



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Biomedica

**MONITORAGGIO DELL'ATTIVITÀ CARDIACA DI
VELOCISTI IN ALLENAMENTO E IN GARA**

**MONITORING OF CARDIAC ACTIVITY OF
SPRINTERS DURING TRAINING AND COMPETITION**

Relatore:

Prof.ssa Laura Burattini

Rapporto Finale di:

Ilaria Pellicani

Anno Accademico 2020/2021

ABSTRACT

Il monitoraggio dell'attività cardiaca è un aspetto che sempre di più sta interessando diversi settori, dal momento che, grazie anche ad analisi da remoto, si può intervenire in maniera tempestiva qualora si riscontrassero anomalie nel ritmo cardiaco. Un'attenzione particolare è rivolta, in questo senso, all'ambito sportivo e in particolare agli atleti agonisti i quali, eseguendo uno sforzo che può risultare essere più o meno prolungato, mettono alla prova il loro sistema cardiocircolatorio. Infatti, in Italia, la morte cardiaca improvvisa colpisce ogni anno più di mille giovani sotto i 35 anni, apparentemente sani, spesso durante l'attività fisica. L'obiettivo di questo studio è stato quello di costruire un database, all'interno del quale sono stati raccolti tutti i tracciati elettrocardiografici acquisiti in situazioni diverse da dieci soggetti differenti per età e sesso, ma tutti praticanti lo stesso sport e in particolare, la stessa specialità: infatti sono tutti velocisti. Ad oggi sono molti gli strumenti che sono in grado di monitorare l'attività cardiaca in loco o addirittura di compiere un monitoraggio continuo in allenamento. Per questo studio, in particolare, è stato utilizzato il Single lead Kardia di Alivecor che fa parte di una gamma di registratori di elettrocardiogrammi (ECG) mobili di qualità clinica. Il dispositivo è collegato ad un'app che elabora le informazioni e fornisce un primo feedback. Le acquisizioni sono state fatte in tre situazioni differenti, ovvero in due allenamenti e in gara. Per fare le analisi durante gli allenamenti, ne sono stati presi in considerazione due tipologie differenti, dal momento che gli atleti hanno svolto esercizi piuttosto diversi fra loro ma comunque correlati. Essi, infatti, hanno dovuto compiere esercizi specifici di forza in uno, mentre l'altro era incentrato sulla corsa con prove di velocità. Il protocollo di acquisizione utilizzato prevedeva di rilevare i tracciati in diverse fasi: a riposo, dopo 5 minuti dalla fine del riscaldamento, poi i due centrali fatti dopo le prove specifiche dell'allenamento (che nel caso della gara si è ridotta ad essere una soltanto) e, infine, sono state fatte altre tre acquisizioni nel periodo di rest per vedere l'evoluzione del recupero del muscolo cardiaco. Per ogni soggetto si hanno, quindi, a disposizione in totale 20 analisi elettrocardiografiche. Pertanto il fatto di aver svolto un'analisi che ha portato alla costruzione di un database contenente 200 tracciati elettrocardiografici acquisiti in situazioni differenti, e specialmente in gara, rende possibile un'analisi attenta sulla variabilità cardiaca con particolare attenzione all'impatto emotivo che può avere una competizione sulla possibile modifica di quest'ultima.

INDICE

INTRODUZIONE	I
CAPITOLO 1. IL SISTEMA CARDIOVASCOLARE.....	1
1.1 Anatomia del cuore.....	2
1.2 Fisiologia del cuore	11
1.3 Risposta e adattamento del sistema cardiovascolare all'esercizio	21
CAPITOLO 2. ATELITICA LEGGERA: GARE DI VELOCITÀ.....	23
2.1 Parametri della corsa.....	25
2.2 Classificazione degli sport	25
2.3 La tecnica di corsa	27
2.3.1 Fasi della corsa veloce.....	28
2.3.1.1 La partenza	28
2.3.1.2 L'accelerazione.....	29
2.3.1.3 Passaggio dalla fase di accelerazione a quella lanciata.....	30
2.3.1.4 Fase lanciata.....	30
2.3.1.5 Mantenimento della velocità	31
CAPITOLO 3. MONITORAGGIO CARDIOVASCOLARE DELL'ATLETA	32
3.1 Acquisizione elettrocardiografica in ambito sportivo.....	36
3.1.1 Cambiamenti del tracciato elettrocardiografico come adattamento fisiologico e aritmie.....	39
3.1.1.1 Bradicardia	40
3.1.1.2 Tachicardia	41
3.1.1.3 Fibrillazione atriale	42
3.2 Ritmo cardiaco e variabilità del ritmo cardiaco	44
CAPITOLO 4. SINGLE LEAD KARDIA ALIVECOR	49
CAPITOLO 5. METODI.....	55
5.1 Protocollo di acquisizione dati	55
5.2 Annotazione picchi R.....	59
CAPITOLO 6. RISULTATI	61
6.1 Acquisizione dati.....	61
6.2 Organizzazione database	85
CAPITOLO 7. DISCUSSIONE	87
CONCLUSIONI	III
BIBLIOGRAFIA	IV
RINGRAZIAMENTI	V

INTRODUZIONE

I dispositivi mobili, nel tempo, hanno acquisito sempre maggiore importanza e sono considerati un nuovo paradigma dell'assistenza sanitaria che permette di raccogliere e analizzare dati a lungo termine per una diagnostica affidabile. I sensori indossabili, i quali generalmente vengono posti in posizioni specifiche a seconda dei segnali che si vogliono acquisire, sono in grado di raccogliere segnali biologici ma anche dati di movimento. Successivamente questi sono sottoposti ad una pre-elaborazione in tempo reale che garantisce efficienza, usabilità e affidabilità entro certi limiti. Infatti è vero che il dispositivo è in grado di fornire un'analisi dei segnali acquisiti, ma non è detto che sia sempre corretta. Inoltre per l'elaborazione dei dati il dispositivo si avvale dell'uso di specifici software che, tra l'altro, permettono di trasmettere i dati raccolti con opportuni protocolli di comunicazione.

Ultimamente è sempre maggiore l'interesse per il monitoraggio quotidiano dei parametri vitali, con particolare attenzione rivolta all'analisi dell'attività cardiaca. Quest'ultima assume un ruolo rilevante soprattutto in ambito sportivo, dal momento che il cuore, per tempi più o meno prolungati a seconda delle attività, viene messo sotto sforzo. In questo modo si può prevenire la morte cardiaca improvvisa, espressione di una sottostante cardiopatia clinicamente silente, di una ostruzione delle coronarie o di una o più anomalie congenite non sempre diagnosticate, colpendo anche persone (talvolta, purtroppo, molto giovani) in apparente stato di salute. Le vittime della morte cardiaca improvvisa sono, ogni anno, all'incirca 1 ogni 1000 abitanti: questo significa circa 60.000 decessi l'anno in tutta Italia. Ancor più che a riposo, un'analisi accurata della variabilità cardiaca, è di fondamentale importanza per monitorare atleti, e ancor di più quelli agonisti. Infatti da un lato lo studio di quest'ultima e il monitoraggio continuo di un cuore sottoposto ad uno sforzo garantisce che eventuali anomalie nel battito possano emergere in momenti differenti e, nell'eventualità, intervenire tempestivamente. Possibili anomalie nel battito, nonostante il protocollo sanitario obblighi gli atleti in generale a sottoporsi ad una visita medico-sportiva durante la quale, tramite un ECG a riposo, si controlla che tutti i parametri siano nella norma, e per gli agonisti oltre a questo è richiesto anche un ECG sotto sforzo, possono non emergere. I sensori indossabili garantiscono un monitoraggio continuo e tracciano la storia cardiaca del paziente in modo prolungato. Oltre a ciò, però, monitorare gli atleti per tempi prolungati, permette anche di mappare la risposta che il cuore ha durante e dopo un preciso allenamento. Questa possibilità gioca un ruolo di particolare interesse soprattutto nell'atletica in quanto a seconda della risposta del soggetto ad un certo tipo di sforzo e delle sue performance si può intervenire, eventualmente, cambiando il programma di allenamento stesso.

Lo scopo dello studio fatto è stato costruire un database che contenesse i dati relativi a ciascun soggetto sottoposto ad analisi. In questo modo, è stato possibile mappare le diverse condizioni in cui l'atleta si è trovato rispettivamente nei due allenamenti (di forza e di velocità) e in gara raccogliendo informazioni di vario tipo che potessero essere utili al fine di valutare eventuali anomalie che potrebbero essere riscontrate con studi maggiormente approfonditi. Inoltre, il database contiene tracciati elettrocardiografici acquisiti durante ad una competizione. Questo è un ulteriore termine di paragone per lo studio della variabilità cardiaca. In particolare studi futuri potrebbero rivolgere la loro attenzione nella valutazione dell'influenza che un stress psicofisico come quello accusato durante una gara possa avere influenza su possibili alterazioni del battito cardiaco.

CAPITOLO 1.

IL SISTEMA CARDIOVASCOLARE

L'apparato cardiovascolare è formato da un organo centrale, il cuore, e da vasi sanguigni distinti in *arterie* (nelle quali il sangue scorre in direzione centrifuga), *vene* (in cui il sangue viaggia in direzione centripeta) e i *capillari sanguigni* (vasi a parete molto esile attraverso i quali avvengono gli scambi tra sangue e fluidi interstiziali) (Fig.1) [1] [2].

Il cuore, organo muscolare, ha il compito di spingere il sangue nelle arterie; queste poi lo distribuiscono a tutti gli organi del corpo e all'interno di questi si ramificano formando i capillari. Questi permettono gli scambi metabolici e quindi danno origine, confluendo fra loro, alle vene, attraverso le quali il sangue ritorna al cuore [1] [2].

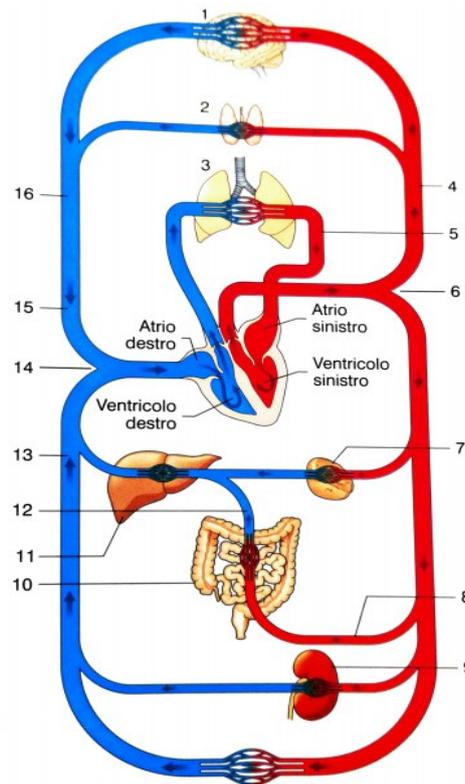


Fig.1 – Schema dell'apparato cardiovascolare. Le componenti ad alta pressione (arterie) hanno origine dal ventricolo sinistro e terminano per le arteriole. Capillari e vene, invece, fanno parte del sistema a bassa pressione. Il circolo polmonare, complessivamente, appartiene al sistema a bassa pressione e viene rifornito dall'arteria polmonare che emerge dal ventricolo destro.

1, Encefalo; 2, Tiroide; 3, Circolo polmonare; 4, Arterie carotidi; 5, Vena polmonare; 6, Aorta; 7, Milza; 8, Arteria mesenterica superiore; 9, Rene; 10, Intestino; 11, Fegato; 12, Vena porta; 13, Vena cava inferiore; 14, Arteria polmonare; 15, Vena cava superiore; 16, Vene giugulari [1].

1.1 Anatomia del cuore

Il cuore è l'organo centrale dell'apparato circolatorio sanguifero che permette la circolazione del sangue all'interno dei vasi sanguigni con le sue contrazioni ritmiche (circa 60-70 bpm a riposo); ad ogni battito corrisponde una fase di contrazione (sistole), seguita da una di rilassamento (diastole) [1] [2].

È un organo cavo, impari, a struttura prevalentemente muscolare (miocardio). È situato nella cavità toracica, e più precisamente in una parte di questa, il *mediastino anteriore* (fra i due polmoni) ed è avvolto da un sacco connettivale, il *pericardio fibroso*, rivestito internamente da una doppia membrana sierosa, il *pericardio sieroso* (Fig.2). Non è in posizione perfettamente mediana, essendo per due terzi spostato a sinistra. In basso riposa sulla cupola diaframmatica che lo separa dai visceri addominali, in avanti è protetto dallo sterno e dalle cartilagini costali, posteriormente corrisponde alle vertebre toraciche dalla 5^a alla 8^a, e in alto si prolunga verso l'apertura superiore del torace mediante il peduncolo vascolare, costituito dai grossi vasi che originano o terminano nel cuore (aorta ascendente, tronco polmonare e vena cava superiore) [1] [2].

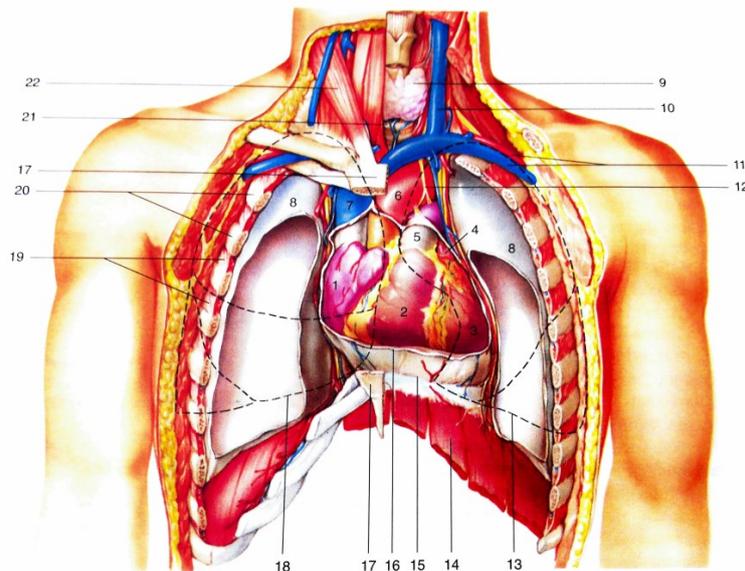


Fig.2 – Sezione frontale del torace che mostra la posizione del cuore e il rapporto che ha con le altre formazioni della cavità toracica.

□ 1, Atrio destro; 2, Ventricolo destro; 3, Ventricolo sinistro; 4, Atrio sinistro; 5, Tronco arterioso polmonare; 6, Aorta; 7, Vena cava superiore; 8, Pleura (sezionata); 9, Tiroide; 10, Vena giugulare interna sinistra; 11, Arteria e vena succlavie di sinistra; 12, Nervo vago sinistro; 13, Polmone sinistro (linea tratteggiata); 14, Diaframma (sezionato); 15, Linea di fusione del pericardio fibroso con il diaframma; 16, Pericardio (sezionato); 17, sterno (sezionato); 18, Polmone destro (linea tratteggiata); 19, Muscoli intercostali; 20, Coste; 21, Trachea; 22, Muscolo sternocleidomastoideo [1].

Il cuore ha la forma di un cono, leggermente appiattito in senso antero-posteriore, con la base rivolta in alto, a destra e all'indietro e l'apice in basso, a sinistra e in avanti. Pertanto l'asse del cuore è obliquo da destra a sinistra, dall'alto in basso, dall'indietro in avanti. In relazione alla sua forma si distinguono una faccia anteriore (Fig.3 a), che per i suoi rapporti viene detta faccia *sternocostale*, e una faccia postero-inferiore (Fig.3 b), denominata faccia *diaframmatica* poiché poggia sul centro tendineo del diaframma (*centro frenico*). Il passaggio dalla faccia sternocostale a quella diaframmatica è netto ed è chiamato *marginè acuto* del cuore. Questo è quasi orizzontale. Verso sinistra, invece, la faccia sternocostale continua in quello che è noto come *marginè ottuso* del cuore [1] [2].

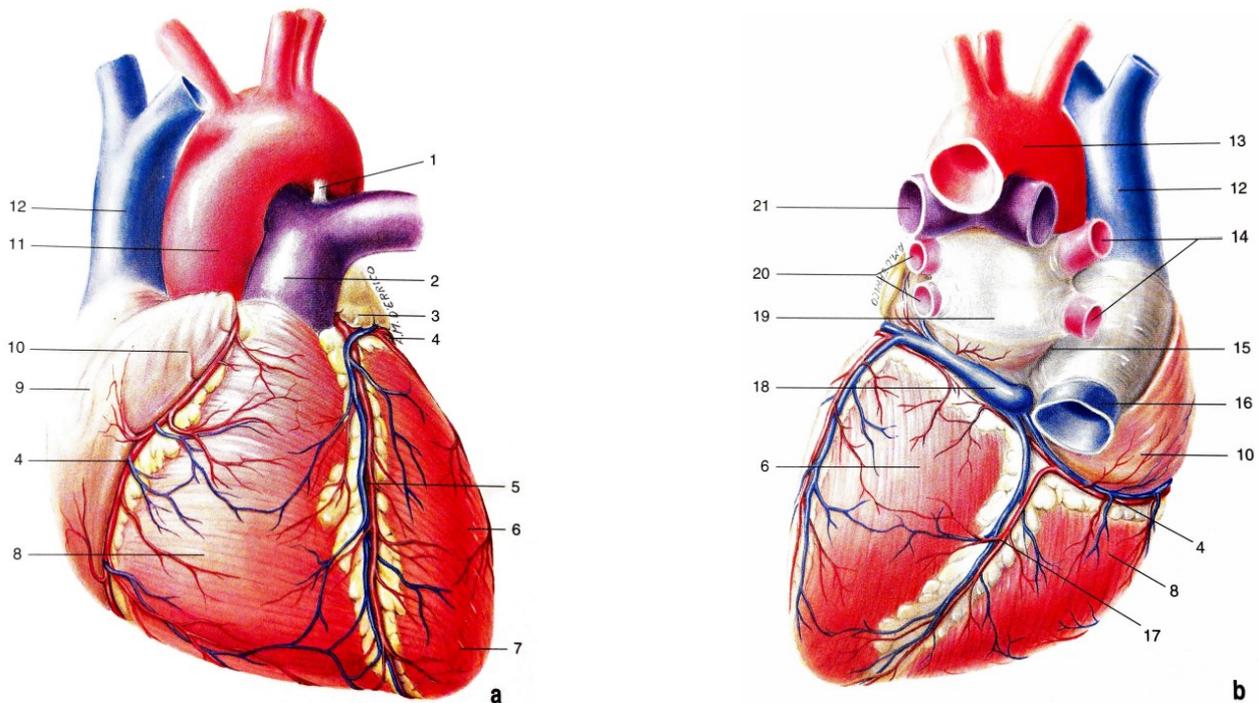


Fig.3 – **a**, Configurazione esterna del cuore. Faccia anteriore. **b**, Configurazione esterna del cuore. Faccia diaframmatica e base del cuore viste da dietro.

1, Legamento arterioso di Botallo; 2, Tronco polmonare; 3, Auricola sinistra; 4, Solco coronario (e vasi che in esso decorrono); 5, Solco longitudinale anteriore (e vasi in esso decorrenti); 6, Ventricolo sinistro; 7, Apice del cuore; 8, Ventricolo destro; 9, Atrio destro; 10, Auricola destra; 11, Aorta; 12, Vena cava superiore; 13, Arco dell'aorta; 14, Vene polmonari di destra; 15, Solco interatriale; 16, Vena cava inferiore; 17, Solco longitudinale posteriore (e vasi ivi decorrenti); 18, Seno coronario; 19, Atrio sinistro; 20, Vene polmonari di sinistra; 21, Arteria polmonare sinistra [1].

Il cuore possiede al suo interno quattro cavità (Fig.5): due superiori, gli atri, distinti in destro e sinistro, due inferiori, i ventricoli destro e sinistro. Ciascun atrio comunica con il sottostante ventricolo [1] [2].

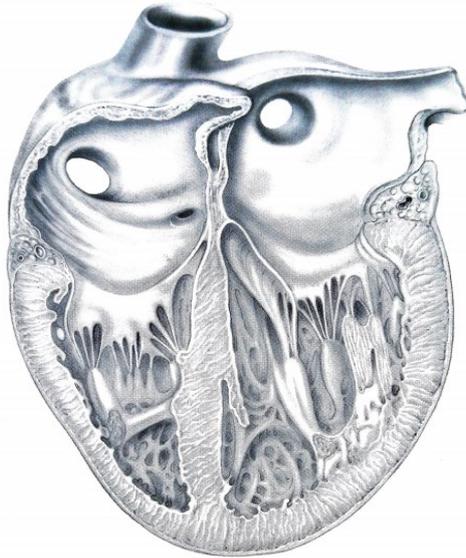


Fig.5 – Cavità del cuore. Ciascun atrio comunica con il ventricolo sottostante e, dopo la nascita, non è più presente alcuna comunicazione tra cuore destro e cuore sinistro a causa della chiusura del Forame di Botallo [1].

In età embrionale le cavità destra e sinistra del cuore comunicano per mezzo del *forame ovale di Botallo* (Fig.6), che si chiude alla nascita, lasciando una leggera depressione, la *fossa ovale*. Pertanto dopo la nascita il cuore è costituito da due metà, destra e sinistra, nettamente separate e non comunicanti. In ciascuna metà, l'atrio corrisponde alla base del cuore, il ventricolo all'apice [1] [2].

La superficie esterna del cuore è percorsa da solchi che segnano i limiti tra le cavità che lo costituiscono. Il *solco coronario* o *solco atrioventricolare* segna il confine tra la parte atriale del cuore e quella pertinente ai ventricoli. I *solchi longitudinali*, rispettivamente *anteriore* e *posteriore*, si estendono, invece, dal solco coronario all'apice del cuore e segnano i limiti fra i due ventricoli. Il solco longitudinale anteriore percorre la faccia sternocostale, mentre quello posteriore quella diaframmatica. Un *solco interatriale*, che si può notare nella parte atriale della faccia diaframmatica, indica il limite tra i due atri [1] [2].

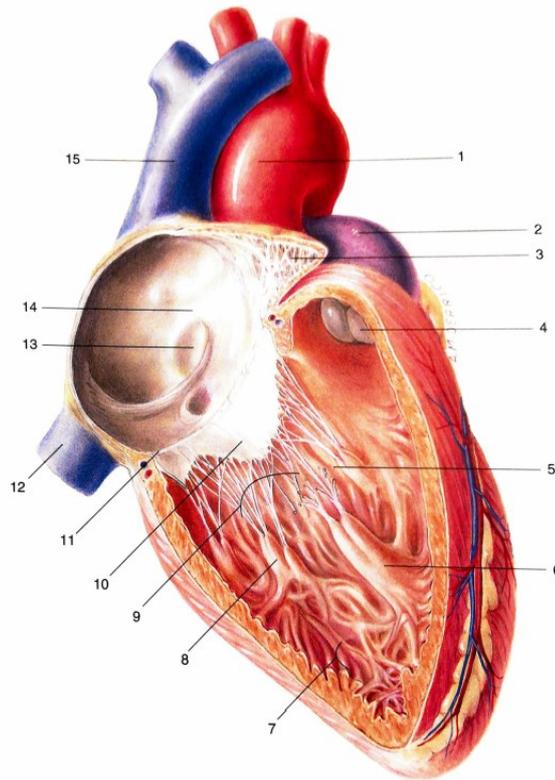


Fig.6 – Configurazione interne dell’atrio e del ventricolo destri a seguito dell’asportazione di un’ampia parte delle due della parete laterale delle due formazioni. Sono evidenti le pareti interatriale e interventricolare.

1, Arco aortico; **2**, Tronco polmonare; **3**, Auricola destra; **4**, Valvole semilunari; **5**, Setto interventricolare; **6**, Muscolo papillare anteriore; **7**, Trabecole carnee; **8**, Muscolo papillare posteriore; **9**, Corde tendinee, **10**, Lembo della valvola tricuspide; **11**, Orifizio atrioventricolare; **12**, Vena cava inferiore; **13**, Fossa ovale; **14**, Setto interatriale; **15**, Vena cava superiore [1].

Come detto sopra, il cuore può essere diviso in quattro cavità. Due superiori, gli atri, e due inferiori, i ventricoli entrambi divisi in destro e sinistro. La cavità dell’atrio destro comunica con quella del ventricolo destro mediante un *orifizio atrioventricolare* che possiede una valvola atrioventricolare detta *valvola tricuspide*. Allo stesso modo, a sinistra, l’atrio comunica con il ventricolo corrispondente per mezzo della *valvola bicuspidale* o *mitrale* (Fig.7) [1] [2].

Le due cavità di destra non comunicano con quelle di sinistra, ma sono separate da una parete continua (setto) che in parte è di natura fibrosa, ma che per la maggior parte è muscolare. La sua porzione superiore, il setto interatriale, divide tra loro gli atri, mentre la porzione inferiore, il setto interventricolare, separa i ventricoli [1] [2].

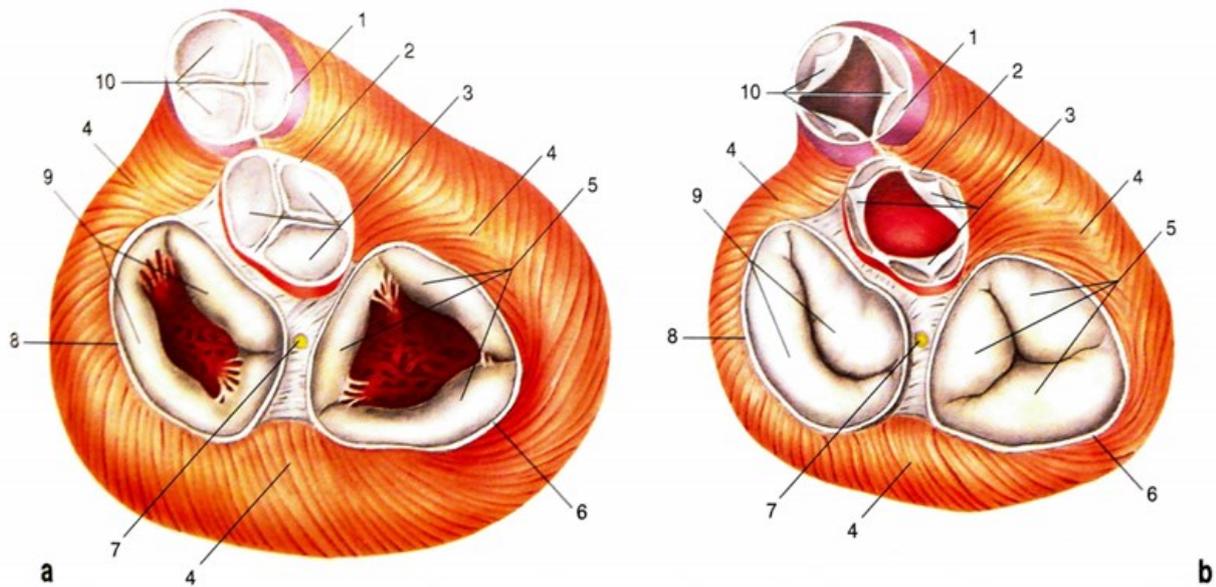


Fig.7 – Valvole del cuore (tricuspide e bicuspid; polmonare e aortica). Rappresentazione della base dei ventricoli e del tratto prossimale della radice delle arterie, visti dall’alto. È evidenziata l’inserzione dei fasci miocardici e l’attacco dei lembi valvolari allo scheletro fibroso del cuore. **a**, Ventricoli in diastole, con valvole atrioventricolari aperte e polmonare e aortica chiuse. **b**, Ventricoli in sistole, con valvole atrioventricolari chiuse e valvole aortica e polmonare aperte.

1, Anello fibroso polmonare; **2**, Anello fibroso aortico; **3**, Valvole semilunari aortiche; **4**, Miocardio ventricolare; **5**, Lembi della valvola tricuspide; **6**, Anello fibroso dell’ostio venoso destro; **7**, fascio atrioventricolare (di His); **8**, Anello fibroso dell’ostio venoso sinistro; **9**, Lembi della valvola mitrale; **10**, Valvole semilunari polmonari [1].

La *cavità dell’atrio destro* riceve il sangue refluo dalla circolazione sistemica e coronarica per mezzo delle vene cave e del seno coronario. La parete inferiore corrisponde al piano che divide gli atri dai ventricoli, caratterizzata dall’orifizio atrioventricolare, munito della valvola tricuspide che assicura la chiusura di quest’ultimo durante la contrazione (sistole) del ventricolo, impedendo così il reflusso di sangue nel sovrastante atrio. La valvola tricuspide aperta ha la forma di un imbuto, con apice sporgente nella cavità ventricolare. È formata da tre lembi triangolari, che si fissano al contorno dell’orifizio e presentano, sul margine, l’attacco per le corde tendinee. Attraverso l’orifizio atrioventricolare destro il sangue proveniente dalla grande circolazione (venoso) viene spinto dalla sistole della parete atriale nel ventricolo sottostante [1] [2].

La *cavità del ventricolo destro* ha la forma di una piramide triangolare. Le pareti hanno un aspetto irregolare per la presenza di una serie di sporgenze muscolari, chiamate *trabecole carnee*. Queste possono aderire alla parete del ventricolo per tutta la loro lunghezza oppure inserirsi con tutte e due le estremità andando a definire in questo modo un ponte muscolare, oppure possono nascere dalla parete ventricolare per raggiungere attraverso dei tendini sottili, le *corde tendinee*, i lembi della valvola tricuspidale. Queste ultime trabecole sono dette *muscoli papillari* [1] [2].

La base del ventricolo superiormente presenta l'orifizio atrioventricolare composto dalla valvola tricuspidale (descritto in precedenza) e l'orifizio dell'*arteria polmonare*, anteriormente e in un piano più alto. Quest'ultimo presenta tre *valvole semilunari*, che hanno l'aspetto di una tasca a nido di rondine a concavità superiore, inserita sul contorno dell'orifizio arterioso. Il margine libero di ogni tasca è caratterizzato nella parte centrale da un leggero ingrossamento fibroso, il *nodo di Morgagni*, che permette la completa chiusura dell'orifizio durante la fase di riempimento del ventricolo (diastole). In effetti, durante questa fase, queste valvole semilunari si riempiono di sangue, il quale tende a refluire dall'arteria polmonare. Addossando i loro margini liberi, chiudono l'orifizio arterioso, impedendo il ritorno del sangue dall'arteria al ventricolo. Durante la sistole ventricolare, invece, sono tenute adese alla parete dell'arteria dal flusso di sangue che viene spinto dal ventricolo nell'arteria [1] [2].

L'*atrio sinistro* riceve il sangue ossigenato di ritorno dai polmoni mediante le quattro vene polmonari (Fig.8). Ha una forma ovoidale a superfici lisce. La parete mediale, in corrispondenza del setto interatriale, è caratterizzata da una porzione membranacea in corrispondenza della fossa ovale. Gli sbocchi delle vene polmonari non hanno apparati valvolari. Nella parete inferiore atrioventricolare è presente l'orifizio della valvola atrioventricolare, chiamata *bicuspidale* o *mitrale* [1] [2].

La valvola bicuspidale è costituita da due lembi trapezoidali che, come detto per la valvola tricuspidale, hanno un margine che si fissa al contorno dell'orifizio atrioventricolare e un margine libero che invece è rivolto verso la cavità del ventricolo sinistro, al quale si inseriscono le corde tendinee dei muscoli papillari [1] [2].

L'aggettivo mitrale che spesso si utilizza per far riferimento a questa valvola deriva dalla sua somiglianza ad una mitra episcopale capovolta [1] [2].

La valvola bicuspidale permette al sangue di passare dall'atrio al ventricolo durante la sistole atriale (cui è contemporanea la diastole ventricolare), ma impedisce il reflusso di sangue dal ventricolo all'atrio durante la sistole ventricolare [1] [2].

La *cavità del ventricolo sinistro* (Fig.8) ha la forma di un cono le cui pareti hanno un aspetto piuttosto irregolare a causa della presenza di numerose *trabecole carnee* che si intrecciano fra loro. Come nel ventricolo destro, le trabecole carnee sono differenti e tra esse i *muscoli papillari* mandano le corde tendinee alle due cuspidi valvolari [1] [2].

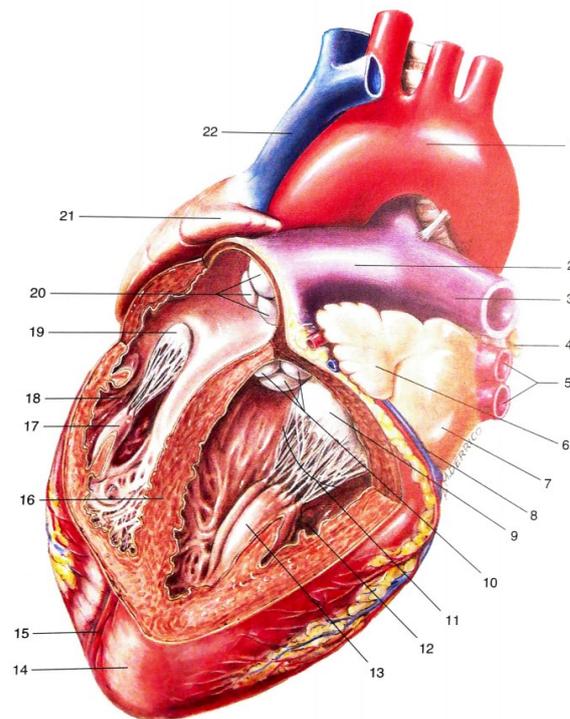


Fig.8 – Configurazione interna dei ventricoli, visti da davanti e da sinistra, dopo un’ampia asportazione della loro parete anteriore e della zona anteriore del setto interventricolare.

1, Arco aortico; **2**, Tronco polmonare; **3**, Arteria polmonare sinistra; **4**, Bronco sinistro; **5**, Vene polmonari di sinistra; **6**, Auricola sinistra; **7**, Atrio sinistro; **8**, Solco atrioventricolare; **9**, Valvola bicuspidi; **10**, Valvole semilunari aortiche; **11**, Corde tendinee; **12**, Cavità del ventricolo sinistro; **13**, Muscolo papillare anteriore; **14**, Apice del cuore; **16**, Setto interventricolare; **17**, Muscolo papillare anteriore; **18**, Cavità del ventricolo destro; **19**, Lembo anteriore della valvola tricuspide; **20**, Valvole semilunari polmonari; **21**, Auricola destra; **22**, Vena cava superiore [1].

La base della cavità del ventricolo sinistro corrisponde al setto atrioventricolare e anch’esso presenta due orifizi: uno, postero-laterale, munito della valvola bicuspidi, l’altro antero-mediale, è l’*orifizio aortico*, che rappresenta l’origine dell’aorta. Anche quest’ultimo presenta tre *valvole semilunari* simili per morfologia e funzioni a quelle descritte per l’orifizio dell’arteria polmonare (Fig.9) [1] [2].

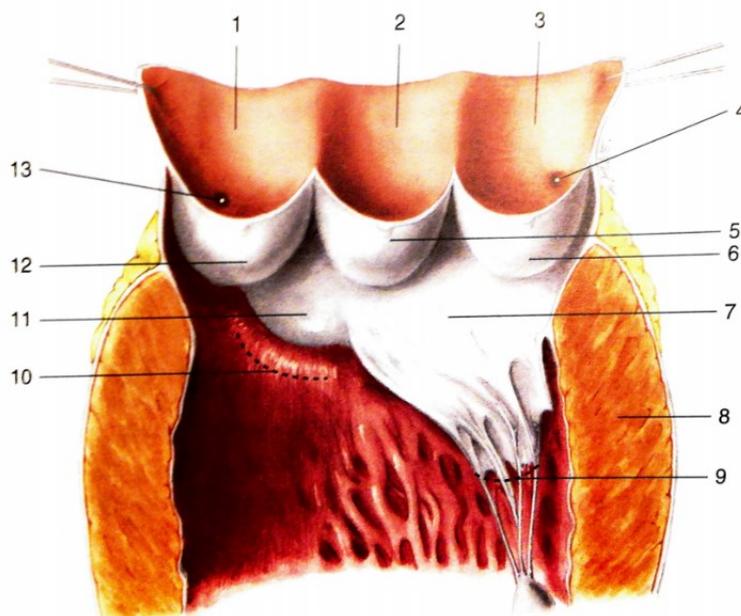


Fig.9 – Valvole semilunari aortiche aperte che dimostrano la posizione dei lembi valvolari.

1, Seno aortico destro; **2**, Seno aortico posteriore; **3**, Seno aortico sinistro; **4**, origine dell'arteria coronaria sinistra; **5**, Valvola semilunare posteriore; **6**, Valvola semilunare sinistra; **7**, Lembo anteriore della valvola mitrale; **8**, Miocardio; **9**, Corde tendinee; **10**, Vestibolo aortico; **11**, Parte membranacea del setto interventricolare; **12**, Valvola semilunare destra; **13**, origine dell'arteria coronaria destra [1].

Il cuore è avvolto da un ampio sacco sieroso, il pericardio, che lo isola dagli organi vicini e che è costituito da due parti: quella esterna, connettivale, è detta pericardio fibroso; quella interna, sierosa, è denominata *pericardio sieroso*. Quest'ultimo, come le membrane sierose, è costituito da un foglietto parietale, che aderisce alla superficie interna del pericardio fibroso, e da un foglietto viscerale, che si applica al miocardio e forma, con il nome di epicardio, la tonaca più esterna delle pareti del cuore. La base del pericardio fibroso aderisce al centro frenico del diaframma, mentre l'apice, rivolto in alto, circonda i grossi vasi annessi alla base del cuore [1] [2].

La parete del cuore è costituita da tre tonache sovrapposte che dall'interno all'esterno sono l'*endocardio*, il *miocardio* e l'*epicardio*. Queste hanno spessore diverso, e in particolare quello del miocardio varia in rapporto alla forza contrattile che ogni cavità deve esercitare per la spinta del sangue. Segue pertanto che la parete degli atri è sottile, mentre quella dei ventricoli più spessa. In particolare, poi, la parete del ventricolo sinistro risulta tre volte più spessa di quella del ventricolo destro [1] [2].

L'*endocardio* è una sottile membrana che riveste tutte le cavità del cuore ed è formato da una lamina endoteliale che si dispone su un sottile strato di connettivo lasso, il quale a sua volta poggia sopra uno strato di connettivo elastico. Sulle cuspidi valvolari la lamina connettivale intermedia è più spessa e densa [1] [2].

L'*epicardio* è il foglietto viscerale del pericardio sieroso, sottile membrana connettivale rivestita da mesotelio (epitelio pavimentoso semplice di derivazione mesodermica) che aderisce esternamente al miocardio [1] [2].

Il *miocardio*, che costituisce la parte più spessa della parete del cuore, è fatto in modo tale da formare due sistemi indipendenti tra di loro, uno per gli atri e uno per i ventricoli, separati dallo *scheletro fibroso del cuore*, sul quale le fibrocellule muscolari, soprattutto quelle dei ventricoli, si attaccano. Il miocardio che forma le pareti del cuore è detto *miocardio comune*, così da distinguerlo da quello che costituisce una sua particolare differenziazione, ovvero quello specializzato nel trasporto degli impulsi contrattili, che è il *miocardio specifico* del sistema di conduzione [1] [2].

La *muscolatura degli atri* è formata da fascio muscolari propri di ciascun atrio circondati da fasci muscolari comuni ad entrambi gli atri. I *fasci muscolari propri* sono principalmente fibrocellule che circondano gli orifizi di sbocco delle vene di ciascun atrio. I *fasci muscolari comuni* sono, invece, costituiti da fibrocellule che attraverso un percorso perlopiù trasversale, si estendono da un atrio all'altro. Complessivamente, tuttavia, la parete muscolare degli atri è piuttosto sottile [1] [2].

La *muscolatura dei ventricoli* è molto più robusta e spessa rispetto a quella atriale. Anche questa è formata da fasci muscolari propri di ciascun ventricolo e dai fasci muscolari comuni (Fig. 10). I primi formano lo strato intermedio del miocardio, i secondi ne formano lo strato superficiale e quello profondo. Pertanto, nella parete ventricolare, il miocardio comune si dispone in tre strati sovrapposti. I *fasci muscolari propri* di ciascun ventricolo vanno ad inserirsi sull'anello fibroso dell'orifizio atrioventricolare dello stesso ventricolo, si spostano in basso in modo obliquo, senza raggiungere l'apice della cavità, formano un'ansa e poi risalgono per terminare sullo stesso anello fibroso dove avevano preso origine. Complessivamente i fasci muscolari propri dei ventricoli formano due sacchi conoidi, che fra loro si trovano in posizione adiacente. I *fasci muscolari comuni* hanno origine negli anelli fibrosi degli orifizi ventricolari, discendono seguendo un andamento obliquo e superficialmente rispetto alle fibrocellule proprie, raggiungono l'apice del ventricolo, descrivono un vortice e poi risalgono in posizione profonda rispetto alle fibre proprie. Alcuni fasci comuni profondi costituiscono i muscoli papillari [1] [2].

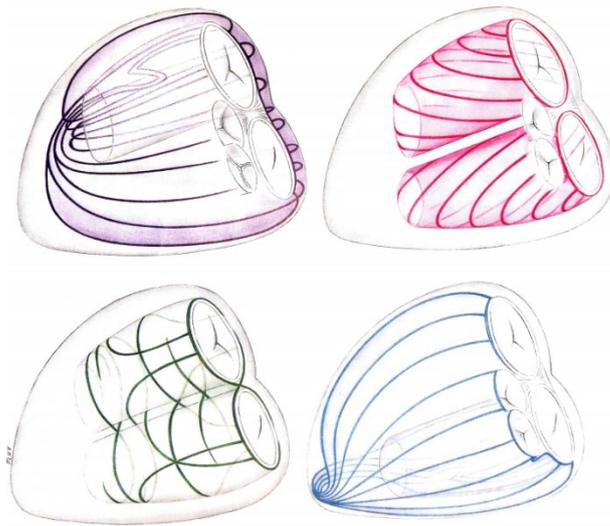


Fig.10 – Organizzazione del miocardio ventricolare. In **rosa** i fasci propri; in **azzurro** i fasci comuni anteriori; in **viola** i fasci comuni posteriori; in **verde** i fasci suturali [1].

Pertanto la parete miocardica ventricolare è formata da uno *strato superficiale*, i fasci muscolari comuni discendenti, uno *strato intermedio* e incompleto verso l'apice, i fasci muscolari propri, e uno *strato profondo*, i fasci muscolari comuni ascendenti [1] [2].

Lo *scheletro fibroso del cuore* è un insieme di formazioni connettivali fibrose che si dispongono principalmente sul piano atrioventricolare. È costituito da quattro anelli fibrosi che si dispongono intorno agli orifizi atrioventricolari e quelli arteriosi (Fig.7). Sulla loro superficie interna si fissano i lembi delle valvole, mentre quella esterna costituisce l'inserzione dei fasci miocardici. I due anelli fibrosi relativi agli orifizi atrioventricolari e quello dell'orifizio arterioso sinistro (aortico) si dispongono sullo stesso piano, i primi due posteriormente, il terzo anteriormente. Lo spazio che si forma tra gli anelli è riempito da connettivo fibroso che forma i cosiddetti trigoni. L'anello arterioso destro (polmonare) si dispone in un piano leggermente più elevato rispetto a quello in cui si trovano gli altri anelli e davanti rispetto all'anello dell'orifizio arterioso sinistro [1] [2].

1.2 Fisiologia del cuore

Il *sistema di conduzione del cuore* è un insieme di formazioni costituite da un particolare tessuto miocardico, chiamato *miocardio specifico*, il quale collega funzionalmente la muscolatura degli atri a quella dei ventricoli. Il miocardio specifico è formato da cellule miocardiche che non hanno più capacità contrattile e che hanno acquisito, invece, funzioni di conducibilità. Per questo motivo

contengono pochi fasci di miofibrille e appaiono più chiare rispetto alle fibrocellule del miocardio comune. Il miocardio specifico possiede frequenza spontanea e velocità di conduzione elevata: è in esso, infatti, che nascono gli stimoli di contrazione del cuore che vengono poi trasmessi al miocardio comune [3].

Il sistema di conduzione è costituito da due settori (Fig.11): il *sistema senoatriale* e il *sistema atrioventricolare*. Il primo ha inizio con il *nodo senoatriale*, un piccolo ammasso di cellule miocardiche specifiche poste, in posizione sottoepicardica, nella parete superiore dell'atrio destro, vicino allo sbocco della vena cava superiore. Viene definito *pacemaker naturale* perché in esso originano spontaneamente gli stimoli per la contrazione del cuore. Questi stimoli si propagano lungo fasci di cellule miocardiche specifiche che dal nodo senoatriale si estendono nel miocardio comune delle pareti atriali (Fig.11). In questo modo si garantisce la contrazione simultanea degli atri (si parla di sistole atriale) e l'onda di contrazione si propaga in modo da spingere il sangue nei sottostanti ventricoli. Dal nodo senoatriale si dividono anche fasci internodali che portano gli stimoli che inducono la contrazione al sistema atrioventricolare [3].

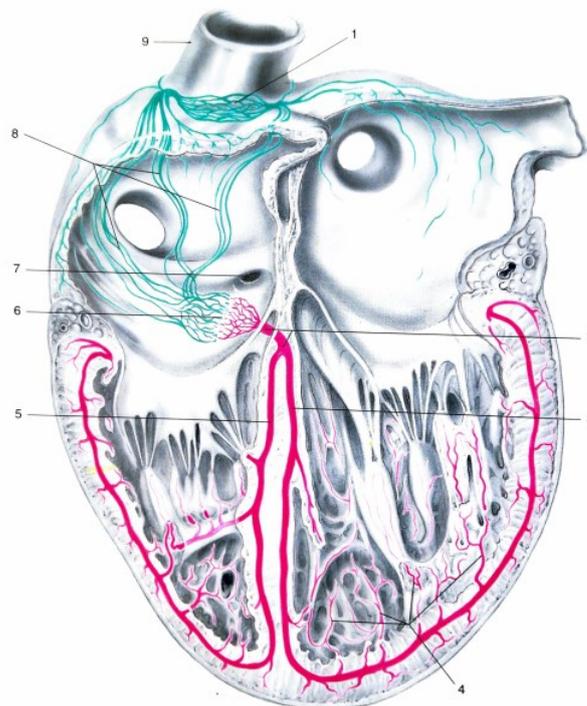


Fig.11 – Il sistema di conduzione del cuore è formato da un insieme di fibre miocardiche specializzate che hanno la funzione di generare, trasmettere e distribuire gli impulsi elettrici agli atri e ai ventricoli. Il disegno rappresenta la distribuzione delle diverse formazioni che lo compongono.

1, Nodo senoatriale; 2, Tronco del fascio di His; 3, Branca sinistra del fascio di His; 4, rete di Purkinje; 5, Branca destra del fascio di His; 6, Nodo atrioventricolare; 7, Sbocco del seno coronario; 8, Trattati internodali; 9, Vena cava superiore [3].

Il *sistema atrioventricolare* ha origine con il nodo atrioventricolare, piccolo ammasso di cellule miocardiche specifiche posto nella parete mediale dell'atrio destro, vicino allo sbocco del seno coronario. Dal nodo si diparte un fascio di fibrocellule specifiche, il fascio di His, che attraversa il trigono fibroso destro, si porta poi verso il setto interventricolare nella parte membranacea e, raggiunta la parte muscolare del setto si divide in due branche, destra e sinistra. Ogni branca attraversa il setto interventricolare, arriva all'apice e poi risale nei muscoli papillari. Tuttavia, alla base dei muscoli papillari, le branche del sistema atrioventricolare formano una serie di piccoli fasci, che si intrecciano fra loro e poi risalgono verso la base dei ventricoli, formando le *reti del Purkinje*, una in ogni ventricolo. Per mezzo di queste reti gli stimoli si propagano al miocardio comune ventricolare il quale, contraendosi, spinge il sangue negli orifizi arteriosi polmonare e aortico (Fig.12) [3].

Le fibrocellule miocardiche che formano l'apparato di conduzione sono di due diversi tipi: le *fibre nodali*, caratterizzate da abbondante sarcoplasma e scarse miofibrille, formano i *nodi senoatriale* e *atrioventricolare* e il *tronco comune del sistema atrioventricolare*; le fibre giganti o fibre del Purkinje, e costituite da un'abbondante quantità di glicogeno, formano i *rami, destro e sinistro*, del *sistema atrioventricolare* e le *reti del Purkinje* [3].

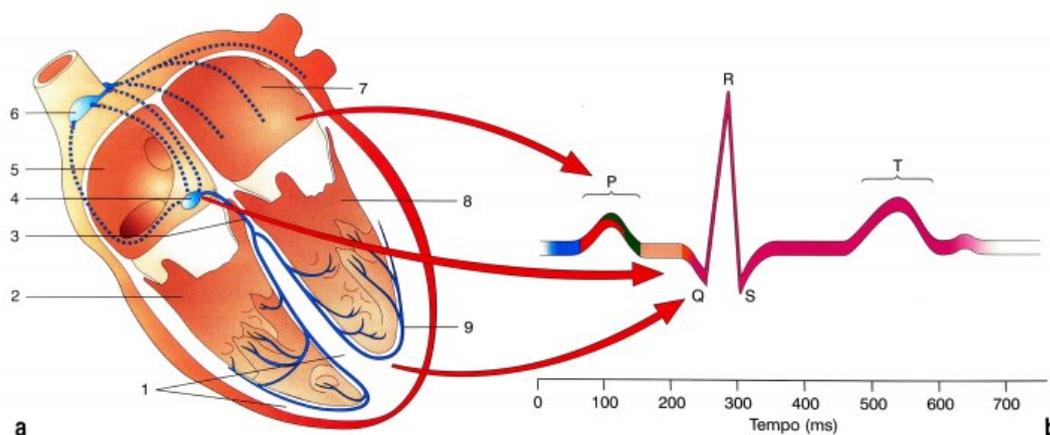


Fig.12 – Sistema di conduzione del cuore. **a**, Localizzazione dei nodi e dei fasci del sistema di conduzione.

1, Fascio atrioventricolare (branca destra); 2, Ventricolo destro; 3, Fascio di His; 4, Nodo atrioventricolare; 5, Atrio destro; 6, Nodo senoatriale; 7, Atrio sinistro; 8, Ventricolo sinistro; 9, Fascio atrioventricolare (branca sinistra). **b**, Elettrocardiogramma normale. L'onda P rappresenta il passaggio dell'impulso dal nodo senoatriale agli atri. L'intervallo P-R indica il tempo di passaggio dell'impulso dal nodo del seno al sistema atrioventricolare, fascio di His e sue branche. Il complesso QRS indica il passaggio dell'impulso attraverso i ventricoli. L'intervallo ST è indice del tempo che intercorre tra la fine della propagazione dell'impulso e il rilassamento dei ventricoli. L'onda T corrisponde al rilassamento dei ventricoli [3].

Il sistema cardiovascolare si compone di una pompa centrale, il *cuore*, e di condotti cilindrici, i *vasi*, che hanno il compito di trasportare il sangue dal centro alla periferia e dalla periferia al centro [3].

In realtà le pompe meccaniche sono due: quella di destra, costituita dal ventricolo destro, è responsabile della *circolazione polmonare* (anche chiamata *piccola circolazione*), quella sinistra, formata dal ventricolo sinistro, dà origine alla *circolazione sistemica* (o *grande circolazione*) [3].

La piccola circolazione deve assicurare l'ossigenazione del sangue e la cessione di anidride carbonica nei polmoni, attraverso gli scambi alveolari di ossigeno e anidride carbonica. La grande circolazione ha la funzione principale di far arrivare alle cellule dei tessuti dell'organismo umano i nutrienti fondamentali (glucosio, acidi grassi, aminoacidi, vitamine e sali minerali) e l'ossigeno, mentre allontana dall'interstizio cellulare l'anidride carbonica, che rappresenta il principale prodotto di scarto del metabolismo cellulare [3].

Le due pompe meccaniche sono collegate tra loro in un sistema in serie. Per questo motivo il volume spinto in circolo dall'una equivale a quello eiettato dall'altra [3].

La funzione di pompa del cuore consiste nel riempimento dei ventricoli con il sangue proveniente dagli atri e nel successivo riempimento delle arterie: queste due diverse fasi prendono il nome di *diastole ventricolare* e *sistole ventricolare*. Gli atri, che si riempiono del sangue proveniente dalle vene cave (a destra) o dalle vene polmonari (a sinistra) concorrono al riempimento ventricolare con la propria contrazione, che avviene nell'ultima parte del riempimento ventricolare [3].

La durata della sistole e della diastole varia in rapporto alla frequenza cardiaca, cioè al numero di battiti per minuto. La sequenza degli eventi meccanici che riguardano il ventricolo destro è simile a quella che avviene nel ventricolo sinistro; ciò che cambia, infatti, è solo il livello delle pressioni che si sviluppano nella sistole a destra (25-30 mmHg) rispetto a quelle che si hanno a sinistra (120 mmHg) (Fig.13) [3].

Inoltre, la pressione diastolica nel ventricolo destro è di 1-7 mmHg. Pertanto, si descriverà quanto succede nel ventricolo sinistro, definito come camera a pressione, dove si sviluppa una pressione maggiore rispetto a quella che si ha nel ventricolo destro. Quest'ultimo, a sua volta, viene considerato come una camera a volume: in esso si sviluppa una pressione minore che è quella necessaria per immettere nel circolo polmonare un volume di sangue pari a quello che viene spinto nel circolo sistemico dal ventricolo sinistro [3].

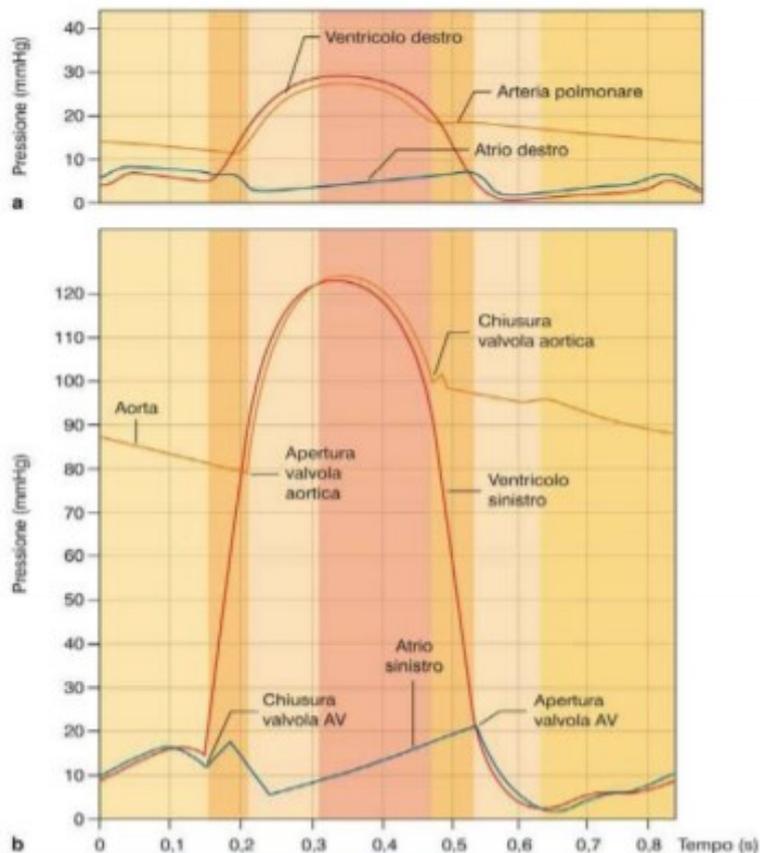


Fig.13 – Diagramma delle variazioni pressorie nell’atrio e ventricolo destri e nell’arteria polmonare (a) e nell’atrio e ventricolo sinistri e nell’aorta (b) [3].

La diastole ventricolare inizia con la *chiusura della valvola semilunare aortica*, che si ha quando la pressione intraortica supera quella intraventricolare (Fig.14). Il ventricolo sinistro, infatti, si è svuotato nell’aorta e quindi la pressione ventricolare è diminuita. La pressione del sangue nell’aorta è maggiore di quella presente nel ventricolo: il sangue tende a fluire verso la cavità ventricolare, ma scorrendo lungo le pareti aortiche riempie i lembi della valvola semilunare, che distendendosi, chiudono l’orifizio aortico. A seguito della chiusura della valvola semilunare si ha il *rilasciamento isovolumetrico del ventricolo (diastole isovolumetrica)*. A questo punto, per il *gradiente pressorio* (differenza di pressione tra atrio e ventricolo) si apre la valvola atrioventricolare (mitrale): in questo modo il sangue passa dall’atrio al ventricolo. La cavità ventricolare si amplia poiché le fibre si distendono: è questa la *diastole isotonica*, che facilita il passaggio di sangue dall’atrio al ventricolo (Fig.14) [3].

Quando il ventricolo è pieno di sangue per circa l’85%, ha luogo la *sistole atriale* che completa il riempimento ventricolare. Infatti, l’aumento di pressione intratriale garantisce il passaggio dell’ultima parte di sangue verso il ventricolo (Fig.14) [3].

I lembi della valvola mitrale sono spinti l'uno verso l'altro dal sangue che riempie il ventricolo, e si trovano accollati tra loro, quando interviene la sistole ventricolare. La prima parte è nota come *sistole isovolumetrica* (Fig.14), dal momento che le fibre sviluppano tensione senza accorciamento. Dal punto di vista pressorio, la tensione di parete è tale da provocare una rapida salita della pressione intraventricolare, che determina la chiusura serrata della valvola mitrale. L'aumento della pressione intraventricolare fa sì che la valvola mitrale sporga nell'atrio. A seguito di ciò, tuttavia, aumenta anche la pressione intratriale. Quando la pressione intraventricolare del sangue supera quella intraortica, si assiste all'*apertura della valvola semilunare*, che consente il passaggio di sangue dal ventricolo all'arco aortico. All'apertura della valvola semilunare segue la *sistole isotonica* (Fig.14). Nel cuore di un uomo adulto in buona salute la pressione sale fino a raggiungere valori di 120 mmHg: si ha una rapida fuoriuscita di sangue, il quale viene immesso nell'aorta, favorita, tra l'altro, dalla riduzione del volume ventricolare. In effetti le fibre miocardiche si accorciano, determinando l'avvicinamento della base del cuore [3].

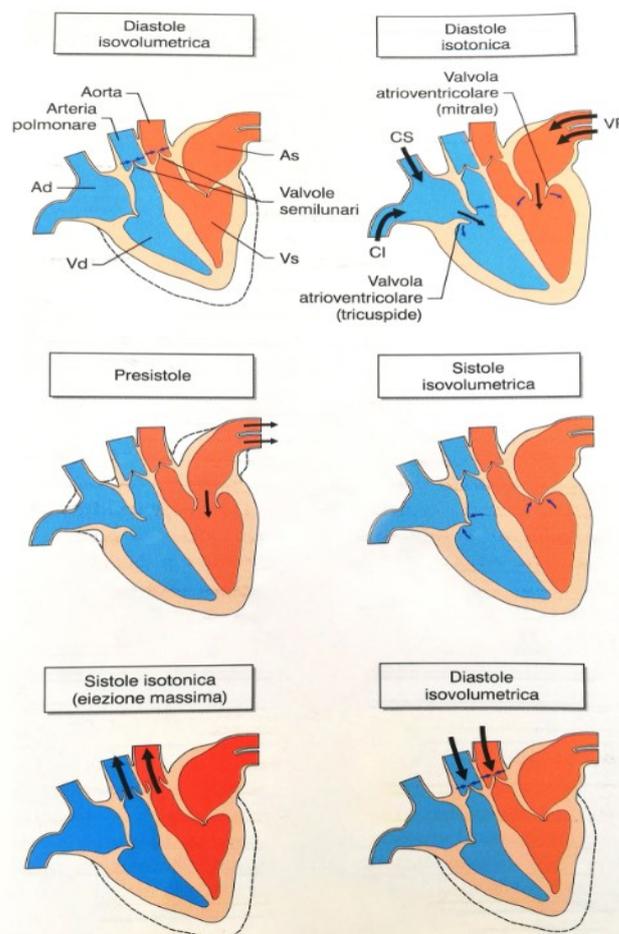


Fig.14 – Schema di flusso ematico negli atri (A) e nei ventricoli (V) di destra (d) e di sinistra (s) e nei grandi vasi: aorta, arteria polmonare, vene cave superiore (CS) e inferiore (CI) e vene polmonari (VP) [3].

In questo modo, diminuisce il volume ventricolare, mentre le pareti atriali vengono distese, favorendo così il ritorno venoso nell'atrio. Alla fuoriuscita di sangue dal ventricolo si accompagna la riduzione di pressione intraventricolare, ma continua l'eiezione ventricolare fintanto che l'energia totale del sangue proveniente dal ventricolo non si esaurisce. Allora, con la pressione aortica superiore a quella intraventricolare, il sangue tende a scorrere verso il ventricolo; tuttavia, fluendo lungo la parete arteriosa tende a distendere i lembi delle valvole così da farli richiudere. A questo punto inizia la *diastole ventricolare*: sia la valvola semilunare che quella atrioventricolare sono chiuse, mentre inizia a diminuire la tensione di parete e il ciclo cardiaco ricomincia (Fig.14) [3].

In condizioni fisiologiche il volume di sangue immesso in circolo dal ventricolo sinistro in una persona adulta è di circa 70ml: questo volume prende il nome di *gittata sistolica*. Alla fine della sistole ventricolare rimane nel ventricolo un volume di sangue di circa 50-60 ml, a cui generalmente si fa riferimento con il nome di volume telesistolico. Pertanto, alla fine della sistole il cuore non si svuota totalmente, ma al suo interno rimane ancora un certo volume di sangue. Alla fine del riempimento ventricolare, durante la sistole ventricolare, il volume all'interno del ventricolo è di circa 120-130 ml ed è noto come *volume telediastolico* [3].

La *gittata cardiaca* può variare secondo le esigenze funzionali dell'organismo che, a seconda delle diverse situazioni fisiologiche in cui può venirsi a trovare, può richiedere un aumento della perfusione tissutale e quindi un aumento del sangue in circolo. L'aumento della gittata cardiaca può dipendere da incrementi della gittata sistolica o della frequenza cardiaca o di entrambi i fattori. La gittata sistolica, che dipende dalle caratteristiche proprie del miocardio ventricolare, può aumentare in rapporto all'incremento del ritorno venoso o della resistenza periferica, ovvero la resistenza che i vasi oppongono al movimento del sangue; inoltre, le variazioni della gittata sistolica possono essere legate ai cambiamenti della frequenza cardiaca. Quest'ultima varia può variare a seguito delle influenze del sistema nervoso autonomo simpatico e di quello parasimpatico sul cuore. Può risultare interessante fare un'osservazione riguardante il rapporto che c'è tra la lunghezza delle fibrocellule e la forza di contrazione del cuore. Fu Frank a definire una famiglia di curve che mostrano come cambia la curva di pressione a seguito della variazione del volume di sangue. In particolare, quanto maggiore è il volume iniziale, tanto più rapida è la salita della pressione, più alto il picco pressorio raggiunto e più veloce il rilasciamento. Pertanto, ad un *aumento del volume diastolico* corrisponde una *maggiore forza di contrazione*. Si parla di *regolazione eterometrica del cuore* che definisce la capacità intrinseca del cuore di contrarsi con maggior forza quando la sua muscolatura viene messa in tensione (fino allo scompenso). Successivamente Starling enunciò la legge del cuore, che porta il suo nome, sottolineando che il cuore è capace di adattarsi a volumi variabili di afflusso sanguigno grazie

all'energia di contrazione che è funzione della lunghezza delle fibre muscolari. Quanto più il cuore viene riempito durante la diastole, tanto maggiore sarà la quantità di sangue pompata nell'aorta. In altre parole, il cuore, entro i limiti fisiologici, pompa tutto il sangue che giunge ad esso evitando ogni eccessivo ristagno nelle vene. Le osservazioni sperimentali hanno permesso di definire una famiglia di curve, dette curve di Starling. L'aumento della lunghezza iniziale delle fibrocellule cardiache si accompagna ad un incremento della forza di contrazione. Poiché risulta difficile andare a definire il volume cardiaco, si ricorre alla misurazione della pressione telediastolica del ventricolo sinistro o della pressione media atriale sinistra, indici indiretti della lunghezza delle fibrocellule ventricolari. Se si confronta la pressione telediastolica del ventricolo sinistro con la forza di contrazione del ventricolo, si ottiene una curva che mostra un aumento della forza contrattile al crescere del volume ventricolare (parte ascendente della curva di Starling). Tuttavia, raggiunto un certo valore di allungamento delle fibrocellule ventricolari, la forza di contrazione comincia a ridursi (Fig.15). Questo andamento, che si ha in condizioni fisiologiche, può cambiare al variare di parametri come la scarica simpatica o l'esercizio fisico [3].

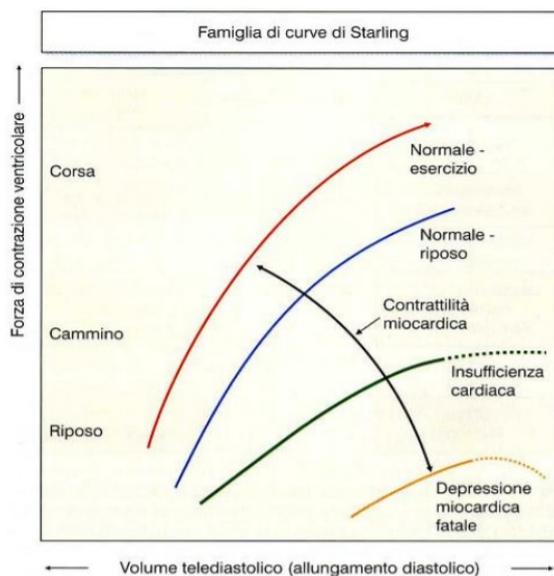


Fig.15 – Famiglia di curve di Starling. L'andamento del volume telediastolico del ventricolo si accompagna ad un incremento della forza di contrazione ventricolare. Nel soggetto normale durante l'esercizio fisico, a parità di volume telediastolico, si sviluppa una maggiore forza di contrazione rispetto alle condizioni di riposo. Nell'insufficienza cardiaca e nella depressione miocardica fatale l'aumento del volume telediastolico si accompagna ad una diminuzione della forza di contrazione ventricolare, che declina superato un certo valore di allungamento diastolico [3].

È necessario anche evidenziare, però, che nel caso di insufficienza cardiaca, il cuore si contrae con minor forza. Nel cuore che soffre di insufficienza un allungamento eccessivo delle fibrocellule si accompagna a una riduzione della forza sviluppata (Fig.15). La curva del rapporto tra lunghezza delle

fibroculture cardiache e forza di contrazione comincia a declinare (parte discendente della curva di Starling) oltre un certo valore dell'allungamento dei sarcomeri. Un ventricolo che opera in queste condizioni, risponderà ad un aumento del ritorno venoso con una dilatazione, che sarà la più grande possibile, data la ridotta capacità di rilasciamento delle fibre miocardiche. In questo modo si viene a creare una dilatazione progressiva, poiché il riempimento aumentato riduce l'eiezione a causa di un aumento del volume telesistolico, che si accompagna ad un ulteriore aumento del riempimento e conseguentemente ad una riduzione dell'eiezione. Si viene così a creare un circolo vizioso, in cui si ha un aumento del riempimento, cui fa seguito una ridotta capacità di eiezione, e di conseguenza a ciò, una riduzione dell'eiezione, cui segue un aumento del riempimento. La dilatazione massiva del ventricolo sinistro può determinare l'edema polmonare acuto, se non si riducono il ritorno venoso e la resistenza periferica. In questo senso un ruolo importante viene svolto dal pericardio, il quale ha la capacità di limitare il riempimento ventricolare e di impedire l'aumento della pressione diastolica ventricolare, che può portare il ventricolo ad operare nella parte discendente della curva di Starling. In condizioni fisiologiche, la gittata cardiaca e il ritorno venoso devono eguagliarsi. Questo rapporto venne studiato da Guyton, il quale mise in luce come la gittata cardiaca e il ritorno venoso siano collegati alla pressione atriale. Egli pubblicò un diagramma (*diagramma di Guyton*) che rappresenta il rapporto tra pressione atriale e ritorno venoso (sangue che va verso il cuore) e tra pressione atriale e gittata cardiaca (sangue che parte dal cuore). La pressione atriale, se considerata dal circolo periferico, quando si innalza, provoca una riduzione del ritorno venoso; al contrario, l'aumento della pressione atriale ha come conseguenza un incremento della gittata cardiaca. In condizioni stazionarie, le due curve (ritorno venoso e gittata cardiaca), quando si intersecano, identificano un punto che corrisponde alla pressione atriale alla quale il ritorno venoso eguaglia la gittata cardiaca (Fig.16) [3].



Fig.16 – Diagramma di Guyton, che mostra i rapporti tra pressione atriale e, ritorno venoso e gittata cardiaca. Aumentando la pressione atriale, si incrementa la gittata cardiaca, ma si riduce il ritorno venoso. Effetti opposti si hanno riducendo la pressione atriale. Le due curve si incrociano alla pressione atriale cui corrisponde una parità tra gittata cardiaca e ritorno venoso [3].

Dal diagramma di Guyton (Fig.17) si può notare come una riduzione del ritorno venoso, che determina una diminuzione della pressione atriale, comporta che il punto telediastolico venga spostato a sinistra e in basso lungo la curva di Starling: da ciò deriva una diminuzione della gittata cardiaca [3].

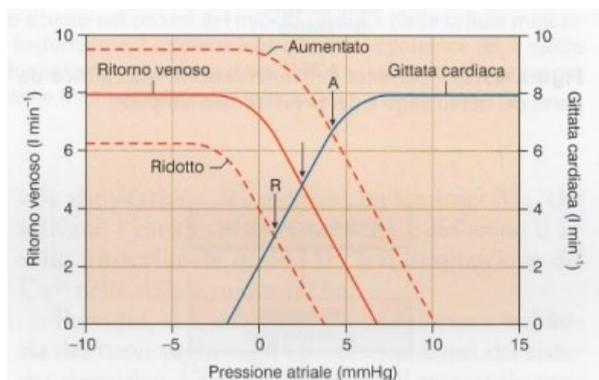


Fig.17 – Effetti delle variazioni della pressione atriale sulla gittata cardiaca e sul ritorno venoso. La diminuzione della pressione atriale riduce la gittata cardiaca (punto R), mentre l'aumento della stessa e del ritorno venoso aumenta la gittata cardiaca (punto A) [3].

Al contrario, aumentando il ritorno venoso, si ha uno spostamento verso destra e in alto del punto telediastolico, cui corrisponde un aumento della gittata cardiaca. Inoltre, se cresce la forza di contrazione del ventricolo, si ha come conseguenza un incremento della gittata cardiaca, che riduce la pressione atriale, con conseguente diminuzione della resistenza al flusso ematico e aumento del ritorno venoso (spostamento verso sinistra e in alto sulla curva in Fig.18). Se la forza di contrazione cardiaca si riduce, a sua volta diminuisce la gittata cardiaca provocando un aumento della pressione atriale. Questo incremento riduce il ritorno venoso, spostando verso sinistra e in basso il punto in cui le due curve si intersecano (Fig.18) [3].

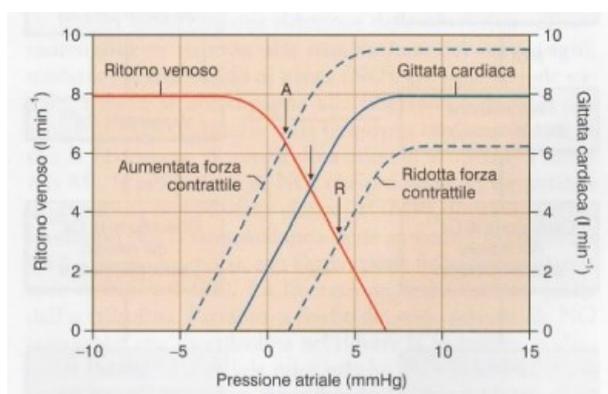


Fig.18 – Effetti dell'aumento della forza contrattile sul ritorno venoso e sulla gittata cardiaca. L'incremento della forza comporta un aumento della gittata cardiaca e riduce la pressione atriale, che facilita un aumento del ritorno venoso (punto A). La riduzione della forza contrattile diminuisce la gittata cardiaca e aumenta la pressione atriale con conseguente diminuzione del ritorno venoso [3].

1.3 Risposta e adattamento del sistema cardiovascolare all'esercizio

Di fronte all'esercizio, che sia esso statico o dinamico, il sistema cardiovascolare risponde mettendo in atto una serie di meccanismi e comportandosi in modo diverso rispetto a quando è in fase di riposo [5].

L'esercizio dinamico eseguito con una grande massa muscolare provoca un marcato aumento del consumo di ossigeno (Fig.19, A): aumenta notevolmente la gittata cardiaca, la frequenza cardiaca, la gittata sistolica e la pressione sanguigna sistolica. Oltre a questo, si osserva anche un moderato aumento della pressione arteriosa media, una diminuzione della pressione sanguigna diastolica e, in particolare, una marcata diminuzione della resistenza periferica totale [5].

L'esercizio statico, al contrario, provoca un lieve aumento del consumo di ossigeno, della gittata cardiaca e della frequenza cardiaca e nessun cambiamento nella gittata sistolica (Fig.19, B). A ciò si aggiunge un rilevante aumento della pressione sistolica, diastolica e arteriosa media, mentre non si ha nessun cambiamento apprezzabile della resistenza periferica totale [5].

Pertanto, l'esercizio dinamico causa principalmente un carico di volume sul ventricolo sinistro, mentre l'esercizio statico provoca un carico di pressione [5].

La risposta acuta all'esercizio sia dinamico che statico modifica diversi fattori importanti nel determinare la richiesta di ossigeno del miocardio : frequenza cardiaca, tensione della parete e stato contrattile del ventricolo sinistro (Fig.19, 7-8). La tensione della parete è influenzata sia dallo sviluppo della pressione che dal volume ventricolare. Nell'esercizio dinamico ad alta intensità, si assiste ad un grande aumento della frequenza cardiaca e ad un aumento della gittata sistolica che si ottiene sia da un aumento del volume telediastolico (per il meccanismo di Frank-Starling) sia da una diminuzione del volume sistolico terminale (stato contrattile aumentato) [5].

Nell'esercizio statico ad alta intensità, si verifica un aumento minore della frequenza cardiaca e un cambiamento minimo nei volumi telesistolici e telediastolici del ventricolo sinistro. Tuttavia si nota un aumento della pressione arteriosa e dello stato contrattile del ventricolo. Pertanto, sia l'esercizio dinamico che quello statico aumentano i fattori importanti nel determinare la richiesta di ossigeno del miocardio [5].

L'adattamento cronico del sistema cardiovascolare a ripetuti periodi di esercizio dinamico (allenamento) si traduce in un aumento del massimo consumo di ossigeno (Fig.19, 5-6). Questo si ha a causa di un aumento della gittata sistolica massima e della differenza di ossigeno artero-venosa.

Infatti negli atleti che praticano sport caratterizzati da un'elevata componente dinamica, si nota un rimodellamento strutturale del ventricolo sinistro che presuppone l'accrescimento della massa e della camera di quest'ultimo (si parla di ipertrofia eccentrica) (Fig.19, 6-9-10). Questa ipertrofia eccentrica si sviluppa gradualmente e si correla con un'elevata gittata massima e un elevato assorbimento massimo di ossigeno [5].

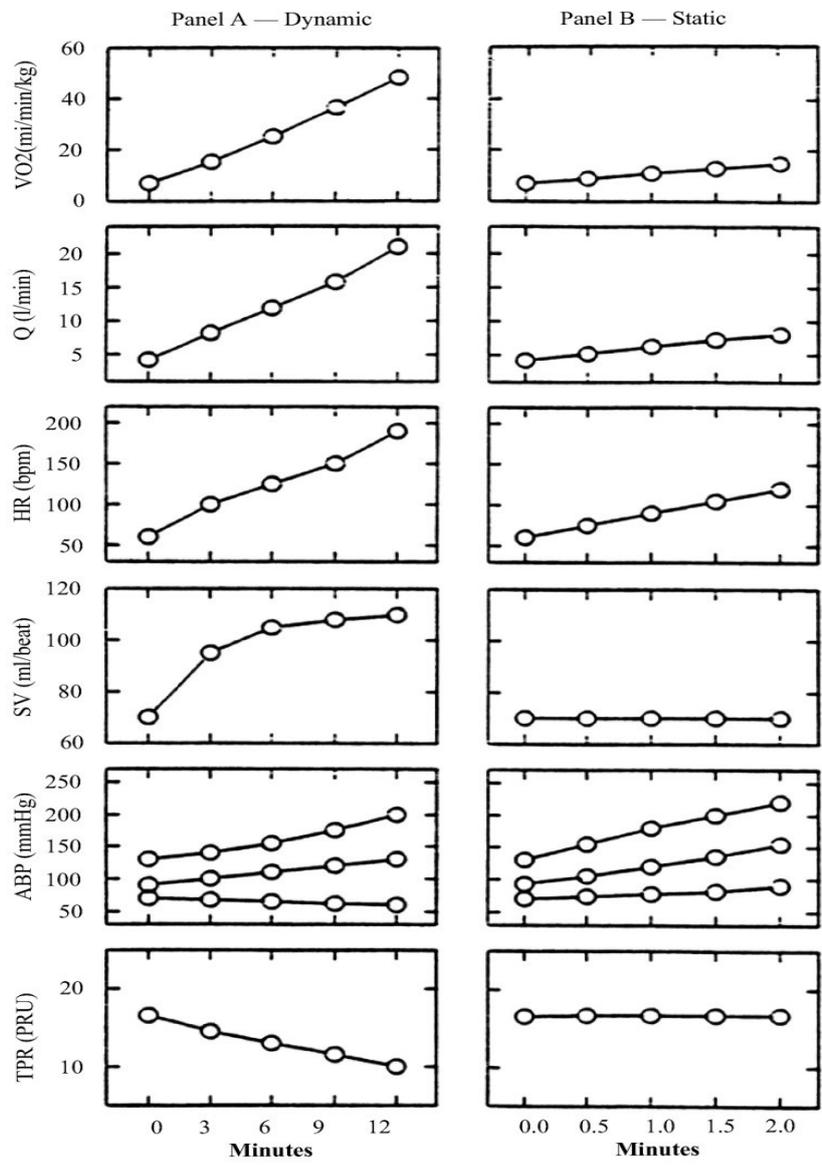


Fig.19 - Risposta cardiovascolare all'esercizio. (A) Risposta all'esercizio dinamico del carico di lavoro progressivamente crescente fino al massimo consumo di ossigeno. (B) Risposta a una contrazione statica dell'impugnatura al 30% della contrazione volontaria massima. ABP (mm Hg) = pressione arteriosa sistolica, media e diastolica ; HR (bpm) = frequenza cardiaca (battiti/min); Q (l / min) = gittata cardiaca (litri / min); SV (ml / battito) = volume sistolico ; TPR (PRU) = resistenza periferica totale nelle unità di resistenza periferiche; VO₂ (ml / min / kg) = consumo di ossigeno (ml / min × peso corporeo in kg [5]).

CAPITOLO 2.

ATELTICA LEGGERA: GARE DI VELOCITÀ

Gli sport possono essere classificati in base al tipo e all'intensità dell'esercizio svolto e anche in relazione al pericolo di lesioni personali da collisione, nonché alle conseguenze della sincope. L'esercizio può essere suddiviso in due grandi tipi: dinamico (isotonico) e statico (isometrico) [4] [5].

L'esercizio dinamico comporta cambiamenti nella lunghezza muscolare e nel movimento articolare con contrazioni ritmiche che sviluppano una forza intramuscolare relativamente piccola, mentre l'esercizio statico implica lo sviluppo di una forza intramuscolare relativamente grande con un cambiamento minimo o nullo nella lunghezza del muscolo o nel movimento articolare [4] [5].

Questi due tipi di esercizio dovrebbero essere pensati come i due poli opposti di un continuum, con la maggior parte delle attività fisiche che coinvolgono componenti sia statiche che dinamiche. A questo proposito, la corsa sulla distanza ha requisiti statici e dinamici bassi [4] [5].

I termini esercizio *dinamico* e *statico* caratterizzano l'attività sulla base dell'azione meccanica dei muscoli coinvolti.

Possiamo, tuttavia, caratterizzare l'esercizio fisico in un altro modo distinguendolo in *aerobico* e *anaerobico*. Questi ultimi descrivono l'attività in base al tipo di metabolismo muscolare. In particolare, il fatto che l'energia necessaria a svolgere una data attività derivi da processi aerobici o anaerobici dipende non solo dall'intensità dell'esercizio, ma anche dalla durata e dai tipi di fibre muscolari che vengono utilizzate [4] [5].

Quando si svolge un esercizio anaerobico, il corpo lavora molto intensamente per un breve periodo e quindi ha un bisogno di energia che deve essere subito disponibile. Questo tipo di processo, quindi, non richiede ossigeno; tuttavia la quantità di energia che può essere rilasciata in questo meccanismo è limitata [4] [5].

Al contrario, il sistema aerobico risulta essere decisamente più lento rispetto a quello anaerobico: in questo caso l'ossigeno, per mezzo della circolazione giunge ai muscoli, e sono dopo averli raggiunti, vi libera energia.

Durante gli esercizi di tipo aerobico, che in genere hanno una durata maggiore rispetto a quelli che sfruttano un'attività anaerobica, il cuore e i polmoni lavorano intensamente per fornire una quantità di ossigeno notevole. Ecco che il corpo, in questa situazione, sfruttando l'ossigeno, riesce a degradare

grassi e glucosio da cui trae energia da usare durante l'esercizio. La maggior parte dell'esercizio statico ad alta intensità viene eseguito in modo anaerobico, mentre l'esercizio dinamico ad alta intensità che dura per più di alcuni minuti viene eseguito in modo aerobico. Tuttavia ci interessa sottolineare come alcuni esercizi dinamici, come lo sprint o il salto, sono svolti principalmente in modo anaerobico. Poiché le richieste cardiovascolari dell'esercizio dinamico a resistenza molto elevata sono simili all'esercizio statico sostenuto, quegli sport che hanno una componente statica sostenuta o una componente dinamica di resistenza molto elevata sono classificati insieme come esercizi statici ad alta intensità (per esempio sollevamento pesi) [4] [5] [6].

La corsa, pur essendo un gesto istintivo, nell'ambito dell'atletica acquisisce un'interpretazione tecnica sofisticata, complessa. La tecnica della corsa veloce è tale da dover raggiungere il compromesso tra gesto atletico e caratteristiche antropometriche dell'atleta, che applicherà la teoria del movimento rispetto a quelle che sono le sue caratteristiche e peculiarità [4] [5] [6].

Riguardo le gare di velocità potremmo chiederci se e come è possibile migliorare la propria velocità. Dobbiamo innanzitutto dire che la velocità è una capacità fisica molto complessa: essa è sicuramente legata a caratteristiche genetiche, ma può anche parzialmente essere modificata attraverso un allenamento specifico [4] [5] [6].

I fattori della velocità di azione da osservare possono essere considerati fondamentalmente tre e sono [4] [5] [6]:

1. Il tempo di reazione ad uno stimolo (semplice o complesso);
2. La velocità di esecuzione di un singolo movimento (rispettando l'ampiezza);
3. La frequenza del movimento nell'unità di tempo (sempre ad ampiezza ottimale).

C'è poi da evidenziare che, sempre nelle corse veloci, la prestazione di uno sprinter è condizionata da diversi fattori quali la tecnica e la decontrazione con cui viene eseguito il gesto di corsa, lo sviluppo e dal mantenimento di alte punte di velocità e la capacità di esprimere forti accelerazioni [4] [5] [6].

Queste caratteristiche in parte sono intrinseche nell'individuo, essendo legate alla genetica, ma in parte possono essere modificate attraverso allenamenti specifici [4] [5] [6].

2.1 Parametri della corsa

In fisica la velocità è definita come la capacità di percorrere un certo spazio nell'unità di tempo:

$$V = s / t$$

Nel gesto ciclico della corsa, la velocità risulta essere pari al prodotto dell'*ampiezza* dei passi per la *frequenza* degli stessi nell'unità di tempo:

$$V = f * a$$

Questa formula ci permette di notare il fenomeno ciclico di alternanza fra fasi di volo e fasi di spinta e, pertanto, di mettere a punto in maniera mirata allenamenti che siano in grado di migliorare la velocità dell'atleta [4] [5] [6].

2.2 Classificazione degli sport

Una possibile classificazione degli sport può essere fatta ipotizzando di mettere in relazione gli sport agonistici individuali con i due tipi generali di esercizio: dinamico e statico.

Ogni sport è classificato in base al livello di intensità (bassa, media, alta) di esercizio dinamico o statico generalmente richiesto per eseguire quello sport durante la competizione.

In termini di richieste dinamiche e statiche, gli sport possono essere classificati (Fig.1) come IIC (alto statico, alto dinamico), IIB (moderato statico, moderato dinamico), IA (basso statico, basso dinamico), e così via.

La matrice sportiva nella (Fig.1) non dovrebbe essere considerata come una classificazione rigida, ma piuttosto uno spettro in cui alcuni atleti dello stesso sport potrebbero meritare di essere collocati in categorie diverse. Infatti, alcuni sport comportano eterogeneità rispetto alle richieste cardiovascolari statiche e dinamiche in entrambe le diverse discipline atletiche e inoltre questa classificazione non tiene conto dello stress emotivo che un atleta sperimenta durante un evento agonistico, degli effetti di fattori ambientali, delle anomalie elettrolitiche o del regime di allenamento specifico utilizzato dall'atleta.

Questa classificazione si basa sulle componenti statiche e dinamiche di punta raggiunte durante la competizione. La componente dinamica crescente è definita in termini di percentuale stimata di massimo consumo di ossigeno (Max O₂) raggiunto in una gittata cardiaca crescente. L'aumento della componente statica è correlato alla percentuale stimata di massima contrazione volontaria (MVC) raggiunta e si traduce in un aumento del carico pressorio. Le richieste cardiovascolari totali più basse (gittata cardiaca e pressione sanguigna) sono mostrate in verde e quelle più alte in rosso. Blu, giallo e arancione descrivono richieste cardiovascolari totali basse moderate, moderate e alte moderate. Sulla base di questa classificazione, possiamo notare come la corsa di velocità sia considerata un'attività caratterizzata da una richiesta cardiovascolare moderata [4] [5].

*Pericolo di collisione fisica

†Aumento del rischio in caso di sincope

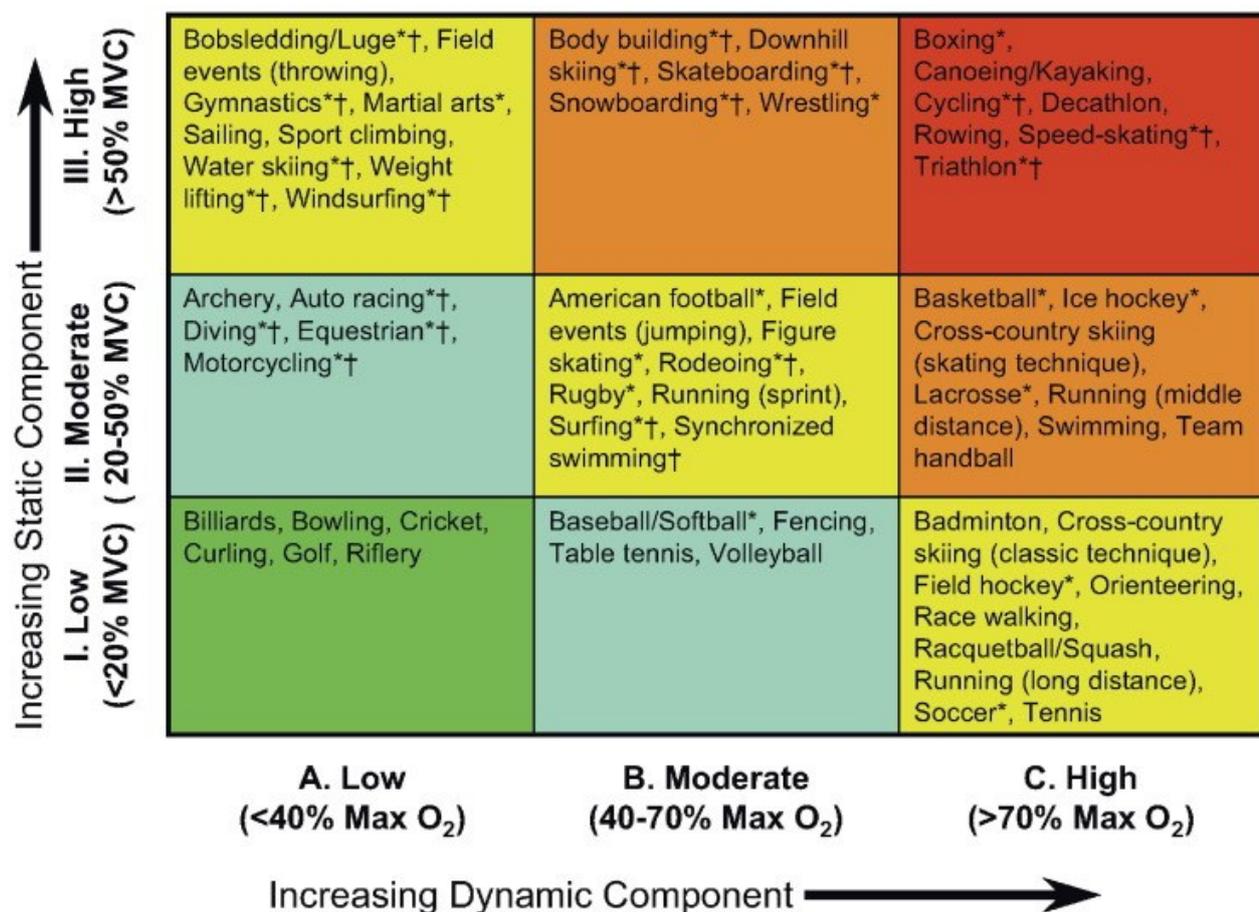


Fig.1 – Classificazione degli sport fatta come variano le componenti statiche e dinamiche di punta raggiunte durante la competizione [5].

2.3 *La tecnica di corsa*

L'azione tipica di un passo di corsa si compone essenzialmente di queste fasi:

- la fase di volo (Fig.2);
- la fase di appoggio (Fig.2);
- la fase di spinta.

Durante la fase di volo, assente nella normale deambulazione, nessun piede rimane appoggiato a terra. Per un breve periodo di tempo il corpo si trova, pertanto, "in fase aerea" rispetto al terreno. Inoltre nella corsa l'appoggio del piede a terra non avviene in sequenza tallone-avampiede come invece succede nella deambulazione. È l'avampiede, e più precisamente la parte esterna metatarsale a prendere contatto con il suolo in modo da assorbire l'impatto e sfruttare contemporaneamente l'azione dei muscoli estensori (il cosiddetto "stiffness") per la fase propulsiva di spinta [4] [5].

Una corretta tecnica di corsa dovrebbe essere tale per cui la *testa* si trova in posizione eretta ed è in linea con il corpo; il *busto* deve essere leggermente inclinato in avanti; il *bacino* deve essere retroverso e formare una sorta di "C" e i *piedi* devono essere tenuti in modo tale da formare un angolo retto con la caviglia così da sfruttare il più possibile l'energia elastica a seguito del contatto con il terreno [4] [5].

La fase di appoggio singolo (ovvero il contatto del piede con il suolo) può essere distinta in momento di ammortizzazione, momento di singolo sostegno e fase di spinta [4] [5].

Il momento di ammortizzazione si ha in corrispondenza della presa di contatto del piede con il terreno che dovrebbe avvenire in linea rispetto al baricentro ed è tale da riuscire ad ammortizzare l'impazzo grazie all'intervento del tricipite surale. E in questa fase si sfrutta maggiormente la componente reattivo-elastica del piede [4] [5].

Il momento di sostegno singolo vede il piede essere in asse con il baricentro: questa fase corrisponde all'avanzamento lineare ed orizzontale del bacino e per far sì che non si abbiano scompensi i muscoli si contraggono isometricamente garantendo una certa stabilità del corpo [4] [5].

La fase di spinta presuppone il raddrizzamento dell'arto di appoggio: in questa fase il piede si trova in una posizione arretrata rispetto al baricentro. I muscoli, sfruttando la loro forza elastico-reattiva ("stiffness"), garantiscono la proiezione in avanti del corpo. Nella fase di spinta sono coinvolti i muscoli del bacino e del tronco che agiscono come stabilizzatori durante il movimento, quelli della gamba e, infine, quelli del piede [4] [5].

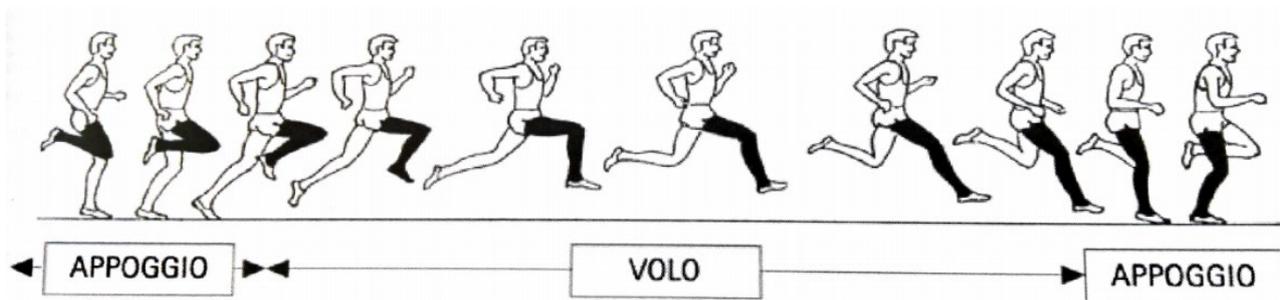


Fig.2 – L’immagine rappresenta la fase di volo seguita dalla fase di appoggio tipiche di ogni passo di corsa [4].

2.3.1 Fasi della corsa veloce

A questo punto, ponendo l’attenzione sulle gare di velocità, che sono quelle di nostro interesse, possiamo distinguere le seguenti fasi:

- la **PARTENZA**: tempo di reazione allo sparo, che definisce il segnale di via, e la messa in moto successiva ad esso;
- la fase di **ACCELERAZIONE**;
- la fase in cui si sviluppa la **MASSIMA VELOCITÀ**;
- la fase di **MANTENIMENTO DELLA VELOCITÀ** [4] [5] [6].

2.3.1.1 La partenza

Allo sparo si deve esercitare una forte e rapida pressione sui blocchi: è in questo momento che si esprime al massimo la forza esplosiva dell’atleta. Dopo l’uscita dal blocco il corpo deve assumere una posizione inclinata rispetto al terreno, cercando di fare in modo che la parte del busto si trovi sulla stessa linea delle gambe, senza creare una spezzata (Fig.3) [4] [5].



Fig.3 - Immagine che mostra la posizione inclinata che il corpo deve avere in uscita dal blocco.

2.3.1.2 L'accelerazione

Dopo l'uscita del blocco si ha la fase di accelerazione nella quale gli appoggi si spostano da dietro la perpendicolare al bacino, sotto quest'ultimo. Poiché poi nella corsa si crea una simmetria tra gli arti inferiori e quelli superiori, tanto più ampio sarà il movimento di braccia, tanto maggiore lo sarà quello delle gambe (Fig.4 iii). Successivamente si passa a raddrizzare gradualmente il busto (Fig.4 iv) per prepararsi alla fase successiva che è quella lanciata in cui si è raggiunta la massima velocità e la si mantiene costante cercando di raggiungere un giusto compromesso tra frequenza e ampiezza del passo (Fig.4 v) [4] [5].

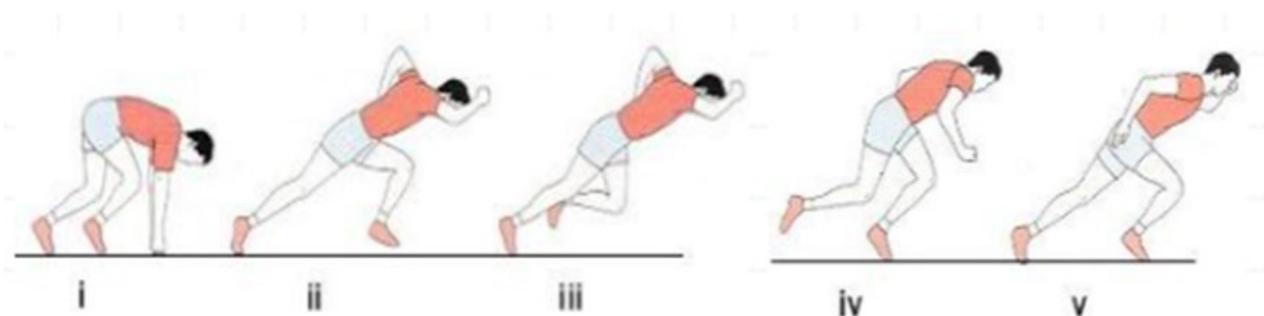


Fig.4 - L'immagine mostra le diverse posizioni che il corpo assume nella posizione di "pronti" sul blocco di partenza, all'uscita da questo allo sparo e nei successivi appoggi che determinano l'accelerazione [4].

2.3.1.3 *Passaggio dalla fase di accelerazione a quella lanciata*

La diminuzione dei tempi di appoggio evidenzia che solo un rapido fenomeno, qual è quello elastico, può manifestare la forza necessaria per far crescere ulteriormente la velocità [4] [5].

Possiamo quindi distinguere due diverse espressioni di forza:

- *ESPLOSIVA*: impiegata nei primi appoggi (capacità di accelerazione o capacità di sviluppare rapidamente velocità);
- *ELASTICA*: più importante e impiegata nella restante parte della gara (capacità di raggiungere alte punte di velocità in assoluto) [4] [5].

2.3.1.4 *Fase lanciata*

In questa fase si è raggiunto il normale assetto di corsa; si ricerca, pertanto, la giusta frequenza di passo e si mantiene costante l'ampiezza. È il momento in cui la fase di volo è più accentuata dal momento che si cerca di sfruttare al meglio la forza elastica per realizzare il più possibile un'azione circolare nel passo di corsa e ridurre, pertanto, al minimo l'attrito con il terreno (Fig.5) [4] [5].



Fig.5 - Immagine che mostra l'utilizzo della forza elastica che si esplica nella fase di volo in cui per pochi istanti non vi è alcun contatto dei piedi con il terreno.

2.3.1.5 *Mantenimento della velocità*

In questa fase i tempi di contatto con il piede a terra diminuiscono progressivamente, e conseguentemente, aumenta la frequenza, strettamente legata ai tempi di appoggio e alla lunghezza dei passi, poiché l'atleta tende pian piano a raddrizzarsi e ad alzare il bacino (Fig.6) [4] [5].



Fig.6 - L'immagine mostra una batteria di atlete prossime all'arrivo in cui si nota come il busto abbia assunto una posizione totalmente eretta e il bacino viaggi parallelamente al terreno.

CAPITOLO 3.

MONITORAGGIO CARDIOVASCOLARE DELL'ATLETA

Con il termine monitorare non si intende soltanto collegare un paziente ad una macchina per visualizzarne i parametri vitali, ma si intende mettere in atto una serie di azioni che hanno come fine ultimo quello di valutare il paziente nel suo insieme.

Tutti gli atleti che svolgono attività sportiva, a livello agonistico e non, devono sottoporsi a una visita medico sportiva durante la quale si verifica che non ci siano anomalie a livello cardiovascolare, affinché possa essere rilasciato loro il certificato per la pratica dell'attività sportiva stessa.

La visita include sia un ECG a 12 derivazioni fatto nello screening di pre-partecipazione che il monitoraggio continuo attraverso i sensori indossabili.

L'analisi elettrocardiografica, nella sua analisi più generale, consiste nel posizionare degli elettrodi in posizioni standardizzate (Fig.1) su tutto il corpo del soggetto sottoposto ad analisi.

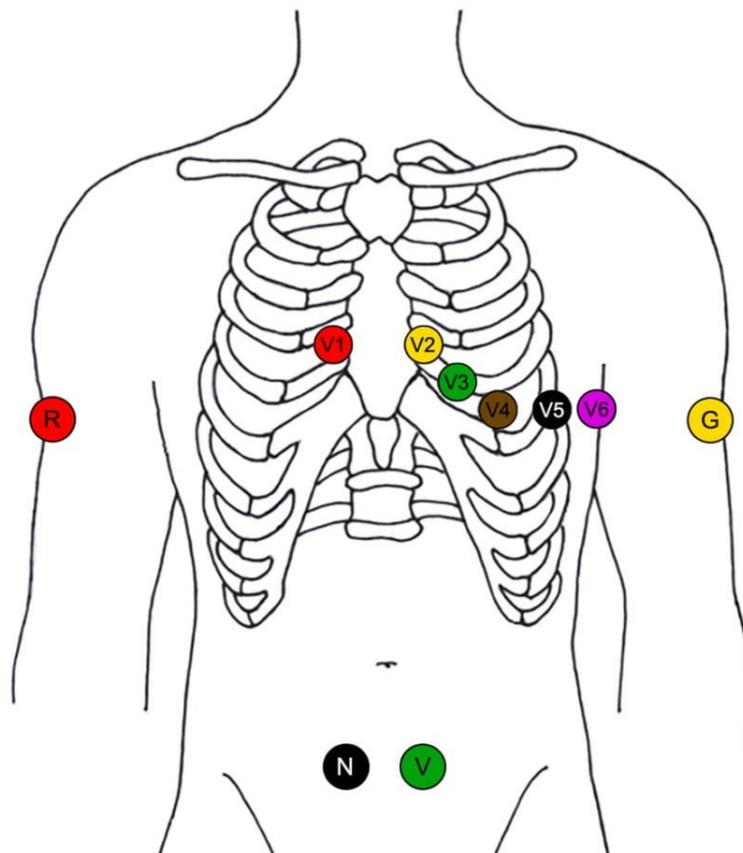


Fig.1 – L'immagine mostra un soggetto sul cui torace sono stato posizionati gli elettrodi nelle posizioni stabilite per acquisire le varie derivazioni.

Gli elettrodi svolgono una funzione di trasduzione tra la corrente ionica generata nel corpo umano e la corrente elettronica trasferita alla strumentazione di misura, l'elettrocardiografo, che è in grado di tracciare un grafico in cui ritroviamo delle onde che caratterizzano il tracciato elettrocardiografico.

I campi elettrici generati internamente durante il ciclo cardiaco si propagano fino a giungere in superficie; il segnale prelevato sulla cute è però molto debole e richiede, pertanto, sensibili apparecchi di registrazione, dotati di circuiti di amplificazione elettronica e sofisticati sistemi di scrittura che permettono di visualizzare distintamente le diverse onde.

Il segnale elettrocardiografico riflette il continuo mutare dei potenziali d'azione in correlazione al ciclo cardiaco; per questa ragione, l'analisi del tracciato ottenuto registrando il segnale ECG costituisce l'indagine clinica di maggior importanza nella diagnostica cardiologica.

Il segnale elettrocardiografico è generato dall'integrazione dei potenziali d'azione nei diversi siti del cuore (Fig.2).

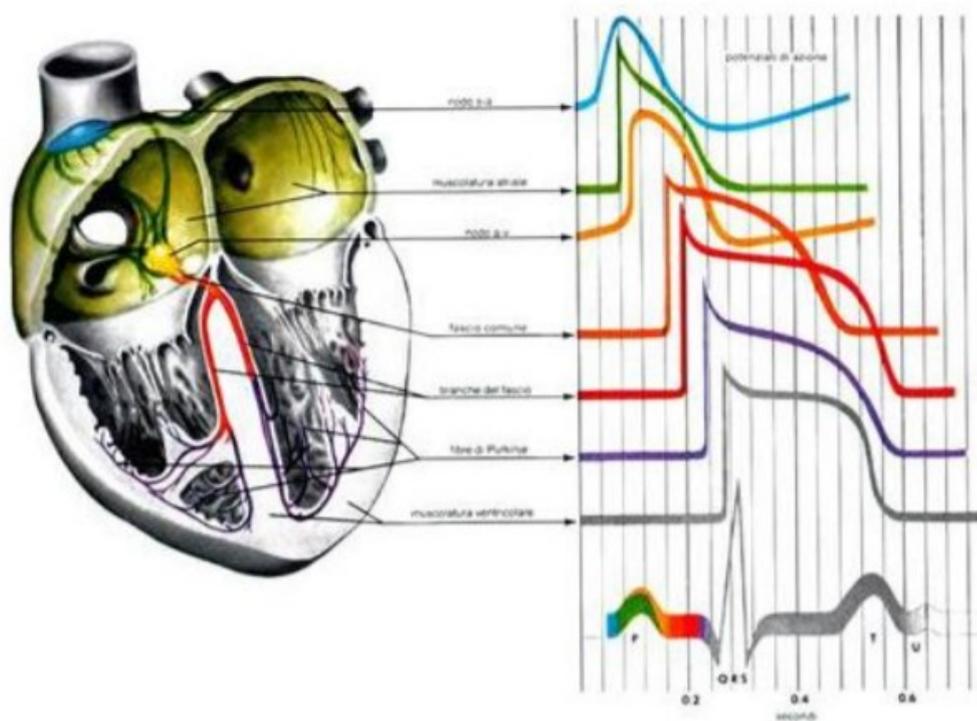


Fig.2 – L'immagine mostra come il segnale elettrocardiografico sia generato dall'interazione dei potenziali d'azione nei diversi siti del cuore.

Ogni tracciato ECG è caratterizzato dal susseguirsi di una serie di onde, ognuna associata ad una specifica fase del ritmo cardiaco (Fig.3):

- l'onda **P** corrisponde alla depolarizzazione degli atri;
- il **complesso QRS** è associato alla depolarizzazione dei ventricoli;
- l'onda **T** corrisponde alla ripolarizzazione dei ventricoli.

La ripolarizzazione degli atri non è visibile sul tracciato ECG in quanto coincide con la depolarizzazione ventricolare. Le variazioni di potenziale relative a questo evento sono pertanto mascherate da quelle associate all'attivazione dei ventricoli.

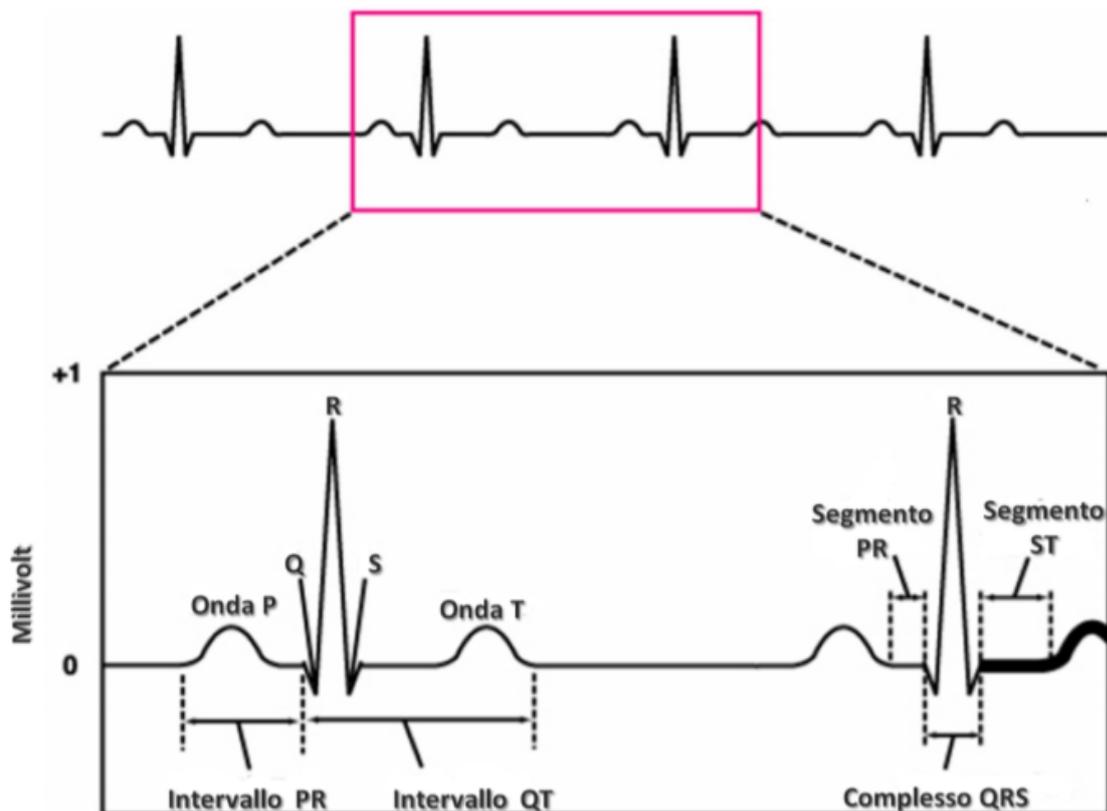


Fig.3 – L'immagine mostra le varie onde e gli intervalli che possono essere ritrovati in ogni normale tracciato elettrocardiografico.

Oltre alle diverse onde, importante è anche il significato associato ai diversi intervalli P-R e Q-T:

- l'intervallo P-R (Fig.3) definisce il tempo di conduzione atrio-ventricolare;
- l'intervallo Q-T (Fig.3) corrisponde al tempo di depolarizzazione e ripolarizzazione ventricolare.

Infine, ci sono due segmenti P-R e S-T:

- il segmento P-R va dalla fine dell'onda P all'inizio del complesso QRS (Fig.3). Gli atri sono totalmente depolarizzati;
- il segmento S-T va dalla fine dell'onda S all'inizio dell'onda T (Fig.3). I ventricoli sono totalmente depolarizzati.

Oltre all'ECG a riposo, il quale consente di evidenziare patologie delle coronarie, alterazioni del ritmo cardiaco (extrasistole, aritmie, fibrillazioni), variazioni del volume cardiaco (ipertrofia) e della conduzione dell'impulso elettrico (blocchi), può essere fatto un ECG sotto sforzo (Fig.4) che è un tracciato dinamico, che consente di mettere in luce eventuali cardiopatie latenti, nonché di stabilire i limiti dell'attività fisica per i pazienti affetti da scompensi coronarici.

Tale visita può essere effettuata solo dagli specialisti in Medicina dello Sport, e consiste in una serie di esami clinici e strumentali:

- **Esame spirografico**, con determinazione della capacità polmonare e dinamica e della massima ventilazione polmonare;
- **Elettrocardiogramma a riposo**;
- **Elettrocardiogramma dopo Step Test** (le cui modalità variano a seconda del sesso e dell'età), che fornisce informazioni sulla capacità di recupero dell'atleta;
- **Esame completo delle urine**.

Il test, effettuato in regime di sicurezza per il soggetto, è importante non solo ai fini della prevenzione della cardiopatia ischemica ma anche perché consente di scoprire aritmie presenti o latenti indotte dallo sforzo.

Durante il test, lo sforzo è progressivo e viene incrementato aumentando la resistenza opposta dai pedali del cicloergometro.

L'entità e la velocità di incremento dello sforzo sono stabilite dal medico che, sulla base delle caratteristiche clinico fisiche del soggetto da esaminare, le sceglie nell'ambito di protocolli standard.

Nel corso del test l'attività cardiaca viene tenuta sotto costante controllo mediante il continuo monitoraggio dell'elettrocardiogramma e la misurazione della pressione arteriosa ad intervalli regolari.

In particolare si presta attenzione agli eventuali sintomi avvertiti dal soggetto e al loro rapporto con le possibili variazioni dell'elettrocardiogramma o della pressione arteriosa.



Fig.4 – L'immagine mostra un soggetto che si sta sottoponendo a un elettrocardiogramma sotto sforzo, mentre un secondo soggetto ne sta monitorando i parametri in tempo reale.

3.1 Acquisizione elettrocardiografica in ambito sportivo

Ultimamente, per il monitoraggio delle condizioni fisiche e cardiovascolari in soggetti a rischio, ma anche in atleti, oltre agli screening periodici fatti tramite analisi elettrocardiografica standard a 12 derivazioni, sono molto in uso i dispositivi indossabili (DI), che a seconda della tipologia possono acquisire una o più derivazioni [8] [9] [10].

I dispositivi di monitoraggio ambulatoriale stanno consentendo un nuovo paradigma dell'assistenza sanitaria raccogliendo e analizzando dati a lungo termine per una diagnostica affidabile. Questi dispositivi stanno diventando sempre più popolari per il monitoraggio continuo delle malattie cardiache [8] [9] [10].

Essi possono inviare un primo feedback alla persona che li indossa, in genere attraverso applicazioni per smartphone, e poi al servizio cloud di competenza, dove vengono organizzati mediante algoritmi per essere disponibili e interpretabili dall'utente o da altre figure, ad esempio il medico curante o il suo team [8] [9] [10].

Tra i DI più utilizzati in ambito sportivo abbiamo [8] [9] [10]:

- **Zephyr BioHarness 3**: è un dispositivo di monitoraggio multiparametrico portatile capace di acquisire cinque diversi segnali fisiologici senza ausilio di personale specializzato (Fig.5). Consiste in una cintura multisensoriale indossabile ed un modulo elettronico che aderisce a questa. Il dispositivo memorizza ed invia i parametri vitali quali ECG, frequenza cardiaca, frequenza respiratoria, postura e livello di attività. In caso il BH3 permette l'invio di dati a strumenti appositi per l'elaborazione di tracciati ECG a patto che siano equipaggiati con tecnologia USB o Bluetooth. Il BH3 acquisisce dati sia a riposo che durante sessioni di allenamento intenso (meno la frequenza respiratoria che viene monitorata solo in periodo di non attività). Possiede un solo LED per l'acquisizione della frequenza cardiaca e pertanto l'analisi elettrocardiografica che se ne deriva prevede una sola derivazione.
- **Smartwatch**: dispongono di un sensore ottico per il rilevamento del battito. Tendenzialmente, rispetto ad altri modelli, vengono contrassegnati con il simbolo "HR" che sta per heart rate – frequenza cardiaca – o HRV (heart rate variability=variabilità della frequenza cardiaca). Tutti i dispositivi da polso con sensore HR si affidano a una tecnologia chiamata "**fotopleτισmografia**". In pratica impiegano LED verdi che abbinati a fotodiodi sensibili alla luce stabiliscono la quantità di sangue che scorre nel polso in un determinato momento. Il meccanismo è semplice: il sangue di colore rosso riflette la luce rossa e assorbe quella verde. Con l'aumentare del flusso aumenta l'assorbimento di luce verde e dato che i LED lampeggiano centinaia di volte al secondo ogni costanza o variazione consente di stabilire un campionamento del numero dei battiti al minuto. I LED verdi sono sempre più diffusi, ma qualche modello abbina anche la luce a infrarossi (Fig.6).

Il rilevamento cardiaco al polso è considerato preciso, ma rimane comunque superiore quello effettuato tramite le fasce cardio – che funzionano reagendo agli impulsi elettrici del cuore esattamente come in un elettrocardiogramma. In linea di massima gli smartwatch e i fitness tracker sono consigliati a tutti gli sportivi, mentre le fasce sono impiegate soprattutto dagli agonisti [8] [9] [10].



Fig.5 – L'immagine mostra la fascia cardio Zephyr BioHarness 3 utile per il monitoraggio di alcuni parametri vitali.



Fig.6 – L'immagine mostra uno smartwatch sul cui schermo si può vedere la frequenza cardiaca e la derivazione acquisita.

Monitorarsi è importante: infatti, in Italia, la morte cardiaca improvvisa (MCI) colpisce ogni anno più di mille giovani sotto i 35 anni, apparentemente sani, spesso durante l'attività fisica.

L'HR e l'HRV, di cui si parlerà in seguito, sono indici di MCI riconosciuti dall'European Society of Cardiology e dalla North American Society of Pacing and Electrophysiology [8] [9] [10].

3.1.1 Cambiamenti del tracciato elettrocardiografico come adattamento fisiologico e aritmie

L'esercizio fisico regolare ha innegabili benefici cardiovascolari e migliora l'aspettativa di vita. Questo beneficio sembra limitato agli esercizi di intensità moderata. Tuttavia, l'esercizio fisico intenso e cronico porterebbe a cambiamenti strutturali del cuore. Per molto tempo, la conoscenza di questi effetti cardiaci è sembrata limitata al ventricolo sinistro [11].

Un'intensa attività atletica può rivelare un focus aritmogeno latente attraverso l'attivazione simpatica. L'ablazione era la strategia terapeutica preferita, preferita alla terapia farmacologica e derivata da un'analisi dei rapporti rischio-beneficio [11].

Le aritmie risultano però incompatibili con l'attività sportiva in due principali condizioni cliniche [11]:

- quando creano con la loro presenza anche in atleta con cuore normale conseguenze emodinamiche sulla pompa e portata cardiaca non compatibili con il gesto atletico soprattutto qualora realizzino eccessive tachicardie o bradicardie. Esempi tipici sono rappresentati da tachicardie parossistiche atriali (che caratterizzano il famoso cuore matto dello sportivo), dalla fibrillazione atriale e dal flutter atriali rapidi, dalla presenza di una asistolia sinusale o di un blocco atrio ventricolare critici sintomatici (particolarmente durante pause o recupero dopo sforzo).
- le aritmie cardiache sono pericolose quando si realizzano nel contesto di una patologia silente, detta cardiomiopatia aritmogena, che l'attività atletica può rivelare anche in soggetti che ne ignoravano la presenza provocando, durante allenamento o competizione gravi sintomi come la sincope (perdita improvvisa di coscienza), l'arresto cardiaco e la morte improvvisa. Ciò avviene di solito nell'atleta nei 90% dei casi durante attività fisica, in soggetti che pur idonei fino a quel momento ad effettuare attività atletica anche ad alti livelli con grande performance, vengono improvvisamente destabilizzati elettricamente.

3.1.1.1 Bradicardia

La bradicardia si realizza quando la frequenza cardiaca scende sotto i 60 battiti al minuto ed è dovuta ad una serie di cause quali il rallentamento fisiologico notturno dovuto all'aumento del tono vagale, molto marcato nell'atleta allenato, all'effetto dell'età che frequentemente comporta un addensamento del nodo del seno, evento che non avviene in tutti i soggetti [11].

La bradicardia può essere dovuta ad una patologia del centro sinusale, ma anche del nodo atrio-ventricolare o ad un disturbo della conduzione dello stimolo dagli atri ai ventricoli chiamato blocco atrio-ventricolare che può essere dovuto ad un semplice rallentamento (blocco AV di I° grado) e ad una interruzione temporanea ed incompleta (blocco AV di II° grado) o completa (blocco AV di III° grado)[11].

Nel blocco atrio-ventricolare di II° e III° grado la frequenza cardiaca è condizionata dal numero dei battiti ventricolari efficaci. Una tipica condizione patologica che può dare origine a cardiopalmo bradiaritmico e tachiaritmico sintomatico è rappresentata dalla malattia del nodo del seno nella quale si verificano momenti di rallentamento dell'attività cardiaca ad altri di accelerazione dovuti a tachiaritmie atriali, compresa la fibrillazione atriale. Le aritmie bradiaritmiche, quando importanti e fonte di disturbi soggettivi significativi, vengono corrette con l'impianto di un sistema di elettrostimolazione (Pacemaker) con successiva buona qualità di vita [11].

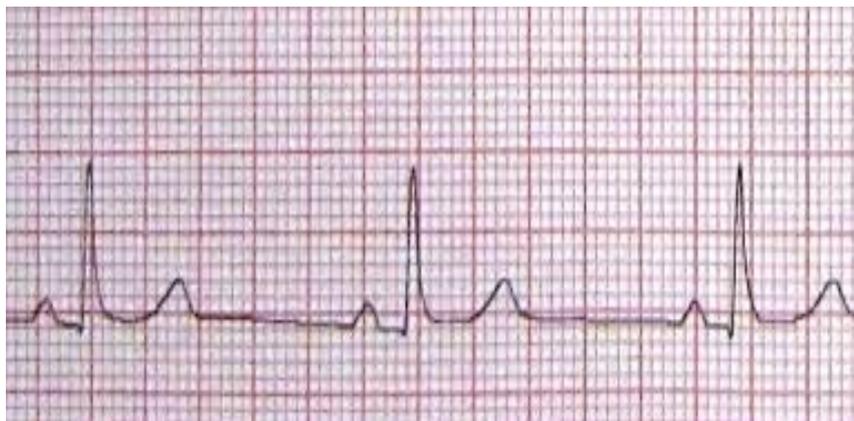


Fig.7 – Immagine di un tracciato elettrocardiografico di un soggetto bradicardico.

3.1.1.2 Tachicardia

La tachicardia è una frequenza cardiaca superiore ai 100 battiti al minuto (Fig.8). Essa va considerata normale quando è dovuta ad un fisiologico aumento dell'attività sinusale, come accade sotto sforzo, quando è necessario adeguare la portata circolatoria ai fabbisogni tissutali [11].

Oltre alla tachicardia sinusale, ci possono essere casi di tachicardie non sinusali. Tra queste [11]:

- **Tachicardia da rientro del nodo atrio-ventricolare (TR NAV):** è dovuta ad una dissociazione longitudinale nel nodo atrio ventricolare che porta alla formazione al suo interno di due vie distinte denominate lenta e rapida. Si distinguono due tipi della suddetta aritmia ovvero comune e non comune; la prima si riscontra nel 95% dei casi.

Nella forma di tachicardia comune la conduzione dagli atri ai ventricoli detta anche anterograda avviene attraverso la via lenta mentre la conduzione inversa quindi tra ventricoli e atri avviene attraverso la via rapida, nella forma non comune accade esattamente l'opposto.

- **Sindrome di Wolff-Parkinson-White (WPW):** anomalia congenita della conduzione cardiaca dovuta ad un collegamento muscolare particolare, non riassorbitosi dopo la nascita, che collega atri e ventricoli realizzando un tipico "by-pass elettrico".

A seguito dell'impulso elettrico, di solito rappresentato da uno o più battiti ectopici (extrasistoli) spontanei, il circuito si attiva e si automantiene ad alta frequenza con estrema variabilità di sintomi da soggetto a soggetto.

- **Tachicardia atriale focale:** si origina da un centro ectopico al di fuori del nodo del seno, capace di automatismo patologico.
- **Tachicardie ventricolari:** sono tali le tachicardie ventricolari che si accompagnano a certi tipi di patologie cardiache del muscolo, delle coronarie o per infiltrazione grassa delle pareti ventricolari.

Una tipica tachicardia ventricolare è quella legata alle conseguenze di un precedente infarto miocardico con cortocircuito attorno alla zona cicatriziale. Le tachicardie ventricolari patologiche si accompagnano a sintomi importanti come astenia, dispnea, dolore precordiale, scompenso cardiaco, sincope fino all'arresto di circolo [11].

L'arresto di circolo di solito è dovuto alla comparsa di una fibrillazione ventricolare (FV) con stimolazione rapidissima disordinata, fascicolante delle camere ventricolari con scomparsa della funzione di pompa cardiaca. La fibrillazione ventricolare è causa di morte cardiaca se

non viene rapidamente interrotta con manovre di rianimazione cardiocircolatorie con particolare riguardo alla defibrillazione elettrica esterna [11].

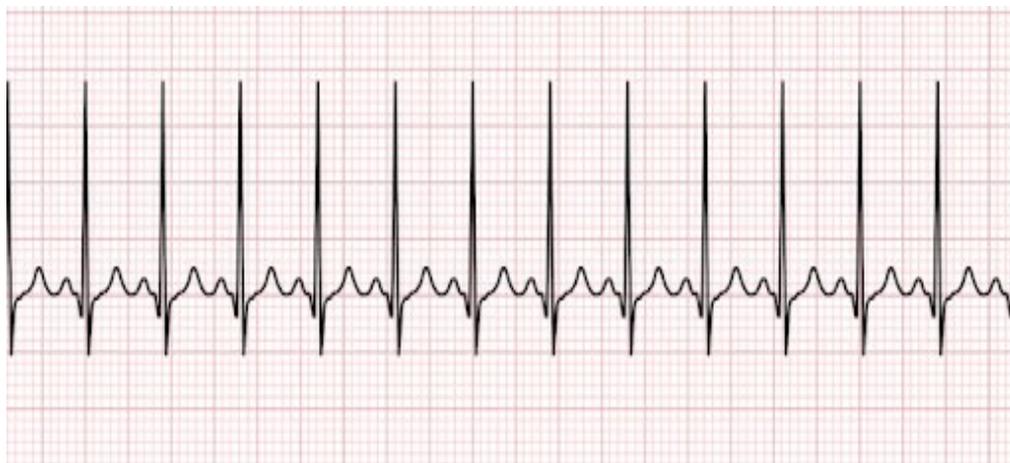


Fig.8 – Immagine di un tracciato elettrocardiografico di un soggetto tachicardico.

3.1.1.3 Fibrillazione atriale

La fibrillazione atriale (FA) è la più comune aritmia prolungata fra tutti i disturbi del ritmo cardiaco e fra tutte le cause del cardiopalmo irregolare (Fig.9).

L'irregolarità della fibrillazione atriale è dovuta alla messa fuori uso del centro sinusale con presenza di un numero altissimo di stimoli atriali in gran parte inefficaci che arrivano a stimolare i ventricoli solo dopo aver superato il nodo atrio-ventricolare [11].

La fibrillazione atriale può verificarsi in un cuore del tutto sano, e in quel caso si chiama fibrillazione atriale isolata o idiopatica, o accompagnarsi a patologie cardiache e generali quali la pressione alta, le cardiopatie valvolari, la cardiopatia ischemica, la miocardite, l'ipertiroidismo ecc. [11].

Recenti studi documentano che la fibrillazione atriale può essere più frequente in atleti predisposti che effettuano attività competitiva soprattutto di resistenza per molti anni, intensa e regolare rispetto ai sedentari di pari età, con particolare riguardo a quelli inquadrati nelle categorie Master (dopo i 35 anni) [11].



Fig.9 – Immagine di un tracciato elettrocardiografico tipico di un soggetto affetto da fibrillazione atriale (in alto), e un soggetto sano (in basso).

3.2 Ritmo cardiaco e variabilità del ritmo cardiaco

Il ritmo cardiaco è il susseguirsi in maniera regolare di una sequenza di eventi elettrici e meccanici che permettono al cuore di funzionare come pompa. Esso, in condizioni normali, è determinato da un pacemaker naturale che si trova in un punto definito dell'atrio destro, alla giunzione con la vena cava superiore, ed è detto nodo senoatriale, per cui il ritmo normale del cuore viene detto ritmo sinusale [12].

La variabilità della frequenza cardiaca descrive le variazioni tra intervalli inter-battiti consecutivi o IBI [12].

A questo proposito, il sistema nervoso svolge un ruolo importante, in quanto è coinvolto nella regolazione dell'HR [12].

Esso si divide in **volontario**, che si occupa di innervare i muscoli volontari, e **autonomo**, che innerva la muscolatura liscia, il cuore e le ghiandole in particolare, quindi, il sistema cardiocircolatorio e quello metabolico [12].

Quest'ultimo, a sua volta si può dividere in **simpatico** e **parasimpatico** (o basale) [12].

Il **sistema simpatico**, che si attiva in presenza di situazioni di stress o di emergenza, provoca un aumento della pressione arteriosa, della forza di contrazione cardiaca, della frequenza cardiaca, e della glicemia [12].

Il **sistema parasimpatico**, la cui attivazione è finalizzata all'immagazzinamento delle riserve energetiche, provoca una diminuzione della pressione arteriosa, della forza di contrazione cardiaca, della frequenza cardiaca, e della glicemia [12].

I due, operando in condizioni differenti, svolgono un'azione sinergica [12].

Il cuore è un muscolo involontario dotato di automatismo proprio. In altre parole, la capacità di contrazione delle cellule cardiache è una loro proprietà intrinseca. Il cuore batte anche in assenza di stimoli nervosi con una frequenza caratteristica che è la frequenza media di contrazione [12].

Il sistema nervoso autonomo esercita un'azione di controllo sul cuore. Tale controllo permette al cuore di adattarsi alle varie circostanze [12].

Scendendo nel dettaglio si può notare come l'attività del sistema nervoso simpatico aumenta la HR e diminuisce la HRV, mentre l'attività del sistema nervoso parasimpatico diminuisce la HR e aumenta la HRV [12].

Rapidi cambiamenti della frequenza cardiaca possono essere dovuti al riflesso barocettore e alla respirazione. In particolare, il baroriflesso su barocettori che si trovano sulle pareti di alcuni grandi vasi possono percepire l'allungamento delle pareti dei vasi causato dall'aumento della pressione. Sia l'attività simpatica che quella parasimpatica sono influenzate dalla stimolazione dei barocettori attraverso uno specifico riflesso barocettivo (Fig.10) [12].

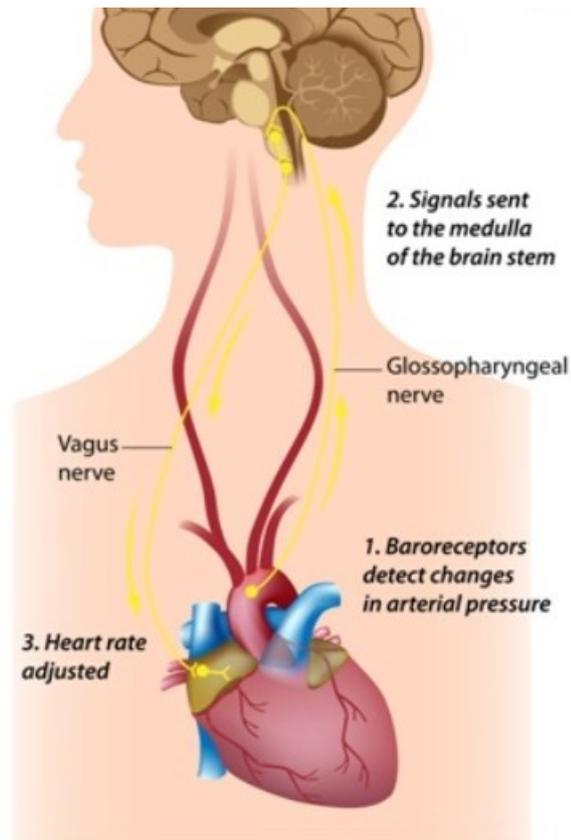


Fig.10 – L'immagine mostra il funzionamento di un riflesso barocettivo.

Il controllo dell'uscita autonoma coinvolge diverse aree interconnesse del sistema nervoso centrale, che formano la cosiddetta rete autonoma centrale. Oltre a questo controllo centrale, è noto che il riflesso barocettore arterioso e la respirazione inducono rapidi cambiamenti nella frequenza cardiaca. Il baroriflesso si basa su barocettori che si trovano sulle pareti di alcuni grandi vasi e possono percepire l'allungamento delle pareti dei vasi causato dall'aumento della pressione. Sia l'attività simpatica che quella parasimpatica sono influenzate dalla stimolazione dei barocettori attraverso uno specifico arco baroriflesso [12].

Inoltre si nota come, la componente oscillatoria più evidente dell'HRV è l'aritmia del seno respiratorio in cui la stimolazione del nervo vago viene interrotta durante l'inalazione e, quindi, l'HR aumenta durante l'inspirazione e diminuisce durante l'espirazione. Questa componente ad alta frequenza dell'HRV è quindi centrata sulla frequenza respiratoria e si assume vada da 0.15 a 0.4 Hz. A fianco a questa, un'altra componente importante dell'HRV è la componente a bassa frequenza che va da 0.04 a 0.15 Hz [12].

La componente ad alta frequenza è mediata quasi totalmente dall'attività del sistema nervoso parasimpatico, mentre alla base di quella a bassa frequenza ci sono le attività sia del sistema simpatico che di quello parasimpatico ed è anche influenzata dall'attività baroriflessa [12].

L'analisi nel dominio della frequenza ricopre un ruolo di notevole importanza nello studio dell'HRV.

Le fasi attraverso le quali effettuare tale indagine presuppongono la costruzione di un **tacogramma**, ovvero la serie degli intervalli RR del segnale come numero successivo di battiti, e successivamente, la valutazione dello spettro di potenza dello stesso.

Lo spettro di potenza del tacogramma mostra la presenza di componenti in frequenza proprie del sistema nervoso (sia simpatico che parasimpatico) che è noto avere influenza sulla variabilità del ritmo cardiaco. Conseguentemente, effettuando l'analisi spettrale dell'HRV è possibile dedurre alterazioni nel paziente delle funzioni del sistema nervoso.

Lo studio della variabilità del ritmo cardiaco (e NON del ritmo cardiaco) è un modo indiretto per studiare il controllo nervoso sul cuore.

Lo studio dell'HRV avviene tramite lo studio degli intervalli RR dell'ECG (Fig.11).

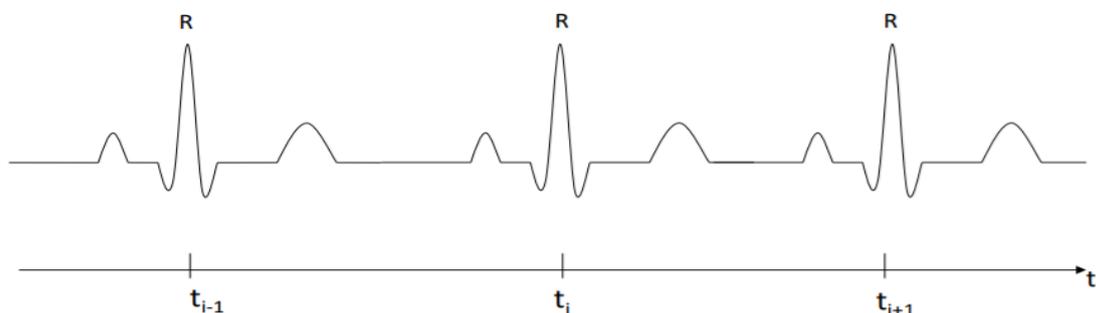


Fig.11 – L'immagine rappresenta una serie di intervalli RR.

L'analisi dell'HRV, quindi, si effettua tramite la stima della potenza spettrale (trasformata di Fourier al quadrato) della serie degli intervalli RR.

La stima della potenza spettrale del tacogramma fornisce un asse delle frequenze in cicli/battito. Per avere gli Hz dobbiamo moltiplicare per l'intervallo RR medio. Si può dimostrare che l'errore compiuto in questo modo è trascurabile se la variabilità del ritmo è trascurabile rispetto al ritmo stesso.

Nella potenza spettrale del tacogramma si identificano 3 regioni (Fig.12):

- VLF (very low frequency): dipende da fenomeni di natura non lineare e associabili alla teoria del caos;
- LF (low frequency): è associata all'attività del sistema simpatico;
- HF (high frequency): è associata all'attività del sistema parasimpatico e al picco respiratorio.

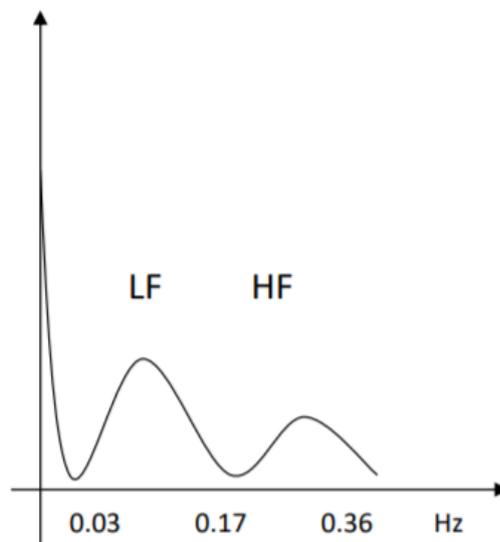


Fig.12 – L'immagine mostra le diverse zone del tacogramma. Il rapporto LF/HF fornisce una misura dell'attività simpato vagale.

L' HRV è stata a lungo utilizzata nella stratificazione del rischio per la morte cardiaca improvvisa e la neuropatia autonoma diabetica [6] [7] [11].

Negli ultimi anni, gli indici di HRV nel dominio del tempo e della frequenza hanno acquisito crescente interesse nelle scienze dello sport e della formazione [6] [7] [11].

In questi campi, l'HRV è attualmente utilizzato per fare una valutazione non invasiva dei cambiamenti autonomi associati all'allenamento di resistenza a breve e lungo termine sia nell'attività sportiva amatoriale che nell'allenamento ad alte prestazioni. Inoltre, l'HRV viene studiato come marker diagnostico di sovrallenamento [6] [7] [11].

Un gran numero di studi mostra come, in soggetti sani e pazienti cardiovascolari di tutte le età (fino a un'età di 70 anni), l'allenamento aerobico regolare, di solito, si traduce in un significativo miglioramento della HRV complessiva e istantanea. Questi cambiamenti, che sono accompagnati da riduzioni significative della frequenza cardiaca sia a riposo che durante l'esercizio submassimale, riflettono un aumento dell'attività efferente autonoma e uno spostamento a favore di una maggiore modulazione vagale del ritmo cardiaco. Sembra necessario un regolare allenamento aerobico di volume e intensità moderati per un periodo minimo di 3 mesi per garantire questi effetti, che potrebbero essere associati a un beneficio sulla mortalità complessiva [6] [7] [11].

CAPITOLO 4.

SINGLE LEAD KARDIA ALIVECOR

Single lead Kardia di Alivecor (Fig.2) fa parte di una gamma di registratori di elettrocardiogrammi (ECG) mobili di qualità clinica. Il prodotto Kardia Mobile è destinato alla registrazione, memorizzazione e trasferimento di ritmi elettrocardiografici (ECG) monocanale. Il prodotto Kardia Mobile visualizza, inoltre, i ritmi ECG e rileva la presenza di fibrillazione atriale e ritmo sinusale normale. La visualizzazione del tracciato è possibile per mezzo di un'apposita app, che può essere scaricata su smartphone e smartwatch.

L'applicazione Kardia fornisce anche un'analisi istantanea dell'ECG registrato per valutare se il ritmo cardiaco è normale o se viene rilevata fibrillazione atriale.

Può essere utilizzato da pazienti con problemi cardiaci noti o sospetti, ma anche da persone che semplicemente vogliono monitorare la loro salute per registrare un ECG giornaliero o comunque ogniqualvolta si avvertissero sintomi particolari e, successivamente, condividere i tracciati con il proprio medico curante. I medici professionisti possono valutare rapidamente la frequenza e il ritmo cardiaci, rilevare le aritmie nonché interagire in modalità remota con i pazienti che si servono di Kardia Mobile.

Il prodotto Kardia Mobile viene utilizzato con uno smartphone o tablet compatibile fornito dall'utente. Il prodotto Kardia Mobile è composto da:

- Kardia Mobile, un dispositivo dotato di elettrodi per rilevare e trasmettere i ritmi dell'ECG allo smartphone o al tablet (Fig.1).
- Piastra di collegamento: un accessorio opzionale da collegare alla parte posteriore dello smartphone in cui il dispositivo Kardia Mobile può essere inserito o dal quale può essere disinserito.
- App per dispositivi mobili Kardia: consente di raccogliere, visualizzare e salvare (funzione Premium) registrazioni ECG e di trasmettere mediante wireless al server AliveCor.

Dopo la creazione di un account per la app per dispositivi mobili Kardia e la ricezione di un'analisi ECG, gli utenti possono visualizzare le registrazioni ECG sia in tempo reale che successivamente, visualizzare l'output dei rilevatori Fibrillazione atriale, Normale e Non leggibile, inviare via mail le registrazioni ECG al proprio medico o altro destinatario.

REGISTRAZIONE ELETTROCARDIOGRAFICA

Per effettuare una registrazione ECG con Kardia Mobile mediante smartphone o tablet, è necessario seguire una serie di istruzioni.

Prima di procedere con l'acquisizione di un tracciato è necessario, innanzitutto, scollegare auricolari, cavi caricabatterie o qualsiasi altro dispositivo collegato; inoltre se si utilizzano apparecchi acustici devono essere spenti. È necessario pulire i due elettrodi con un disinfettante a base di alcool e, solamente dopo aver fatto tutto ciò, si deve avviare la app per dispositivi mobili Kardia dallo smartphone o tablet.

A questo punto, eseguiti tutti i passaggi dalla schermata principale dell'app per dispositivi mobili Kardia si seleziona “Registra il tuo ECG” o, alternativamente, “Aggiungi HR a riposo”. La registrazione standard può essere fatta in qualsiasi momento lo si ritenga necessario, ad esempio in caso si avvertano dei sintomi. L'opzione per la frequenza cardiaca a riposo consente di stabilire la frequenza di base in assenza di sforzi. È consigliabile misurare l'ECG con frequenza cardiaca a riposo al mattino appena svegli, ovvero il momento della giornata in cui il corpo è più riposato.

Si posizionano, poi, due o più dita (non importa quali) su Kardia Mobile, con la mano destra su un elettrodo e la mano sinistra sull'altro. La registrazione di una Derivazione I dell'ECG sull'app per dispositivi mobili Kardia inizia automaticamente quando vi è un contatto sufficiente con gli elettrodi di Kardia Mobile.

È importante sottolineare come sia possibile descrivere i propri sintomi a voce mentre si registra l'ECG sullo smartphone. I promemoria vocali registrati potranno essere trascritti come testo e aggiunti alla sezione Note della registrazione ECG.

Inoltre per quanto riguarda i posizionamenti si può scegliere tra due possibilità:

- Per la Derivazione II dell'ECG, il ginocchio sinistro deve essere a contatto con un elettrodo e la mano destra deve essere a contatto con l'altro elettrodo.
- Per la Derivazione precordiale anteriore, il dispositivo può essere posizionato sul lato inferiore sinistro del torace, immediatamente al di sotto del muscolo pettorale.

Quindi Kardia Mobile consente agli utenti di registrare ECG come Derivazione II o Derivazione precordiale anteriore. Però i rilevatori sono stati predisposti e testati esclusivamente per l'analisi delle registrazioni della Derivazione I e si evidenziano notevoli differenze nelle forme d'onda prodotte dalle registrazioni della Derivazione II o della Derivazione precordiale anteriore.

Kardia Mobile non necessita di connessione Wi-Fi o cellulare per registrare un ECG e salvarlo nella memoria locale del dispositivo; ha tuttavia bisogno di una connessione per sincronizzarsi automaticamente con il server AliveCor, per inviare e-mail o stampare direttamente dalla app per dispositivi mobili Kardia. Se non si dispone di una connessione Wi-Fi o cellulare durante la registrazione ECG, si può inviare i dati per e-mail o stamparli in un secondo momento quando la connessione sarà disponibile: in questo caso la sincronizzazione avverrà automaticamente.

Kardia Mobile può essere utilizzato a una distanza di 30 cm (1 piede) dallo smartphone o dal tablet. Se la distanza dovesse essere maggiore si potrebbero verificare dei problemi di comunicazione tra i dispositivi e la registrazione potrebbe non essere eseguita correttamente.

Per ridurre gli artefatti di origine muscolare, è consigliabile appoggiare le braccia su una superficie piana così da aumentare la stabilità durante la registrazione.

Una volta terminata la registrazione ECG sull'app per dispositivi mobili Kardia, subito dopo la registrazione verrà mostrata un'analisi dell'ECG se c'è stata una registrazione corretta di 30 secondi.

Dopo la registrazione viene chiesto se si desidera aggiungere etichette come sintomi, attività, regime alimentare e così via alla schermata di inserimento dati. È inoltre possibile inserire etichette o note personalizzate e modificare il promemoria vocale trascritto.



Fig.1 - In alto è presente la schermata di acquisizione di un tracciato ECG realizzata con il dispositivo Kardia (in basso).

IMPOSTAZIONI E REGOLAZIONI

➤ **Registrazione delle modifiche di revisione**

- **Filtro avanzato.** Il filtro avanzato sopprime gli artefatti nell'ECG. È possibile attivare il filtro su un particolare ECG dalla schermata di verifica. Per attivare o disattivare il filtro avanzato, toccare "ALTRO" nella parte inferiore della schermata di verifica dell'ECG, quindi toccare il selettore "AVANZATO" per attivare o disattivare il filtro.
- **Capovolgimento della registrazione.** Nel caso Kardia Mobile non fosse orientato correttamente durante la registrazione, l'ECG può risultare capovolto. È possibile alternare l'orientamento su un particolare ECG dalla schermata di verifica dell'ECG. Toccare "ALTRO" nella parte inferiore della schermata di verifica dell'ECG, quindi toccare il selettore "CAPOVOLGI" per attivarlo o disattivarlo.

➤ **Impostazioni regolabili**

Per accedere alle impostazioni, toccare l'icona "Menu" nella parte superiore sinistra e toccare quindi "Impostazioni".

- **Durata.** La durata della registrazione è il periodo di tempo massimo per cui la app per dispositivi mobili Kardia registrerà un singolo ECG. La durata predefinita di acquisizione è di 30 secondi. Tuttavia gli utenti possono estenderla, tramite l'app, fino ad un massimo di 5 minuti. Kardia permette agli utenti di prendere un numero illimitato di registrazioni e spedire ciascuna a se stessi o ai propri medici. Inoltre, Kardia è in grado di memorizzare e consentire l'accesso all'intera cronologia di ECG nel cloud.
- **Registrazione audio.** Durante la registrazione dell'ECG, attivando la registrazione audio è possibile elencare ad alta voce i propri sintomi per memorizzarli in formato audio insieme all'ECG. La registrazione audio sarà trascritta come testo, che sarà salvato con l'ECG.
- **Filtro di rete.** Il Filtro di rete serve a rimuovere eventuali interferenze di rete dall'ECG; deve essere impostato sulla stessa frequenza della corrente alternata (CA) del luogo in cui il dispositivo è utilizzato. Per Stati Uniti, Canada e Messico è 60 Hz; in molti altri paesi è 50 Hz.

- **Dimensioni del foglio.** Le dimensioni del report PDF possono essere modificate a scelta tra il formato Lettera e A4.
- **Non leggibile.** Nell'impostazione predefinita, con Non leggibile impostato su ON, Kardia classifica tutte le letture poco chiare come “non leggibili” anziché classificarle in base ai rilevatori dei risultati. Al contrario, impostando Non leggibile su OFF, i risultati illeggibili vengono direttamente rimossi.
- **Promemoria.** Questa funzione consente di attivare o disattivare il promemoria analisi dell'ECG. Consente inoltre di attivare/disattivare il promemoria dell'ECG e di impostare la frequenza e l'ora del promemoria. È inoltre possibile modificare i promemoria per i farmaci.

RILEVATORI (FIBRILLAZIONE ATRIALE, NORMALE, NON LEGGIBILE)

A seguito dell'analisi fatta, si può riscontrare uno dei seguenti risultati:

➤ **Fibrillazione atriale**

Il rilevatore di fibrillazione atriale (AF) rileva la fibrillazione atriale su un tracciato ECG. Dopo l'ECG, se viene rilevata una fibrillazione atriale, ne viene data notifica all'interno della app. Questo dato non è una diagnosi, ma solo un rilevamento potenziale per l'ECG registrato. Questo dato non è una diagnosi, ma solo un rilevamento potenziale per l'ECG registrato. Rivolgersi al medico per verificare le registrazioni ECG in cui è stata rilevata fibrillazione atriale.

➤ **Normale**

Il rilevatore Normale invia una notifica quando la registrazione risulta “normale”. Vale a dire che la frequenza cardiaca è compresa fra 50 e 100 battiti per minuto, non vi sono battiti anomali o se presenti sono in numero molto limitato e la forma, tempi e durata di ogni battito sono considerati un ritmo sinusale normale

Il rilevatore Normale prende in considerazione l'intero segnale prima di stabilire se possa essere dichiarato normale. Se in una registrazione di battiti altrimenti normali sono presenti

poche PAC o PVC (contrazioni atriali/ventricolari premature) nel ritmo normale, è probabile che il rilevatore Normale consideri normale la registrazione ECG.

Inoltre il rilevatore Normale non indica come normale un ECG esterno alla frequenza cardiaca di 50-100 battiti al minuto, anche se l'ECG ha un ritmo sinusale normale. Di conseguenza, se normalmente si ottengono risultati “normali” ma si esegue un ECG subito dopo dell'attività fisica che porta la frequenza cardiaca sopra i 100 battiti al minuto, si potrebbe non ottenere un risultato “normale”.

➤ **Non leggibile**

Il rilevatore Non leggibile determina se una registrazione possa o meno essere interpretata con precisione. Se dopo l'ECG viene rilevata un'interferenza, viene comunicato tramite la app che la registrazione ha “Nessuna analisi” e vengono forniti alcuni suggerimenti per l'acquisizione di registrazioni ECG di buona qualità.



Fig.2 - Single lead Kardia AliveCor: dispositivo per acquisire tracciati ECG ad una

CAPITOLO 5.

METODI

5.1 Protocollo di acquisizione dati

L'analisi è stata svolta prendendo in considerazione dieci soggetti differenti tra loro per età e sesso, i quali tuttavia hanno condiviso le stesse tipologie di allenamenti, dal momento che, essendo tutti velocisti, svolgono essenzialmente gare di velocità pura, quali 100 e 200 metri.

Le acquisizioni sono state fatte in tre situazioni differenti.

I soggetti, infatti, sono stati monitorati durante due allenamenti, in particolare in uno hanno svolto prove di velocità e nell'altro, invece, prove di forza esplosiva. Quest'ultima, in uno sport come l'atletica è di fondamentale importanza, dal momento che assicura una buona base di massa muscolare che non si avrebbe se si svolgessero solamente allenamenti di corsa.

Oltre che in allenamento, tuttavia, attraverso l'analisi fatta, è stata valutata la variabilità cardiaca anche in una situazione differente, ovvero in gara.

L'allenamento di velocità era composto da una prima parte di riscaldamento, una parte centrale in cui sono state svolte le prove di velocità e una parte finale in cui i soggetti hanno defaticato, correndo in modo da avere un assetto di corsa che fosse il più decontratto possibile, così da rilassare la muscolatura e, successivamente, facendo esercizi di allungamento.

Nel riscaldamento i soggetti hanno corso per 10 minuti in modo blando; successivamente hanno svolto una serie di esercizi di mobilità articolare che sono serviti a riscaldare in modo accurato tutte le articolazioni, le quali durante l'allenamento sono sottoposte a sollecitazioni prolungate nel tempo. In questo lasso di tempo, durato all'incirca 30 minuti, gli esercizi fatti sono stati vari e tra questi ci sono state delle circonduzioni del collo, del bacino, delle anche e delle caviglie; successivamente delle oscillazioni e delle circonduzioni del busto in modo da riscaldare bene tutti i muscoli facenti parte della catena cinetica posteriore; a seguire sono stati fatti dei molleggi alternativamente sugli arti inferiori così da distendere bene un muscolo di fondamentale importanza nella corsa perché coinvolto nel richiamo della gamba durante la fase di volo, ovvero l'ileopsoas. Inoltre, a fianco a questi, i soggetti hanno svolto esercizi di allungamento per schiena e piriforme. Per concludere hanno eseguito degli slanci degli arti inferiori in cui hanno ulteriormente riscaldato le articolazioni delle anche e delle caviglie.

Il riscaldamento si è concluso con una serie di esercizi più dinamici che sono stati svolti per circa altri 30 minuti quali corsa a ginocchia alte sul posto (l'andatura deve essere tale per cui nel soggetto si vengono a formare tre angoli retti: il primo in corrispondenza del bacino, il secondo a livello del ginocchio e il terzo alla caviglia); corsa calciata dietro (i talloni, alternativamente, devono arrivare a calciare i glutei); corsa calciata sotto (è l'esercizio che più si avvicina alla corsa perché si compie un movimento circolare dell'arto inferiore in cui il tallone deve essere portato sotto al gluteo) e due accelerazioni su 20/30 metri.

Successivamente, finita questa parte di riscaldamento, sono state svolte tre prove di velocità. In particolare i soggetti sottoposti ad analisi hanno dovuto correre due prove della lunghezza di 120 metri in cui 40 metri sono stati corsi in modo piuttosto controllato così da assumere un assetto di corsa corretto, e i restati 80 metri sono stati corsi tutti alla massima velocità e poi, oltre a questa, una prova finale di 150 metri. Il recupero tra la prima e la seconda prova è stato di 8 minuti, mentre tra la seconda e la terza prova sono trascorsi 12 minuti. Questa parte, pertanto, ha occupato circa 30 minuti.

Nell'ultima parte gli atleti hanno concluso l'allenamento con una corsa molto leggera di defaticamento di 5 minuti e allungamento.

L'allenamento di forza è iniziato, come quello di velocità, con una prima parte di riscaldamento, in cui questa volta i soggetti non hanno corso ma hanno iniziato direttamente facendo gli esercizi di mobilità articolare per busto, spalle, anche e caviglie di cui abbiamo parlato in precedenza e affiancando a questi, successivamente, una serie di esercizi sul posto per il riscaldamento di tutti i muscoli degli arti inferiori quali squat, squat jump, affondi avanti e dietro. Successivamente, hanno eseguito 10 ripetizioni di ognuno dei due esercizi su cui era incentrato l'allenamento, ovvero il mezzo squat jump continuo rapido e lo step jump su uno scalino di 40 cm. Questa prima parte di riscaldamento è durata circa 45 minuti.

Sia il mezzo squat jump continuo rapido che lo step jump sono stati svolti a carico naturale (cioè senza l'introduzione di ulteriori carichi esterni perché l'obiettivo era lavorare sulla rapidità del gesto).

Nel *mezzo squat jump* (Fig.1) i muscoli principalmente coinvolti sono: quadricipite, grande gluteo (in modo secondario anche ischiotibiali, adduttori, gastrocnemi e lombari).

Per far sì che l'esecuzione sia corretta è necessario posizionarsi in stazione eretta con le gambe leggermente divaricate (larghezza spalle) e le braccia tese in avanti. A questo punto il movimento inizia piegando le gambe e scendendo in modo controllato fino ad arrivare in mezza accosciata (è importante che le ginocchia non superino mai le punte dei piedi). Giunti in questa posizione, si salta in modo esplosivo verso l'alto aiutandosi con le braccia.



Fig.1 – L'immagine mostra i movimenti che caratterizzano il mezzo squat jump.

Nello *step jump*, invece, non si lavora contemporaneamente con entrambi gli arti inferiori, ma alternativamente prima con uno e poi con l'altro.

Per prima cosa si appoggia un piede sopra ad uno scalino, che può essere di differente altezza (nel caso specifico di 40 cm) e le braccia, che servono per dare lo slancio iniziale, si portano all'indietro. Si salta, poi, in modo esplosivo verso l'alto (Fig.2).



Fig.2 – L'immagine mostra un soggetto che sta svolgendo uno step jump nel momento del salto esplosivo verso l'alto.

Successivamente, nella parte centrale dell'allenamento, durata all'incirca 30 minuti, sono state svolte 5 serie di ognuno degli esercizi (prima tutte quelle di mezzo squat jump continuo rapido e poi quelle di step jump), e ognuna delle serie era composta da 6 ripetizioni. Tra le serie i soggetti sottoposti ad analisi hanno recuperato 2 minuti, mentre tra un esercizio e l'altro il recupero è stato di 4 minuti.

Infine, terminati gli esercizi di forza, gli atleti, hanno concluso con esercizi di allungamento.

La gara non differisce di molto dall'allenamento di velocità in quanto presuppone una parte iniziale di riscaldamento che comprende circa 7 minuti di corsa blanda seguita da mobilità articolare di spalle, schiena, anche e caviglie in cui, in modo particolare sono stati fatti degli slanci e dei movimenti rotatori degli arti inferiori che sono alla base di un corretto e accurato riscaldamento dei bicipiti femorali.

Finita questa prima parte di riscaldamento, ne segue un'altra molto importante in cui vengono svolti tutti esercizi più dinamici e in cui si accenna al gesto di corsa quali corsa a ginocchia alte, corsa calciata dietro e calciata sotto.

Si conclude con degli allunghi, ovvero si corre in modo il più decontratto possibile per circa 80 metri, 3 o 4 volte, e, per finire, si fanno delle accelerazioni di circa 15/20 metri per provare la partenza.

Tutta questa parte di riscaldamento generale pre-gara è durata all'incirca 1 ora e 10 minuti.

Successivamente i soggetti hanno svolto la gara correndo una prova di 200 metri.

Alla fine della gara, dopo aver in parte recuperato, gli atleti hanno defaticato con una corsa blanda di 5 minuti seguita da esercizi di allungamento.

Importante è evidenziare come è stato necessario applicare due differenti protocolli di acquisizione: uno specifico per la gara e un altro utilizzato nei due allenamenti, nonostante in entrambi ci sia una parte in comune.

Ambedue presupponevano due acquisizioni fatte prima di iniziare l'allenamento e la gara, di cui una fatta prima del riscaldamento, ovvero quando i soggetti erano completamente a riposo, e l'altra successiva di 5 minuti alla fine della corsa di riscaldamento.

A questo punto si riscontrano delle differenze nei due protocolli.

Infatti, per quanto riguarda gli allenamenti sono state fatte due acquisizioni: in quello di forza, la prima alla fine delle serie di mezzo squat jump e la seconda una volta finite le ripetizioni dello step jump, mentre in quello di velocità i dati sono stati acquisiti alla fine della seconda e della terza prova, ovvero dopo aver corso per la seconda volta 120 metri e dopo i 150 metri.

Il protocollo di gara, invece, differisce dall'allenamento in quanto non sono state fatte due acquisizioni nella parte centrale, ma una solamente, dal momento che i soggetti hanno svolto una sola gara e, nello specifico, hanno corso 200 metri.

Una volta fatte le acquisizioni specifiche, il protocollo termina con un'ulteriore parte che, invece, è comune ad entrambi, che presuppone tre acquisizioni fatte durante il periodo di recupero, e in particolare, la prima dopo 5 minuti dalla fine (degli esercizi specifici di allenamento o della gara), la seconda dopo 10 minuti e la terza dopo 15 minuti.

In tutte e tre le situazioni analizzate le acquisizioni di fine allenamento, ovvero quelle di resting, sono state fatte subito dopo la fine degli esercizi/gara e quindi prima della parte di defaticamento.

5.2 Annotazione picchi R

Una volta acquisiti i dati, questi sono stati sottoposti ad analisi tramite l'elaboratore Matlab che ha permesso l'individuazione dei picchi R utilizzando la funzione *pan_tompkins*.

Dal momento che le acquisizioni fatte sono state salvate in formato EDF, per caricarle è stata utilizzata la funzione *edfread*. Per ogni soggetto sono stati ottenuti tre grafici rispettivamente contenenti i tracciati ecg acquisiti durante gli allenamenti di forza, di velocità e durante la gara. I tracciati sono stati plottati in funzione del tempo.

A seguito di ciò, tutti i segnali sono stati sottoposti ad un'operazione di filtraggio in cui, in cascata, sono stati applicati due filtri: prima un filtro passa-alto con frequenza di taglio $f_{t1}=0.5\text{ Hz}$ che è servito ad eliminare la linea di base, e successivamente un filtro passa-basso con $f_{t2}=45\text{ Hz}$ che ha permesso l'eliminazione del rumore di linea.

Successivamente ai diversi tracciati è stata applicata la funzione *pan_tompkins* che ha permesso l'individuazione dei picchi R. L'algoritmo *pan-tompkins* applica una serie di filtri per evidenziare il contenuto in frequenza della rapida depolarizzazione cardiaca (complesso QRS) e rimuove il rumore di fondo. Quindi, il segnale viene elaborato per amplificare il contributo QRS, il che rende più semplice l'identificazione di quest'ultimo. Infine, applica soglie adattative per rilevare i picchi del segnale filtrato.

Una volta individuati i picchi, è stato fatto l'aggiustamento sul massimo che ha permesso che il picco coincidesse con il massimo dell'ecg. È stata utilizzata la funzione *max* che considera una frazione di ecg alla volta. In particolare questa funzione considera un intorno di ampiezza delta pari a 2 campioni

dei picchi individuati tramite l'applicazione dell'algoritmo *pan_tompkins*. La funzione *max* dà in uscita due valori, che sono rispettivamente ampiezza e posizione.

A questo punto, per conoscere la posizione del picco R corretto, alla posizione del picco R sbagliato è stato sottratto il delta, è stato poi aggiunto il valore della posizione che si è ottenuto in uscita dalla funzione *max* e, infine, sottratto 1. Con i risultati ottenuti da questa operazione sono stati prodotti dei grafici dei diversi tracciati ecg in cui è stata posta particolare attenzione ai picchi R, tramite la loro messa in evidenza.

Infine, a seguito dell'operazione di aggiustamento sul massimo sono stati ottenuti dei valori, che appunto, indicavano la posizione corretta del picco R. Con questi valori è stato creato un vettore, che successivamente è stato salvato tramite la funzione *save*.

CAPITOLO 6.

RISULTATI

6.1 Acquisizione dati

Nella tabella presente appena sotto vengono riportate tutte le informazioni che sono state ottenute a seguito della compilazione del questionario atleta per tutti e dieci i soggetti sottoposti ad analisi.

Tabella 1. Questionario atleta compilato dai corridori prima di svolgere l'allenamento.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Età (anni)	22	16	16	15	17	16	20	21	18	19
Sesso	F	F	F	F	F	F	F	M	F	F
Professione										
<i>Studente</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Peso (kg)	54	53	58	58	60	54	60	60	62	70
Altezza (cm)	156	165	164	172	163	160	168	185	174	180
Fumatore	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Uso di bevande alcoliche										
<i>Cronicamente</i>										
<i>Occasionalmente</i>		X	X			X	X	X		
<i>Astemio</i>	X			X	X				X	X
Uso di farmaci	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Malattie famigliari respiratorie	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
Malattie famigliari cardiache	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
Nausea, svenimento o dolori al petto durante o dopo l'allenamento	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI
Condizione fisica attuale										
<i>Infortunato</i>										
<i>Recupero da infortunio</i>										
<i>Affaticato</i>										
<i>Normale</i>	X	X		X	X	X		X	X	X
<i>Eccellente</i>			X				X			
Infortuni passati	SI*	NO	SI* ¹	NO	NO	SI* ²	SI* ³	NO	SI* ⁴	NO
Sport principale praticato (numero anni)										
<i>Atletica leggera (Velocista)</i>	11	6	1	5	1	7	7	6	8	7

Frequenza allenamento <i>(n volte a settimana)</i>	5/6	4	4	4/5	3/4	4	6	4	6	5
--	-----	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---

Continuo tabella 1

Durata media allenamento <i>(ore)</i>	2	2	2	2	1/2	2	3	2	2/3	2/3
Motivo allenamento										
<i>Migliorare le prestazioni fisiche per poter competere</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Ottenere buone prestazioni senza fare competizioni</i>										
<i>Attività affiancata ad un altro sport per migliorare le prestazioni fisiche</i>										
<i>Fitness personale</i>							X			
<i>Bassa attività fisica sotto il livello raccomandato</i>										
Intento a competere	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Livello competizione										
<i>Squadra regionale o nazionale, olimpionica, professionale</i>							X		X	
<i>Competizioni ufficiali</i>	X	X	X	X	X	X		X		X
<i>Competizioni amatoriali ed eventi aperti</i>										
Sport praticati in passato <i>(numero anni (età))</i>										
<i>Nuoto</i>	5			2		1			2 mesi	2
<i>Pallavolo</i>	1			1				5		
<i>Danza classica</i>	2	4				2				
<i>Ginnastica artistica</i>		2/3			9		7		2	2
<i>Danza moderna</i>			6							
<i>Trampolino elastico</i>					3					
<i>Pattinaggio artistico</i>										5
Frequenza allenamento	2/3	2	3	2/3	5/6 3/4	2	4	3	2/3	2

<i>(n volte a settimana)</i>										
Durata media allenamento (ore)	1	1	1	1	4 2/3	1	2	1	1/2	1

Continuo tabella 1

Motivo allenamento										
<i>Migliorare le prestazioni fisiche per poter competere</i>					X	X	X	X		
<i>Ottenere buone prestazioni senza fare competizioni</i>				X						
<i>Attività affiancata ad un altro sport per migliorare le prestazioni fisiche</i>										
<i>Fitness personale</i>	X	X	X				X		X	X
<i>Bassa attività fisica sotto il livello raccomandato</i>										
Intento a competere	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Livello competizione										
<i>Squadra regionale o nazionale, olimpionica, professionale</i>							X			
<i>Competizioni ufficiali</i>					X					
<i>Competizioni amatoriali ed eventi aperti</i>	X					X		X		X
Temperature allenamento preferite										
<i>Basse</i>		X		X		X				
<i>Alte</i>	X		X		X		X	X	X	X
Orario allenamento preferito										
<i>Mattina</i>	X									
<i>Pomeriggio</i>		X	X			X	X	X	X	
<i>Sera</i>				X	X					X
Tipo di allenamento preferito										
<i>Breve e intenso</i>	X	X	X	X	X	X			X	
<i>Lungo e resistivo</i>							X	X		X
Alimentazione										
<i>Dieta</i>	X				X				X	
<i>Alimentazione attenta</i>			X	X		X	X			X

										(vegetariana)
<i>Nessuna dieta</i>		X						X		
Uso di integratori	SI(*)	NO	NO	NO	NO	SI(*)	NO	NO	NO	SI(*)

* *Tendinite ai tendini di Achille, stiramento del bicipite femorale destro*

(*) *Integratori di magnesio e potassio*

*¹ *Stiramento del soleo*

*² *Contrattura al flessore destro, periostite*

*³ *Stiramento del bicipite femorale sinistro*

*⁴ *Stiramento, edema osseo alla gamba sinistra*

Tabella dati allenamento per ogni singolo soggetto

A questo punto, per ogni soggetto sottoposto ad analisi, viene riportata una tabella in cui vengono descritte nel dettaglio le tre diverse situazioni di acquisizioni ECG facendo chiarezza su quelle che sono le abitudini di ognuno. Oltre alla tabella, poi, di seguito sono allegate le immagini delle acquisizioni dei diversi soggetti nei due allenamenti e in gara.

S1

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffein a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	SI	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	SI	NO	SI	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	SI	NO	SI	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.1) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.2) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.3) quelle fatte in gara.

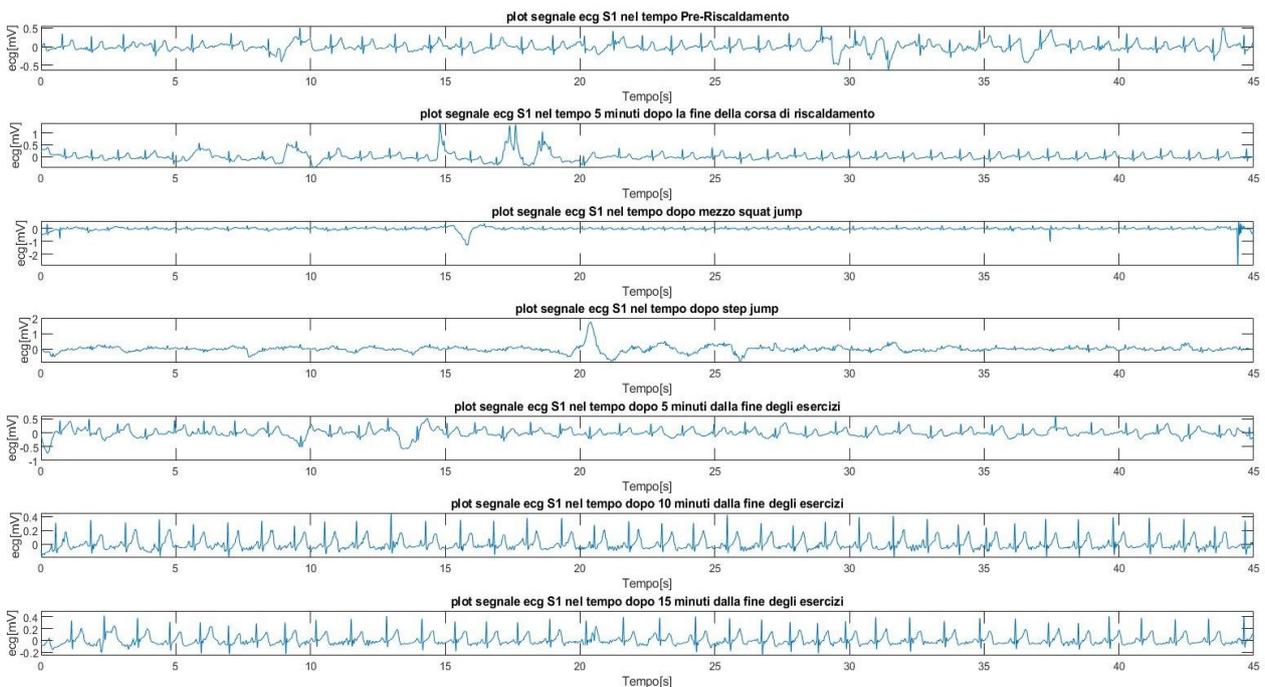


Fig.1 – Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S1.

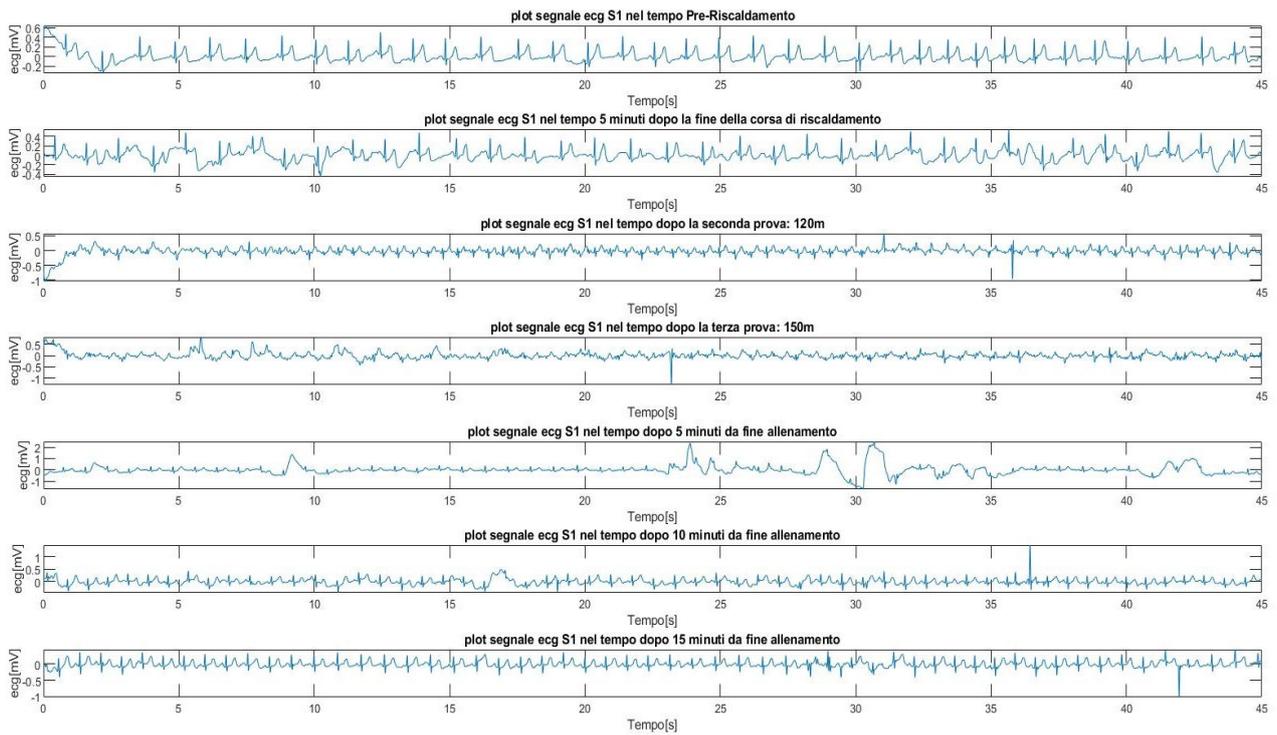


Fig.2 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S1.

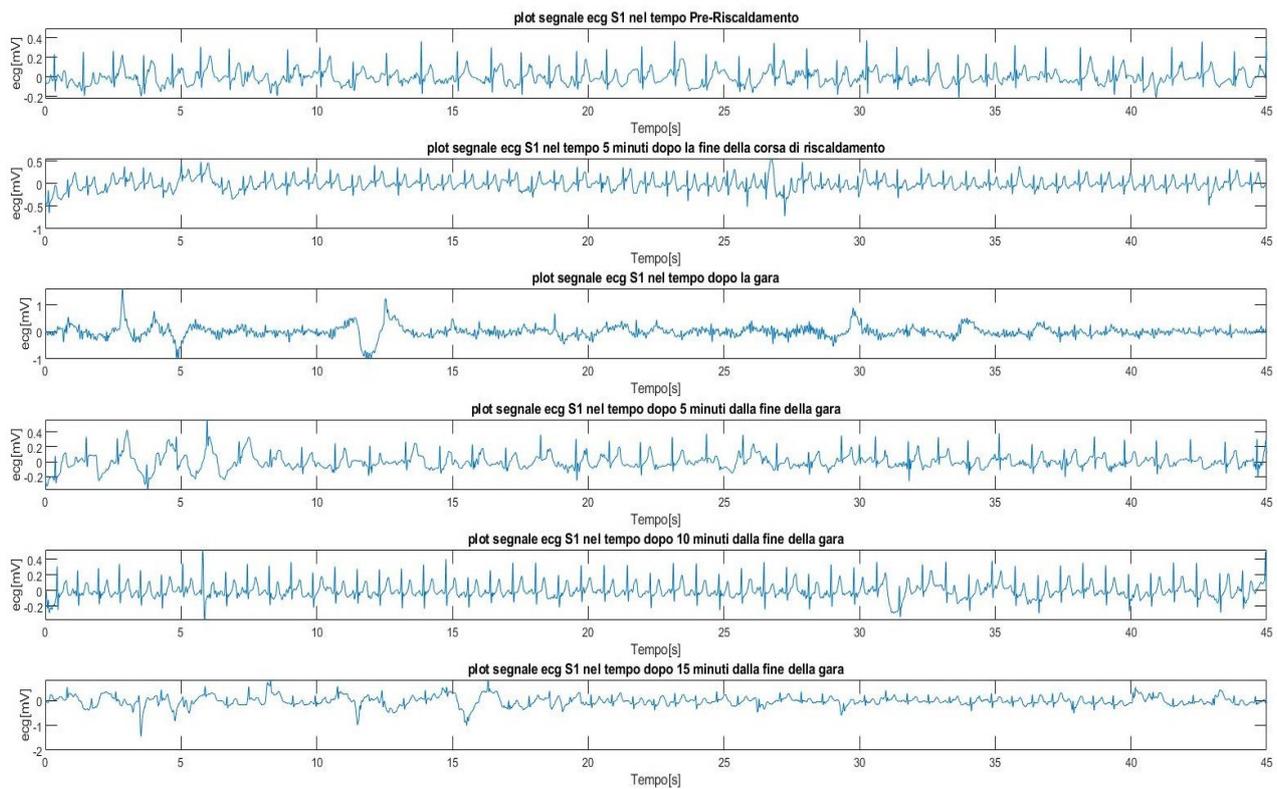


Fig.3 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S1.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	SI (birra)	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	NO	NO	NO	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	NO	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.4) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.5) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.6) quelle fatte in gara.

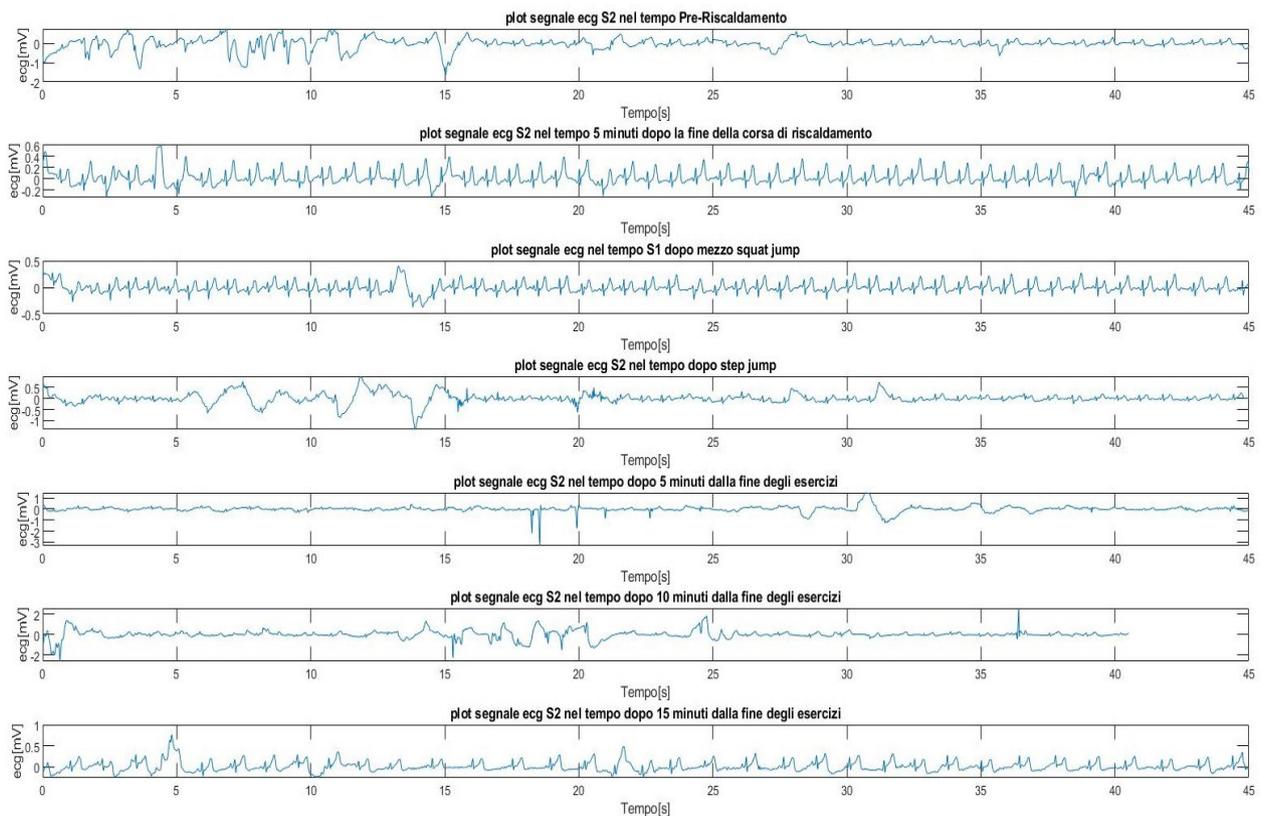


Fig.4 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S2.

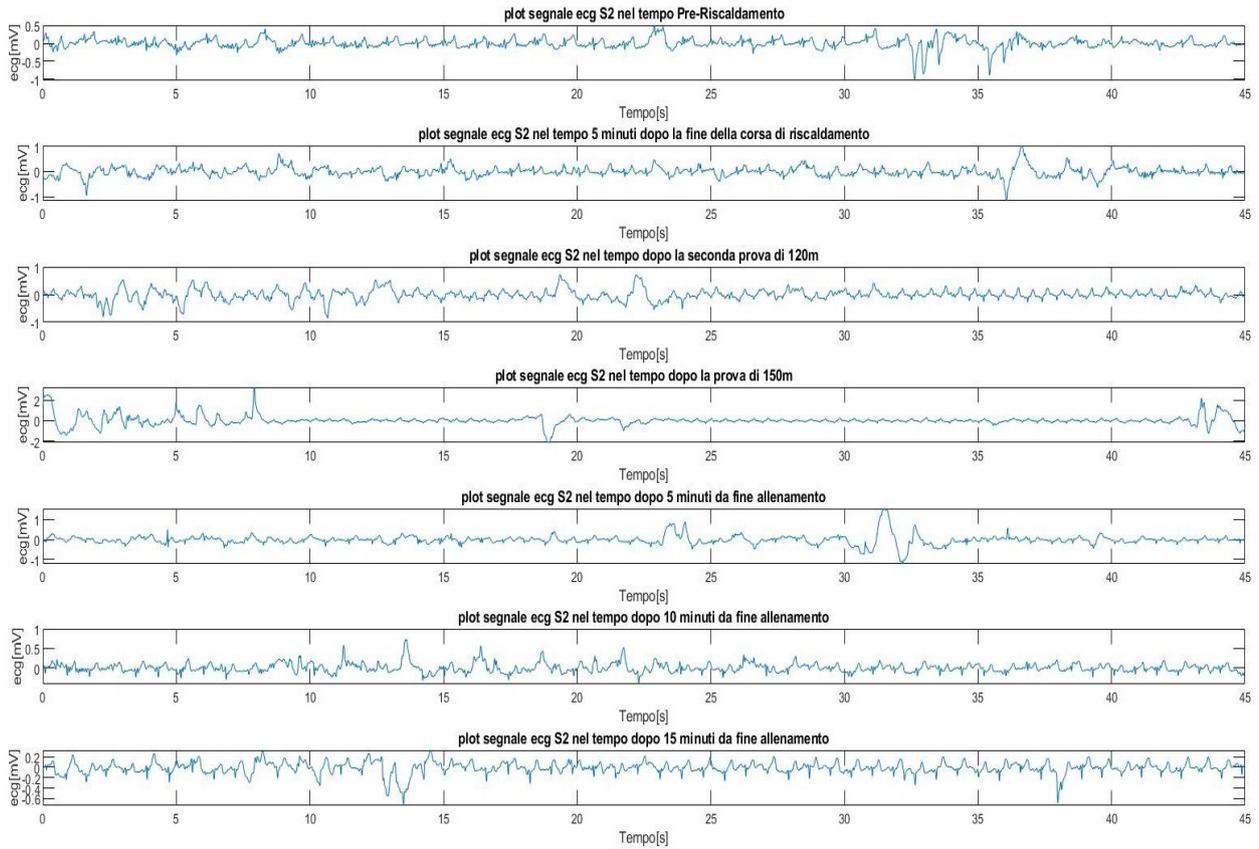


Fig.5 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S2.

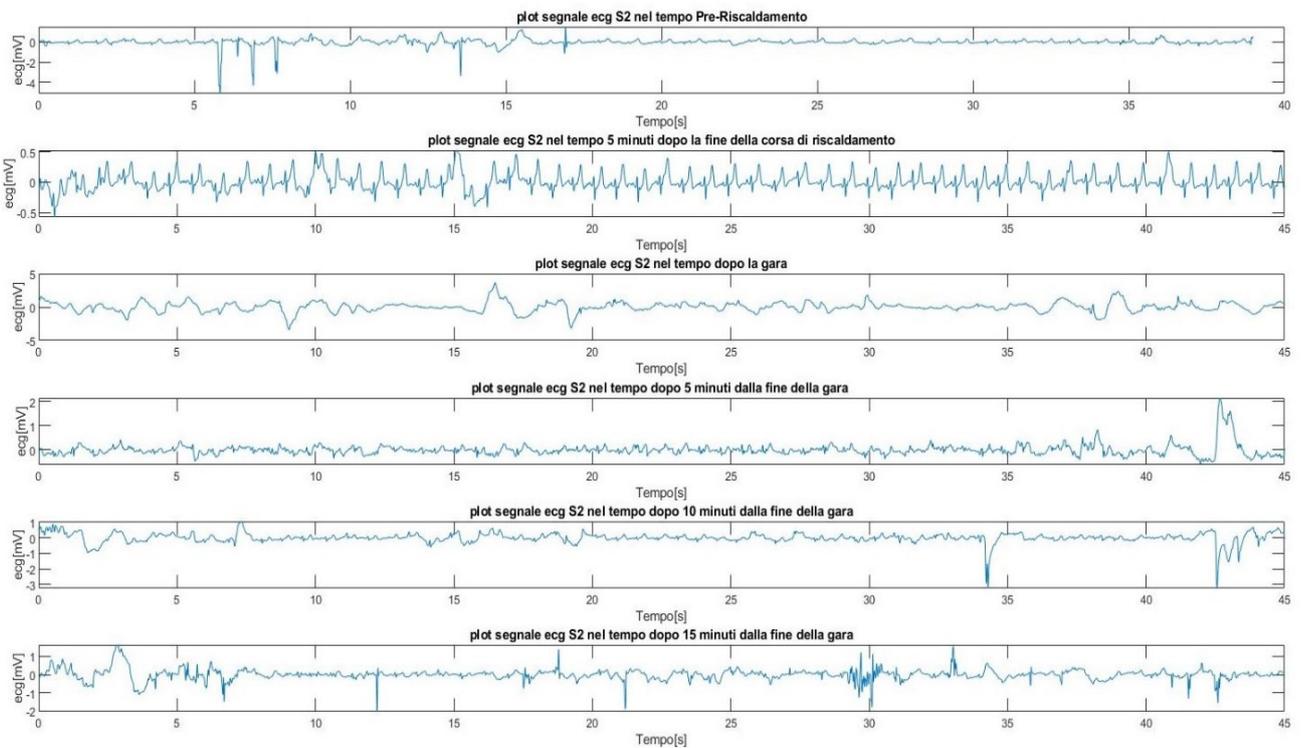


Fig.6 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S2.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	NO	NO	NO	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	NO	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.7) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.8) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.9) quelle fatte in gara.

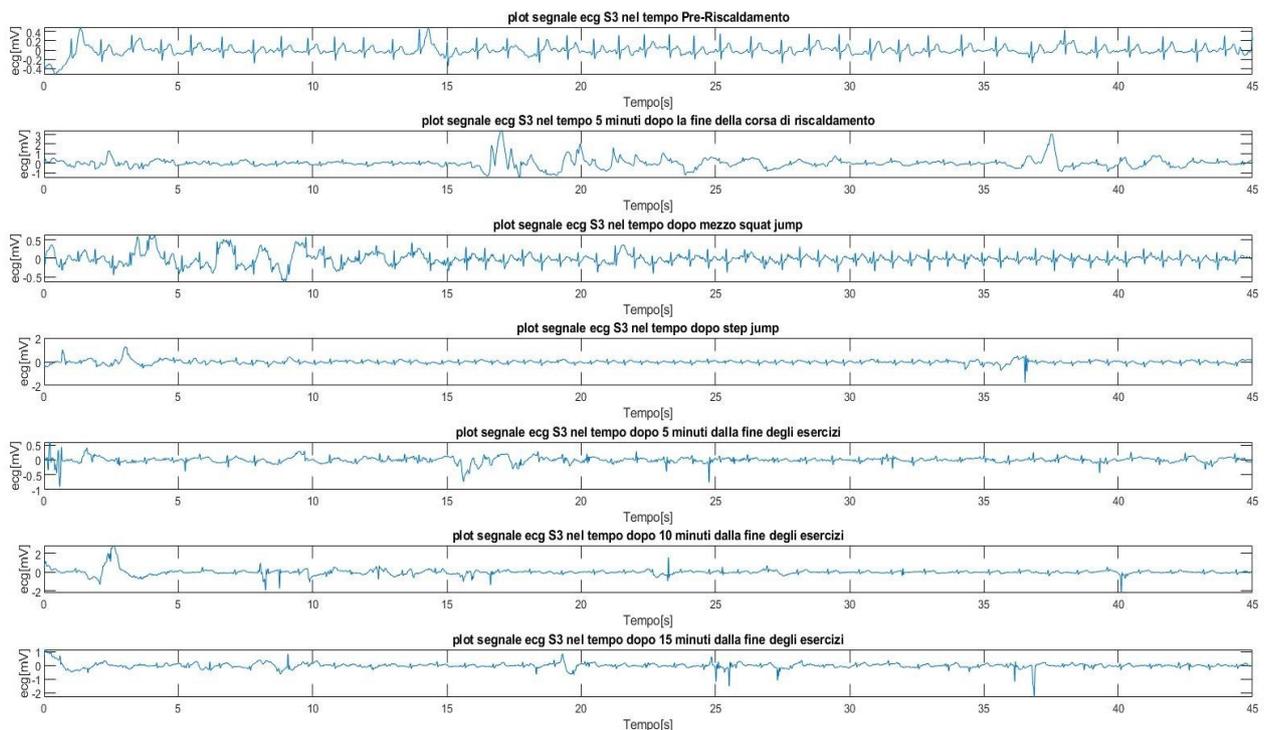


Fig.7 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S3.

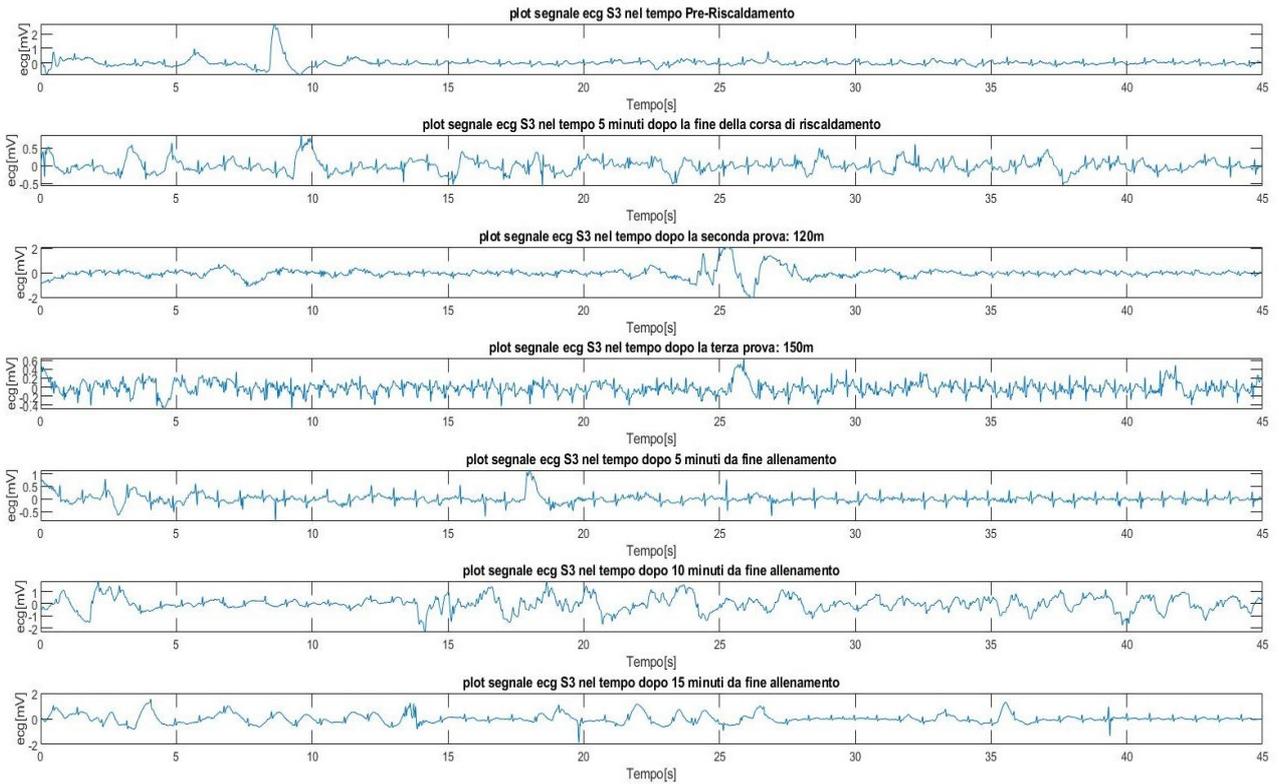


Fig.8 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S3.

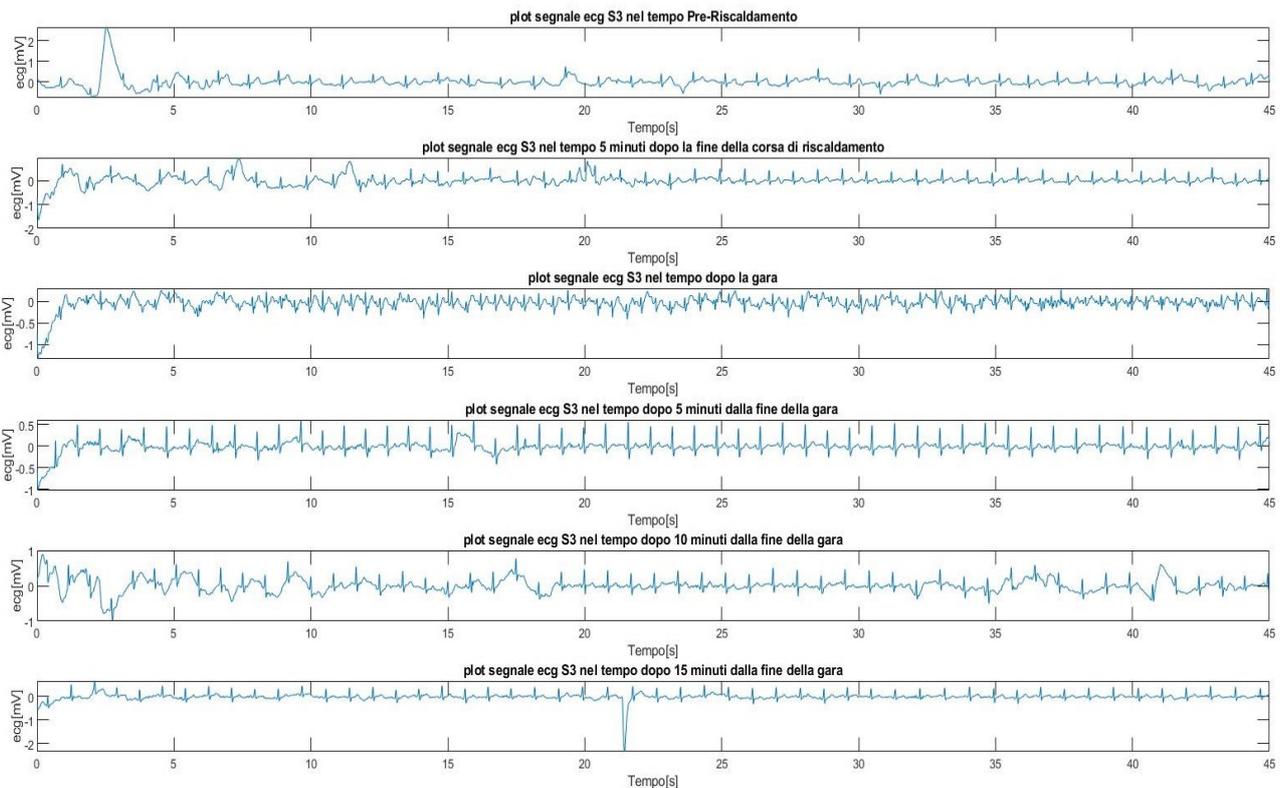


Fig.9 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S3.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	NO	NO	NO	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	NO	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.10) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.11) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.12) quelle fatte in gara.

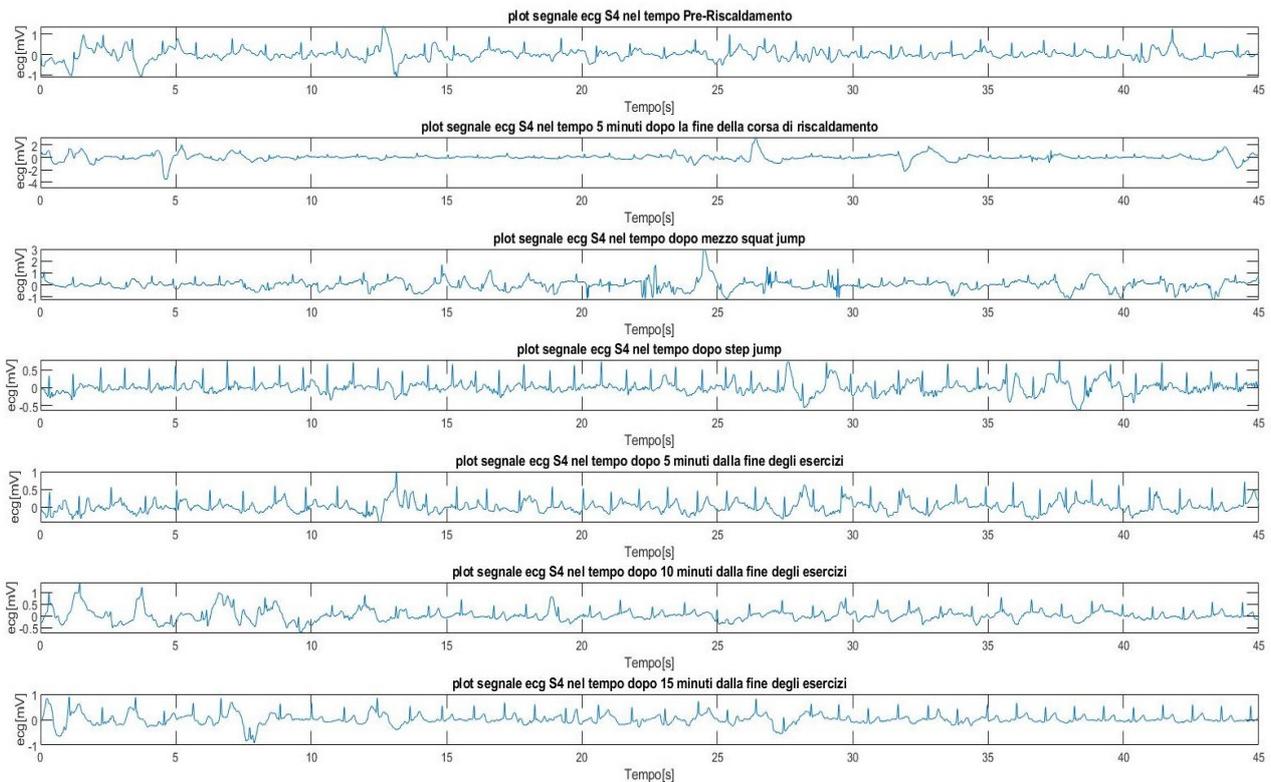


Fig.10 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S4.

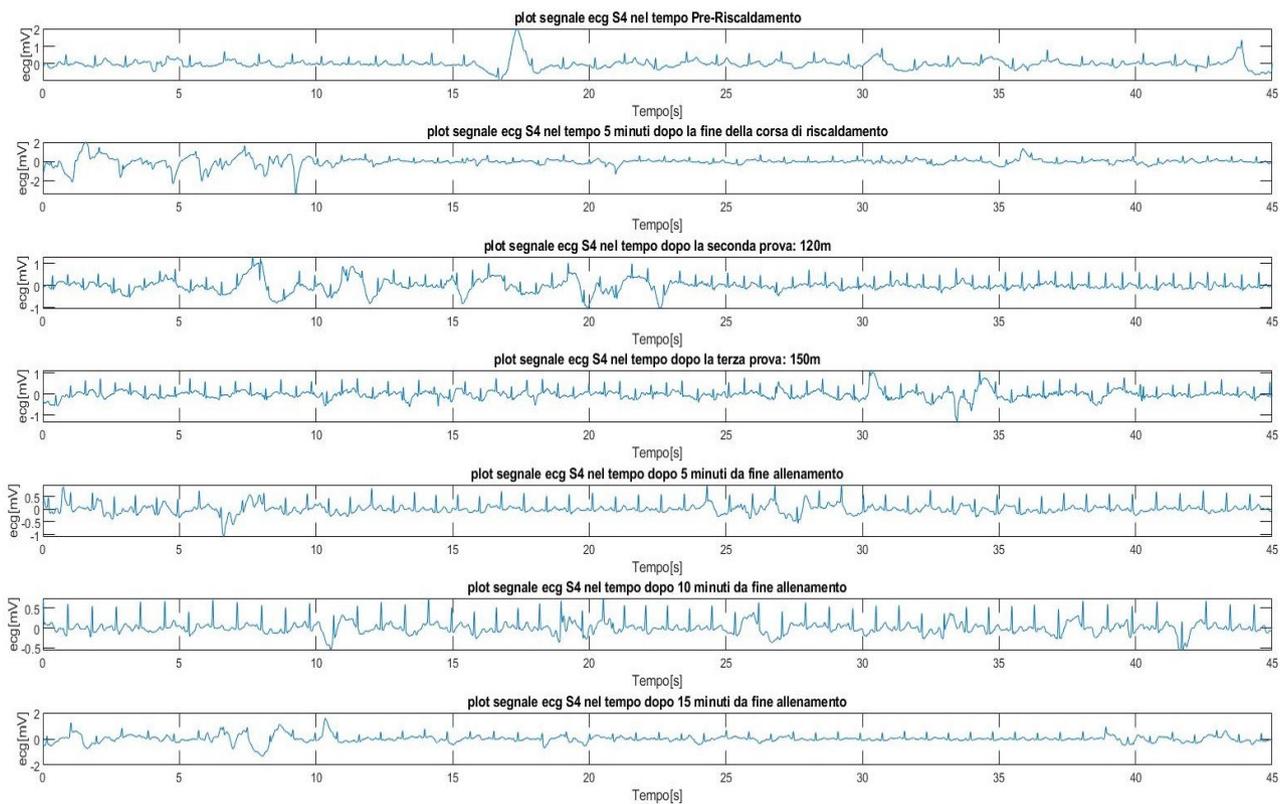


Fig.11 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S4.

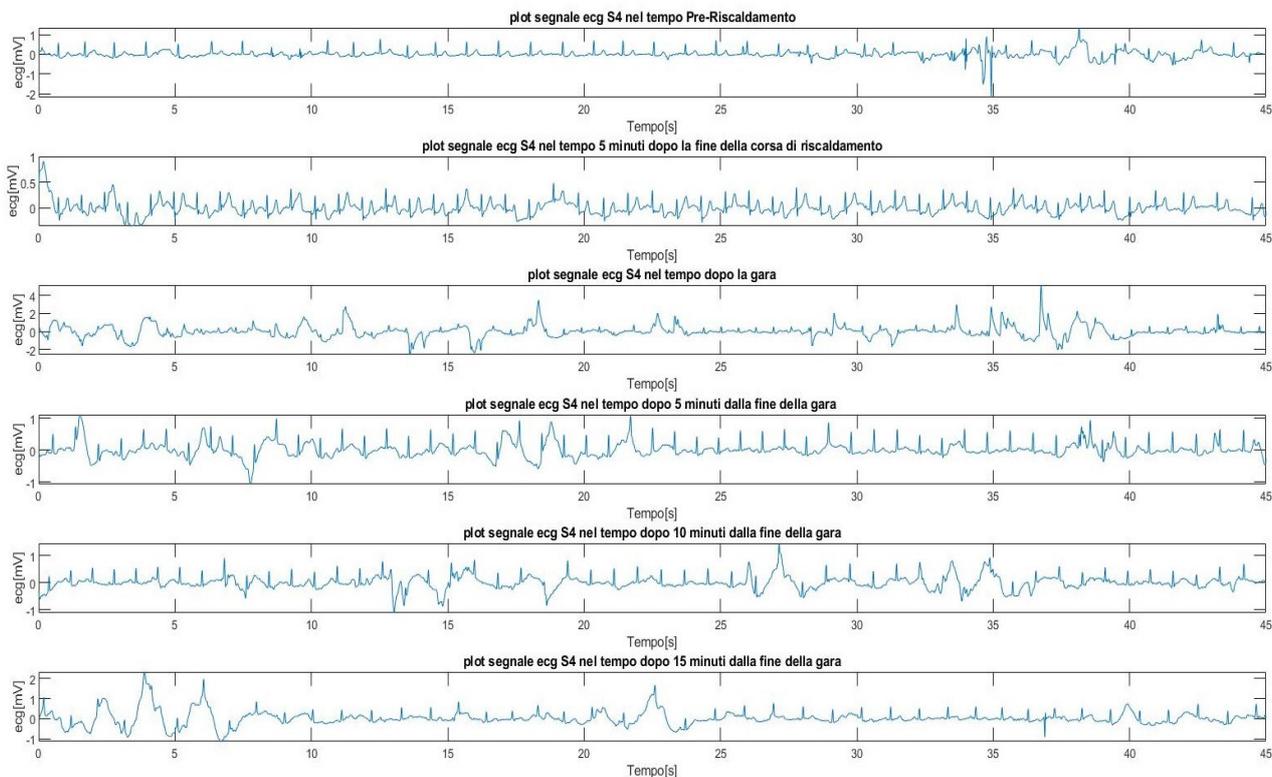


Fig.12 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S4.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	NO	NO	NO	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	NO	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.13) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.14) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.15) quelle fatte in gara.

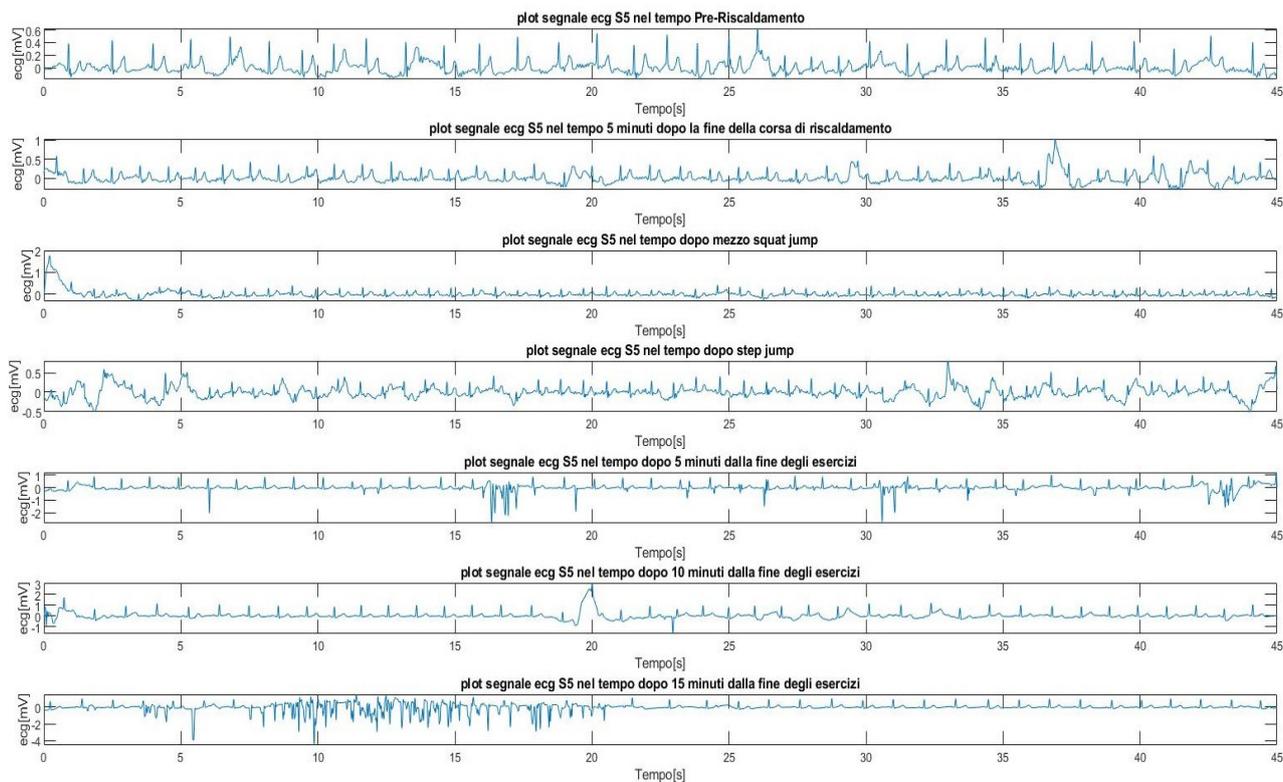


Fig.13 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S5.

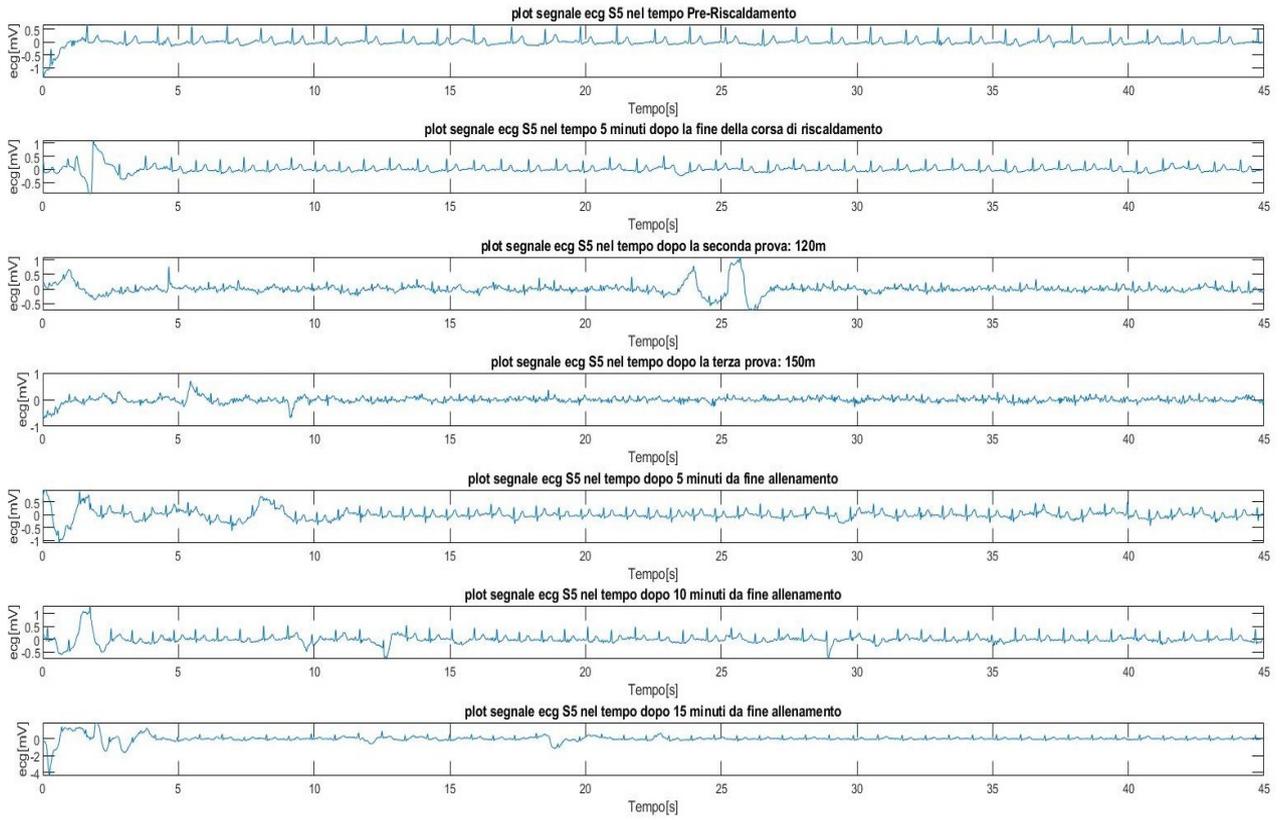


Fig.14 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S5.

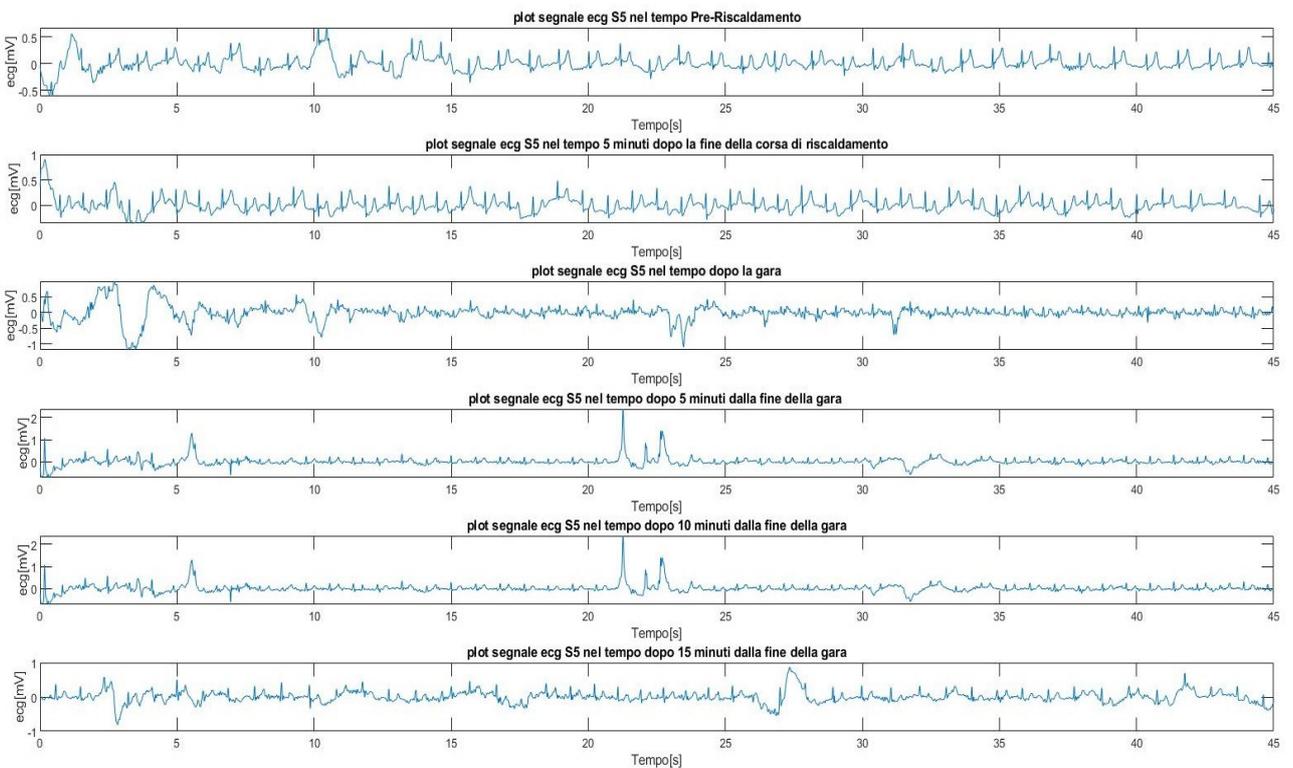


Fig.15 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S5.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	NO	NO	SI	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	NO	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.16) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.17) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.18) quelle fatte in gara.

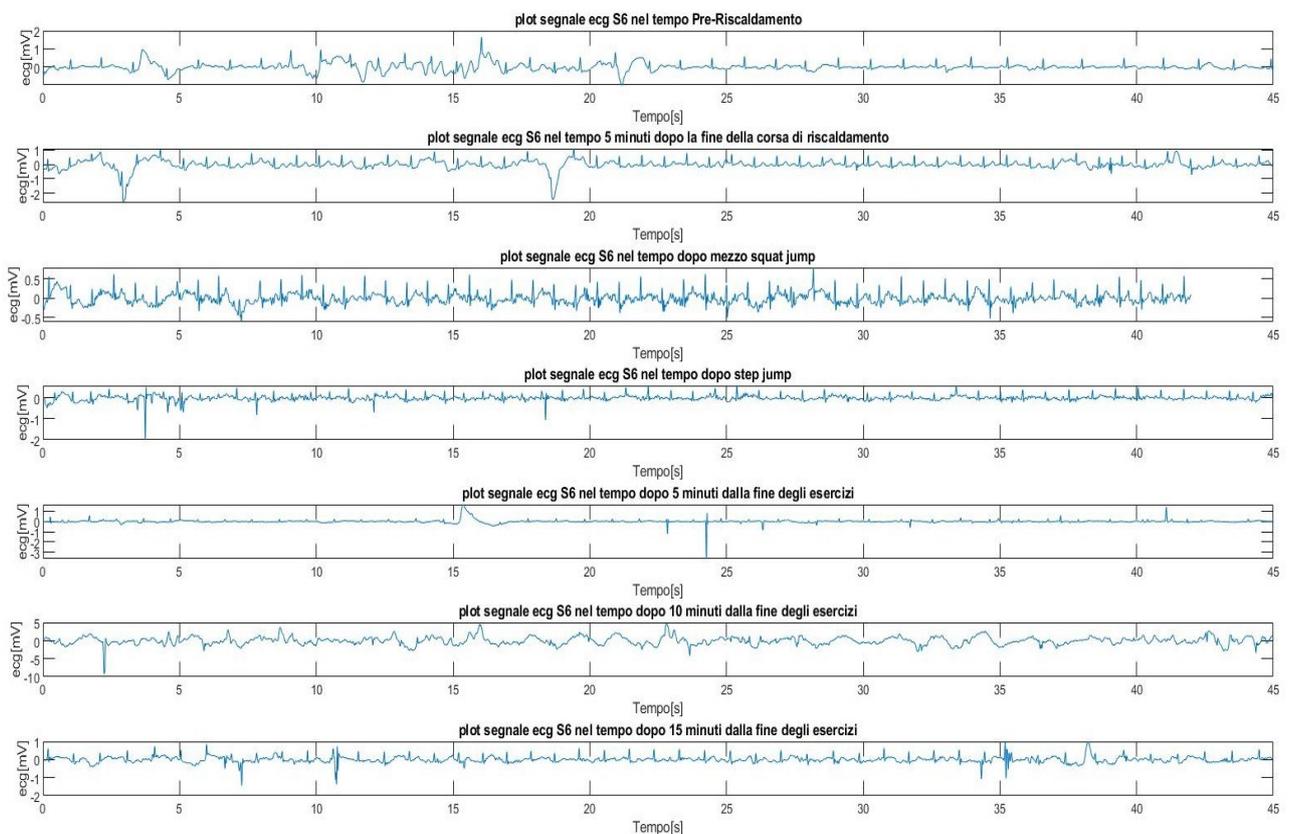


Fig.16 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S6.

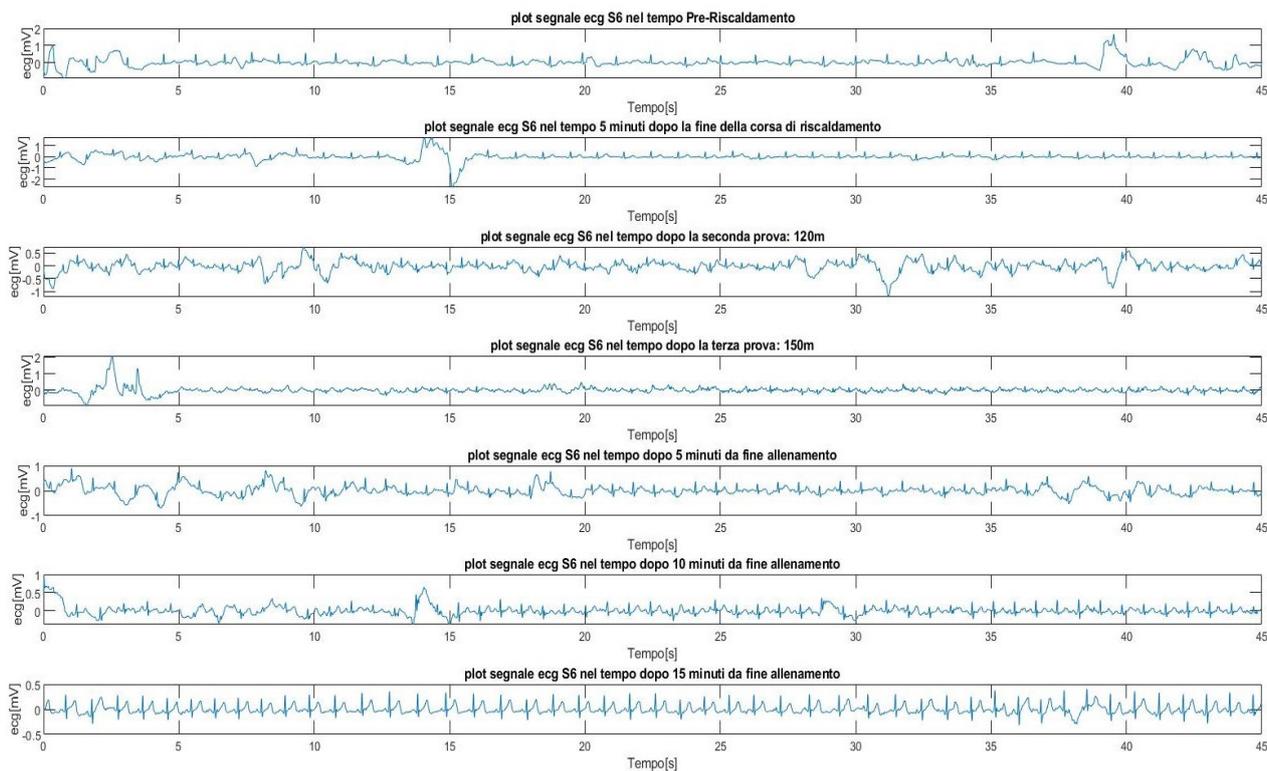


Fig.17 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S6.

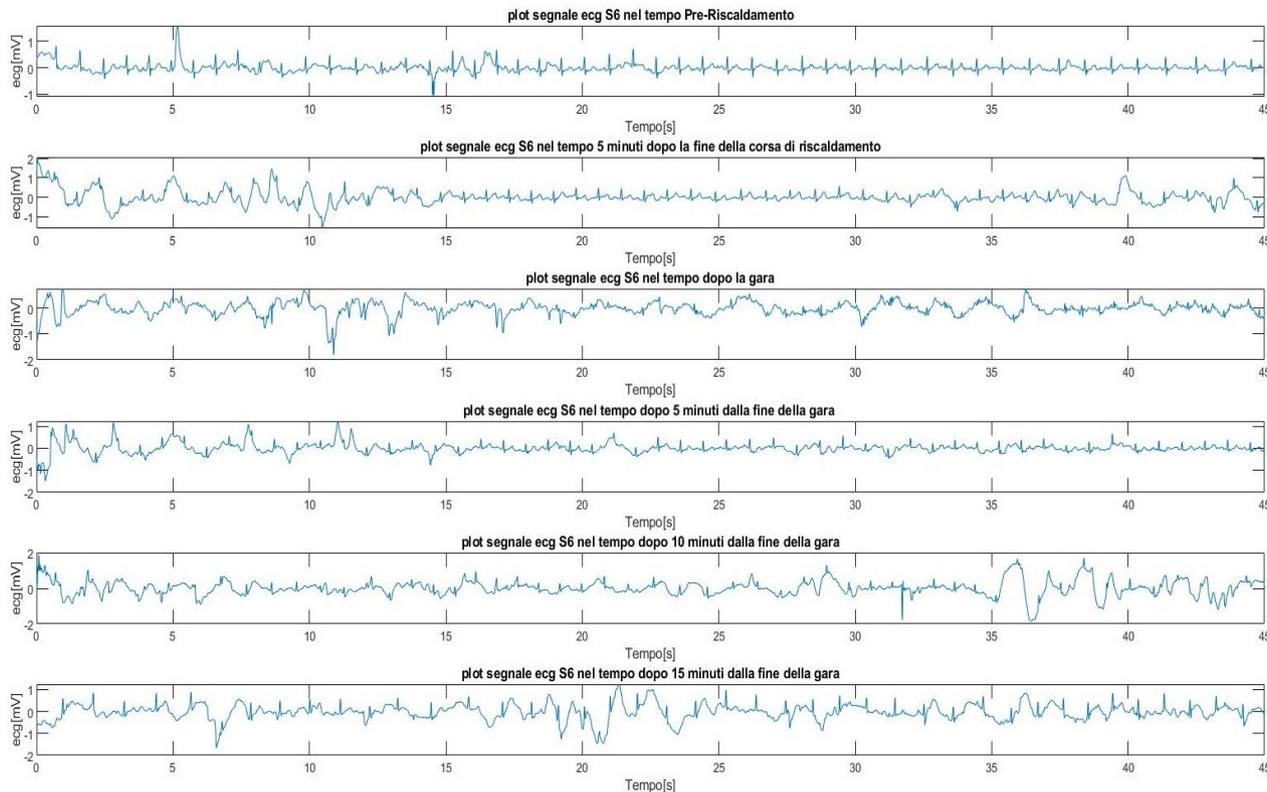


Fig.18 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S6.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	NO	NO	NO	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	NO	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.19) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.20) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.21) quelle fatte in gara.

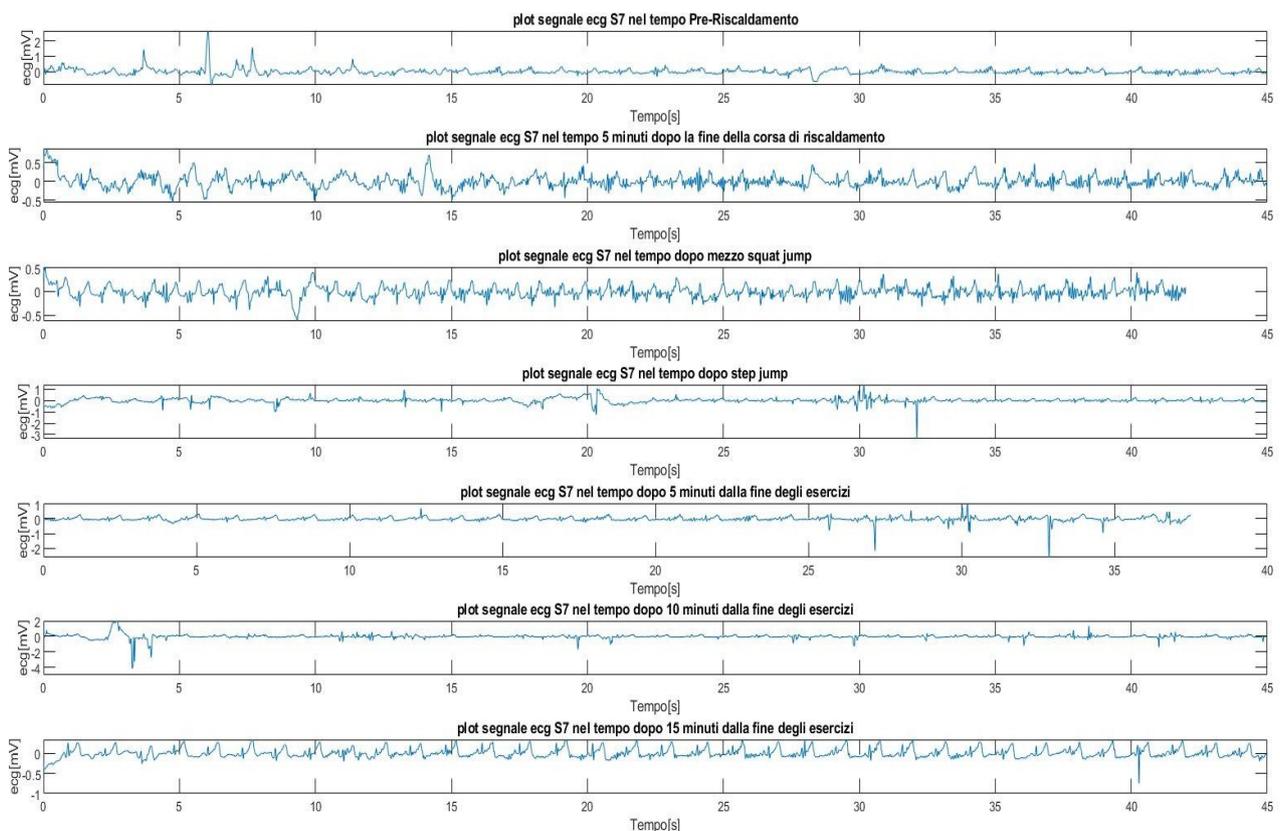


Fig.19 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S7.

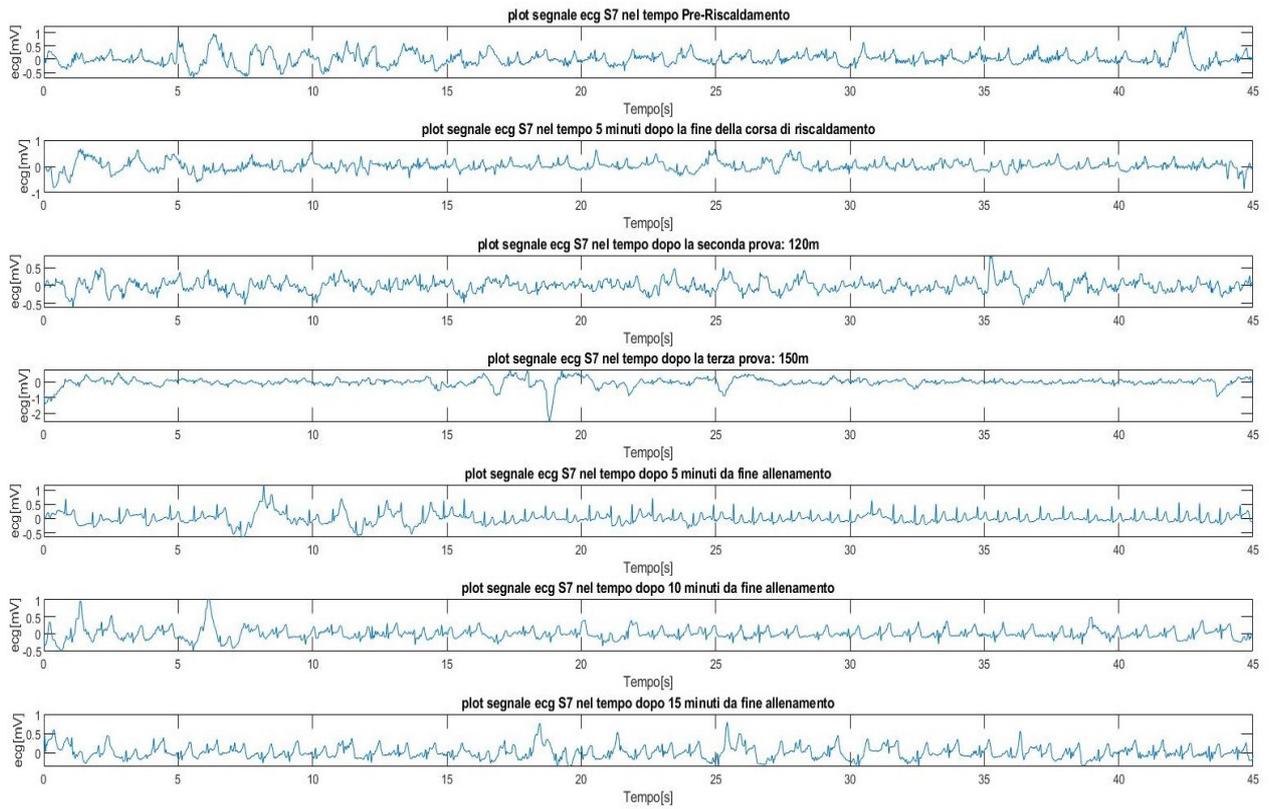


Fig.20 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S7.

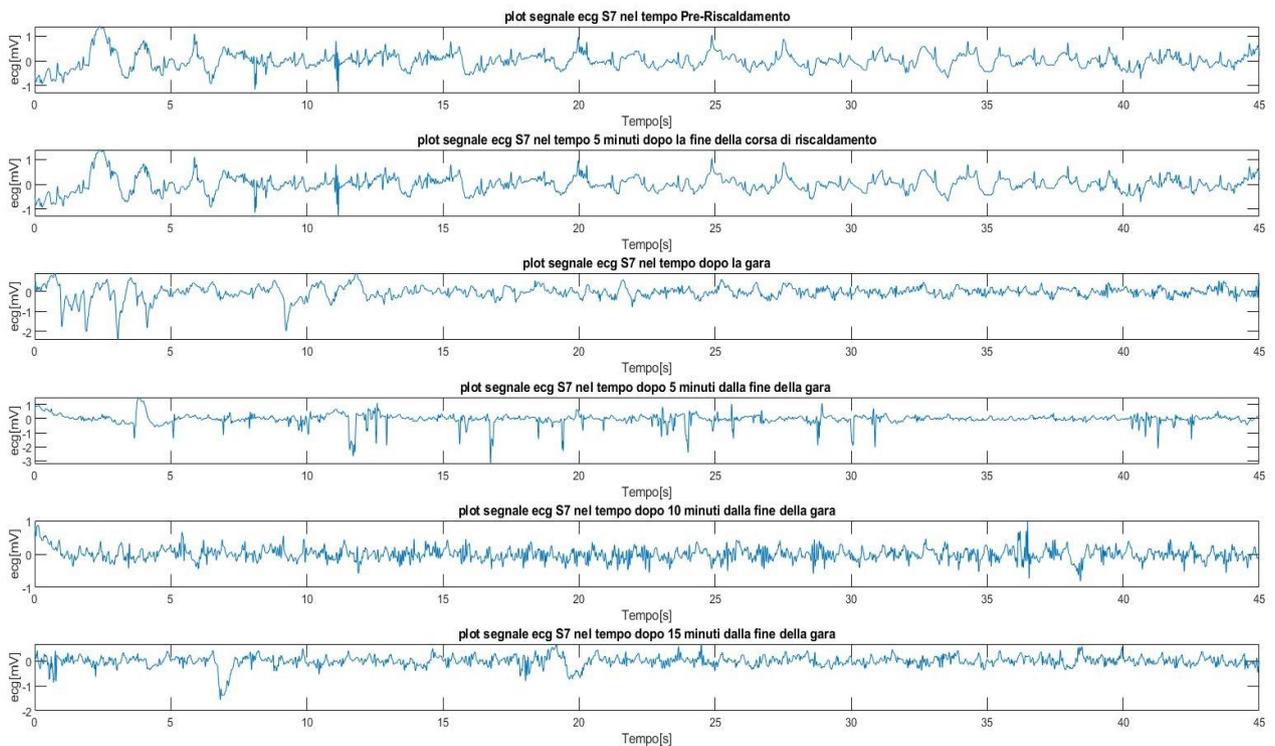


Fig.21 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S7.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	SI	NO	NO	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	SI	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.22) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.23) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.24) quelle fatte in gara.

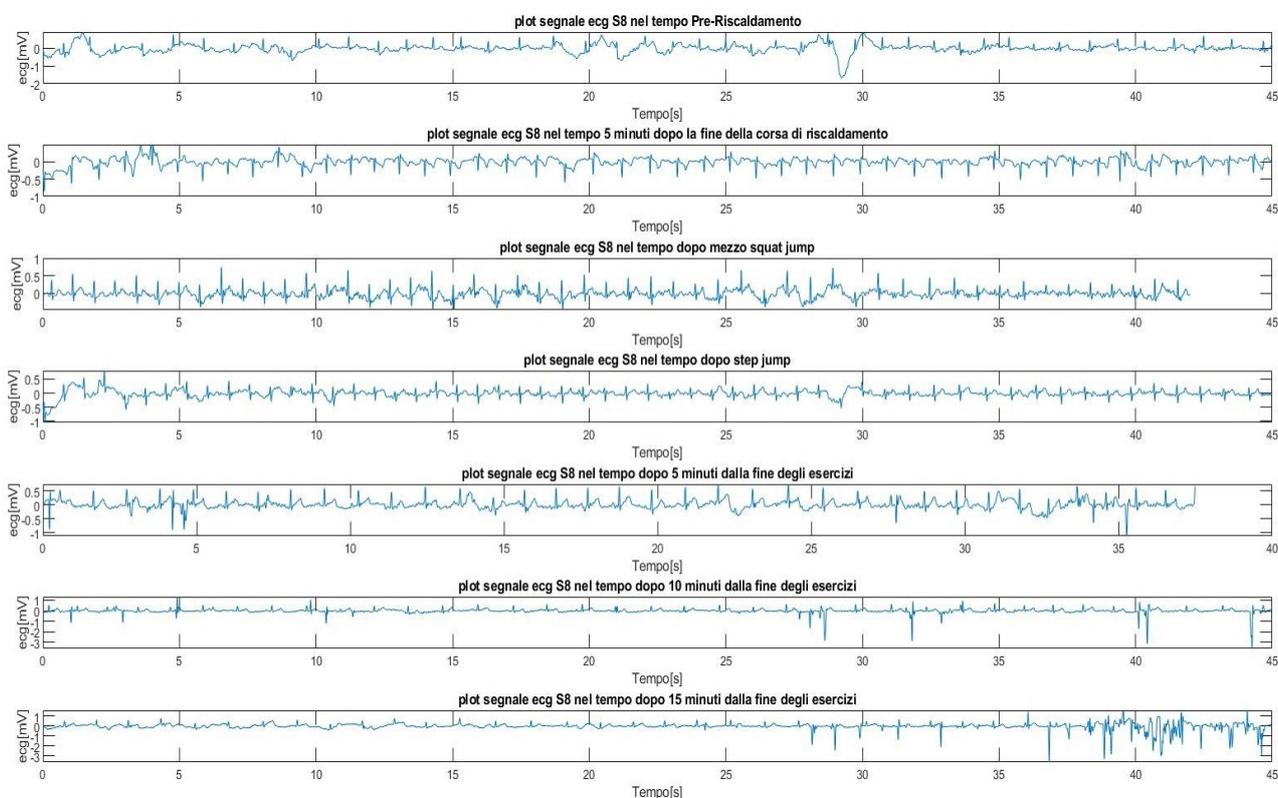


Fig.22 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S8.

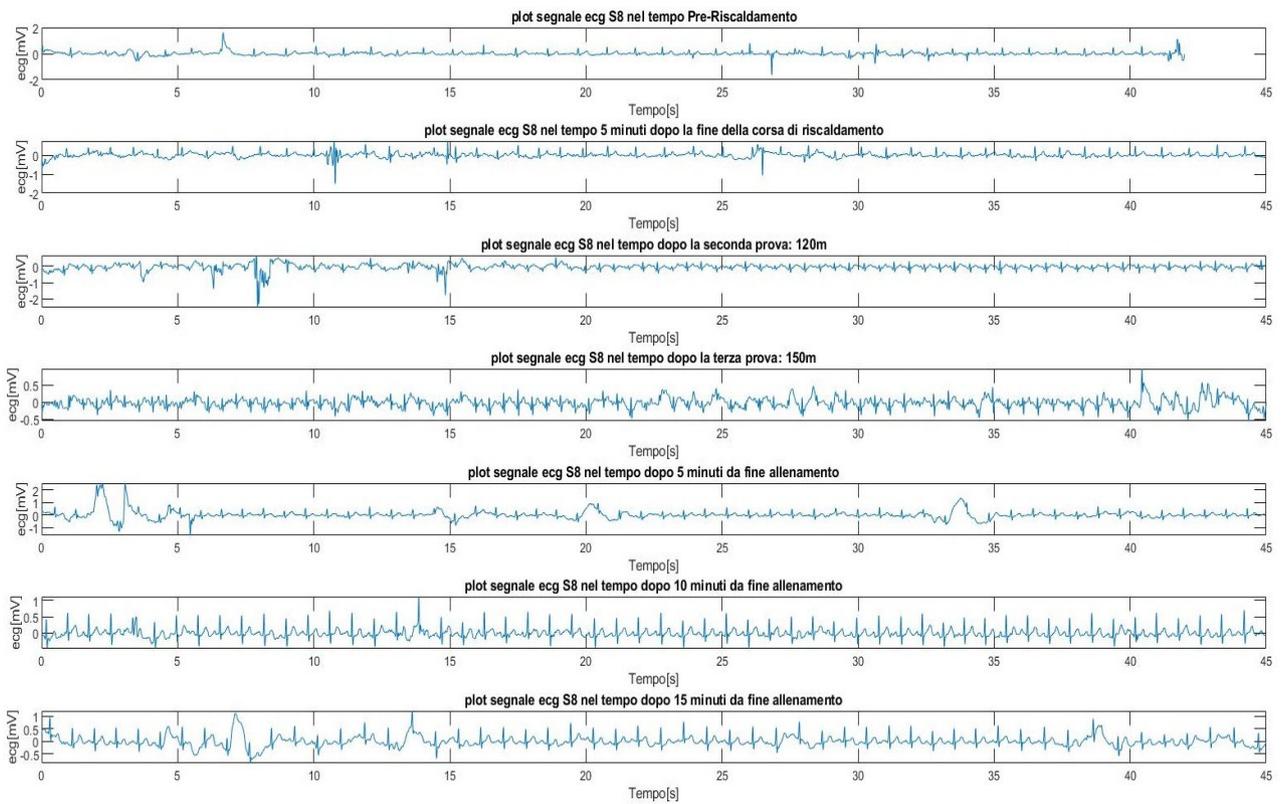


Fig.23 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S8.

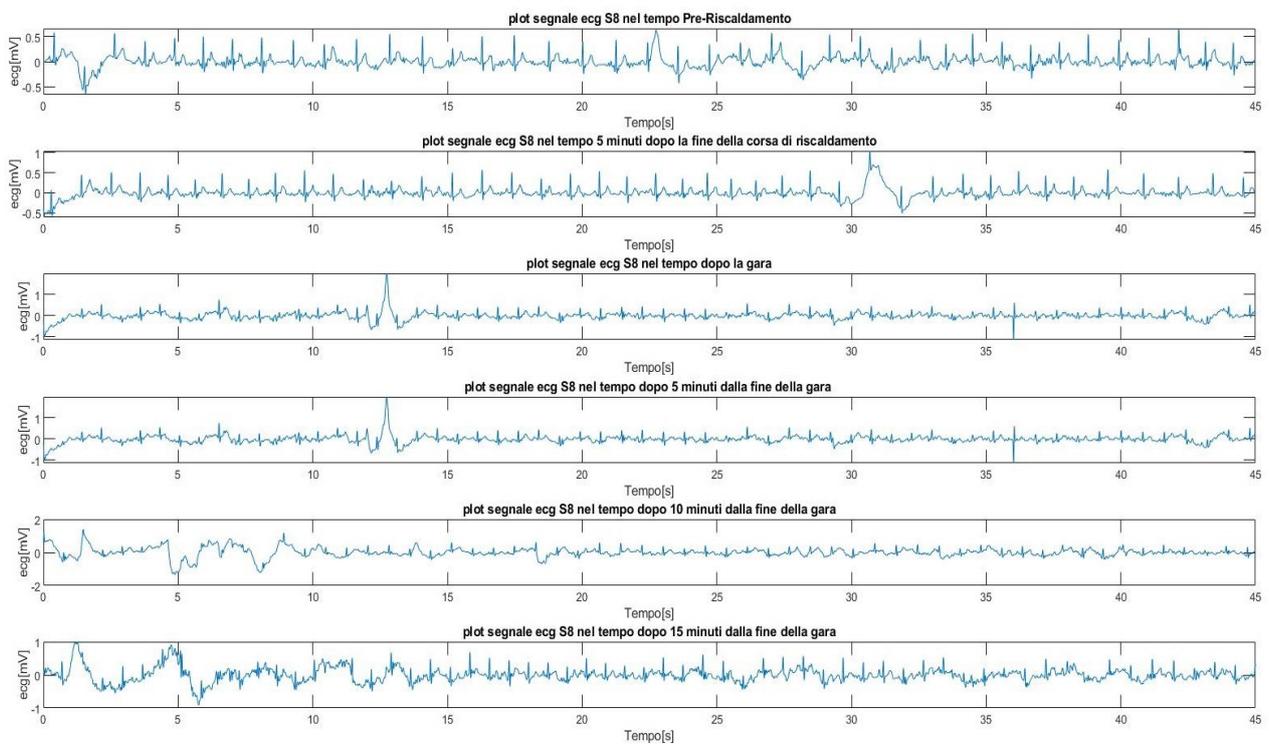


Fig.24 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S8.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	SI	NO	NO	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	SI	NO	NO	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	SI	NO	NO	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.25) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.26) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.27) quelle fatte in gara.

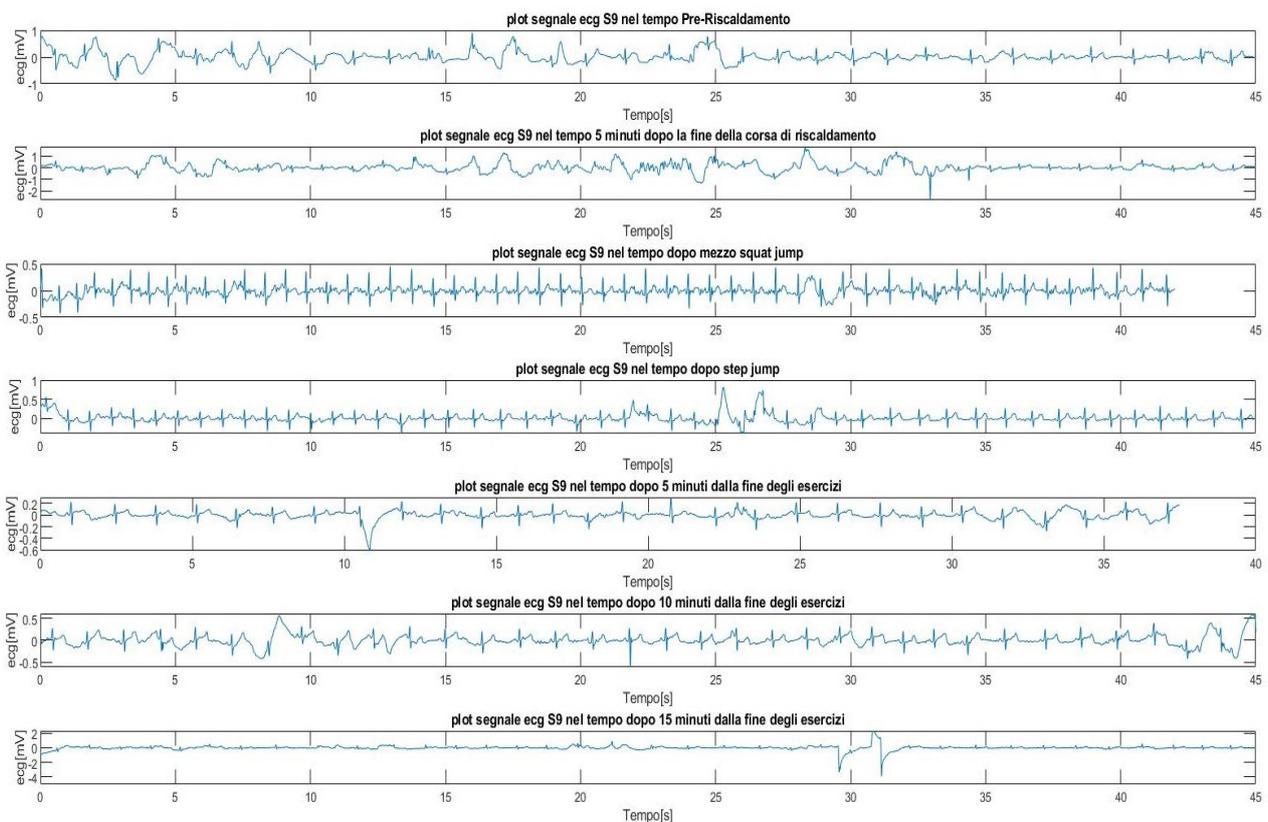


Fig.25 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S9.

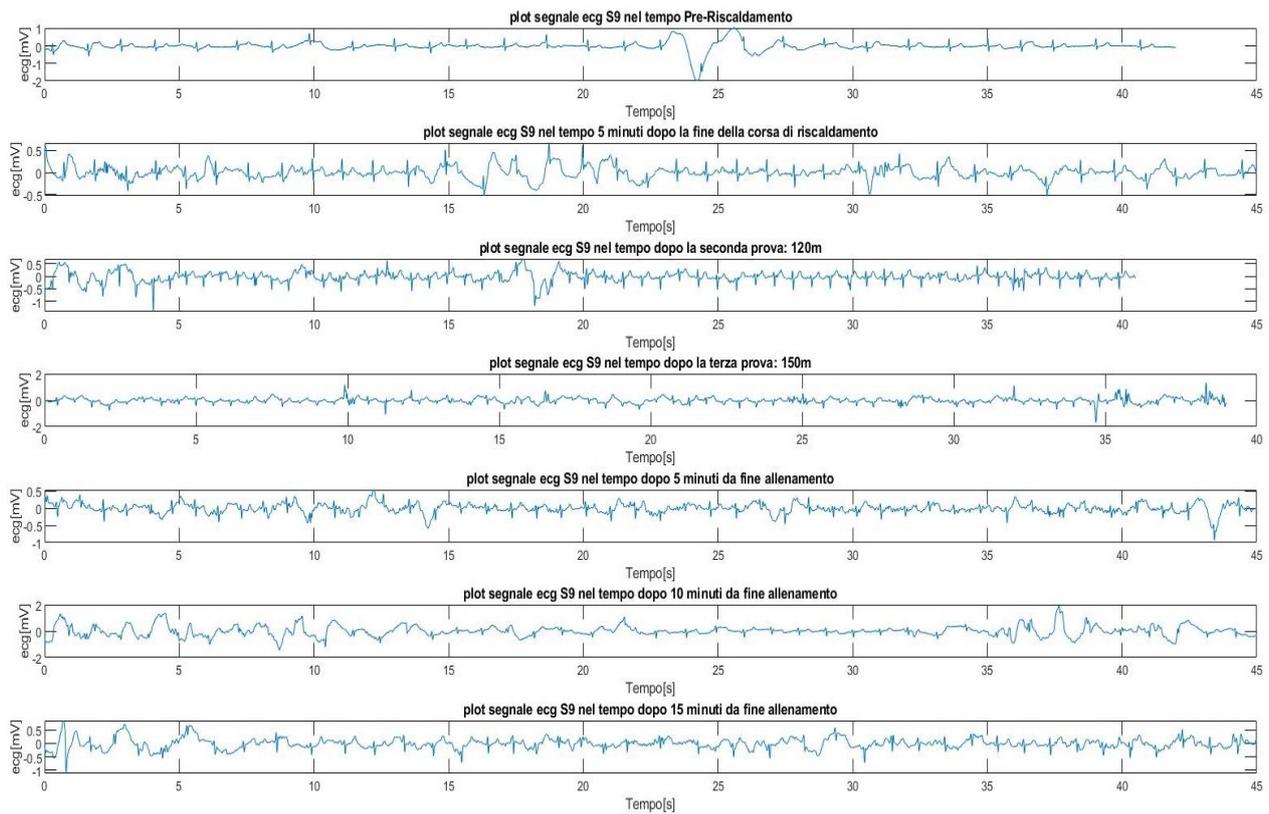


Fig.26 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S9.

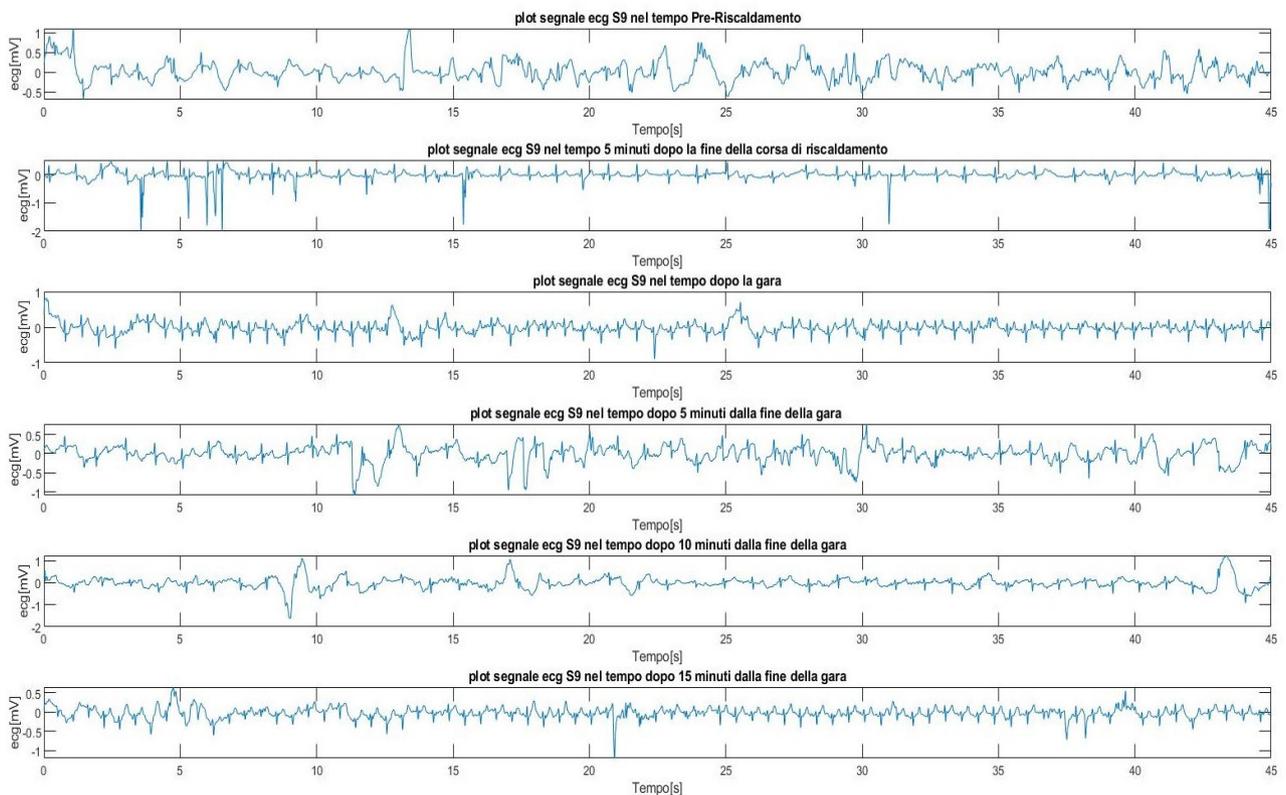


Fig.27 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S9.

Data	Orario	Durata	Tempi fasi allenamento ed esercizio	Caffeina a 6 h prima SI/NO	Alcol 24 h prima SI/NO	Integratori pre-allenamento SI/NO	Integratori post-allenamento SI/NO
06/07/2021	18:00	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: 30 min III FASE: 20 min	NO	NO	SI	NO
12/07/2021	18:00	1 ora e 30 min	I FASE: 45 min II FASE: 30 min III FASE: 15 min	NO	NO	SI	NO
10/07/2021*	18:30	2 ore	I FASE: 1 ora e 10 min II FASE: circa 20 min III FASE: circa 30 min	SI	NO	SI	NO

*gara

Le tre immagini sotto riportano: la prima (Fig.28) le acquisizioni fatte durante l'allenamento di forza, la seconda (Fig.29) quelle fatte durante l'allenamento di velocità e la terza (Fig.30) quelle fatte in gara.



Fig.28 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di forza del soggetto S10.

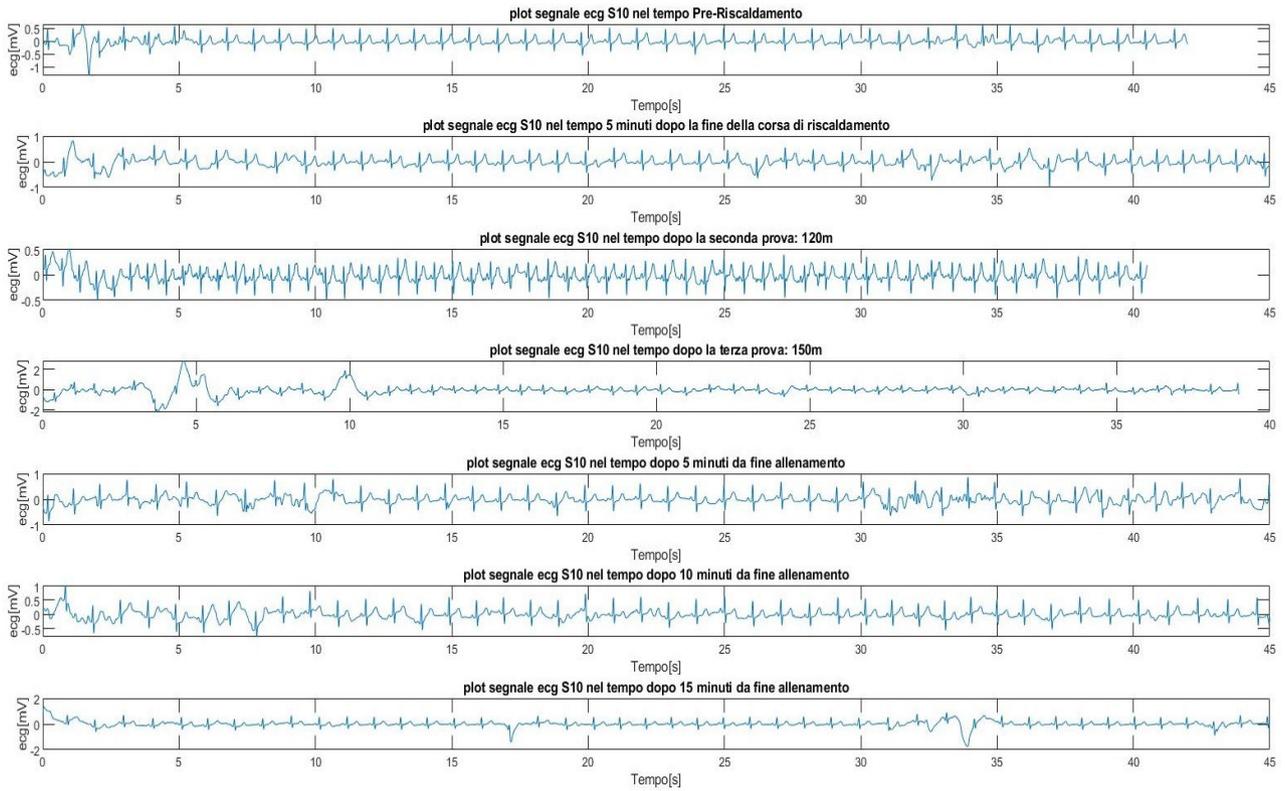


Fig.29 - Plot dei segnali ECG relativi all'allenamento di velocità del soggetto S10.

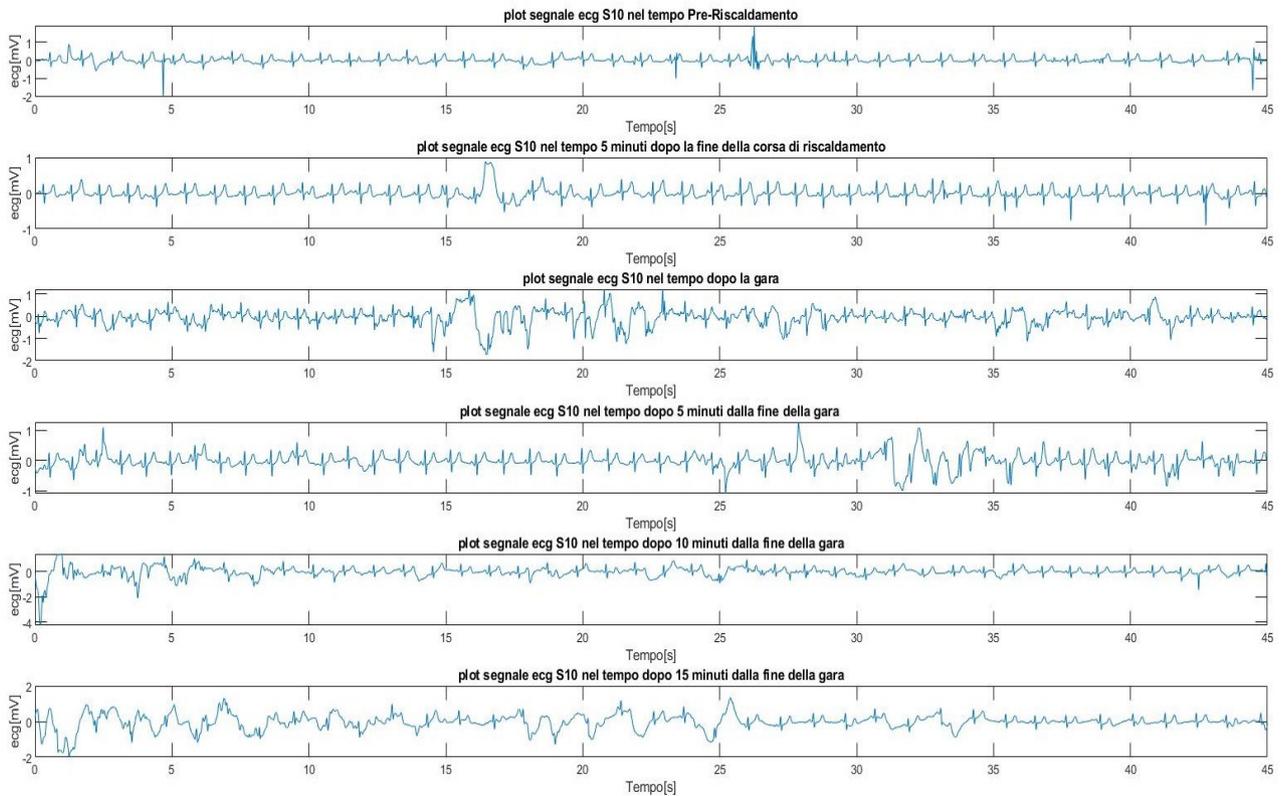


Fig.30 - Plot dei segnali ECG relativi alla gara del soggetto S10.

6.2 Organizzazione database

L'analisi condotta e riportata in questa tesi è una raccolta di 200 tracciati elettrocardiografici acquisiti da 10 differenti soggetti, tutti praticanti il medesimo sport, ovvero l'atletica leggera [13].

Le acquisizioni sono state fatte tramite il Single lead Kardia di Alivecor che fa parte di una gamma di registratori di elettrocardiogrammi (ECG) mobili di qualità clinica, durante due differenti allenamenti (uno di forza e uno di velocità) e in gara [13].

Per ognuno dei 10 soggetti sottoposti ad analisi è stata costruita una cartella al cui interno è stato inserito un pdf all'interno del quale sono state allegate le informazioni di ogni soggetto. Tra queste troviamo il consenso informato, con il quale ogni soggetto ha acconsentito all'utilizzo dei suoi dati; un questionario tramite il quale sono state raccolte le informazioni demografiche (sesso, età, peso, altezza, abitudine al fumo, consumo di alcol e frequenza di allenamento settimanale) e, infine, una tabella in cui sono stati riportati i dati di allenamento (consumo di alcol o caffè prima dell'allenamento, utilizzo di integratori pre o post sforzo e caratteristiche proprie dell'allenamento) [13].

Nella cartella, oltre al pdf, sono presenti anche altre tre sottocartelle. Tra esse, una contiene tutti i tracciati elettrocardiografici relativi all'allenamento di forza (nominata S * forza), un'altra tutti quelli acquisiti durante l'allenamento di velocità (S * velocità) e nella terza sono presenti gli ecg relativi alla gara (S * GARA). L'asterisco sta ad indicare che, a seconda del soggetto, sarà presente un numero che varia da 1 a 10, numero totale degli atleti sottoposti ad analisi [13].

C'è poi una quarta sottocartella chiamata EDF, ulteriormente suddivisa in altre tre sottocartelle, in cui sono presenti i diversi tracciati, divisi per tipologia (forza edf, velocità edf, gara edf) salvati nel formato edf (sono stati convertiti da atc, ovvero il formato con cui erano stati scaricati). In ognuna delle cartelle i diversi tracciati, in base al protocollo di acquisizione, sono stati nominati così: "1." indica l'ecg a riposo; "2." identifica l'ecg acquisito dopo 5 minuti di rest dalla fine della corsa di riscaldamento; "3." e "4." sono le acquisizioni relative agli esercizi specifici dell'allenamento (nel caso dell'allenamento di forza il "3." contiene il tracciato relativo allo squat jump e il "4." quello acquisito a seguito dello step jump, mentre per quanto riguarda l'allenamento di velocità il "3." contiene l'ecg acquisito dopo aver corso la seconda prova, ovvero i 120m e il "4." quello ottenuto alla fine della terza prova, ovvero dopo i 150m); "5.", "6." e "7." contengono gli ecg acquisiti nel periodo di rest e in particolare dopo 5, 10 e 15 minuti dalla fine dell'allenamento [13].

Una variazione può essere identificata nella cartella contenente i tracciati relativi alla gara in cui è presente un ecg in meno dal momento che ogni soggetto, come spiegato nel protocollo, ha corso solamente una prova di velocità. Pertanto il tracciato nominato “3.” è quello acquisito alla fine della gara (200m) e poi “4.”, “5.” e “6.” sono gli ecg di rest (sempre acquisiti rispettivamente dopo 5, 10 e 15 minuti dalla fine della prova) [13].

CAPITOLO 7.

DISCUSSIONE

Il mio scopo, nello svolgere questo studio, è stato quello di monitorare dieci atleti, differenti tra loro per età e sesso, ma comunque tutti velocisti.

A fianco a ciò ci è stata la volontà di valutare la variabilità cardiaca che, eventualmente, si viene a creare tra allenamenti differenti e soprattutto le possibili differenze che si possono riscontrare nel battito cardiaco in situazioni diverse dall'allenamento quali, ad esempio, la gara.

Pertanto l'analisi è consistita nell'acquisire tracciati ECG in differenti situazioni, e in modo specifico, durante due allenamenti, in cui nell'uno i soggetti analizzati hanno svolto esercizi di forza specifici per potenziare principalmente le gambe (con squat jump e step jump) e nell'altro hanno corso prove di velocità, oltre che, come già detto in gara.

Il fatto di avere acquisizioni fatte anche durante una competizione rende l'analisi maggiormente interessante dal momento che, con studi più approfonditi, si potrebbe evidenziare eventualmente quanto l'influenza emotiva dovuta ad una competizione può incidere su possibili modifiche del tracciato elettrocardiografico.

L'analisi combinata di tracciati ECG in allenamento e in gara permette, tra le altre cose, la valutazione delle prestazioni dell'atleta, e quindi riveste un ruolo di grande importanza nella definizione di programmi di allenamenti specifici per ogni tipo di soggetto e dipendente dalle sue necessità, capacità e competenze tecniche.

Inoltre, nonostante allenamento e gara avessero due protocolli di acquisizione differenti, entrambi presupponevano, oltre alle acquisizioni a riposo, anche tre tracciati acquisiti durante il periodo di rest, ovvero di recupero.

In questo modo è stato possibile valutare la capacità e i tempi di recupero del muscolo cardiaco dopo che questo ha subito uno sforzo, che è stato differente sia per intensità che per forma.

Tutte le acquisizioni sono state fatte con il Single lead Kardia di Alivecor che fa parte di una gamma di registratori di elettrocardiogrammi (ECG) mobili di qualità clinica.

L'utilizzo di questo dispositivo ha permesso di fare acquisizioni in tempi specifici, dettati dal protocollo, sui dieci soggetti sottoposti ad analisi, ma a differenza dei sensori indossabili non ha permesso un monitoraggio continuo ma soltanto uno puntuale.

Dall'analisi fatta sono stati ottenuti 200 tracciati elettrocardiografici, che sono serviti alla costruzione di un database.

Questo è composto non solo dalle acquisizioni dei singoli soggetti, ma contiene anche tutte le informazioni demografiche (sesso, età, peso, altezza, abitudine al fumo, consumo di alcol e frequenza di allenamento settimanale) e, infine, una tabella in cui sono stati riportati i dati di allenamento (consumo di alcol o caffè prima dell'allenamento, utilizzo di integratori pre o post sforzo e caratteristiche proprie dell'allenamento).

Infine, i dati raccolti, ovvero i diversi tracciati elettrocardiografici, sono stati elaborati tramite Matlab: sono, infatti, stati innanzitutto filtrati per far sì che venissero eliminati tutti i rumori presenti e successivamente identificati i picchi R per ogni acquisizione.

In questo modo si ha a disposizione un quadro completo del soggetto e della sua condizione fisica: tutto ciò potrà essere analizzato con attenzione, evidenziando eventualmente possibili correlazioni con specifici fenomeni cardiaci.

La creazione di un database di questo tipo può essere utile in diversi ambiti. Infatti può, ad esempio, supportare lo studio degli adattamenti dell'apparato cardiocircolatorio ai diversi tipi di esercizio fisico, o lo sviluppo di algoritmi automatici finalizzati al monitoraggio in tempo reale della salute degli atleti e all'identificazione preventiva dei soggetti ad aumentato rischio di morte cardiaca improvvisa correlata allo sport. Infine, oltre a ciò, il database può anche essere utilizzato per test clinici del Single lead Kardica di Alivecor.

CONCLUSIONI

Lo studio fatto ha avuto come scopo la costruzione di un database in cui sono stati raccolti tracciati elettrocardiografici di dieci soggetti differenti per età e sesso oltre che per caratteristiche fisiche e competenze atletiche, ma tutti velocisti.

Insieme ad essi sono poi state allegate varie informazioni riferite ad ogni soggetto specifico: così facendo si è voluto fornire un quadro completo degli atleti sottoposti ad analisi in modo tale che, nell'eventualità in cui questi tracciati vengano utilizzati per studi maggiormente approfonditi, si possano correlare eventuali anomalie del battito cardiaco con la condizione fisica e psicologica dell'atleta.

Come già ripetuto più volte in precedenza per compiere questa analisi, è stato utilizzato il Single lead Kardia di Alivecor: è un dispositivo portatile, che tramite un'app specifica permette di acquisire tracciati elettrocardiografici di breve durata.

Nel caso specifico le acquisizioni fatte avevano durata 30 secondi. I segnali ottenuti, quindi, sono piuttosto corti.

Tuttavia se questi da un lato potrebbero fornirci informazioni limitate vista la durata, dall'altro, però, potrebbero essere utilizzati per studi successivi valutando, ad esempio, le features dell'ECG, ma anche per calcolare il battito mediano o per porre un'attenzione specifica sulla variabilità del ritmo cardiaco in condizioni differenti.

La cosa maggiormente interessante del database costruito è il fatto di poter disporre di acquisizioni elettrocardiografiche relative ad un momento particolare quale è quello della competizione e di metterle in relazione con la situazione cardiaca che si ha, invece, durante un allenamento standard.

Infatti in questa situazione necessariamente entrano in gioco fattori emotivi che possono essere differenti a seconda del soggetto, della sua personalità e delle sue competenze (in questo caso atletiche).

La possibilità di valutare le eventuali modifiche che vengono apportate al battito cardiaco, che possono essere di entità differente a seconda del soggetto specifico in una situazione di particolare stress psicologico come quella di una gara, comporta che il database sia ricco di informazioni alquanto preziose per lo studio della variabilità cardiaca.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ambrosi G, Castano P, Donato Rosario F. *Anatomia dell'uomo*. Milano: Edi. Ermes. 2006. Seconda edizione.
- [2] Anastasi G, Capitani S. *Trattato di anatomia umana*. Milano: Edi. Ermes, 2006.
- [3] Conti F, Mayer A. *Fisiologia medica*. Milano: Edi-Ermes. 2010. Seconda edizione.
- [4] Centro studi & ricerche. *Il nuovo manuale dell'istruttore di atletica leggera*. Fidal. 2011. Prima edizione.
- [5] Mitchell J, Haskell W, Snell P. "Task Force 8." *Journal of the American Collage of Cardiology*. Volume 45, Issue 8, 19 April 2005, Pages 1364-1367.
- [6] Hottenrott K, Hoos O, Esperer HD. *Herzfrequenzvariabilität und Sport [Heart rate variability and physical exercise. Current status]*. Herz. 2006.
- [7] Aubert AE, Seps B, Beckers F. *Heart rate variability in athletes*. Sports Med. 2003.
- [8] Sana F, Isselbacher EM, Singh JP, Heist EK, Pathik B, Armoundas AA. *Wearable Devices for Ambulatory Cardiac Monitoring: JACC State-of-the-Art Review*. J Am Coll Cardiol. 2020.
- [9] Adesida Y, Papi E, McGregor AH. *Exploring the Role of Wearable Technology in Sport Kinematics and Kinetics: A Systematic Review*. Sensors (Basel). 2019.
- [10] Chambers R, Gabbett TJ, Cole MH, Beard A. *The Use of Wearable Microsensors to Quantify Sport-Specific Movements*. Sports Med. 2015.
- [11] Seghda TAA, Fremy D, Millogo GRC, Saludas Y, Aguetaz D, Riocreux C, Catalan PA, Flork L, Eschalier R, Motreff P, Citron B. *Arythmie ventriculaire et activité sportive: tachycardie ventriculaire d'effort de Gallavardin sur cœur sain, à propos d'un cas et revue de la littérature [Ventricular arrhythmia and sport practice: A Gallavardin's ventricular tachycardia duering exercise in healthy heart, about a case and review of the literature]*. Annales de Cardiologie et d'Angéiologie (Paris). Volume 68, Issue 3. June 2019, Pages 187-194.
- [12] <https://www.kubios.com/about-hrv/>
- [13] Sbrollini A, Morettini M, Burattini L. *Sport Database: Cardiorespiratory data acquired through wearable sensors while practicing sports*. Volume 27, December 2019.

RINGRAZIAMENTI

Il primo e più importante GRAZIE non può che andare alla mia famiglia: ognuno, a modo suo, ha saputo incoraggiarmi in questo che per me è stato un percorso non così facile e con numerosi ostacoli.

Ad una persona in particolare va un grazie molto speciale. A lei, alla mia MAMMA; lei che più di qualsiasi altro mi è stata vicina e ha creduto in me più di quanto ci credessi io; lei che si è sempre battuta affinché non mollassi nei momenti più difficili; lei che mi è stata sempre vicina in tanti momenti di sconforto. Grazie è dirti poco mamma, perché ti meriteresti molto di più: ti dedico tutto e ogni mio traguardo è anche tuo.

Un'altra persona, però, è stata particolarmente importante per me: FEDERICO. Senza di lui, probabilmente starei ancora facendo analisi 1, altro che laurea.. Mi hai sempre spronato a fare del mio meglio; con tanta pazienza mi sei stato vicino e mi hai aiutata a superare quelli che sicuramente sono gli scogli più grandi per chi decide di iniziare a studiare ingegneria; hai spesso sottratto tempo a te stesso, alle tue passioni, al tuo studio per aiutare me e non posso che esserti grata. E ultimamente ho scoperto che per recuperare le ore di studio perse stando dietro a me ti mettevi a studiare di notte.. solo tu, solo tu potevi fare questo. Senza di te, Fede, probabilmente non mi sarei nemmeno sognata di arrivare fin qua.

Un grazie immenso va all'ATLETICA che mi ha accompagnato ogni giorno e mi ha insegnato a resistere, a non mollare davanti alla fatica e alle difficoltà. E, ovviamente, grazie a tutti coloro che sono i miei compagni di allenamento e a Riccardo, per me molto di più di un allenatore. A lui, con cui ho costruito un bellissimo rapporto, a lui che ha avuto e ha fiducia in me in campo.. e visti i risultati, è molto molto coraggioso, a lui che è un confidente e, sì, anche un fratello maggiore.. Grazie Rich per tutto quello che hai fatto per me e del tempo che mi hai dedicato.

Grazie al “**gruppo tesi**”, alle ragazze e ragazzi che mi hanno regalato del loro tempo per acquisire i segnali ECG elaborati nel mio studio, sempre pazienti e pronti a farsi analizzare.

Un grazie va anche alla mia **relatrice**, la Prof.ssa Laura Burattini e a **Sofia**, la mia tutor che, prendendo spunto dalle mie idee, ha cercato di rendere l'analisi svolta il più interessante possibile.

Grazie alle amiche del cuore. Grazie a **Martina**, un'amica molto speciale: è stata per me una confidente a cui ho liberato tutti i miei pensieri, i miei dubbi, le mie incertezze e a cui ho chiesto sempre tanti consigli. L'amica che tutti vorrebbero avere, lei che ti dice la sua con molta delicatezza senza giudicarti, lei che ti difende quando serve ma con cui non manca il confronto, talvolta anche acceso.. ma poi da buone amiche ci dimentichiamo di ciò che non è andato e ci cerchiamo come

prima. Grazie Marti per quello che sei per me, ti voglio bene. Grazie a **Noemi**: con lei le risate e il divertimento è assicurato. Sono fiera quando mi dici sempre che sono una marchigiana strana perché noi “diamo da dire” a tutti. Grazie ad **Angelica**: l’amica di una vita..e pensare che all’inizio non ci sopportavamo nemmeno così tanto. Con gli anni ci si frequenta meno per via dei percorsi diversi che abbiamo deciso di intraprendere.. ma lei c’è sempre, in qualsiasi momento è sempre pronta ad ascoltarti e a sdrammatizzare quando c’è bisogno.

Grazie agli **amici dell’università**: con loro le giornate sono passate più velocemente e le lezioni sono sempre state accompagnate da molte chiacchiere. Di voi mi rimarrà un bellissimo ricordo e il rimpianto di non aver frequentato insieme l’ultimo anno. Tra loro un grazie speciale non può che non andare a MARGHERITA, lei che è diventata per me molto più di una semplice compagna di università: per certi versi l’opposto di me ma patite per lo sport allo stesso modo.. forse è per questo che ci siamo trovate e stiamo tanto bene insieme. Anche lei non si è tirata indietro nei miei momenti difficili, e ha cercato sempre di incoraggiarmi e darmi consigli pensando a quello che sarebbe stato più giusto per me. Per non parlare degli aiuti infiniti per preparare alcuni esami.. elettrotecnica fatta quante volte?? Grazie Marghe, grazie di tutto!

Altri grazie speciali?

Beh uno o meglio molti in particolare vanno a **Vittorio**, l’amico padovano.. da subito in super sintonia, sembriamo amici da una vita. Dal chiedergli informazioni sull’università di Padova, a implorarlo perché mi venisse a consolare il primo giorno in questa nuova città visto che ero in grado solo di piangere, è stato un attimo.. Grazie Vitto, perché finora, in poco più di un mese, mi hai aiutata così tante volte che ho già perso il conto.. oramai sei indispensabile!

Grazie anche a **Riccardino** di Porto Recanati che, mi ha fatto capire che le mie conoscenze di word erano troppo scarse per scrivere una tesi.. la patente del computer me l’ha fatta prendere lui!

Grazie a **Katia e Michele** che, come una seconda mamma e un secondo papà, hanno festeggiato ogni mio traguardo e incoraggiato ad affrontare quello successivo.

GRAZIE, GRAZIE e ancora **GRAZIE** a tutte le persone che mi vogliono bene, a chi mi ha incoraggiata, a chi ha gioito con me per i “traguardi” raggiunti e a chi mi ha consolato nei momenti di difficoltà.

GRAZIE a chi c’è stato e chi continuerà ad essere con me!