intervalli RR. Infine, per ciascuno dei quattro vettori contenenti gli intervalli RR si è applicato un algoritmo di calcolo di alcune delle features dell'HRV. Questo prende in ingresso il vettore degli intervalli RR e dà in uscita la media degli intervalli RR (mRR) e tre parametri dell'HRV nel dominio del tempo: il SDNN, il RMSSD e il NN50. Questi indici vengono calcolati come le equazioni illustrate nel capitolo precedente. A seguire, in ognuna delle quattro fasi, per ciascun parametro è stata calcolata la media e la deviazione standard dei 20 valori da esso assunti.

Ogni valore assunto viene poi traslato in Numbers per una migliore visualizzazione grafica. Mediante lo stesso software verranno creati anche grafici con linee e istogrammi 2D.

### **3.3 Illustrazione dei risultati**

I risultati ottenuti con la procedura descritta nel paragrafo precedente sono raccolti e illustrati nelle tabelle, grafici e figure che seguono, mediante l'utilizzo di Matlab per la parte che concerne tutta l'analisi e risultato degli indici e grafici, e Numbers per la traslazione dei risultati chiave nelle corrispettive tabelle.

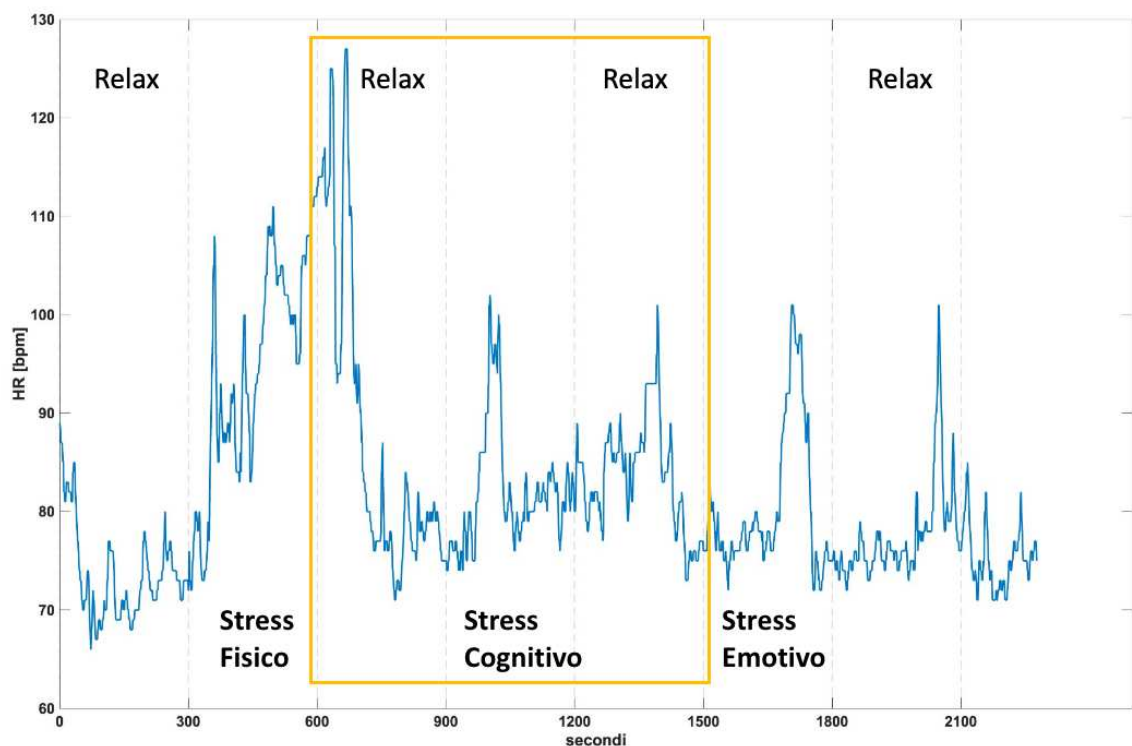
Per avere una visione più generale e immediata dei valori assunti si sono creati dei grafici della quale si possono evidenziare i valori dei parametri ad essi associati nelle rispettive fasi di studio.

Effettuando un plottaggio dell'Heart Rate del primo soggetto durante tutto il periodo di analisi dell'Università del Texas < 2500 s, come mostrato nel Grafico 1, si può vedere come il suo battito non sia stato costante durante tutta la prova. Nella fase di rilassamento abbiamo un HR basso mentre per le fasi di stress il battito aumenta, sia nello stress fisico, sia nel cognitivo e nell'emotivo. Il battito ha un aumento considerevole nella prima fase di stress fisico rispetto il cognitivo ed emotivo. Questo dovuto al fatto che viene richiesto esercizio fisico, e l'aumento del battito cardiaco è dovuto alla necessità del nostro corpo di favorire gli scambi gassosi per

assorbire ossigeno ed espellere anidride carbonica. Le considerazioni sono analoghe per gli altri soggetti.

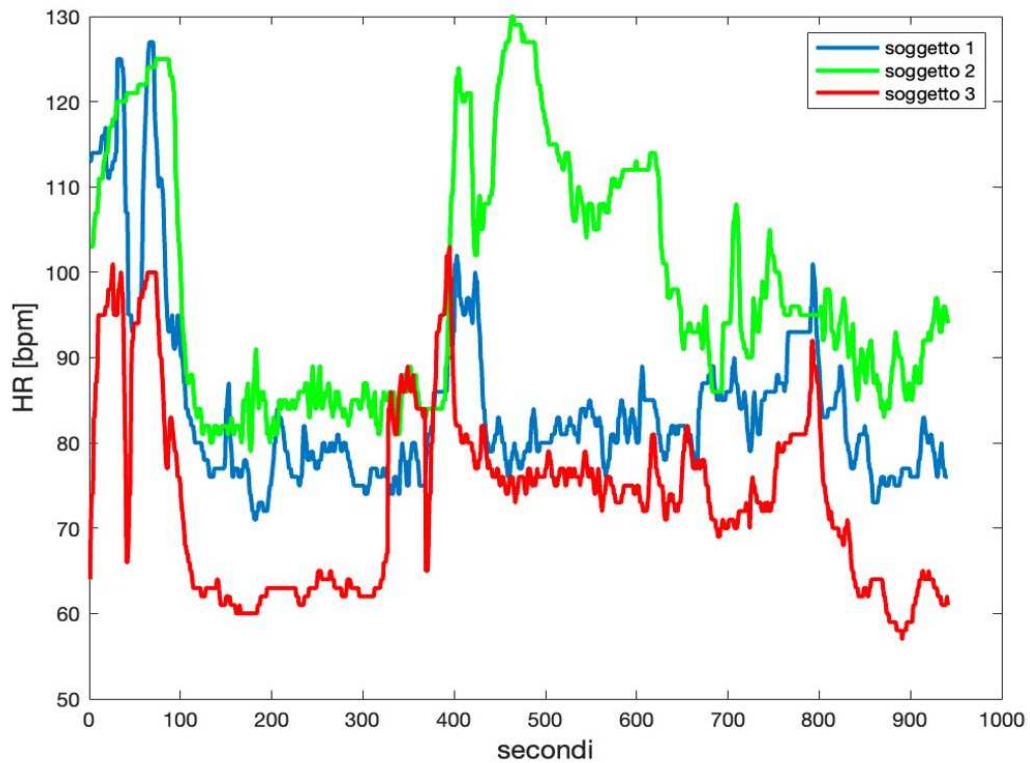
Andando ad analizzare i primi 3 soggetti nelle nostre quattro fasi di studio, su 940 s di interesse, che nell'analisi complessiva ricadono dal 600 al 1540 sec di test, dove ricade la seconda fase di rilassamento, stress cognitivo e terza fase di rilassamento. HR evidenzia in maniera considerevole le fasi di rilassamento e la fase complessiva di stress cognitivo come riportato nel Grafico 2.

I primi 3 soggetti analizzati in merito sono tutti di sesso maschile, discriminando i nostri dati fra i soggetti di sesso femminile e maschile, rispettivamente 6 donne e 14 uomini, possiamo notare nel Grafico 3, mediamente le donne durante il periodo di rilassamento hanno un HR minore rispetto gli uomini.



*Grafico 1 Plot dell'Heart Rate del primo soggetto per tutto il test effettuato dall'Università del Texas, in cui sono stati inseriti dei label contenenti le rispettive fasi del test complessivo.*





*Grafico 2 Plot dell'Heart Rate dei primi tre soggetti nel nostro intervallo di interesse*

Esistono molti elementi che differenziano l'apparato cardiocircolatorio della donna rispetto quello dell'uomo. Mediamente il battito cardiaco delle donne è leggermente più veloce di quello degli uomini, legato spesso alla massa corporea, poiché esiste una proporzionalità fra la frequenza cardiaca e la struttura corporea [26].

*“L'HR di un colibrì sarà molto più alto di quello di un elefante.”*

*Furio Colivicchi,*

*Presidente dell'associazione  
nazionale medici cardiologi*

Mediamente la massa corporea di una donna è minore rispetto a quello di un uomo, incidendo sulla frequenza cardiaca.

Nel nostro Grafico 3 possiamo vedere che il risultato di questa teoria è contraria rispetto a quanto riportato dal plot, ma limitato dal fatto che il numero delle donne è nettamente inferiore rispetto il numero degli uomini. Inoltre nella classificazione BMI è presente una donna con

identificazione di obesità di secondo tipo e una donna in sottopeso, che potrebbero variare di conseguenza l'mHR delle donne in generale.

La media della donna identificata come soggetto 7 con obesità di II tipo riporta un mHR durante tutta la prova di 86,80, mentre la donna identificata come soggetto 20 in sottopeso riporta un mHR di 79,21, contrario rispetto quanto affermato dal Dtt. Colivicchi.

Ovviamente di questi due soggetti femminili, come di tutti gli altri, non conosciamo le loro abitudini quotidiane, i loro livelli di allenamento, storia clinica, possibili farmaci assunti, livelli di caffeina e tutte le possibili variabili che possano incidere sul loro battito cardiaco medio.

Visualizzando il mRR di tutti i soggetti durante il nostro intervallo di interesse, essendo inversamente proporzionale a HR, abbiamo intervalli RR maggiori durante le fasi di rilassamento, e di conseguenza, intervalli RR inferiori durante periodi di stress, concorde con la letteratura.

Infatti, ci aspettiamo che mentre il nostro corpo reagire a nuovi stimoli, il battito cardiaco aumenti con la netta conseguenza di intervalli RR siano inferiori.

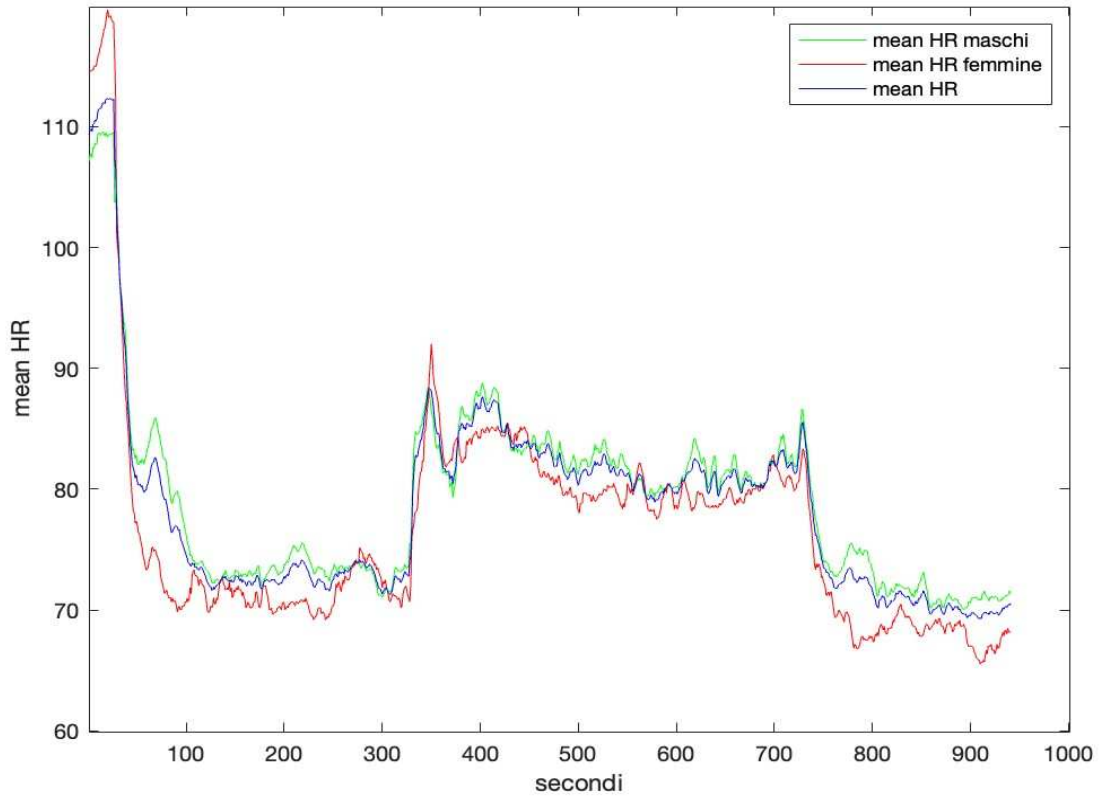


Grafico 3 Plot del mHR dei soggetti maschili e femminili.

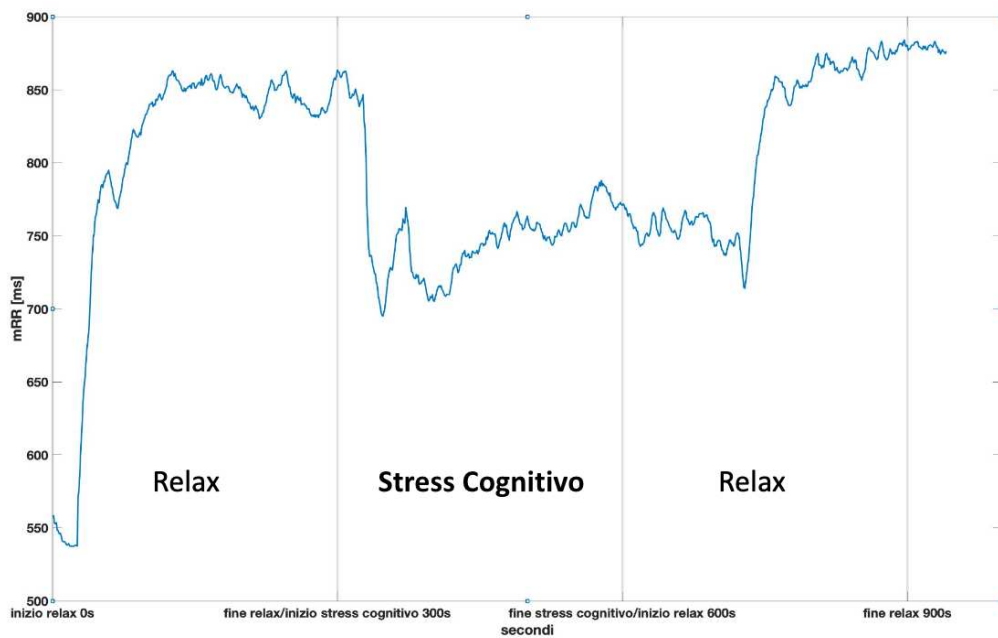


Grafico 4 mRR totale nel nostro intervallo di interesse. Inseriti all'interno dei label raffiguranti le fasi principali con conseguente variazione del mRR.

SOGGETTI	FASE 1 - RILASSAMENTO				FASE 2 - STRESS COGNITIVO				FASE 3 - TEST DI STROOP				FASE 4 - RILASSAMENTO				
	mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50	mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50	mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50	mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50	
1	699,16	109,17	109,17	10,44	125	724,21	55,86	10,30	67	731,82	21,69	8,73	54	794,00	51,07	8,54	
2	644,95	99,44	99,44	8,75	137	567,51	95,14	8,16	45	552,01	22,64	4,93	12	655,18	37,60	9,03	
3	864,13	142,29	142,29	19,22	94	750,39	60,76	9,67	82	799,23	21,14	9,18	58	861,52	96,63	9,65	
4	1047,50	170,28	170,28	25,05	124	829,55	85,47	33,13	92	882,69	69,58	22,14	59	987,21	148,11	17,03	
5	719,46	84,20	84,20	8,55	127	697,74	37,58	7,97	54	698,91	17,60	3,27	15	773,07	53,87	9,85	
6	714,83	82,92	82,92	9,63	134	744,99	43,33	8,24	57	760,81	23,93	8,21	40	778,49	32,22	7,07	
7	673,76	70,72	70,72	10,79	126	693,42	42,13	7,46	69	698,47	23,44	7,97	51	718,91	42,27	7,17	
8	642,41	46,59	46,59	7,78	105	609,78	36,06	12,11	70	610,47	23,25	10,28	42	643,45	43,83	8,06	
9	721,11	88,18	88,18	10,26	139	662,84	24,89	4,69	13	662,77	13,52	5,13	27	760,66	65,51	8,77	
10	766,78	85,27	85,27	11,66	187	724,60	37,25	9,43	76	732,23	30,33	12,36	63	814,14	66,61	12,56	
11	729,30	76,77	76,77	12,06	162	695,86	44,99	16,99	118	759,39	36,86	14,00	80	770,29	42,11	11,94	
12	911,05	142,35	142,35	11,96	106	908,63	63,52	9,28	54	920,27	19,00	9,45	40	996,08	56,23	10,78	
13	802,15	108,52	108,52	14,15	163	751,80	43,59	11,41	69	776,60	44,07	12,83	56	871,41	78,71	11,43	
14	856,69	116,86	116,86	12,70	132	831,22	60,97	13,68	75	895,93	27,29	6,42	28	918,35	55,71	10,07	
15	873,83	122,92	122,92	23,82	155	791,16	48,95	12,90	96	843,71	45,62	11,62	50	875,23	79,38	11,22	
16	585,16	42,71	42,71	9,74	17	587,07	27,37	6,94	40	605,86	25,36	12,34	35	674,91	62,07	11,44	
17	946,40	142,05	142,05	21,73	136	811,91	64,48	14,01	98	898,15	79,97	16,68	70	946,52	69,88	13,53	
18	952,71	140,97	140,97	18,57	81	832,24	61,02	18,59	110	886,96	65,10	14,75	63	975,30	95,61	11,01	
19	966,03	134,17	134,17	16,51	93	961,66	81,66	19,66	101	906,58	42,88	15,69	64	960,71	110,37	14,31	
20	901,03	159,03	159,03	17,62	149	552,35	89,53	9,83	37	598,40	29,23	5,10	10	899,58	171,44	12,88	
Media±SD	800,87±129,01	108,27±36,01	108,27±36,01	14,05±5,29	124,6±36,33	736,45±109,52	55,21±20,42	12,22±6,29	71,15±26,70	762,26±117,33	34,12±18,82	10,55±4,07	45,85±19,81	826,25±111,06	72,96±37,03	10,81±2,49	113,90±18,53

Tabella 2 Dati delle quattro fasi analizzate rispettivamente, fase 1 di rilassamento (5 min), fase 2 conto alla rovescia o prima parte dello stress cognitivo (3 min), fase 3 comprende la seconda fase dello stress cognitivo mediante Test di Stroop (2 min), fase 4 comprende una seconda fase di rilassamento (5 min). Vengono riportati mRR, SDNN, RMSDD e NN50. Nell'ultima riga presenti media e standard deviation di ogni indice in ciascuna fase.

La Tabella 2 riporta i valori assunti dagli indici temporali dell'HRV, in ciascuno dei quattro stadi analizzati, rispettivamente, rilassamento di 5 min, conto alla rovescia (denominato nelle tabelle come stress cognitivo) di 3 min, Test di Stroop di 2 min e ultimo rilassamento di 5 min. Quindi la tabella presenta 20 righe tante quanti i soggetti, identificati con un numero e riportati nella prima colonna; seguono 4 macro-colonne di cui la prima corrisponde alla seconda fase di rilassamento, la seconda alla fase di stress cognitivo (conto alla rovescia), la terza al test di Stroop e la quarta alla terza fase di rilassamento rispetto l'analisi complessiva del Quality of Life Laboratory. Quest'ultime sono state suddivise ulteriormente in 4 colonne associate a mRR e ai tre indici temporali dell'HRV (SDNN, RMSSD e NN50). È stata aggiunta in fondo alla tabella un'ulteriore riga che contiene per ciascun parametro in ciascuna fase il suo valore medio associato alla deviazione standard.

Inoltre, vengono riportati per ogni indice considerato le rispettive linee 2D analizzati nei 20 soggetti mediante l'utilizzo di Numbers, mediante i Grafici 3,4,5,6.

Generalmente, secondo la letteratura, si dovrebbe avere una diminuzione di tutti i parametri dell'HRV nel dominio del tempo nella condizione di stress e un aumento in quella di recupero.

Nel passaggio dalla prima fase di rilassamento alla fase di stress cognitivo del conto alla rovescia 16 soggetti riscontrano un mRR minore, come riportato nel Grafico 3; tutti e 20 i soggetti hanno un SDNN inferiore; 14 soggetti riscontrano un RMSSD inferiore e 17 soggetti riscontrano un NN50 più piccolo rispetto la fase di rilassamento.

Quasi tutti i soggetti hanno delle differenze positive, e di conseguenza diminuzione dei valori dei corrispettivi parametri analizzati; concordi con quanto riportato in letteratura, si dovrebbe avere una diminuzione nel passaggio da una fase di riposo ad una di stress e viceversa.

Stessa considerazione vale per le medie dei rispettivi indici considerati nelle prime due fasi, aventi una diminuzione considerevole dei parametri temporali dell'HRV identificano un aumento generale dello stress nella maggior parte dei soggetti sottoposti alla prova.

Nel passaggio dalla fase di stress cognitivo del conto alla rovescia al Test di Stroop, 18 soggetti hanno ottenuto un mRR maggiore, 3 soggetti hanno ottenuto un SDNN maggiore, 6 soggetti hanno ottenuto un RMSSD maggiore e infine, ad un solo soggetto c'è stato un aumento di NN50.

Dal responso dei risultati di queste due distinte fasi di stress cognitivo, si potrebbe ipotizzare che i soggetti nel passare dal conto alla rovescia al Test di Stroop abbiano avuto un aumento dei livelli di stress, in quanto tre parametri su quattro hanno avuto differenze negative.

Nel passaggio dal Test di Stroop al rilassamento la media degli intervalli RR per tutti i soggetti è aumentata, stessa considerazione per SDNN e NN50. Il RMSSD ha differenze negative dalla terza alla quarta fase di studio per 8 soggetti.

Concorde con quanto riportato in letteratura, nel passaggio da una fase di stress ad una fase di rilassamento, il nostro battito cardiaco diminuisce e la nostra variabilità cardiaca aumenta.

Complessivamente i nostri risultati sono coerenti con la letteratura scientifica e possiamo ritenerci soddisfatti in merito.

Meno soddisfacente è la variazione temporale con cui i soggetti terminano il test, analizzato dal database fornito. Alcuni terminano tutto lo studio proposto dall'Università del Texas oltre i 39 min, altri al di sotto dei 38 min. Questo potrebbe comportare delle piccole variazioni temporali con il quale si effettuano i test per ogni soggetto, qualcuno per esempio ha effettuato il Test di Stroop prima rispetto altri soggetti nello stesso istante di tempo considerato, e viceversa, comportando modifiche sull'analisi.

Questa analisi sulla variazione temporale aumenterà in funzione delle fasi analizzate, dalla prima all'ultima.

*Grafico 5 Linee 2D dei risultati del mRR durante le quattro fasi analizzate, in colore verde le fasi di rilassamento e in colore rosa e rosso rispettivamente le fasi ST e conto alla rovescia.*



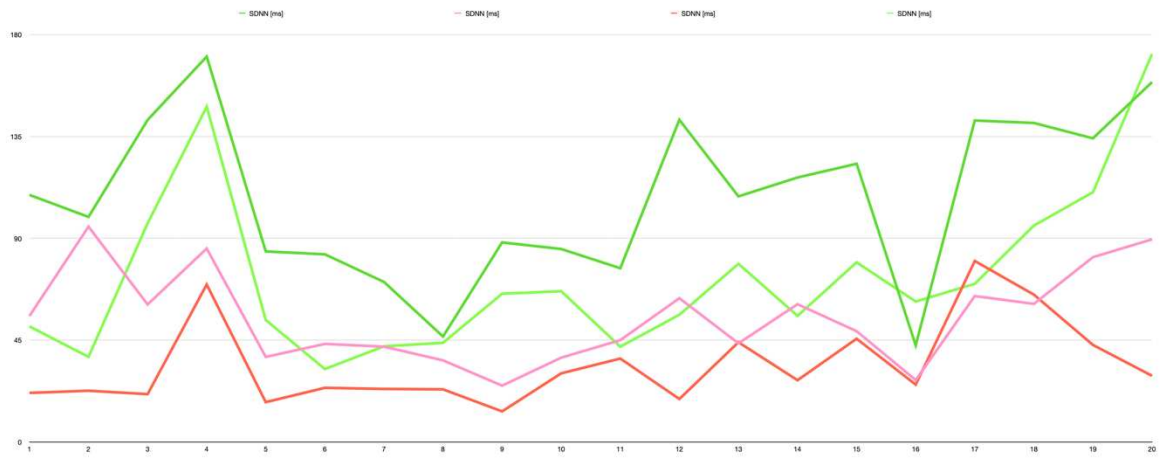


Grafico 3 Linee 2D dei risultati del SDNN

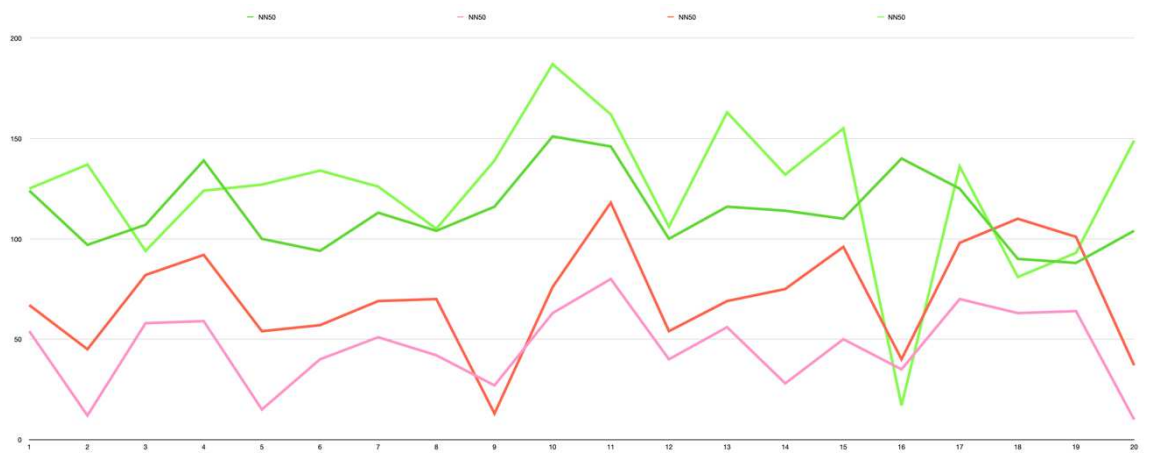


Grafico 7 Linee 2D dei risultati del RMSSD

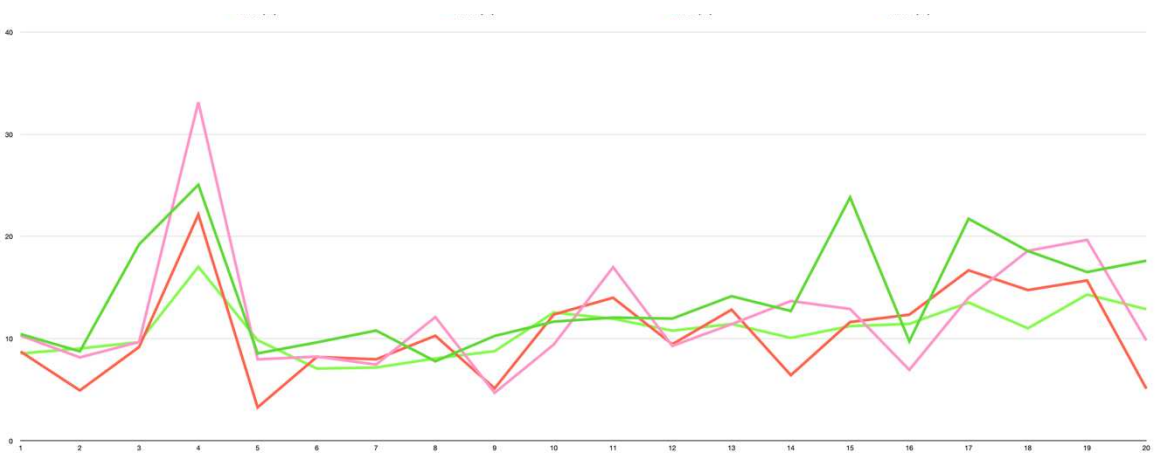


Grafico 8 Linee 2D dei risultati del NN50

Analizzando il test di Stroop di 2 min con i primi 2 min di rilassamento, per avere maggior coerenza di intervalli RR considerati, possiamo notare che tutti i parametri riportati, rispecchino la letteratura. In particolare, ci si aspetta che da una fase di stress ad una fase di rilassamento, il battito cardiaco diminuisca e gli intervalli RR aumentino in funzione di essa.

Queste variazioni, riportate nella Tabella 3, sono di piccola entità in funzione dell'intervallo di 120s considerato per ciascuna fase. Inoltre, come anticipato in precedenza, ci aspettiamo che alcuni soggetti non siano in fase rispetto altri per la tempistica precisa della prova. Prendendo intervalli sempre più piccoli questa considerazione sarà più marcata, ed è un limite di questo dataset.

Alla luce delle considerazioni riportate, possiamo analizzare le 4 fasi studiate in precedenza in 3 fasi, unendo il conto alla rovescia con il Test di Stroop e considerarlo come unica fase di stress cognitivo, coerenti con la distinzione fatta dal Quality Life Laboratory.

Anche in questa valutazione siamo coerenti con la letteratura. Nel passaggio da una fase di rilassamento ad una fase di stress indotto abbiamo differenze positive degli indici temporali dell'HRV. Stessa considerazione nel passaggio da una fase di stress ad una fase di rilassamento, con conseguente differenza negativa.



Tabella 3 Risultati dall'analisi del Test di Stroop con i primi due minuti della fase di rilassamento

SOGGETTI	FASE 3 - TEST DI STROOP 2 min					FASE 4 - RILASSAMENTO 2 MIN				
	mHR	mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50	mHR	mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50
1	82,06	731,82	21,69	8,73	54	84,36	712,27	25,44	8,92	55
2	108,78	552,01	22,64	4,93	12	94,79	634,90	33,96	10,03	31
3	75,10	799,23	21,14	9,18	58	73,92	813,71	36,04	9,69	49
4	68,43	882,69	69,58	22,14	59	72,14	845,42	121,81	15,94	63
5	85,89	698,91	17,60	3,27	15	83,77	717,43	34,04	12,09	40
6	78,92	760,81	23,93	8,21	40	78,49	765,03	19,01	0,54	26
7	86,02	698,47	23,44	7,97	51	87,43	686,71	23,53	8,30	45
8	98,42	610,47	23,25	10,28	42	100,11	599,85	23,01	9,40	35
9	87,90	682,77	13,52	5,13	27	87,85	684,39	40,73	8,05	41
10	82,12	732,23	30,33	12,36	63	78,48	766,81	50,04	13,52	60
11	79,25	759,39	36,86	14,00	80	80,00	752,11	39,84	14,74	60
12	65,23	920,27	19,00	9,45	40	67,99	884,88	47,15	10,74	40
13	77,22	779,60	44,07	12,83	56	76,65	784,06	44,15	11,72	49
14	67,02	895,93	27,29	6,42	28	66,82	899,47	41,44	9,73	42
15	71,35	843,71	45,62	11,62	50	75,85	793,34	52,41	11,48	50
16	99,20	605,86	25,36	12,34	35	94,85	635,44	52,86	12,54	48
17	67,33	898,15	79,97	16,68	70	65,33	919,92	52,86	15,17	56
18	67,32	895,96	65,10	14,75	63	68,53	878,84	72,15	11,21	40
19	66,24	908,58	42,88	15,69	64	69,08	876,32	87,56	20,16	55
20	102,18	588,40	29,23	5,10	10	95,36	648,25	134,04	9,62	19
<b>Media±SD</b>	<b>80,79±13,33</b>	<b>762,26±117,33</b>	<b>34,12±18,52</b>	<b>10,55±4,07</b>	<b>45,85±19,81</b>	<b>80,09±10,62</b>	<b>764,96±98,48</b>	<b>51,60±30,86</b>	<b>11,18±3,89</b>	<b>45,20±11,68</b>

Tabella 4 Risultati dall'analisi di tre fasi, rispettivamente fase di rilassamento di 5 min, stress cognitivo di 5 min (conto alla rovescia + Test di Stroop) e fase di rilassamento di 5 min

SOGGETTI	FASE 1 - RILASSAMENTO 5 min					FASE 2 - STRESS COGNITIVO - Conto alla Rovescia + Stroop 5 min					FASE 3 - RILASSAMENTO 5 min				
	mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50		mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50		mRR [ms]	SDNN [ms]	RMSDD [ms]	NN50	
1	699,16	109,17	10,44	125	125	724,68	50,55	10,30	82	82	734,00	51,07	10,45	124	
2	644,95	99,44	8,75	137	137	565,13	86,39	8,16	52	52	655,18	37,60	8,75	97	
3	864,13	142,29	19,22	94	94	756,96	56,87	19,70	109	109	861,52	96,63	19,21	107	
4	1047,50	170,28	25,05	124	124	829,63	78,54	33,13	114	114	987,21	148,11	25,05	139	
5	719,46	84,20	8,55	127	127	698,52	34,20	7,97	59	59	773,07	53,87	8,56	100	
6	714,83	82,92	9,63	134	134	749,75	40,83	8,24	71	71	778,49	32,22	9,63	94	
7	673,76	70,72	10,79	126	126	695,17	39,73	7,46	88	88	718,91	42,27	10,79	113	
8	642,41	46,59	7,78	105	105	607,92	33,52	12,11	85	85	643,45	43,83	7,78	104	
9	721,11	88,18	10,26	139	139	665,88	24,12	4,69	23	23	760,66	65,51	10,26	116	
10	766,78	85,27	11,66	187	187	726,43	34,48	9,43	93	93	814,14	66,61	11,66	151	
11	728,30	76,77	12,06	162	162	705,56	49,44	16,99	143	143	770,29	42,11	12,06	146	
12	911,05	142,35	11,96	106	106	912,42	58,50	9,27	67	67	936,08	56,23	11,96	100	
13	802,15	108,52	14,15	163	163	755,93	40,91	11,41	85	85	871,41	78,71	14,15	116	
14	856,69	116,86	12,70	132	132	845,31	63,01	13,68	81	81	918,35	55,71	12,71	114	
15	873,83	122,92	23,82	155	155	794,92	46,61	12,90	117	117	875,23	79,38	23,82	110	
16	585,16	42,71	9,74	17	17	592,69	31,19	6,94	56	56	674,91	62,07	9,74	140	
17	946,40	142,05	21,73	136	136	822,39	67,60	14,01	121	121	946,52	69,88	21,73	125	
18	952,71	140,97	18,57	81	81	838,01	57,89	18,59	133	133	975,30	95,61	18,57	90	
19	966,03	134,17	16,51	93	93	955,02	75,88	19,69	124	124	990,71	110,37	16,51	88	
20	901,03	159,03	17,62	149	149	553,94	81,15	9,83	41	41	839,58	171,44	17,62	104	
<b>Media±SD</b>	<b>800,87±129,01</b>	<b>108,27±36,01</b>	<b>14,05±5,29</b>	<b>124,6±36,33</b>	<b>124,6±36,33</b>	<b>739,81±110,10</b>	<b>52,57±18,32</b>	<b>12,72±6,47</b>	<b>87,2±32,31</b>	<b>87,2±32,31</b>	<b>826,25±111,06</b>	<b>72,96±37,03</b>	<b>14,05±5,36</b>	<b>113,90±18,53</b>	

Grafico 9 Istogrammi 2D raffigurante i valori della Tabella 3 dei 20 soggetti per mHR, mRR, SDNN, RMSDD e NN50 durante 2 min ST (rosso) e 2 min RILASSAMENTO (verde)



Grafico 10 Istogrammi 2D raffigurante i valori della Tabella 4 dei 20 soggetti per mRR, SDNN, RMSDD e NN50 durante 5 min RILASSAMENTO (verde chiaro), 5 min STRESS COGNITIVO (Conto alla rovescia + ST) (rosso), 5 min RILASSAMENTO (verde scuro)



La variazione dell'HRV può essere significativa anche in un semplice cambiamento di postura, poiché indirettamente essa rappresenta una sfida per il corpo, che deve riadattarsi in diversi modi, e quindi rende la nostra misurazione dell'HRV potenzialmente più sensibile ai fattori di stress.

Quando cambiamo posizione del corpo, abbiamo riaggiustamenti emodinamici e autonomici poiché il corpo contrasta la spinta gravitazionale e lo spostamento del sangue verso la parte inferiore del corpo.

Quando si è sdraiati, l'HRV rappresenta l'attività del sistema nervoso autonomo cardiaco durante il riposo indisturbato. D'altra parte, l'HRV seduto o in piedi rappresenta l'attività del sistema nervoso autonomo cardiaco in risposta allo stress fisiologico.

L'analisi complessiva dell'Università del Texas non permette di poter valutare le varie posture adottate durante la fase di rilassamento seduti e la sua diretta correlazione con HRV.

Possiamo in merito esaminare la fine della prima fase di rilassamento con l'inizio della seconda fase di sforzo fisico, dove al soggetto viene richiesto dalla fase di rilassamento in cui è in posizione seduta di alzarsi e restare in piedi per 1 min. Questa variazione posturale, come riportato in letteratura, andrà a variare il nostro battito e gli intervalli RR.

Prendiamo quindi per analisi l'ultimo minuto della prima fase di rilassamento e il primo minuto della seconda fase.

In accordo con "Time-Domain HRV Analysis of ECG Signals under Different Body Postures" di Kumar et al. Come riportato nella Tabella 3, abbiamo un aumento del HR e una diminuzione del mRR nel passare dalla posizione seduta alla stazione eretta.

In accordo con il medesimo articolo anche i parametri temporali del HRV sono maggiori nello stare in piedi; necessitano però di maggiori studi in quanto non sappiamo che posizione seduta specifica abbiamo adottato i 20 soggetti durante la fase di rilassamento.

Ci si aspetta infatti che durante le varie fasi la seduta vari, soprattutto nelle condizioni in cui è richiesto un maggiore sforzo mentale o di concentrazione.

Ulteriori studi in merito potrebbero essere utili per valutare come la variazione posturale mentre si è in posizione seduta influisca sul HRV.

	mHR RELAX	mHR STAND	mRR ms RELAX	mRR STAND	SDNN relax	SDNN stand	RMSSD RELAX	RMSSD STAND	NN50 RELAX	NN50 STAND
1	74,13	79,16	809,6	768,1	21,62	64,10	7,28	14,69	17	35
2	83,82	88,56	716,2	685,2	13,76	63,49	8,55	11,93	30	28
3	68,00	67,11	883,1	899,8	33,36	57,18	7,93	10,87	22	19
4	54,30	67,43	1106,1	905,7	48,46	120,25	14,14	42,83	26	31
5	69,59	91,67	862,8	657,5	17,17	51,80	6,86	24,04	18	23
6	85,12	91,84	705,8	657,5	29,73	53,37	6,29	11,96	25	24
7	84,61	98,62	709,6	609,4	9,55	28,87	4,10	12,58	14	12
8	91,62	108,97	655,4	552,6	21,79	33,53	9,69	10,97	23	19
9	79,34	97,34	757,1	617,3	11,56	25,53	5,53	8,74	20	9
10	77,41	93,74	775,6	640,9	17,49	34,20	7,16	22,67	24	13
11	74,41	86,75	807,0	694,6	26,01	46,39	12,08	19,52	27	30
12	59,72	74,48	1009,4	809,3	14,18	57,05	7,67	11,38	12	22
13	73,30	89,31	821,0	679,1	37,53	63,02	12,24	16,87	30	29
14	67,62	73,72	887,6	815,1	24,41	40,42	11,51	14,59	29	25
15	68,05	80,11	882,8	753,7	27,57	58,24	13,50	28,06	30	29
16	81,48	107,52	739,7	559,8	44,71	31,39	10,09	16,16	42	10
17	62,44	79,57	965,4	763,9	60,10	88,09	17,45	36,16	30	44
18	59,89	67,08	1001,4	902,2	16,72	83,32	6,91	24,80	10	29
19	61,72	70,33	974,0	871,7	36,93	121,51	12,82	31,36	22	35
20	70,92	80,36	855,7	762,2	88,31	98,66	19,48	15,34	33	13
<b>Media±SD</b>	72,37±10,01	84,68±12,84	846,26±119,88	730,28±112,19	30,05±19,11	61,02±28,37	10,06±4,03	19,28±9,37	24,20±7,74	23,95±9,41

Tabella 5 Variazione di mHR, mRR, SDNN, RMSSD, NN50 nell'ultimo minuto di rilassamento e il minuto di posizione eretta

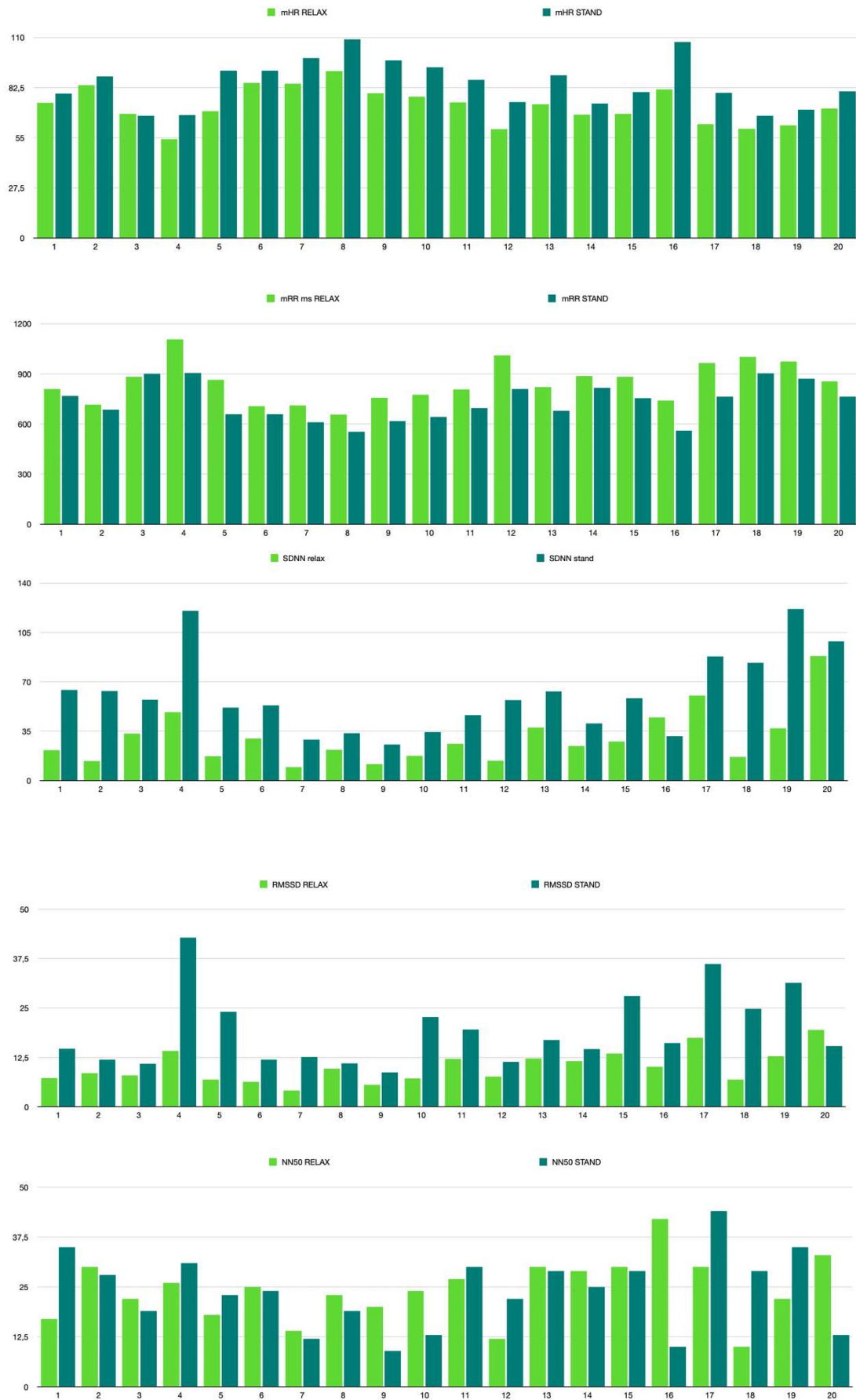


Grafico 11 | Istogrammi 2D raffigurante i valori della Tabella 5 dei 20 soggetti per mHR, mRR, SDNN, RMSDD e NN50 durante 1 min RILASSAMENTO (verde chiaro) e 1 min in posizione eretta (verde scuro).

Queste considerazioni effettuate dovrebbero, per avere rilevanza statistica, essere valutate in un arco temporale maggiore.

L'analisi per un solo minuto è un indicatore non soddisfacente, tenuto conto anche dei limiti del nostro dataset e degli indici utilizzati. Ci aspettiamo che dei soggetti inizino la fase della posizione eretta prima di altri soggetti, alterando le nostre possibili considerazioni in merito. Inoltre, indici dell'HRV lavorano bene per un arco temporale di almeno 120 s.

Nel complesso, i nostri risultati rispecchiano la letteratura scientifica. Durante le fasi di stress abbiamo un aumento del battito cardiaco e una diminuzione dei nostri indici temporali dell'HRV, ottenendo differenze positive rispetto le fasi di rilassamento analizzate. Stessi risultati nella situazione reciproca, dove evidenziamo differenze negative nel passaggio da una fase di stress ad una fase di rilassamento, concorde con la letteratura.

Quest'analisi potrebbe essere integrata in una Smart Chair mediante sensori posizionati sui braccioli o sulla seduta che rilevino ECG dell'utente seduto su di essa. Il rilevamento dei parametri HRV potrebbe essere effettuato sia nel dominio del tempo o delle frequenze.

## CAPITOLO 4: PROSPETTIVE FUTURE E SVILUPPI NELLE SMART CHAIRS

### 4.1 Smart Chair

Nell'era sempre più interconnessa e tecnologicamente avanzata in cui viviamo, la definizione di oggetti di uso quotidiano sta subendo una trasformazione significativa. Tra gli oggetti che stanno sperimentando un cambiamento notevole c'è la sedia, un elemento che da secoli ha mantenuto la sua essenza di base. Tuttavia, con l'avanzamento della tecnologia, è ora possibile progettare una nuova categoria di sedie: le "Smart Chair" o sedie intelligenti.

Una Smart Chair è molto più di una semplice seduta; è un dispositivo interattivo che integra tecnologia avanzata per migliorare l'esperienza di chi vi si siede. Una delle caratteristiche principali di una Smart Chair è la sua capacità di connettersi a reti wireless e ad altri dispositivi. Ciò permette all'utente di monitorare i dati rilevati dalla sedia attraverso smartphone, tablet o altri dispositivi intelligenti tramite un'app creata ad hoc

Perché Smart? E' smart (intelligente) proprio perché grazie all'interazione tra i sensori che reagiscono a degli stimoli e l'app che gestisce la seduta riesce a restituire un risultato immediato che può essere interpretato per dare vari ambiti di applicazione alla sedia stessa. Tutto ciò ovviamente richiede un approccio ingegneristico, medico e nanotecnologico.

In ambito lavorativo la sedia potrà avere funzionalità di monitoraggio del battito cardiaco e della postura, per incoraggiare una seduta più corretta e prevenire dolori muscolari legati alla cattiva postura, nonché monitorare lo stress dell'utente e mandare biofeedback in relazione ad essa.

In tutta la letteratura visualizzata, molti studi si sono concentrati sul biofeedback della postura, meno sul battito cardiaco, ma quasi nessuna sulla possibile rilevazione dello stress, integrata nella seduta intelligente, presa singolarmente o correlata alla postura, problema miliare di questo secolo.

Come ogni innovazione tecnologica, sorgono anche delle sfide come una corretta acquisizione dei dati e la sicurezza ad esse correlate. La sicurezza dei dati è una preoccupazione, poiché le Smart Chair raccolgono e trasmettono dati personali dell'utente. È essenziale sviluppare standard di sicurezza robusti per proteggere la privacy degli utenti.



Integrando tecnologia avanzata, comfort personalizzato e funzionalità intelligenti, questa sedia migliorerà significativamente la nostra esperienza di seduta quotidiana.

La Smart Chair apre la strada a una nuova era di design delle sedie, combinando stile e funzionalità in modo innovativo e futuristico.

#### **4.2 Stato dell'arte nel monitoraggio del battito cardiaco e postura nelle Smart Chairs**

Il mercato dell'HealthCare e Personal Health è in crescita esponenziale, con un mercato globale, solo riguardante il Global Sensor Market, di 154.4 Miliardi (2022) e crescita annuale del 10.2%.

Si prevede che queste nuove tecnologie di sedie intelligenti possano entrare a breve nel mercato.

L'inserimento di sensori avanzati e funzionalità ergonomiche sta diventando un'idea sempre più comune, offrendo un approccio innovativo al comfort e al benessere durante le lunghe sessioni di lavoro o relax.

Questi sensori attualmente studiati utilizzano tecnologie avanzate come giroscopi e accelerometri per analizzare la postura in tempo reale. L'obiettivo principale è fornire agli utenti un feedback accurato sulla loro posizione seduta e promuovere abitudini posturali corrette.

Attualmente, ci sono diversi tipi di sensori utilizzati nella letteratura per monitorare la postura su sedie intelligenti. Alcuni dei possibili sensori :

- *Giroscopi:*

I giroscopi sono sensori che misurano la velocità angolare, consentendo di rilevare le rotazioni del corpo. Sono spesso utilizzati per valutare l'inclinazione e l'orientamento della sedia rispetto alla postura dell'utente

- *Accelerometri:*

Gli accelerometri misurano l'accelerazione lineare e vengono utilizzati per rilevare i cambiamenti di posizione e movimento della sedia. Possono contribuire a monitorare la stabilità e l'equilibrio durante l'utilizzo della sedia.

- *Sensori di Pressione:*

Questi sensori sono incorporati nel sedile e rilevano i punti di pressione del corpo. Forniscono informazioni sulla distribuzione del peso e aiutano a comprendere come l'utente si siede sulla sedia.

- *Sensori Infrarossi:*

I sensori infrarossi possono essere utilizzati per rilevare la distanza tra il corpo dell'utente e la sedia. Questi sensori sono utili per valutare la postura e regolare la sedia di conseguenza.

- *Sensori di Prossimità:*

I sensori di prossimità possono rilevare la presenza dell'utente sulla sedia e, combinati con altri dati, contribuire a comprendere la postura. Possono essere utilizzati per attivare o disattivare determinate funzioni in base alla presenza dell'utente.

- *Sensore di Pulsazioni Cardiache:*

Alcune sedie intelligenti integrano sensori per monitorare le pulsazioni cardiache dell'utente. Questi sensori contribuiscono a fornire informazioni sulla salute cardiovascolare e possono essere utilizzati per adattare la sedia in base ai dati cardiovascolari dell'utente. La combinazione di questi sensori consente alle sedie intelligenti di raccogliere dati dettagliati sulla postura dell'utente e di fornire un feedback personalizzato per migliorare il comfort e la salute durante l'utilizzo prolungato. La scelta dei sensori dipende spesso dalle caratteristiche specifiche della sedia intelligente e dagli obiettivi di monitoraggio della postura.

I sistemi integrati con soli sensori di pressione, per monitorare la postura, sono esenti dall'invasività e dagli inconvenienti dei sistemi indossabili e dai problemi di occlusione e disagio psicologico dei sistemi basati su immagini. Tuttavia, questi sistemi che si basano esclusivamente su sensori di pressione sembrano avere alcune limitazioni nella capacità di classificazione della postura: ad esempio, nessuno dei sistemi esistenti ha dimostrato di essere in grado di riconoscere accuratamente la rotazione del tronco, che è importante per la valutazione ergonomica delle posture sedute. Inoltre, molti di questi sistemi richiedono l'integrazione di un tappetino a pressione o l'utilizzo di un gran numero di sensori di pressione, il che li rende piuttosto costosi per un uso diffuso.

- *Sensori Misti:*

In studi recenti, si sta optando nell'utilizzare un mix di diversi sensori per il rilevamento della postura. Sensori misti, utilizzati da Jeong e Woojin in "Developing and Evaluating a Mixed Sensor Smart Chair System for Real-Time Posture Classification: Combining Pressure and Distance Sensors", attraverso un piccolo set di sensori infrarossi combinati con un set di sensori di pressione si è stati in grado di classificare con precisione e robustezza le posture di seduta nelle principali categorie di posture ergonomicamente rilevanti e fornire eccellenti prestazioni del sistema di sensori misti rispetto sensori di singola tipologia, riportati in precedenza nella Figura 4. Esso, infatti, viene considerato come miglioramento rispetto ai sistemi di sedie intelligenti basati su sensori di pressione esistenti in quanto consente di classificare un'ampia

varietà di posture di seduta ergonomicamente importanti utilizzando un numero limitato di sensori [27].

Roh et al. (2018) hanno sviluppato un SPMS utilizzando quattro celle di carico a trave integrate nel telaio del sedile, come mostrato in figura, per classificare sei posture utilizzando un vettore di caratteristiche composto dal rapporto tra il peso totale misurato dai sensori e il peso corporeo e dalla distribuzione del peso nelle direzioni mediale-laterale e antero-posteriore. Utilizzando una Support Vector Machine (SVM) con il kernel della funzione di base radiale, è stato ottenuto un tasso medio di accuratezza del 97,20% nella classificazione delle posture di nove soggetti.

Huan et al. (2017) hanno utilizzato sensori di pressione nel loro SPMS (sistema di monitoraggio della postura seduta), ma sotto forma di 52×44 array di sensori piezoresistivi, per misurare i modelli di pressione nel sedile della sedia di otto posizioni sedute, utilizzato come input per un classificatore di rete neurale artificiale (ANN). L'accuratezza media ottenuta è stata del 92,2%, inferiore all'accuratezza ottenuta da Roh et al.

Gli SPMS sopra menzionati hanno tutti utilizzato sensori di pressione nel loro approccio, ma ci sono altri sistemi che impiegano invece sensori in grado di misurare l'inclinazione del sedile e dello schienale della sedia per classificare la postura seduta. Otodo et al. (2018) utilizzarono un totale di otto accelerometri (sei sul sedile e due sullo schienale) per misurare la variazione dell'angolo di inclinazione X, Y e Z asse, che forma il vettore di caratteristiche utilizzato per addestrare un modello Random Forest per classificare 19 posture. Tuttavia, il tasso medio di accuratezza, valutato nei dati raccolti da 20 soggetti, era solo dell'80,1%, potenzialmente a causa del maggior numero di posture valutate. Inoltre, l'utilizzo di questo tipo di sensori è fattibile solo se la sedia è più incline all'inclinazione o si deforma con il movimento, come le sedie con cuscini in rete anziché in schiuma.

Esistono anche SPMS a sensori misti, come nel caso del sistema proposto da Jeong et al. (2021), prima menzionati, combinano sei sensori di pressione nel sedile con sei sensori di distanza a infrarossi nello schienale, conferendogli una maggiore capacità di classificare le posture che differiscono solo in termini di distanza tra la schiena dell'utente e lo schienale della sedia (es. posizioni con rotazione del busto). Pertanto, per undici posizioni sedute, questo sistema è stato comunque in grado di raggiungere un tasso di precisione complessivo del 92,0% utilizzando un modello k-Nearest Neighbor (k-NN), ma ciò va a scapito di una maggiore complessità e costo del sistema.

A tal proposito, Leonor Pereira insieme ai suoi collaborati, visti i precedenti studi, hanno sviluppato nei loro studi un sistema di sedia intelligente per il monitoraggio della postura e del segnale ECG, collegati ad un microprocessore che gestisce l'acquisizione e la trasmissione dei

dati raccolti, seguendo un approccio di rilevamento “invisibile”. Per la postura hanno inserito 3 celle di carico in configurazione triangolare, con capacità massima di 50 kg ciascuna, collegate ad un ADC (convertitore analogico-digitale) e amplificatore, per consentire la corretta lettura del peso.

Per il segnale ECG hanno utilizzato elettrodi in nappa conduttiva applicata ai braccioli della sedia. [26]

I rilevamenti delle otto posture e del segnale ECG dei 10 soggetti esaminati hanno riscontrato una buona accuratezza (circa 85%) considerando il costo complessivo di circa 150€.

Nella letteratura scientifica si trovano molti studi in merito correlati alla postura, meno alla frequenza cardiaca, e ancor più rari il loro possibile collegamento allo stress.

Abbiamo citato i più rilevanti e pertinenti per il nostro contesto.

Purtroppo, sorgono molti problemi in merito che riguardano la rilevazione del segnale e la loro accuratezza e precisione per poter fornire feedback accurati. Il segnale ECG inoltre potrebbe essere rilevato solo quando si ha un contatto prolungato con il sensore posto sui braccioli.

Altra problematica potrebbe essere l'alimentazione di questo sistema, lo sviluppo di una piattaforma per ricaricare in modalità wireless la smart chair garantirebbe la completa indipendenza da connessioni cablate a dispositivi esterni.

Inoltre, si ha necessità di sviluppare un'app per fornire feedback all'utente sulla postura seduta e sulla salute cardiovascolare, informare e avere il consenso nell'analisi e trattazione dei corrispettivi dati ottenuti dalla sedia conformi alla privacy europea, rispettando l'etica dei dati sensibili raccolti dall'utente.

### **4.3 Gaming Smart Chair**

In questo capitolo vedremo nello specifico uno dei molteplici possibili utilizzi di una Smart Chairs e precisamente quello rivolto al mondo del gaming, progetto a cui personalmente sto lavorando.

La sedia valuterà diversi tipi di approccio alla sessione di gioco e potrà essere "settata" in vari modi a seconda della tipologia di gaming che l'utente andrà a fare. Esistono infatti varie tipologie di giochi, dagli "shooting" , che prevedono sessioni brevi e livelli di concentrazione intensi oltre che tempi di reazione molto bassi, ai "farming" che sono giochi dove non serve

molta concentrazione, i tempi di reazione sono più alti e solitamente le sessioni sono più prolungate.

Andando a selezionare dall'app la tipologia di gioco e inserendo alcuni dati come età, altezza, peso e sesso, essa consiglierà i settaggi e le regolazioni migliori da attuare sulla seduta (inclinazione schienale, altezza sedia, settaggio lombare, traslazione della seduta) volti a far ottenere il miglior risultato possibile e al tempo stesso mantenere la postura più corretta possibile per la tipologia di gioco sempre mantenendo il rapporto "massimo risultato - minore stress".

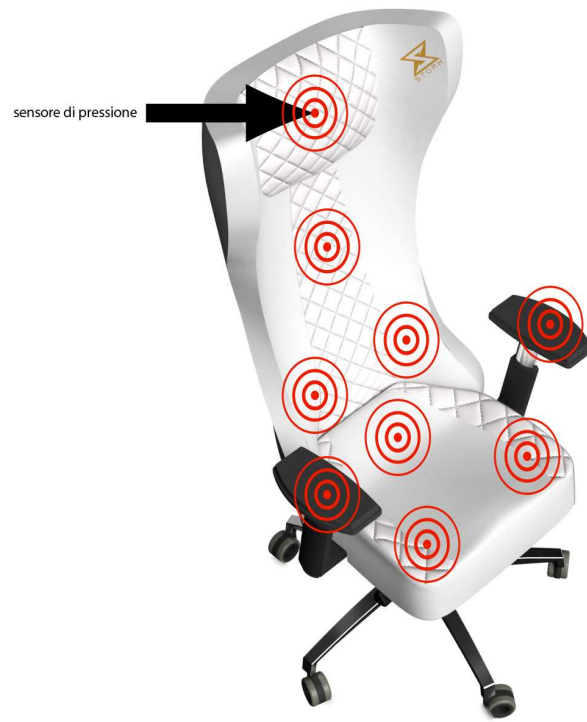
Il tutto sarà costantemente monitorato e in caso l'utente si discosti dalla postura consigliata si potrà vedere a colpo d'occhio la variazione del colore della sedia stessa (tramite dei led installati) e anche dal dispositivo di monitoraggio, che in questo caso sarà un bracciale indossabile.

I colori andranno dal verde, che significa postura corretta, al rosso, che significa postura scorretta, seguendo tutta la gamma RGB con i rispettivi cambi di tonalità, questo per dare un risultato chiaro e immediato che non comporta nessun tipo di stress a livello cognitivo dato che nel quotidiano siamo già abituati ad associare il verde ad una cosa giusta, corretta e il rosso ad un errore o un segnale di allerta.

Per lo studio dei settaggi della sedia saranno valutati i dati forniti da un campione di 20 persone (player gamer professionisti), con peso, età, altezza e sesso diversi, che per il periodo di sei mesi utilizzeranno una Sedia da Gaming e un bracciale cardiofrequenzimetro.

La sedia da Gaming (fig. 1) è dotata in corrispondenza di alcuni punti di appoggio, di sensori di Pressione Forza di tipo RP-S40-ST ed è in grado di inviare all'app tramite bluetooth e wifi costanti segnali in riferimento alla pressione esercitata dal corpo in quello specifico punto di appoggio.

Il bracciale è un cardiofrequenzimetro che contiene al suo interno due led RGB posti sulla parte superiore e un sensore PPG (fotoplestimografico) posto a contatto col polso, che è in grado di inviare all'app tramite bluetooth e wifi i dati relativi alle pulsazioni



*Figura 7 Visualizzazione della possibile Gaming Smart Chair*

Verranno analizzati i dati relativi alla posizione mantenuta in appoggio alla sedia sincronizzati con i dati sulla variazione dell'HRV e il tutto sarà confrontato con i dati relativi alla sessione di gaming per valutare le rispettive varianze e il rapporto tra postura mantenuta, variazione HRV e risultato nel gioco.

Questo permetterà una volta terminata la fase di campionatura dei dati di analizzare quale sarà la regolazione migliore della sedia (inclinazione dello schienale, appoggio lombare, traslazione della seduta, altezza della seduta), in riferimento alla propria conformazione fisica, per avere la postura migliore da mantenere in modo da avere il miglior rapporto risultato-stress e di poter completare l'applicazione che a quel punto sarà in grado di essere di ausilio all'utente finale.

## **CAPITOLO 5: PRIVACY, SICUREZZA DATI E CONSIDERAZIONI ETICHE**

### **5.1 Introduzione al bluetooth**

In questi ultimi anni abbiamo assistito ad un enorme diffusione di dispositivi portatili (cellulari, Pda, lettori multimediali) che possono essere paragonati in termini di capacità computazionale e di memorizzazione a dei veri e propri elaboratori. Imprenditori, professionisti ma anche persone comuni organizzano la loro vita, il loro lavoro ed i loro dati con strumenti di questo tipo.

A fronte di questo interesse crescente per il mobile computing, i produttori hanno dotato gran parte di questi apparecchi con tecnologie senza fili (Wifi 802.11 e Bluetooth) con cui siamo ormai abituati a convivere.

Entrambi questi aspetti hanno generato nuove preoccupazioni negli esperti poichè, oggi, un aggressore dotato anch'esso di un dispositivo portatile (quindi comodamente trasportabile) può infrangere facilmente il classico paradigma della sicurezza informatica: confidenzialità dei dati, integrità delle fonti e disponibilità dei servizi.

La mobilità è un elemento di vantaggio per l'aggressore in quanto l'infrastruttura è pubblica ed esposta; ai problemi noti anche in ambiente wired si sommano quelli connessi al particolare

mezzo trasmissivo utilizzato (l'aria appunto) che obbliga a considerare problemi quali l'intercettazione o l'interruzione di servizio.

Tralasciando tutti i problemi legati alla sicurezza fisica dei dispositivi, che comunque esistono (è facile sottrarre un palmare ed impossessarsi dei dati in esso contenuti) in questo capitolo considereremo le problematiche di sicurezza della tecnologia Bluetooth.

Bluetooth nasce nel 2003 con il principale obiettivo di unificare le vecchie tecnologie di comunicazione a breve raggio tra dispositivi, eliminando gli svantaggi delle tecnologie precedenti come gli infrarossi (IRDA) che necessita di un contatto visivo tra le periferiche e consente basse velocità di trasferimento.

Supportata da numerosi produttori che hanno istituito il consorzio SIG (Ericsson, Nokia, Microsoft, Intel, Motorola, Apple e molti altri), Bluetooth è presente ormai sui più disparati dispositivi (cellulari, auricolari, navigatori satellitari, stampanti e così via).

Questa tecnologia permette di creare delle vere e proprie PAN (Personal Area Network) in maniera da condividere contenuti tra dispositivi eterogenei semplificando al massimo l'interazione con l'utente.

Le caratteristiche principali della tecnologia, così come sono state definite dallo standard (Core specification v1.2 del 05/11/03) possono essere riassunte nei seguenti punti:

- Sistema radio basato su un'architettura hardware ed una pila protocollare software.
- Operante intorno alla frequenza 2.4GHz (2400-2483.5 MHz) all'interno della banda ISM (Industrial, Scientific and Medical radio band); è la medesima frequenza della tecnologia Wifi 802.11.
- Utilizzo del frequency hopping. Ogni dispositivo durante la comunicazione "salta" in frequenza 1600 volte al secondo su 79 canali in maniera da non occupare pienamente la banda poichè vietato dalle normative in materia. Quando due o più dispositivi devono comunicare questi si accordano sui salti in frequenza da effettuare, creando un unico canale logico per trasmettere i dati. Il frequency hopping è parecchio interessante in quanto fornisce un primo meccanismo di protezione contro le interferenze ma anche contro l'intercettazione intesa come semplice ascolto di un canale radio.



- Bassa potenza (1-100 mW). In base alla potenza i dispositivi sono suddivisi in classi (rispettivamente classe 3, classe 2 e classe 1); questo aspetto influenza ovviamente la portata del singolo apparecchio.

- Range ridotto (10-100 m).

- Velocità di trasferimento (1 Mbps).

Alla fine del 2004 sono state poi definite delle nuove specifiche tecniche che si trovano implementate sui dispositivi in circolazione oggi; la tecnologia è ovviamente retrocompatibile (cellulari che implementano Bluetooth 2.0 possono dialogare con altri cellulari Bluetooth 1.2) e le migliorie sono per lo più legate all'aumento di velocità di trasferimento (2 e 3 Mbps) e ad un consumo energetico minore.

Per capire a fondo gli attacchi bisogna conoscere almeno sommariamente gli elementi costituenti lo stack protocollare della tecnologia che sono quindi presenti in ogni dispositivo Bluetooth. Concettualmente è possibile dividere le varie funzionalità in due sezioni:

- Lower Layer (da Radio ad HCI)

- Upper Layer (oltre L2CAP)

I livelli (Lower Layer) si occupano principalmente della gestione del segnale radio, della modulazione e demodulazione, della gestione dei dati in trasmissione/ricezione e della creazione e mantenimento dei due canali principali presenti nella tecnologia Bluetooth: quello asincrono e quello sincrono.

Il primo tipo di collegamento (ACL – Asynchronous Connectionless) è quello che usiamo durante la trasmissione dati quando, per esempio, colleghiamo il nostro portatile con il cellulare. Il canale sincrono (SCO – Synchronous Connection-Oriented) invece è quello usato durante le chiamate vocali e come dice il nome stesso permette di comunicare in maniera bidirezionale e sincronizzata tra le due parti.

Al di sopra dell'HCI (Host Controller Interface), che fornisce un'astrazione delle funzionalità di basso livello del sistema radio sottostante, si sviluppano alcuni componenti interessanti:

- L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) che si occupa di incapsulare i pacchetti e fornire un meccanismo di astrazione simile a quello delle porte del protocollo

TCP/IP; quando un dispositivo comunica con un altro utilizza una determinata porta, che può essere vista come un canale logico.

- SDP (Service Discovery Protocol). E' il modulo che si occupa di pubblicare i servizi offerti dal singolo dispositivo ma anche di ricercare quelli presenti sugli altri apparecchi con cui si vuole comunicare. La parola servizi deve essere intesa come singole funzionalità del dispositivo; su un cellulare avremo il servizio di Dial-up Networking, Fax, Serial Port, OBEX Object Push, IrMC Sync, ecc.

I componenti appena citati forniscono i mattoni essenziali per usare poi altri protocolli. Quando scambiamo un biglietto da visita tra cellulari, solitamente in formato V-Card, di fatto utilizziamo il servizio OBEX (Object Exchange). Quando invece colleghiamo il nostro palmare al computer spesso usiamo RFCOMM che emula l'uso della vecchia seriale (RS232)

## 5.2 Sicurezza dati

Ora che abbiamo introdotto a grandi linee la tecnologia possiamo iniziare a parlare di sicurezza. La specifica Bluetooth prevede infatti tre livelli di sicurezza che devono essere implementati nei dispositivi.

- Mode 1: nessuna sicurezza
- Mode 2: procedure di protezione a livello di servizio/applicazione
- Mode 3: procedure di protezione a livello di dispositivo; usando questa modalità è possibile far comunicare due o più dispositivi solo se questi sono già stati associati e quindi sono considerati "fidati"

La sicurezza dei dispositivi è garantita da cinque elementi principali che sono usati all'interno delle procedure di protezione.

- Indirizzo BT\_ADDR: L'indirizzo fisico del singolo dispositivo; ogni indirizzo è unico poiché assegnato dall'IEEE e collegabile al produttore che ha realizzato l'apparecchio. L'indirizzo è un campo di 48 bit (esempio:00:0A:D9:62:12:36) di cui i primi 24 bit sono legati alla casa produttrice (in questo caso Sony Ericsson). L'idea di univocità della periferica è identica al caso delle schede di rete che hanno il cosiddetto MAC Address; come ben sappiamo però questo indirizzo è facilmente falsificabile (tramite spoofing). Anche per la tecnologia Bluetooth è possibile, su alcuni dispositivi, modificare questo valore cambiando "l'identità" del dispositivo.

- Chiave di cifratura (8-128 bit)
- Chiave di collegamento (128 bit)
- Numeri pseudocasuali (128 bit)
- Vari algoritmi per la generazione delle chiavi (E0, E21, E22, ecc)

Evitando di approfondire ulteriormente i meccanismi di creazione delle chiavi è utile ricordare come durante l'associazione di un dispositivo ad un altro (pairing) avviene lo scambio di chiavi che dovrebbe assicurare la riservatezza della comunicazione; il segreto "condiviso" in questo caso è proprio il semplice "pin" che immettiamo nel nostro apparecchio. Se pensiamo al fatto che spesso questo pin è fissato a priori dal costruttore (per gli auricolari, kit vivavoce, navigatori satellitari) oppure che è limitato a 4 cifre, ci rendiamo conto di come possano nascere alcuni problemi.

Gli esperti hanno mostrato come un attacco brute-force al meccanismo di pairing per alcuni dispositivi sia effettivamente possibile: nel caso di dispositivi con pin preimpostato è addirittura attuabile online, ovvero direttamente contro il dispositivo vittima. Nel caso invece di "pin deboli" è possibile registrare il traffico, su tutti i 79 canali, attraverso un registratore frequenziale e poi testare le varie chiavi di collegamento (generate usando diversi pin) in maniera offline. Questo è un primo esempio di vulnerabilità ad un elemento debole del protocollo che però può essere mitigato da un uso accorto dei dispositivi.

Per queste motivazioni si dovrà consigliare all'utente di effettuare il pairing in luoghi considerati sicuri ed usare codici pin lunghi e difficili da indovinare.

I problemi però esistono anche a livello applicativo: dal rilascio delle specifiche sino ad oggi, gli esperti di sicurezza hanno scoperto e segnalato numerose vulnerabilità dimostrando che, sebbene il protocollo è stato studiato approfonditamente, le aziende che hanno sviluppato i prodotti non hanno sempre tenuto in considerazione le possibili problematiche di sicurezza, cosa a cui va data primaria importanza.

### 5.3 Considerazioni etiche legate alla valutazione continua dello stress

L'implementazione di sistemi di valutazione continua dello stress, che utilizzano tecnologie come sensori e dispositivi indossabili, solleva una serie di importanti considerazioni etiche. Queste riflessioni riguardano aspetti cruciali come la privacy, la consapevolezza, il consenso informato e l'equità nell'utilizzo di tali dati sensibili. Di seguito sono esposte alcune delle principali considerazioni etiche associate alla valutazione continua dello stress:

*Privacy e Sicurezza dei Dati:* La raccolta continua di dati sullo stress implica la registrazione di informazioni altamente personali. Garantire la sicurezza e la privacy di tali dati è una priorità etica. È essenziale implementare misure di sicurezza robuste, come crittografia avanzata e protezioni contro l'accesso non autorizzato, per prevenire la divulgazione indebita di informazioni sensibili.

*Consapevolezza e Consenso Informato:* Gli individui dovrebbero essere pienamente consapevoli di come vengono raccolti, utilizzati e condivisi i dati relativi allo stress. Il consenso informato è un requisito etico fondamentale. Gli utenti devono essere informati in modo trasparente sui fini della raccolta dei dati e devono poter fornire il loro consenso in modo libero e informato. La consapevolezza riguarda anche la possibilità di revocare il consenso in qualsiasi momento.

*Impatto sulla Salute Mentale:* La valutazione continua dello stress potrebbe avere un impatto sulla salute mentale degli individui. La costante consapevolezza del monitoraggio potrebbe generare ansia o stress aggiuntivo. È importante valutare attentamente come la raccolta e la comunicazione dei dati possono influenzare il benessere psicologico degli utenti, cercando di minimizzare eventuali effetti negativi.

*Equità nell'Accesso e Uso dei Dati:* L'accesso alle tecnologie di valutazione dello stress potrebbe non essere uniformemente distribuito. Ciò potrebbe portare a disparità nell'accesso a strumenti che possono migliorare la consapevolezza e la gestione dello stress. È importante garantire che tali tecnologie siano disponibili e accessibili a diverse fasce della società e che l'uso dei dati non contribuisca a ulteriori disuguaglianze.

*Trasparenza degli Algoritmi:* L'implementazione di algoritmi per l'analisi dei dati dovrebbe essere trasparente e comprensibile. Gli individui devono essere informati su come vengono interpretati i dati relativi allo stress e su come vengono prese decisioni basate su tali analisi. Ciò promuove una maggiore fiducia nell'utilizzo di queste tecnologie.

*Finalità Etiche dell'Utilizzo dei Dati:* I dati raccolti dalla sedia smart non devono essere registrati in nessun modo dall'azienda produttrice che deve rispettare la privacy dell'utente e proteggerlo da un possibile utilizzo fraudolento di tali dati magari volti ad usi commerciali impropri.

Trovare un delicato equilibrio tra i vantaggi della tecnologia di biorilevamento e la protezione dei diritti e dell'autonomia individuali rappresenta una sfida complessa che necessita di solidi quadri etici.

Affrontare questi limiti richiede collaborazioni multidisciplinari, progressi tecnologici e continui sforzi di ricerca. Il superamento di questi ostacoli sbloccherà l'intero potenziale dei sensori, consentendo la loro perfetta integrazione in diversi domini e catalizzando progressi trasformativi nel settore sanitario, nel monitoraggio ambientale e altro ancora.

L'integrazione con l'intelligenza artificiale (AI) e gli algoritmi di apprendimento automatico consente ai biosensori basati sull'intelligenza artificiale di analizzare modelli di dati complessi, rivoluzionando i processi di screening e monitoraggio.

In sintesi, i sensori hanno un futuro brillante nella trasformazione dell'assistenza sanitaria attraverso il monitoraggio in tempo reale, il trattamento personalizzato e la cura preventiva [24] rispettando privacy ed etica dell'utente finale.

## CAPITOLO 6: Conclusioni

“State seduti bene sulle sedie!” ricordava la maestra delle primarie alla propria scolaresca... già, seduti bene, perchè sedersi male a scuola voleva dire passare ore con una postura scorretta che ci poteva portare male alla schiena piuttosto che al collo o alle spalle e darci delle abitudini sbagliate che avremmo protratto per il resto della nostra vita magari ma soprattutto ci avrebbe portato ad essere distratti! ... "State seduti bene sulle sedie!" Quel consiglio detto con tono così autoritario e in modo ripetitivo quante volte è riecheggiato nella mia mente quando spesso, seduta davanti al mio PC, portavo avanti i miei studi, leggevo e inviavo mail, controllavo i social, davo uno sguardo a youtube e poi alle notizie del mondo, giocavo al mio game preferito e poi e poi e poi che stress!! E si faceva sera e tutta intorpidita mi alzavo con il collo strapazzato e la schiena malandata da tutte quelle ore in cui senza accorgermi non avevo dato peso a quanto fosse importante sedermi in modo corretto.

Ed è proprio da qui che son voluta partire e ho voluto iniziare le mie valutazioni; da me stessa e dalla mia esperienza.

In questa tesi ho voluto approfondire questi aspetti e valutare con un approccio scientifico come l'aumento dello stress sia strettamente correlato allo stile di vita moderno che, causa anche uno sviluppo di internet che ormai è diventato di uso massivo, ci impone sempre più l'utilizzo dei PC (oltre che Tablet, Smartphone, consolle di gioco, etc) per lavoro piuttosto che per svago o per studio ed ho valutato la correlazione che c'è tra aumento dello stress e cattiva postura cercando attraverso la misurazione dell'HRV di andare ad analizzare il rapporto esistente tra HRV e livelli di stress per poi andare all'atto pratico a vedere come questo possa essere applicato per la creazione di una sedia intelligente in grado di essere di ausilio a mantenere la miglior postura in base all'attività che stiamo facendo.

Dopo aver visto ed analizzato in ambito anatomico cosa è e da dove proviene lo stress, fondamentale è stata l'analisi dei dati raccolti dai test effettuati a riposo e sotto stress rilevati con ECG professionali e personale competente (raccolti dal database “Non-EEG Dataset for Assessment of Neurological Status”, estratto dall'ATM PhysioNet) componenti necessarie al corretto svolgimento dei test e di conseguenza alla raccolta dei dati stessi.

Una volta tratte le conclusioni sullo studio di tali test e dimostrato come la misurazione dell'HRV sia un metodo valido nella misurazione dei livelli di stress ho deciso di prendere in esame una possibile applicazione della "smart chair" selezionando una categoria di sedie molto usata soprattutto dai più giovani, le sedie da gaming, e ho illustrato come sia possibile tramite

dei sensori posti sulla sedia e su un dispositivo di misurazione dell'HRV posto in un bracciale , ottenere un aiuto a migliorare le performance dei videogiocatori andando ad effettuare sulla sedia le regolazioni migliori e più indicate a seconda della tipologia di gioco e a seconda della nostra conformazione fisica, sesso ed età.

Una criticità nella realizzazione di tale sedia è sicuramente il sistema di archiviazione e trasmissione dei dati tramite bluetooth. Essendo infatti l'applicazione recettrice di dati sensibili, il sistema va adeguatamente protetto in primis dal produttore e poi dall'utente finale , creando un sistema a circolo chiuso in cui solo l'utilizzatore possa mettere mano ai propri dati.

Un'altra problematica che ho incontrato è stata quella di riuscire a trovare il modo in cui l'applicazione potesse comunicare con l'utente durante la sessione di gioco senza far perdere la concentrazione al player e che potesse recepire in una frazione di secondo in modo automatico. Per questo ho utilizzato i colori.

Da uno studio effettuato dal professor Piero Barbanti, primario di Neurologia dell'Istituto San Raffaele Pisana di Roma, il verde è uno dei colori preferiti dall'essere umano, rilassa fino a ridurre il battito cardiaco e attiva la nostra creatività, oltre ad agire sul sistema parasimpatico. E' legato alla fiducia e alla sicurezza e ha un diretto richiamo con la genuinità , la salute ed il benessere. Non è un caso che il verde sia uno dei colori più utilizzati nelle campagne pubblicitarie e nel design anche sul web. Il rosso invece racchiude lo stato primordiale dell'essere umano e rappresenta fra le altre cose il pericolo , la vita e la morte. Di fronte al rosso si alza il livello di testosterone e si incrementa il battito cardiaco. E' uno dei colori "attention grabber" .

Per questo motivo sarà estremamente facile e naturale per l'utente analizzare in modo automatico mentre sta svolgendo la sua attività le tonalità presenti nei segnali inviati dall'app che gli faranno capire quando è in posizione corretta , colore verde , e quando si sta discostando, con le tonalità che varieranno verso il giallo prima e il rosso poi.

Ovviamente come detto questo è solo uno degli utilizzi di una sedia intelligente che può essere "programmata" per essere di ausilio a più persone e per più tipologie di attività.

Vorrei concludere dicendo che questo non è un punto di arrivo ma solo di partenza per studi futuri che prevedono un'evoluzione della smart chair pensando all'utilizzo di biosensori che mandano segnali ad un'applicazione coadiuvata da un'intelligenza artificiale in grado di rilevare e apprendere molteplici informazioni sull'utente che la sta utilizzando per essere sempre di maggior ausilio in ambiti e applicazioni sempre più svariate.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Zoran Vlaović, Marko Jaković, Danijela Domljan. Smart Office Chairs with Sensors for Detecting Sitting Positions and Sitting Habits: A Review.
- [2] Jannique G Z van Uffelen , Jason Wong, Josephine Y Chau, Hidde P van der Ploeg, Ingrid Riphagen, Nicholas D Gilson, Nicola W Burton, Genevieve N Healy, Alicia A Thorp, Bronwyn K Clark, Paul A Gardiner, David W Dunstan, Adrian Bauman, Neville Owen, Wendy J Brown. Occupational sitting and health risks: a systematic review.
- [3] Aymeric Amelot, Anais Jacquot, Louis-Marie Terrier, Mourad Aggad, Alexia Planty-Bonjour, Bernard Fouquet, Ann-Rose Cook, Ilyess Zemmoura, Stephane Velut, Christophe Destrieux, Patrick François, Pierre-Yves Borius, Bertrand Mathon. Chronic low back pain during COVID-19 lockdown: is there a paradox effect? 2021.
- [4] R.H.M. Goossens , Netten, M.P. and Van der Doelen, B. An office chair to influence the sitting behavior of office workers.
- [5] Fred Shaffer , Rollin McCraty , Christopher L Zerr . A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability.
- [6] Fred Shaffer, J P Ginsberg . An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms
- [7] Rollin McCraty, Fred Shaffer. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health risk. *Glob Adv Health Med* (2015)
- [8] Robert E. Kleiger, Phyllis K. Stein, J. Thomas Bigger. Heart Rate Variability: Measurement and Clinical Utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology* (2005); 10: 88- 101.
- [9] Kamath, M. V., Ghista, D. N., Fallen, E. L., Fitchett, D., Miller, D., & McKelvie, R. (1987). Heart rate variability power spectrogram as a potential noninvasive signature of cardiac regulatory system response, mechanisms, and disorders. *Heart and vessels*
- [10] Eyad Talal Attar, Vignesh Balasubramanian, Ersoy Subasi, Mehmet Kaya. Stress Analysis Based on Simultaneous Heart Rate Variability and EEG Monitoring. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine* (2021)



- [11] Luca Carnevali , Julian F Thayer , Jos F Brosschot ,Cristina Ottaviani. Heart rate variability mediates the link between rumination and depressive symptoms: A longitudinal study (2018)
- [12] Adrienne H. Chung, Richard N. Gevirtz, Raouf S. Gharbo, Melinda A. Thiam, J.P. (Jack) Ginsberg. Pilot Study on Reducing Symptoms of Anxiety with a Heart Rate Variability Biofeedback Wearable and Remote Stress Management Coach. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* (2021).
- [13] Olga Chelidoni, David Plans, Sofia Ponzo, Davide Morelli, Mark Cropley. Exploring the Effects of a Brief Biofeedback Breathing Session Delivered Through the BioBase App in Facilitating Employee Stress Recovery: Randomized Experimental Study (2020).
- [14] American Physiological Association. Stress effects on the body <https://www.apa.org/topics/stress/body>.
- [15] J. Dul and V. H. Hildebrandt, “Ergonomie guidelines for the prevention of low back pain at the workplace,” *Ergonomics*, vol. 30, no. 2, pp. 419–429, 1987.
- [16] N. J. Delleman and J. Dul. International standards on working postures and movements *Ergonomics*, vol. 50, no. 11, pp. 1809–1819, 2007.
- [17] Ergonomics-Evaluation of Static Working Postures, 2010.
- [18] Lavanya Govindan, Vaishali B, Sricharan V, Preejith SP, Dr. Mohanasankar Sivaprakasam. Impact of Posture on Heart Rate Variability of Individuals under Mental Workload Conditions. (2022)
- [19] BioPsychoSocial Medicine. Work-related stress and psychosomatic medicine. (2010)
- [20] Starcke, Katrin Brand, Matthias. Effects of stress on decisions under uncertainty: A meta-analysis. (2016)
- [21] Sonia J. Lupien, Bruce S. McEwen, Megan R. Gunnar , Christine Heim. Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. (2009)
- [22] Vikram Bhatia, Rakesh K Tandon. Stress and the gastrointestinal tract. (2005)

- [23] J P Fauvel, N Bernard, M Laville, S Daoud, N Pozet, P Zech. Reproducibility of the cardiovascular reactivity to a computerized version of the Stroop stress test in normotensive and hypertensive subjects. (1996)
- [24] Dinesh Bhatia, Sohini Paul, Tania Acharjee, Shrimanata Sundar Ramachairy. Biosensors and their widespread impact on human health. (2022)
- [25] La Repubblica, video “Il cuore delle donne batte più veloce di quello degli uomini, ecco perché” (2023) <https://video.repubblica.it/salute/know-how/il-cuore-delle-donne-batte-piu-veloce-di-quello-degli-uomini-ecco-perche>.
- [26] Leonor Pereira, Hugo Plácido da Silva. A Novel Smart Chair System for Posture Classification and Invisible ECG Monitoring. (2023)
- [27] Haeseok Jeong, Woojin Park. Developing and Evaluating a Mixed Sensor Smart Chair System for Real-Time Posture Classification: Combining Pressure and Distance Sensors. (2021)
- [28] A Sitting Posture Monitoring Instrument to Assess Different Levels of Cognitive Engagement Daniele Bibbo et al.
- [29] Victoria Mueller, Robert Richer, Lea Henrich, Leonie Berger, Antonia Gelardi, Katharina M. Jaeger, Bjoern M. Eskofier, and Nicolas Rohleder. The Stroop Competition: A Social-Evaluative Stroop Test for Acute Stress Induction. (2022)
- [30] Rastislav Vazan, Diana Filcikova, Boris Mravec. Effect of the Stroop test performed in supine position on the heart rate variability in both genders. (2017)



## RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia gratitudine a tutte le persone che hanno contribuito al mio percorso di studio e di crescita durante questi anni universitari.

Innanzitutto, vorrei ringraziare il Professor Paccagnella per la sua guida, il suo sostegno e la sua competenza nel corso del mio percorso accademico. I suoi consigli preziosi e la sua dedizione alla mia formazione hanno svolto un ruolo fondamentale nel plasmare il mio pensiero critico e la mia visione del mondo.

A mia madre, il mio più grande pilastro di sostegno e fonte infinita di amore, voglio dedicare un sentito ringraziamento. Grazie per aver creduto in me, per avermi incoraggiato nei momenti difficili e per avermi sostenuto, insieme a nonna Antonietta, economicamente e con il vostro affetto incondizionato in ogni fase del mio percorso di studio.

Al mio compagno Alex, desidero esprimere la mia profonda gratitudine per la tua costante presenza, il tuo sostegno e amore incondizionato, la tua comprensione durante i periodi di studio intenso, le notti in bianco e i lunghi chilometri fatti. Grazie per essere ancora e mare mosso, aver scosso in me voglia di curiosità e conoscenza, condiviso con me le gioie e le sfide di questo percorso e di questi anni.

A mia sorella Debora, voglio ringraziarti per essere così diversa, testarda e unica, per avermi sostenuto con il tuo affetto sincero e per avermi spronato a dare sempre il meglio di me stessa, poiché nulla è impossibile se si ha passione e motivazione. Non vedo l'ora di gioire dei tuoi traguardi perché "donne forti, destini forti" e tu hai forza da vendere! Yesn't?

A zia Maria, grazie perché sei stata fonte di ispirazione per me sin dall'infanzia. Le tue parole di saggezza, affetto e incoraggiamento costante mi hanno aiutato a capire quanto la conoscenza ed esperienza sia fondamentale in tutti i processi della vita.

A mio padre e i miei nonni, uomini da un amore incondizionato nei miei confronti, grazie per essere stati esempi di vita e perseveranza anche nei momenti più difficili. I vostri insegnamenti sono e saranno guida del mio presente e futuro.

A tutti i miei parenti, zii, cugini e nonna Iolanda, semplicemente grazie per il bene dimostrato in ogni momento.

Il vostro contributo al mio successo accademico è stato inestimabile, e sono grata per il vostro amore, il vostro sostegno e la vostra presenza costante nella mia vita.

Grazie di cuore a tutti voi.

