



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Biomedica

**Progetto Swim4all: monitoraggio computerizzato della variabilità della
frequenza cardiaca nell'autismo**

**The Swim4all project: computerized monitoring of heart rate variability
in autism**

Relatore:
Prof.ssa Laura Burattini

Rapporto finale di:
Federica Spuri Forotti

Anno Accademico 2020/2021

Abstract

L'elettrocardiogramma si presenta come un segnale che può essere considerato periodico: ad ogni battito il segnale si ripete nella sua morfologia caratteristica. L'analisi del segnale elettrocardiografico consente di cogliere gli aspetti problematici relativi all'attività cardiaca del paziente. Un aspetto che risulta essere particolarmente interessante nell'analisi dell'elettrocardiogramma è la variabilità della frequenza cardiaca, perché è in grado di indicizzare il contributo del sistema nervoso autonomo, simpatico e vagale, alla regolazione cardiaca. Il monitoraggio dei parametri cardiaci durante lo svolgimento di attività fisica è un tema estremamente significativo: in particolare, in questo elaborato viene trattato il coinvolgimento di soggetti con diagnosi di disturbo dello spettro autistico nell'attività di nuoto.

A livello sintomatico, l'autismo interessa le aree relative alla comunicazione ed all'interazione sociale specifica. Risulta inoltre compromesso lo sviluppo del linguaggio. Tutti questi aspetti possono accompagnarsi anche a ritardo mentale, che si può presentare in forma lieve, moderata o grave. I pazienti autistici sono clinicamente descritti come aventi una maggiore vulnerabilità allo stress, che si ritiene essere conseguenza dei deficit che questi individui presentano nei domini di comunicazione e socialità. Nei soggetti autistici sono state riscontrate in particolare menomazioni nella risposta fisiologica allo stress, specialmente per quanto riguarda la frequenza cardiaca e la sua variazione davanti a stress psicosociale. Diversi studi hanno evidenziato che il jogging, le attività di equitazione, danza, arti marziali e nuoto, possono portare a numerosi progressi in termini di diminuzione dei comportamenti stereotipati, di funzionamento socio-emotivo e di mantenimento dell'attenzione.

Il nuoto è un'attività motoria molto adatta al supporto della salute e del benessere. L'esercizio può essere eseguito sia a livello agonistico che con scopo ricreativo: in generale è una delle forme di attività fisica più popolari, praticate e consigliate.

Nei bambini con diagnosi di disturbo dello spettro autistico, la capacità di nuotare risulta meno compromessa rispetto ad altre attività fisiche. Grazie alle proprietà dell'acqua, gli esercizi basati sul nuoto forniscono un ambiente piacevole e sicuro: è dunque più facile per i soggetti in questione muoversi attivamente e rafforzare le capacità motorie. Inoltre, un beneficio fondamentale apportato dall'attività di nuoto è il miglioramento della resistenza cardiorespiratoria, che si traduce in una maggiore capacità dei soggetti di nuotare per periodi più lunghi nella zona di frequenza cardiaca target.

La possibilità di verificare i benefici apportati dall'attività acquatica sta proprio in un corretto monitoraggio dei soggetti coinvolti. Il protocollo proposto nell'elaborato prevede due acquisizioni,

una precedente ed una successiva all'esercizio di nuoto. Durante le acquisizioni è stato usato lo strumento 6L Kardia. Il segnale ottenuto è stato analizzato con Kubios HRV, un software di analisi della variabilità della frequenza cardiaca progettato per la ricerca. I soggetti considerati sono due, entrambi nuotatori. Il primo soggetto in analisi è un nuotatore di 45 anni di sesso maschile. Il secondo soggetto presenta una diagnosi di disturbo dello spettro autistico. Il protocollo di monitoraggio ed i metodi di analisi considerati hanno prodotto dei risultati plausibili, in linea con quanto atteso in entrambi i soggetti. L'analisi nei due domini ha permesso di evidenziare la relazione tra HRV ed attività fisica (dominio del tempo) e di fornire informazioni sul sistema nervoso autonomo nelle sue due componenti (dominio della frequenza). Lo studio dei parametri legati alla variabilità cardiaca sembra quindi affidabile ed estremamente importante, soprattutto in casi particolari come quelli legati alla presenza di una patologia.

Indice

Introduzione	I
1. Sistema cardiovascolare	1
1.1. Anatomia del cuore	1
1.2. Elettrocardiogramma	8
2. Autismo	13
2.1. Definizione del Disturbo e sintomi	13
2.2. Metodi per la diagnosi e scale per la valutazione	17
3. Nuoto nei soggetti autistici	22
3.1 Attività fisica nei soggetti autistici	22
3.1.1 Aspetti cardiovascolari	22
3.1.2. Benefici complessivi	25
3.2 Introduzione alla disciplina di nuoto	27
3.3. Terapia acquatica nella disabilità: focus sull'autismo	34
3.3.1. Benefici motori	34
3.3.2. Benefici mentali e comportamentali	38
4. Idroterapia	42
4.1 Terapia acquatica multi-sistemica: Metodo Caputo-Ippolito	42
4.1.1. Abilità comportamentali	44
4.1.2. Abilità motorie	47
4.2. Acqua mediatrice di comunicazione	50
5. Esempio di monitoraggio cardiaco nel nuoto	55
5.1. Materiali e metodi	55
5.1.1. KardiaMobile 6L	55
5.1.2. Kubios HRV	59
5.2. Risultati	61
5.3. Discussione	71
Conclusione	II
Bibliografia	III

Introduzione

Il monitoraggio dei parametri cardiaci durante lo svolgimento di attività fisica è un aspetto di estrema importanza che va ad interessare in primis la sicurezza dell'individuo considerato.

In particolare, in questo elaborato viene trattato il coinvolgimento di soggetti con diagnosi di disturbo dello spettro autistico nell'attività di nuoto. L'autismo si presenta come una patologia complessa, la cui conoscenza è in continua fase di sviluppo e nella quale il ruolo del sistema nervoso risulta fondamentale. Per questo motivo il focus si colloca nell'analisi della variabilità della frequenza cardiaca come parametro in grado di indicizzare il sistema nervoso autonomo, fornendo la possibilità di comprendere se è presente un equilibrio tra la componente simpatica e quella parasimpatica di quest'ultimo.

La presenza di una diagnosi di disturbo dello spettro autistico si manifesta soprattutto a livello comportamentale, andando quindi ad inficiare sul coinvolgimento dei soggetti autistici in un contesto sociale. Queste lacune possono essere, almeno parzialmente, colmate dall'inserimento dei soggetti in programmi specifici, tra i quali quelli incentrati sull'attività acquatica. Questa risulta importante in quanto capace di apportare benefici non solo a livello fisico e motorio ma anche a livello comportamentale, che, come ribadito in precedenza, risulta essere un aspetto fondamentale del contesto patologico trattato.

La possibilità di verificare l'utilità della partecipazione ad attività acquatiche, siano queste di livello agonistico o semplicemente idroterapie, sta proprio in un corretto monitoraggio dei soggetti coinvolti. Perciò lo scopo di questa tesi è sviluppare un protocollo di monitoraggio cardiovascolare durante l'attività idroterapica e verificare la sua applicabilità a casi reali.

1. Sistema cardiovascolare

1.1. Anatomia del cuore

L'apparato cardiovascolare è costituito dal cuore e dai vasi sanguigni. Il cuore, che ha il funzionamento di una pompa, è localizzato all'interno della cavità toracica, in una zona chiamata mediastino. La parte superiore del cuore si presenta come molto ampia e per questo viene chiamata base. Al contrario, la parte inferiore è definita apice in quanto costituita da una punta smussata.^[1]

Il cuore è racchiuso in una membrana sierosa costituita da due foglietti chiamata pericardio. Il primo foglietto è anche chiamato pericardio viscerale in quanto va a rivestire la superficie del cuore, il secondo è invece detto pericardio parietale ed è il foglietto esterno. Tra i due foglietti vi è uno spazio chiamato cavità sierosa che contiene un liquido, il siero, che ha lo scopo di umettare le superfici andando ad evitare l'attrito tra le stesse. È presente anche uno strato più esterno chiamato pericardio fibroso.^[1]

Il pericardio viscerale va a costituire uno dei tre strati che compongono la parete cardiaca, insieme al miocardio muscolare ed all'endocardio. Il primo, si presenta come uno strato spesso, rappresenta infatti la maggior parte della massa del cuore, è costituito da cellule muscolari cardiache ed è caratterizzato da un funzionamento involontario. L'endocardio è invece riveste la superficie interna delle camere del cuore, andando a coprire anche le valvole. La seguente immagine (Figura 1) raffigura gli strati della parete cardiaca sopra descritti.^[1]

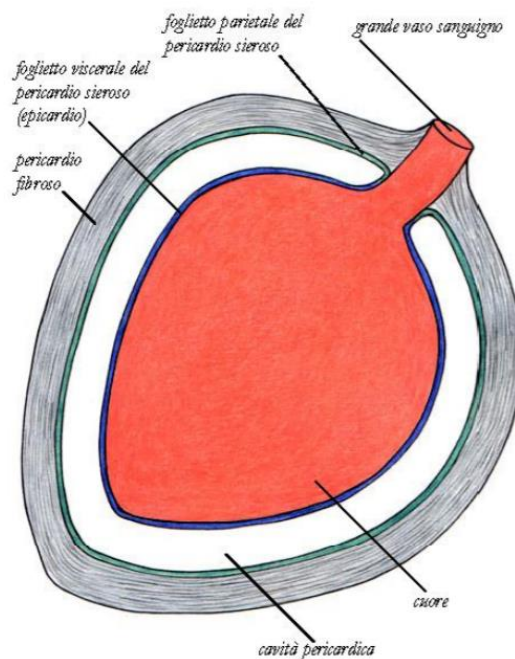


Figura 1: strati della parete cardiaca.^[1]

Dal punto di vista strutturale, nel cuore è possibile riconoscere quattro cavità, che risultano evidenti in una sezione frontale. A livello della base e quindi superiormente sono collocati gli atri (destro e sinistro), mentre inferiormente, quindi all'altezza dell'apice del cuore, si trovano i ventricoli (destro e sinistro). Gli atri sono cavità che hanno la funzione di ricevere il sangue che ritorna al cuore attraverso le grandi vene, mentre i ventricoli svolgono il ruolo di pompe, andando quindi a spingere il sangue all'interno delle arterie e permettendogli di fluire in tutto l'organismo. Parte destra e parte sinistra del cuore sono vicendevolmente isolate da quello che viene definito tramezzo del cuore.^[1]

Per garantire il corretto funzionamento del cuore facendo sì che questo possa pompare efficientemente il sangue è necessario garantire l'unidirezionalità del flusso sanguigno. In quest'ottica è dunque evidente l'importanza delle valvole cardiache, che sono quattro: esiste una valvola tra ogni atrio e corrispondente ventricolo, ed un'altra dal punto in cui da ogni ventricolo prende origine l'arteria corrispondente (arteria polmonare per il ventricolo destro ed aorta per il sinistro). Ogni valvola è costituita da due o tre lembi di tessuto fibroso, chiamati anche cuspidi. In particolare, si distinguono:

- Valvola tricuspide (o atrioventricolare destra)
- Valvola bicuspidale o mitrale (o atrioventricolare sinistra)
- valvola polmonare
- valvola aortica

Le valvole polmonare ed aortica sono anche chiamate valvole semilunari e regolano il flusso di sangue dai ventricoli alle grandi arterie: sono entrambe costituite da tre cuspidi che chiudendosi assumono una forma simile ad una tasca che, riempiendosi di sangue, va a sigillare l'apertura impedendo al sangue di circolare in maniera bidirezionale. Dato il modo in cui le valvole semilunari sono attaccate alla parete arteriosa non si corre il rischio di prolasso. Si presenta molto differente il meccanismo delle valvole atrioventricolari, che sono invece connesse ai muscoli presenti sul pavimento del ventricolo tramite delle corde tendinee filiformi. Le quattro valvole sono circondate da quattro anelli fibrosi che fanno sì che la valvola non subisca una deformazione nel momento in cui il cuore si contrae, garantendo quindi l'unidirezionalità del flusso sanguigno. La struttura formata dai quattro anelli prende il nome di scheletro fibroso e funge anche da isolante elettrico tra gli atri ed i ventricoli. Le seguenti immagini raffigurano il cuore schematizzato nelle quattro cavità (Figura 2) e le valvole circondate dallo scheletro fibroso (Figura 3).^[1]

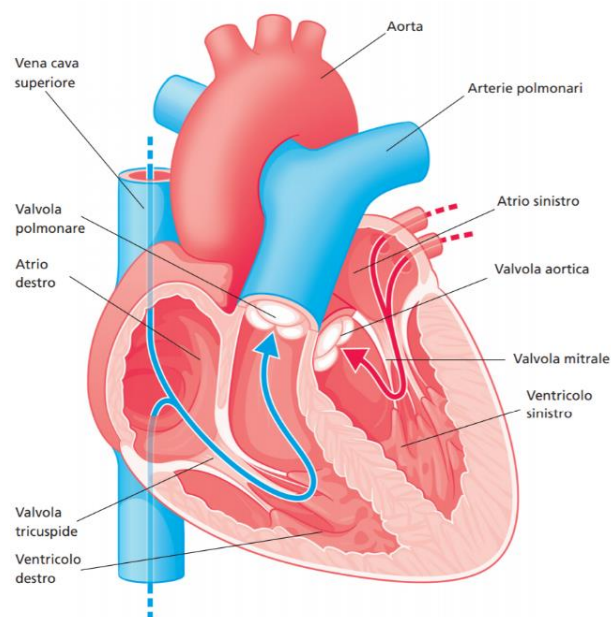


Figura 2: cuore nelle sue quattro cavità, le frecce evidenziano il modo in cui queste vengono attraversate dal sangue. [1]

L'apparato cardiovascolare ha due suddivisioni principali: una circolazione polmonare, responsabile del trasporto del sangue ai polmoni per lo scambio dei gas e adibito a riportarlo nel cuore ed una circolazione sistemica (o grande circolazione), che fornisce il sangue ad ogni organo, comprese altre parti dei polmoni e la parete del cuore stesso.

Nell'analizzare il modo con cui il sistema cardiocircolatorio irrori l'intero organismo si analizza il percorso ciclico del sangue prendendo come punto iniziale il ventricolo sinistro. Il sangue attraversando la valvola aortica, arriva nell'aorta che, ramificandosi, lo porta a tutto l'organismo. Questo è un sangue ricco di ossigeno (rappresentato in rosso in figura). Una volta raggiunti gli organi ed i tessuti, i vasi sanguigni si ramificano ulteriormente, capillarizzandosi: in periferia avviene dunque lo scambio gassoso e viene rilasciato ossigeno. I capillari, ora ricchi di anidride carbonica, vengono quindi definiti venosi (rappresentati in blu in figura) e convogliano nelle vene, che trasportano il sangue fino all'atrio destro. Data la divisione presente tra parte destra e sinistra del cuore, il sangue ricco di anidride carbonica che entra nell'atrio destro può solamente attraversare la valvola tricuspidale e spostarsi nel ventricolo destro, dove attraversa la valvola polmonare e entrando nella vena polmonare. Il sangue arriva dunque ai polmoni, la vena capillarizza ed avviene un secondo scambio gassoso: il sangue ricco di ossigeno torna, tramite la vena polmonare, nell'atrio sinistro, attraversa la

valvola bicuspide, scende nel ventricolo sinistro ed inizia un nuovo ciclo. La seguente immagine (Figura 4) schematizza piccola e grande circolazione.^[1]

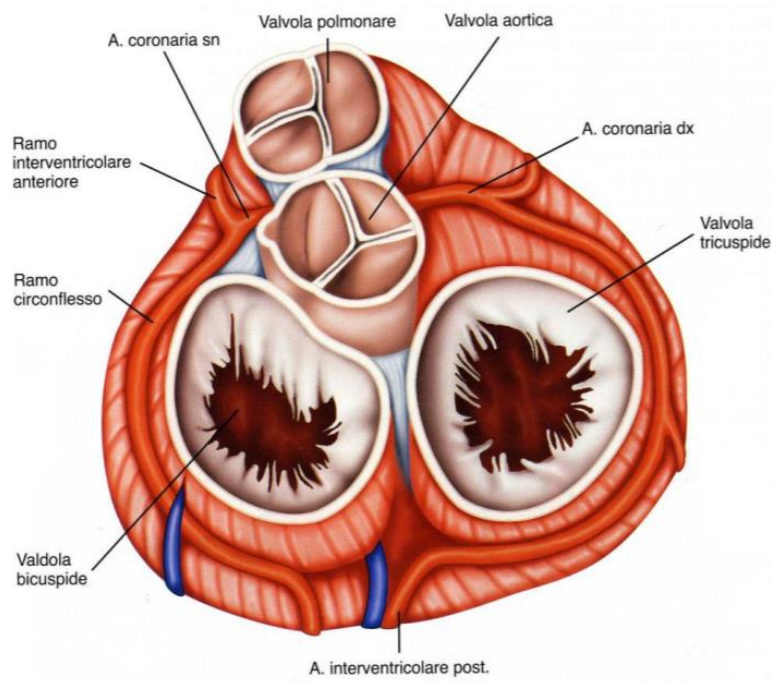


Figura 3: scheletro fibroso e valvole cardiache.^[1]

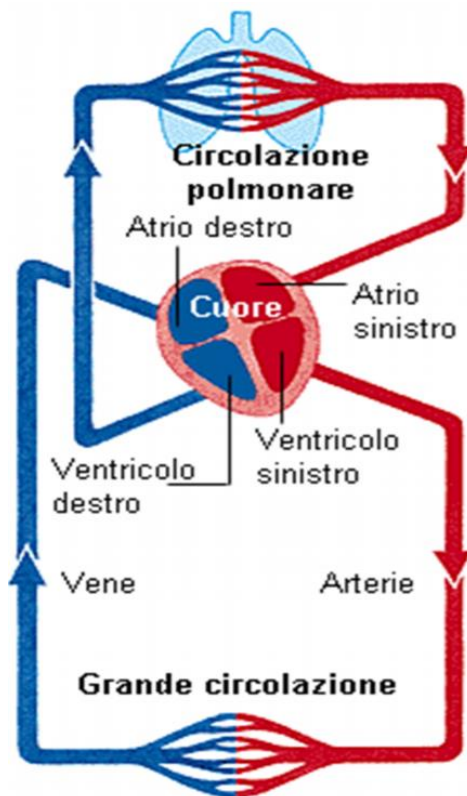


Figura 4: piccola e grande circolazione.^[1]

Il ciclo cardiaco rappresenta il susseguirsi di fasi attraverso le quali il sangue fluisce nelle cavità cardiache ed è costituito da un alternarsi di diastole e sistole cardiache. Per diastole si intende la condizione in cui il cuore è rilasciato, mentre per sistole quella in cui è contratto. Un ciclo cardiaco può essere sintetizzato nelle seguenti quattro fasi, illustrate poi in figura (Figura 5):^[1]

- a. Durante la diastole atriale gli atri si riempiono di sangue. Ha inizio la fase di contrazione (sistole atriale): il sangue venoso passa nel ventricolo destro e quello arterioso nel ventricolo sinistro.
- b. Termina la sistole atriale: i ventricoli sono pieni di sangue.
- c. Ha inizio la sistole ventricolare: il sangue venoso viene spinto nelle arterie polmonari e quello arterioso nell'arteria aorta.
- d. I ventricoli si sono quasi svuotati. Segue un momento di pausa (diastole) in cui tutte le cavità sono rilassate e gli atri iniziano a riempirsi.

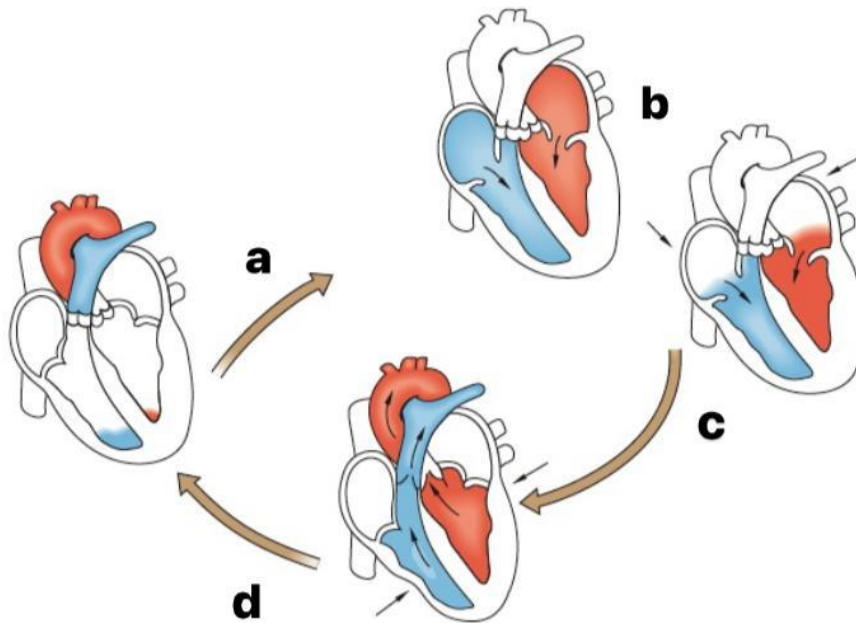


Figura 5: fasi del ciclo cardiaco.

Il cuore è costituito da cardiociti che vanno a formare il miocardio comune ed il miocardio specifico. Le cellule che formano il primo sono cardiociti con capacità contrattile, mentre quelle che formano il miocardio specifico sono cellule che hanno perso questa capacità, specializzandosi però nella generazione e nella conduzione di segnali.^[1]

L'impulso che dà origine al battito cardiaco è generato dal nodo senoatriale (o nodo del seno) che si trova nella parte superiore del cuore e si propaga lungo le vie internodali, per poi essere trasmesso al nodo atrioventricolare. Dato l'isolamento elettrico dovuto alla presenza dello scheletro fibroso, il nodo atrioventricolare rappresenta l'unica possibilità di far passare l'impulso dagli atri (dove si è generato) ai ventricoli. Dal nodo atrioventricolare l'impulso arriva al fascio di His, che superiormente è costituito da un tronco comune mentre scendendo si divide in branca destra e branca sinistra. Le ramificazioni più fini delle branche costituiscono la rete del Purkinje, che sono dunque localizzate all'apice del cuore, punto dal quale l'impulso viene distribuito alle fibrocellule ventricolari. Il meccanismo di propagazione dell'impulso elettrico è tale che la velocità di propagazione nelle due branche del fascio di His sia diversa: il ventricolo sinistro si contrae con un ritardo di circa 0,01 s rispetto al ventricolo destro. La polarizzazione procede dalla superficie interna della parete dei ventricoli verso la superficie esterna, e dall'apice del cuore verso la base. La seguente immagine (Figura 6) illustra la rete di propagazione dell'impulso elettrico nel cuore.

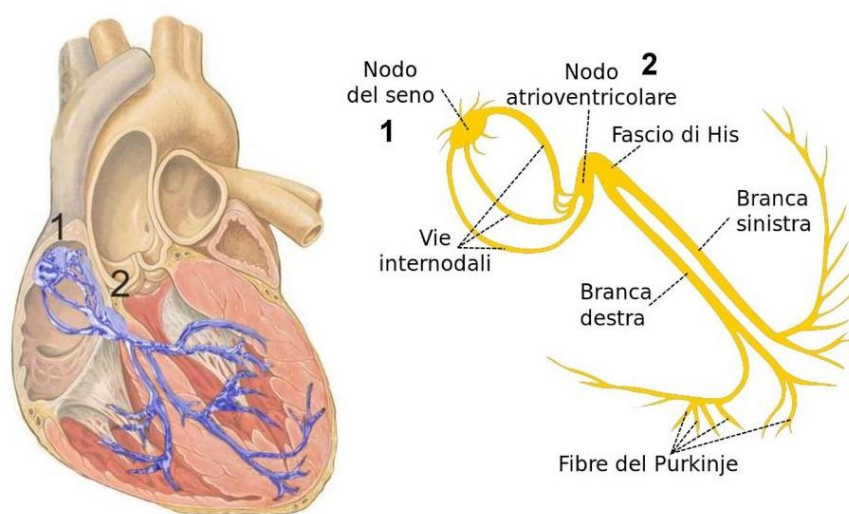


Figura 6: rete di propagazione dell'impulso elettrico nel cuore.

Si può comprendere la relazione tra l'azione di pompaggio del cuore e i potenziali elettrici rilevabili sulla pelle se si considera che il muscolo cardiaco si contrae per effetto della propagazione della depolarizzazione lungo una determinata direzione. Si produce perciò una corrente la quale, a sua volta, comporta una caduta di potenziale tra due luoghi non coincidenti del materiale biologico nel quale essa scorre.

L'attività elettrica e la contrazione del miocardio sono dunque strettamente legate all'*elettrocardiogramma* (o *ECG*). Il susseguirsi di onde di polarizzazione e di depolarizzazione legate alla propagazione dell'impulso nel cuore determina la morfologia dell'ECG. In figura (Figura 7) vengono messe in relazione le fasi di polarizzazione e depolarizzazione del cuore con i tratti di segnale elettrocardiografico che questi eventi determinano.

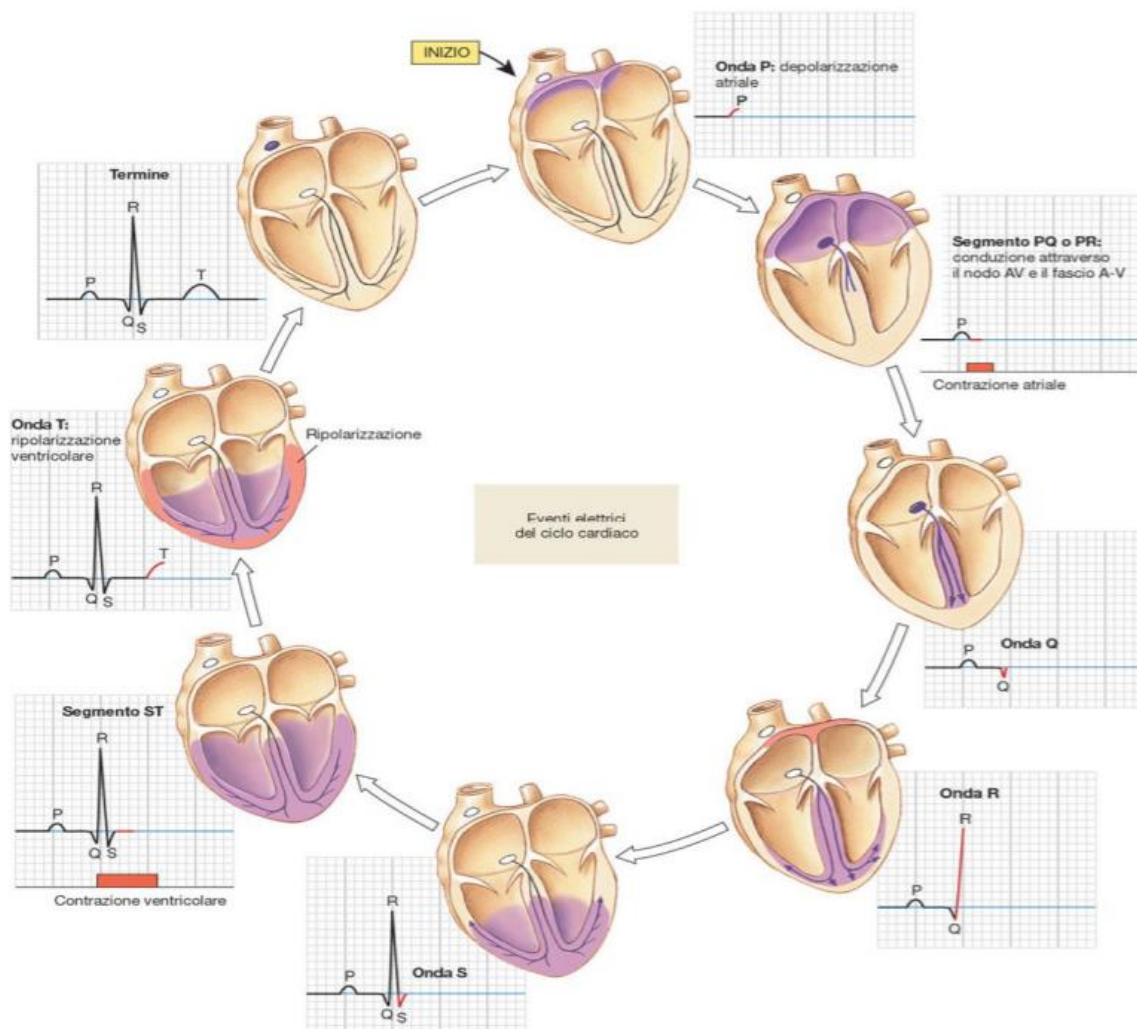


Figura 7: relazione tra la propagazione dell'impulso e la morfologia del segnale elettrocardiografico.

1.2. Elettrocardiogramma

L'elettrocardiogramma si presenta come un segnale che può essere considerato periodico, di intervallo pari alla durata di un battito, che in condizioni normali è di circa 0.8 s. Ad ogni battito il segnale si ripete nella sua morfologia caratteristica, riportata in figura (Figura 8). In particolare, si distinguono i seguenti tratti caratteristici:

- Onda P: Depolarizzazione atri.
- Complesso QRS: Depolarizzazione ventricoli (setto, apice, base).
- Onda T: Ripolarizzazione ventricoli.
- Intervallo P-R: Tempo di conduzione atrio-ventricolare.
- Intervallo Q-T: Tempo di depolarizzazione e ripolarizzazione ventricolare.
- Segmento P-R: Dalla fine dell'onda P all'inizio del complesso QRS. Gli atri sono totalmente depolarizzati.
- Segmento S-T: Dalla fine dell'onda S all'inizio dell'onda T. I ventricoli sono totalmente depolarizzati.

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. Il segnale ECG presenta sia variazioni lente (componenti a bassa frequenza) che rapide transizioni (componenti ad alta frequenza); il range di frequenze teorico è 0.5 – 150 Hz. La seguente immagine (Figura 8) evidenzia i tratti sopra descritti.

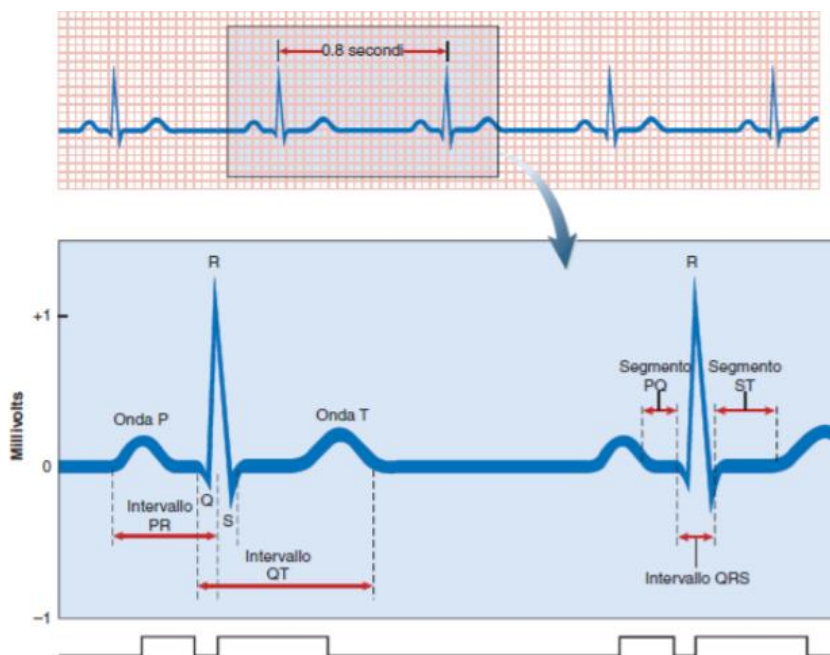


Figura 8: tratti caratteristici del segnale elettrocardiografico.

Per il rilevamento dei potenziali cardiaci sono necessari almeno due sensori (elettrodi cutanei) applicati alla superficie del corpo e posti in luoghi non equipotenziali. Siccome l'indagine che si svolge attraverso l'esame elettrocardiografico ha una finalità diagnostica, la standardizzazione delle posizioni degli elettrodi risulta di estrema importanza perché consente di confrontare elettrocardiogrammi eseguiti su individui diversi. È per questo che la registrazione del segnale viene effettuata mediante l'applicazione di elettrodi connessi tra loro seguendo un preciso sistema, che solitamente si compone di uno schema a 12 derivazioni.

- 6 degli arti, di cui 3 bipolari e 3 unipolari, che misurano l'attività elettrica sul piano frontale (bipolari: I, II, III; unipolari: aVR, aVL, aVF)
- 6 derivazioni precordiali, unipolari, che misurano l'attività elettrica sul piano orizzontale (V1, V2, V3, V4, V5, V6).

Le derivazioni fondamentali sono anche chiamate derivazioni di Einthoven, in onore al fisiologo olandese che situò gli elettrodi ai vertici di un triangolo equilatero, chiamando i tre vertici RA, da Right Arm (braccio destro), LA, da Left Arm (braccio sinistro) e LL, da Left Leg (gamba sinistra). Il triangolo formato dagli elettrodi è stato chiamato triangolo di Einthoven, mentre le differenze di potenziale misurate assumono le seguenti denominazioni:

- prima derivazione (I) = potenziale misurato tra RA e LA
- seconda derivazione (II) = potenziale misurato tra RA e LL
- terza derivazione (III) = potenziale misurato tra LA e LL

È pratica comune ricavare dalle derivazioni fondamentali bipolari tre derivazioni unipolari, nelle quali uno dei due elettrodi permane ad un potenziale all'incirca costante lungo tutto il ciclo cardiaco. Tale elettrodo è detto indifferente, mentre l'altro elettrodo è detto esplorante. In questo modo si ricavano quelle che vengono comunemente chiamate derivazioni aumentate:

- aVR = il potenziale del braccio destro, utilizzando come riferimento quello ottenuto dal braccio sinistro e gamba sinistra.
- aVL = il potenziale del braccio sinistro utilizzando come riferimento quello ottenuto da braccio destro e gamba sinistra.
- aVF = il potenziale della gamba sinistra utilizzando come riferimento quello ottenuto dal braccio destro e da quello sinistro.

Come specificato in precedenza le derivazioni fondamentali e quelle aumentate misurano l'attività elettrica sul piano frontale, vi è però un'altra disposizione degli elettrodi che valuta l'attività elettrica

sul piano orizzontale. Queste derivazioni assumono il nome di precordiali di Wilson e vengono indicate con V1.V2.V3.V4.V5.V6.

Le diverse derivazioni, e quindi i diversi punti in cui vengono posti gli elettrodi, forniscono morfologie profondamente differenti. Nella seguente immagine (Figura 9) sono riportati i tracciati per ognuna delle derivazioni sopracitate.

L'analisi del segnale elettrocardiografico nel dominio del tempo è estremamente utile in quanto consente di cogliere gli aspetti problematici relativi all'attività cardiaca del paziente (durata intervalli ECG, presenza di aritmie). Un aspetto che risulta essere particolarmente interessante nell'analisi dell'ECG è l'*heart rate variability* (variabilità della frequenza cardiaca o HRV), perché è in grado di indicizzare il tono vagale cardiaco, che rappresenta il contributo del sistema nervoso parasimpatico alla regolazione cardiaca. In particolare, la seguente figura (Figura 10) mostra il modo in cui l'HRV viene calcolato sulla base agli intervalli R – R del complesso QRS (distanza tra picchi consecutivi) estratti dal segnale dell'elettrocardiogramma (ECG).^[2]

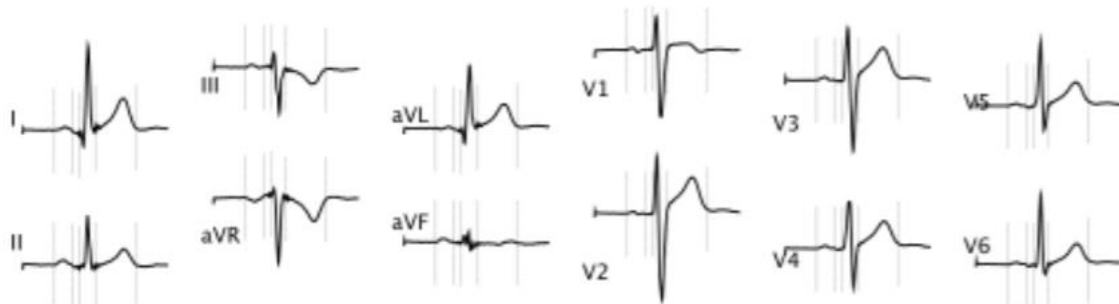


Figura 9: tracciati corrispondenti alle 12 derivazioni.

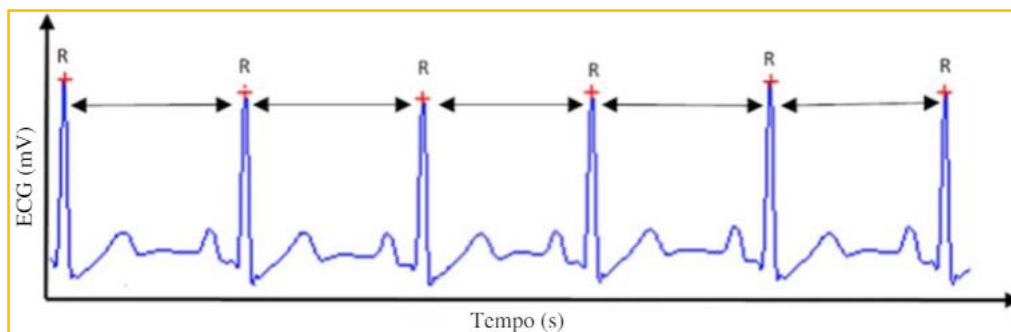


Figura 10: Picchi R-R. ^[2]

Esistono diversi indici HRV e diversi metodi di misurazione: per la durata temporale, sono state standardizzate le misurazioni di 24 ore e 5 minuti, per l'analisi sono stati ampiamente utilizzati metodi nel dominio del tempo, nel dominio della frequenza.^[3]

Il metodo nel dominio del tempo consiste nell'analizzare i dati sulla frequenza cardiaca in base alla sequenza temporale. Gli indici comuni del dominio del tempo sono:^[3]

- SDNN: deviazione standard (SD) degli intervalli RR da normale a normale (NN)
- SDANN: deviazione standard degli intervalli NN medi per ogni segmento di 5 minuti di una registrazione HRV di 24 ore
- RMSSD: radice quadratica media delle differenze successive dell'intervallo RR
- pNN50: percentuale di intervalli RR successivi che differiscono di oltre 50 millisecondi

Il metodo nel dominio della frequenza è costituito invece da due fasi:

- 1) costruzione del tacogramma
- 2) valutazione dello spettro di potenza del tacogramma

Il tacogramma è definito come la serie temporale degli intervalli RR espressa in funzione del numero successivo di battiti. L'analisi dell'HRV si effettua tramite la stima della potenza spettrale (trasformata di Fourier al quadrato) della serie degli intervalli RR. Lo spettro di potenza del tacogramma mostra la presenza di componenti in frequenza proprie del sistema nervoso (sia simpatico che parasimpatico) che, come evidenziato sopra, è noto avere influenza sulla variabilità del ritmo cardiaco. Gli indici comuni nel dominio della frequenza sono:

- VLF: potenza a bassissima frequenza, dipende da fenomeni di natura non lineare e associabili alla teoria del caos.
- LF: potenza a bassa frequenza, è associata all'attività del sistema simpatico
- HF: potenza ad alta frequenza, è associata all'attività del sistema parasimpatico e al picco respiratorio
- LF/HF: rapporto tra potenza a bassa frequenza e potenza ad alta frequenza

La seguente immagine (Figura 11) evidenzia le tre bande di frequenza in cui si suddivide lo spettro di potenza.

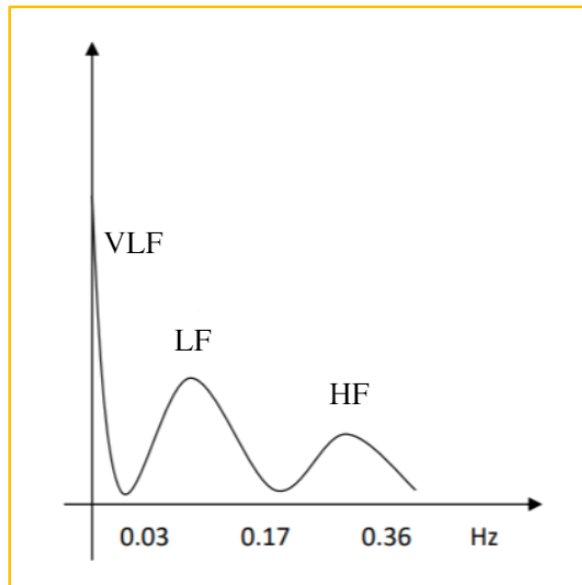


Figura 11: Bande d'interesse nello spettro di potenza.

2. Autismo

2.1. Definizione del Disturbo e sintomi

Ritenendo la trattazione dell'autismo e dei suoi sintomi la finalità di questo capitolo, è in primo luogo fondamentale attribuire una definizione al termine stesso. Per fare ciò è necessario prendere in considerazione un intero secolo di ricerca, che ha portato ad una naturale evoluzione della dicitura e, di conseguenza, a rivoluzioni sia per quanto concerne la diagnosi del disturbo sia per la classificazione dei soggetti da questo affetti. Va inoltre fatto presente che la concezione di quello che attualmente viene definito come “disturbo dello spettro autistico” è in continua via di sviluppo.^[4]

Di seguito vengono dunque riportati i tratti salienti della suddetta evoluzione, ponendo particolare attenzione sui cambiamenti riguardanti la diagnosi del Disturbo.

Il termine “autismo” viene usato per la prima volta nel 1911 da Eugen Bleuler (Zollikon, 30 aprile 1857 – Zollikon, 15 luglio 1939), psichiatra svizzero, per descrivere la “mancanza di connessione con gli altri” in alcuni soggetti affetti da schizofrenia.^[5]

Per poter invece segnalare pubblicazioni relative al Disturbo bisogna arrivare al 1943, anno in cui Leo Kanner (Klektow, 13 giugno 1894 – Sykesville, 3 aprile 1981) scrive un articolo intitolato “Disturbi autistici del contatto affettivo”, con lo scopo di fornire evidenze generate dall'osservazione di 11 bambini che lo psichiatra riteneva “nati senza la predisposizione ad essere sociali e con incapacità di affrontare cambiamenti nelle loro routine quotidiane”. In quello che viene indicato come il “primo autismo di Kanner” si evidenziano quindi le problematiche relative alle interazioni umane ma non quelle inerenti alla comunicazione, che invece sono un tratto tipico dell'attualmente denominato “disturbo dello spettro autistico”.^[5]

Nel 1980 si giunge al riconoscimento ufficiale della diagnosi di “Autismo infantile” all'interno della terza edizione del Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali (DSM-III), documento di riferimento per la psichiatria, rilasciato dall'American Psychiatric Association (APA) e periodicamente revisionato.^[5]

Nel 1987, a seguito di una rivalutazione del DSM III (DSM III-R), la definizione del disturbo si evolve passando da “schizofrenia infantile” a “disturbo autistico”. Il DSM III-R, inoltre, fornisce un'elaborazione più complessa che per la diagnosi richiede il soddisfacimento di almeno 8 fra i 16 criteri presenti all'interno di tre domini: interazione sociale, comunicazione, restrizione degli interessi e delle attività.^[6]

Con l'adozione, nel 1994, del DSM IV vengono integrate altre tipologie di disturbi, dunque l'autismo arriva a comprendere i seguenti profili ^[4]:

- Disturbo autistico
- Disturbo di Asperger
- Disturbo di Haller (o Disturbo Disintegrativo dell'infanzia)
- Disturbo generalizzato dello sviluppo non altrimenti specificato (PDD-NOS)

Nel 2013 si giunge alla definizione attuale, grazie ad una rivoluzionaria revisione del Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali (DSM-5).^[7]

L'innovazione introdotta in questa circostanza poggia sull'introduzione del termine "spettro" nella formulazione, che permette di cambiare punto di vista e di rappresentare il Disturbo in maniera più completa e profonda. Si costruisce una nuova concezione della condizione clinica, basata sull'uso della diagnosi dimensionale: ogni caratteristica, sintomo o deficit, viene quindi definita come un lungo continuum dimensionale all'interno del quale bisogna collocare intensità e gravità. L'APA introduce quindi il concetto di "disturbo dello spettro autistico", riflettendo il consenso scientifico che rappresenta i quattro disturbi, precedentemente descritti in maniera separata (DSM-IV-TER, 2000), come una singola condizione delineata in due domini:^[8]

- 1) Deficit nella comunicazione sociale e nell'interazione sociale
- 2) Comportamenti, interessi o attività ristretti e ripetitivi

Nella seguente immagine (Figura 12) viene evidenziato il passaggio introdotto dal DSM-5.^[9]

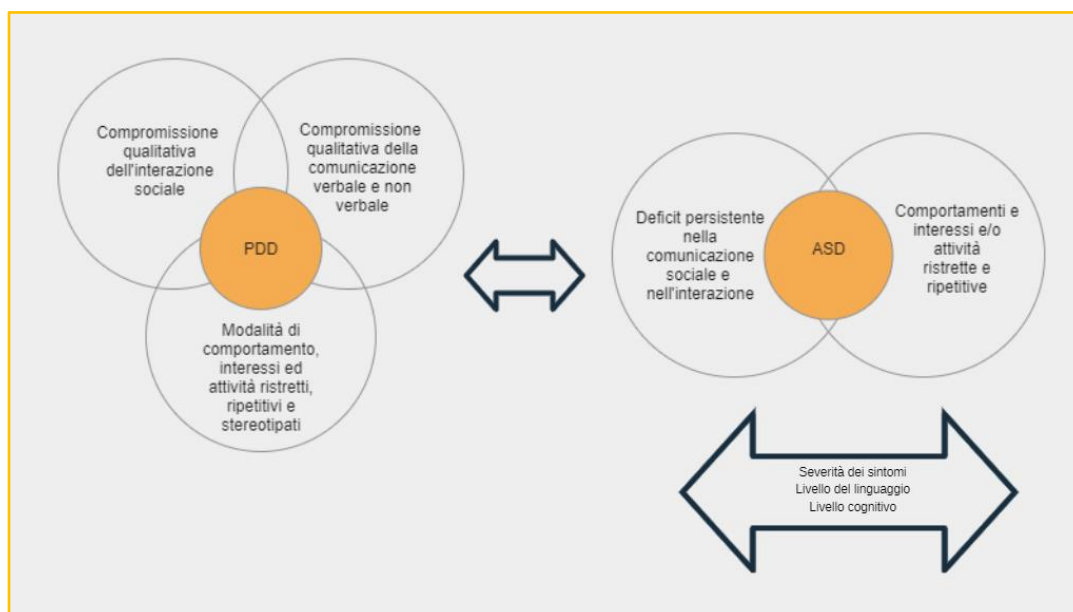


Figura 12: Cambiamenti introdotti dal DSM-5 in termini di domini nella definizione del concetto di "disturbo dello spettro autistico".^[9]

Il complesso percorso di innovazione del termine con cui viene etichettato il Disturbo non ha comunque condotto ad un'unanimità di pensiero: recenti discussioni pubbliche suggeriscono infatti che c'è molto disaccordo sul modo in cui l'autismo è e dovrebbe essere descritto. Con riferimento ad uno studio svoltosi in Regno Unito, in cui la popolazione è stata interrogata sui termini prediletti per definire l'autismo, si evidenzia chiaramente che le persone usano molte forme. Questi risultati dimostrano pertanto che non esiste un unico modo per dipingere l'autismo che sia universalmente accettato, risaltando dunque la profonda ed intima complessità che caratterizza la sindrome.^[10]

Spostando ora l'attenzione su quelli che sono i meccanismi eziopatogenetici, ovvero sullo studio delle cause dell'autismo, questi risultano ad oggi ancora sconosciuti. Ciò è principalmente dovuto alla natura del Disturbo, che si sviluppa negli intricati rapporti mente-cervello e che non lascia la possibilità di far riferimento al modello sequenziale eziopatogenetico (Etiologia, Anatomia patologica, Patogenesi, Sintomatologia), comunemente adottato nelle discipline mediche. Per quanto concerne l'autismo, l'etiologia, l'anatomia patologica e la patogenesi definiscono tre aree di ricerca ancora distinte, in quanto sono tutt'ora ignoti i rapporti causali che intercorrono tra le suddette.^[11]

Dal punto di vista epidemiologico l'autismo non presenta prevalenze geografiche e/o etniche. Al contrario, si evidenzia una differenziazione tra i sessi: il disturbo colpisce i maschi in misura da 3 a 4 volte superiore rispetto alle femmine.^[12]

Il Disturbo esordisce nei primi tre anni di vita e, a livello sintomatico, interessa le aree relative alla comunicazione ed all'interazione sociale specifica. Risulta inoltre compromesso lo sviluppo del linguaggio, al punto che questo arriva ad essere incompleto o, in alcuni casi, totalmente inesistente. Tutti questi aspetti possono accompagnarsi anche a ritardo mentale, che si può presentare in forma lieve, moderata o grave.^[13]

La presenza del Disturbo implica che il bambino cresca con esso: questo non preclude lo sviluppo di singole abilità durante la crescita, fermo restando che anche queste saranno caratterizzate dalla presenza del Disturbo stesso. Non è possibile trattare una valutazione dell'autonomia dei soggetti autistici in termini globali, in quanto strettamente legata ai singoli, pur essendo questi caratterizzati da una comune condizione di disabilità.^[13]

In particolare, risultano essere comunque una stragrande maggioranza (dal 60% al 90%) i bambini che divengono adulti non autosufficienti. Un numero minore di soggetti autistici invece in grado di vivere all'interno della comunità, con differenti gradi di indipendenza; in casi più rari si arriva a condurre una vita normale o quasi normale dal punto di vista dell'autonomia.^[11]

I sintomi principali dei disturbi dello spettro autistico influenzano i domini di socializzazione, comunicazione e comportamento (Figura 13).^[14]

Socializzazione

- Uso alterato di comportamenti non verbali per regolare le interazioni
- Ritardo nelle interazioni tra pari, poche o nessuna amicizia e poca interazione
- Assenza di cercare di condividere divertimento e interessi
- Inizio ritardato delle interazioni
- Poca o nessuna reciprocità sociale e assenza di giudizio sociale

Comunicazione

- Ritardo nel linguaggio verbale senza compensazione non verbale (p. Es., Gesti)
- Compromissione del linguaggio espressivo e della conversazione e disturbo nell'uso pragmatico del linguaggio
- Linguaggio stereotipato, ripetitivo o idiosincratico
- Gioco immaginativo ritardato e imitativo sociale

Modelli di comportamento limitati, stereotipati e ripetitivi

- Preoccupazione per interessi o argomenti stereotipati o limitati
- Aderenza alla routine, rigidità e comportamento perseverante
- Manierismi motori stereotipati e ripetitivi e comportamento auto-stimolante
- Preoccupazione o fascino per parti di oggetti e insolita esplorazione visiva

Figura 13: Domini fondamentali dell'autismo.^[14]

2.2. Metodi per la diagnosi e scale per la valutazione

In un primo approccio alla diagnosi di autismo si farà riferimento ai metodi illustrati sul DSM-IV-TER (APA, 2002).^[11]

Le caratteristiche del Disturbo rendono la diagnosi un processo complesso: prevedendo questa una valutazione dei soli aspetti comportamentali, è necessaria una forma di compromesso tra una standardizzazione ed una flessibilità, così da garantire da un lato la validità e la riproducibilità dei dati, ma senza trascurare, d'altra parte, gli aspetti umani ed i "comportamenti autistici" che variano al variare dei soggetti. I sistemi attraverso i quali si effettua la diagnosi sono questionari, interviste strutturate e scale di valutazione standardizzate, tutti elaborati sulla base dei criteri diagnostici del DSM-IV-TER, riportati nel seguente pannello (Figura 14).^[11]

- A. Un totale di 6 (o più) voci da (1), (2), e (3), con almeno 2 da (1), e uno ciascuno da (2) e (3):
- 1) compromissione qualitativa dell'interazione sociale, manifestata con almeno 2 dei seguenti:
 - a) marcata compromissione nell'uso di svariati comportamenti non verbali, come lo sguardo diretto, l'espressione mimica, le posture corporee e i gesti, che regolano l'interazione sociale
 - b) incapacità di sviluppare relazioni coi coetanei adeguate al livello di sviluppo
 - c) mancanza di ricerca spontanea della condivisione di gioie, interessi o obiettivi con altre persone (per es., non mostrare, portare, né richiamare l'attenzione su oggetti di proprio interesse)
 - d) mancanza di reciprocità sociale o emotiva;
 - 2) compromissione qualitativa della comunicazione come manifestato da almeno 1 dei seguenti:
 - a) ritardo o totale mancanza dello sviluppo del linguaggio parlato (non accompagnato da un tentativo di compenso attraverso modalità alternative di comunicazione come gesti o mimica)
 - b) in soggetti con linguaggio adeguato, marcata compromissione della capacità di iniziare o sostenere una conversazione con altri
 - c) uso di linguaggio stereotipato e ripetitivo o linguaggio eccentrico
 - d) mancanza di giochi di simulazione vari e spontanei, o di giochi di imitazione sociale adeguati al livello di sviluppo;
 - 3) modalità di comportamento, interessi e attività ristretti, ripetitivi e stereotipati, come manifestato da almeno 1 dei seguenti:
 - a) dedizione assorbente ad uno o più tipi di interessi ristretti e stereotipati anomali o per intensità o per focalizzazione
 - b) sottomissione del tutto rigida ad inutili abitudini o rituali specifici
 - c) manierismi motori stereotipati e ripetitivi (battere o torcere le mani o il capo, o complessi movimenti di tutto il corpo)
 - d) persistente ed eccessivo interesse per parti di oggetti;
- B. Ritardi o funzionamento anomalo in almeno una delle seguenti aree, con esordio prima dei 3 anni di età: (1) interazione sociale, (2) linguaggio usato nella comunicazione sociale, o (3) gioco simbolico o di immaginazione.
- C. L'anomalia non è meglio attribuibile al Disturbo di Rett o al Disturbo Disintegrativo della Fanciullezza.

Figura 14: Criteri diagnostici del Disturbo Autistico (dal DSM-IV-TR).^[11]

Vengono di seguito riportate le scale di valutazione del comportamento autistico, con una breve descrizione.^[11]

- Childhood Autism Rating Scale (CARS) – (Schopler et al., 1988): permette di esplorare 15 aree di sviluppo, a ciascuna delle quali viene assegnato un punteggio da 1 a 4 (1=nella norma, 2=lievemente anormale, 3=moderatamente anormale, 4=gravemente anormale per l'età). La somma dei punteggi riportati esprime il livello di gravità dell'autismo. Può essere utilizzata dai 2 anni di età e richiede circa 30 minuti per la somministrazione.
- Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS) – (Lord et al., 2000): si basa sull'osservazione diretta e standardizzata del bambino. Può essere utilizzata dai 2 anni di età e richiede circa 30-45 minuti per la somministrazione.
- Autism Diagnostic Interview-Revised (ADI-R) – (Lord et al., 1994): è uno strumento diagnostico complementare all'ADOS e consiste in un'intervista semistrutturata destinata ai genitori. La somministrazione richiede circa 1 ora e 30 minuti.
- Autism Behavior Checklist (ABC) – (Krug, Arid, Almond, 1980): è una scala di valutazione che fa riferimento a 57 comportamenti “problema” divisi in 5 categorie. Non è uno strumento sensibile: si presta più ad essere utilizzato come mezzo di valutazione degli effetti di un intervento terapeutico, che come strumento diagnostico. Può essere utilizzata dai 18 mesi di età.
- Vineland-Adaptive Behavior Scales (VABS) – (Sparrow et al., 1984): consiste in un'intervista semistrutturata. Non è uno strumento con significato “diagnostico”, ma un vero e proprio strumento di valutazione, attualmente è la migliore scala psicometrica che valuta il livello adattativo di un individuo. Indaga il comportamento adattivo (CA) che è un parametro che riguarda le attività che un soggetto deve compiere quotidianamente per essere sufficientemente autonomo.

Nella seguente tabella sono riassunte le caratteristiche delle diverse scale, con un riferimento alla sensibilità delle scale di valutazione CARS, ADOS e ADI-R.^[15]

Tabella 1: Scale di valutazione del comportamento autistico a confronto.^[15]

Scala	Metodo	Età minima	Tempo di somministrazione	Sensibilità
CARS	Somministrazione di punteggi a 15 aree di sviluppo	2 anni	30 minuti	da 0,66 a 0,89
ADOS	Osservazione diretta e standardizzata del bambino	2 anni	30-45 minuti	da 0,76 a 0,98
ADI-R	Intervista semistrutturata ai genitori	-	1 ora e 30 minuti	da 0,19 a 0,75
ABC	Riferimento a 57 “comportamenti problema”	18 mesi	-	-
VABS	Valutazione del comportamento adattivo (CA)	da 0 a 18 anni	-	-

Le problematiche sopra illustrate evidenziano le ragioni per cui attualmente non esistono strumenti per indagini di laboratorio in grado di diagnosticare l'autismo. L'ambizione di evidenziare tratti caratteristici che possano fungere da “marker” per notare la presenza del Disturbo rappresenta comunque un punto focale della ricerca odierna, in quanto una diagnosi precoce e quindi una tempestiva terapia comportamentale sono le pietre miliari per il successo nella gestione dell'ASD.^[16]

Molteplici studi nel corso degli ultimi anni si sono concentrati su tratti caratteristici presenti nei cervelli di soggetti autistici.^[17]

Sebbene le basi neuroanatomiche dell'autismo non siano ancora note, le prove suggeriscono che l'allargamento del cervello può essere caratteristico di questo disturbo. Sono stati perciò condotti studi sulla tempistica dell'allargamento del cervello a partire da evidenze sulla circonferenza della testa (HC).^[18]

In questo senso, dunque, la neurobiologia interviene nella ricerca di un metodo diagnosi precoce attraverso l'uso di tecniche di imaging e neuropatologia strutturale e funzionale. Questo modello è stato rilevato solo di recente perché per gran parte dei suoi 70 anni di storia, le anomalie cerebrali ASD sono state reputate statiche.^[19]

Durante la prima infanzia, il volume cerebrale nell'ASD mostra un ingrossamento anomalo, queste differenze diminuiscono leggermente con la tarda infanzia o nell'adolescenza. La crescita eccessiva ed anormale del cervello si verifica durante i primi 2 anni di vita nei bambini con autismo, ovvero nel momento in cui la formazione dei circuiti cerebrali è al suo stadio più vulnerabile. La connettività compromessa e la disfunzione che ne derivano possono condurre allo sviluppo di comportamenti autistici.^[20]

In conclusione, si evidenzia che in aggiunta agli studi condotti sulla macrocefalia e sul volume cerebrale, sono stati raggiunti risultati notevoli anche analizzando l'anomalia del lobo frontale. Essendo ampiamente noto che la corteccia frontale svolge un ruolo chiave nelle funzioni cognitive, linguistiche, sociali ed emotive di ordine superiore, ognuna delle quali è gravemente carente nell'autismo, per diverso tempo si è ipotizzato che un'anormalità del lobo frontale potesse essere alla base della riduzione delle suddette funzioni nell'autismo.^[21]

Diverse valutazioni recenti hanno rilevato, e quindi confermato, con prove da studi di imaging e post-mortem che il lobo frontale, così come altre regioni del cervello, come il cervelletto e il sistema limbico, si sviluppano in modo anormale nei bambini con autismo.^[22]

Come già evidenziato, gli obiettivi prossimi degli studi vertono sull'identificazione precoce, che aiuta a offrire terapie comportamentali agli individui affetti ed è anche responsabile della diminuzione dello stress familiare e del riconoscimento rapido dei problemi collaterali che possono presentarsi insieme ai sintomi significativi dell'autismo.^[16]

Oltre agli aspetti trattati dalla neurobiologia, la ricerca si concentra su un'evoluzione di carattere biochimico, con lo scopo di isolare un biomarcatore valido per facilitare la diagnosi precoce di ASD.^[23]

Molti studi hanno identificato potenziali biomarcatori ematici per l'ASD, tuttavia, ad oggi nessuno di questi è stato in grado di mostrare sensibilità e specificità elevate. Successivamente l'interesse si è spostato su biomarcatori salivari e si è concluso che le variazioni dei livelli di α -sinucleina (monomero ed oligomero) salivari sono equivalenti ai cambiamenti plasmatici osservati nei bambini con autismo. Questo studio ha concluso che i bambini affetti da autismo hanno bassi livelli sia di α -

sinucleina rispetto ai bambini sani, stabilendo quindi l'importanza della saliva come strumento diagnostico facilmente collezionabile e non invasivo rispetto al sangue e al liquido cerebrospinale. Misurati insieme, i livelli salivari di α -sinucleina monomero ed oligomero sono marcatori biochimici appropriati per la diagnosi precoce di ASD. [16]

Uno studio ha invece considerato l'ipotesi che vedeva la frequenza cardiaca come un parametro candidato ad essere un potenziale biomarcatore. L'attività cardiaca, come l'*heart rate* (frequenza cardiaca o HR) e l'*heart rate variability* (variabilità della frequenza cardiaca o HRV), è collegata a un'ampia gamma di funzioni psicologiche. I risultati di questo studio mostrano però che HR e HRV non differenziano i bambini con ASD a livello diagnostico e quindi non sono un biomarcatore per ASD.[24]

Essendo una problematica venuta alla luce in tempi relativamente recenti, il disturbo dello spettro autistico è una sindrome in continua evoluzione. In particolare, i nuovi punti di vista introdotti dal DSM-5 spingono la ricerca a compiere nuove considerazioni, rendendo i metodi di diagnosi tradizionale quasi lacunosi. Considerando i variegati metodi descritti risulta evidente che le strade aperte per la trattazione del disturbo sono numerose, ma che ancora non sé giunti ad una standardizzazione in termini diagnostici.[8]

3. Nuoto nei soggetti autistici

3.1 Attività fisica nei soggetti autistici

3.1.1 Aspetti cardiovascolari

La ricerca psicofisiologica che si concentra sulla variabilità della frequenza cardiaca (HRV) risulta essere particolarmente importante perché l'HRV (i cui tratti salienti sono descritti nel capitolo 1), come ribadito in precedenza, è in grado di indicizzare il tono vagale cardiaco, che è collegato a molti fenomeni rilevanti per la ricerca psicofisiologica, inclusa l'autoregolazione a livello cognitivo, emotivo e sociale. ^[25]

Tra le varie caratteristiche neurofisiologiche del disturbo dello spettro autistico, il ruolo del sistema nervoso autonomo ha guadagnato sempre più attenzione. Il sistema nervoso autonomo è uno dei principali sistemi del corpo per il mantenimento dell'omeostasi, si divide in sistema simpatico e sistema parasimpatico: si vede una prevalenza del sistema simpatico quando un individuo affronta cambiamenti o stress, mentre l'attività parasimpatica aumenta durante il riposo e il rilassamento. La variabilità della frequenza cardiaca (HRV) è lo strumento di misurazione della funzione autonoma più comunemente usato e conveniente. Poiché la frequenza cardiaca è controllata da modulazioni simpatiche e parasimpatiche, la sua variabilità fornisce una misura generica dell'attività autonoma (soprattutto parasimpatica).^[26]

In seguito, vengono descritti due studi che hanno indagato come varia la frequenza cardiaca (HR) in soggetti con diagnosi di ASD che affrontano uno stress, sia psicosociale (primo studio), sia motorio (secondo studio).

I pazienti autistici sono clinicamente descritti come aventi una maggiore vulnerabilità allo stress, che si ritiene essere conseguenza dei deficit che questi individui presentano nei domini di comunicazione e socialità. Nei soggetti autistici sono state riscontrate in particolare menomazioni nella risposta fisiologica allo stress, specialmente per quanto riguarda la frequenza cardiaca e la sua variazione davanti a stress psicosociale. Nell'immagine (Figura 15) vengono riportate le risposte della frequenza cardiaca ad un test di valutazione dello stress psicosociale che includeva due step: il primo consisteva nel parlare in pubblico (PS), il secondo è invece il cosiddetto test di controllo ed è costituito da una sessione identica alla prima, tranne per il fatto che il soggetto non doveva svolgere il compito di parlare in pubblico ma trascorreva questo periodo in uno stato di rilassamento.^[27]

Risulta dunque evidente che i soggetti con ASD mostrano risposte diminuite rispetto ai controlli. Come approfondito in precedenza, la frequenza cardiaca è il risultato di interazioni tra il sistema nervoso simpatico e parasimpatico. La compromissione dimostrata nella risposta della frequenza cardiaca può quindi essere correlata a carenze nel sistema vagale. Al fine di verificare se ci sono

anomalie nell'attivazione vagale, studi futuri sulla funzione autonoma nell'ASD dovrebbero includere anche misure di attivazione vagale e le misure dell'intervallo PQ.^[27]

Oltre ai sintomi del neurosviluppo osservati nell'autismo, molti individui mostrano ritardi o deficit nello sviluppo di comportamenti motori. Come già evidenziato nei soggetti con ASD sono state riscontrate menomazioni nella risposta fisiologica allo stress psicosociale, ma lo stesso tipo di deficit è evidente anche nella risposta cardiaca durante l'esercizio fisico. I cambiamenti dell'HR durante la stimolazione diversa sembrano essere mediati più dal sistema parasimpatico che dal sistema simpatico, e durante uno sforzo fisico, l'aumento della frequenza cardiaca è il contributo più forte alla capacità di eseguire adeguatamente un esercizio aerobico sostenuto.^[28]

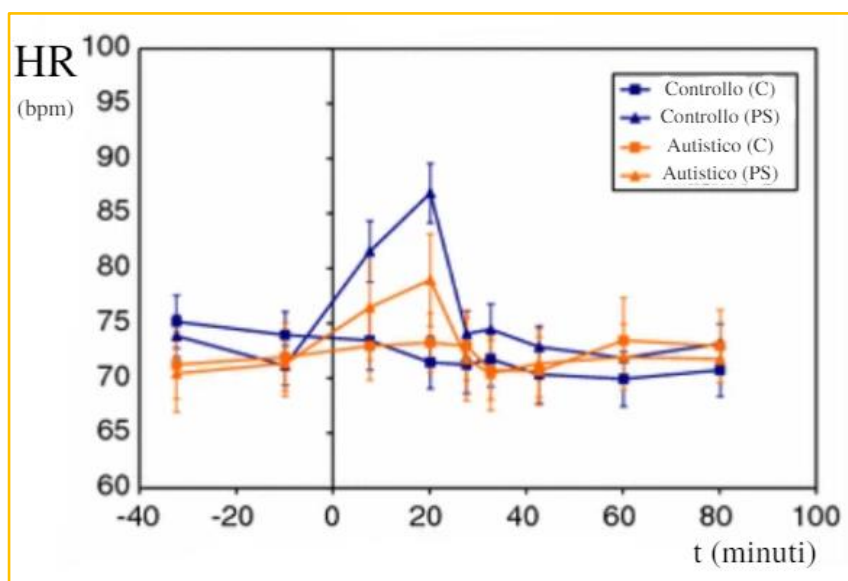


Figura 15: variazioni dell'HR nel tempo in soggetti normali ed autistici sottoposti a test di valutazione dello stress psicosociale.^[27]

Si fa in seguito riferimento ad uno studio che ha esaminato la risposta cardiaca prima, durante e dopo un test costituito da una serie di esercizi motori. Le registrazioni elettrocardiografiche sono state ottenute utilizzando un cardio-registratore. L'HR massima (HR picco) è stata definita come la frequenza cardiaca più alta durante il test. Per ogni prova, sono stati calcolati anche la frequenza cardiaca prima della prova fisica (HR pre-test) e quella media (HR media). Gli andamenti dei tre parametri sono riportati in figura (Figura 16). Sono evidenziate in particolare le differenze tra un gruppo di soggetti con diagnosi ASD (ASD) ed un gruppo di controllo (CONT).^[28]

In entrambi i gruppi, la frequenza cardiaca è aumentata in modo significativo tra l'inizio del test e la fase di attività fisica massima, ma con un coefficiente di pendenza inferiore nel gruppo ASD. I bambini con ASD avevano inoltre un'HR pre-test significativamente inferiore rispetto al gruppo di

controllo, così come durante la valutazione fisica. In questi soggetti risulta inferiore anche la frequenza cardiaca massima.^[28]

Il disturbo dello spettro autistico può dunque essere caratterizzato da menomazioni motorie, capacità di abilità quotidiane inferiori e compromissione dell'adattamento cardiaco all'esercizio fisico rispetto ai controlli. La valutazione motoria sembra essere di particolare interesse perché l'attività fisica è essenziale per la salute e il benessere generale. Se i bambini sono coinvolti nello sport fin dalla tenera età e continuano fino all'età adulta, la loro qualità di vita migliorerà e il rischio cardiovascolare associato all'inattività fisica diminuirà.^[28]

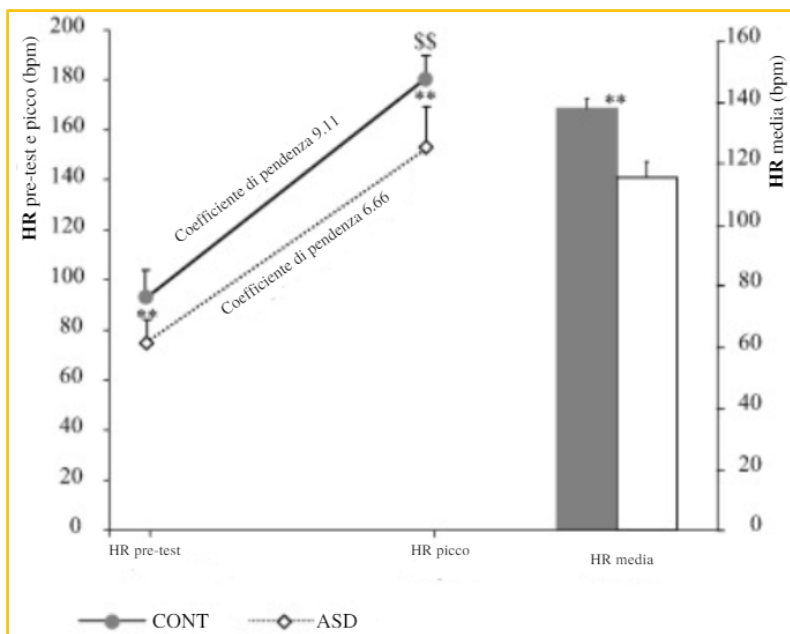


Figura 16: parametri riferiti all'heart rate in soggetti autistici e normo sviluppati durante un test di tipo motorio.^[28]

3.1.2. Benefici complessivi

Come ribadito nel capitolo precedente, l'autismo è un disturbo del neurosviluppo che colpisce più organi e sistemi del corpo.^[29]

I bambini con disturbo dello spettro autistico manifestano una varietà di sintomi principali, che comprendono deficit precoci nella comunicazione e nell'interazione sociale, oltre a comportamenti limitati e ripetitivi che interferiscono con la partecipazione alla vita quotidiana.^[30]

Molti studi hanno riportato la presenza di difficoltà motorie e sensoriali nei bambini ASD durante il loro sviluppo iniziale. A causa dei sopracitati deficit, dunque, risulta essere elevato il rischio di inattività in questa popolazione.^[31]

In particolare, rispetto ai bambini con sviluppo tipico, quelli con diagnosi ASD hanno maggiore probabilità di avere difficoltà con equilibrio, stabilità posturale, andatura, flessibilità articolare e con la velocità di movimento.^[32]

Un'area di ricerca promettente per attenuare i comportamenti dovuti alla presenza dei suddetti deficit è rappresentata dagli interventi di esercizio con carattere aerobico. Nello specifico, l'utilizzo di esercizi aerobici ha dimostrato di ridurre il comportamento aggressivo, il comportamento stereotipato e quello autolesionistico, lasciando invece inalterati tutti quei comportamenti che possono essere definiti come positivi.^[33]

In termini generici è stato confermato che effettivamente la pratica di una disciplina di carattere aerobico risulta essere un valido aiuto nel controllo delle emozioni nei soggetti che mostrano difficoltà nel gestirle.^[34]

Una metanalisi ha in particolare indagato l'impatto di interventi di attività fisica sulla funzione esecutiva di soggetti ASD. Complessivamente è bene evidenziare che le funzioni esecutive (chiamate anche controllo esecutivo o controllo cognitivo) rappresentano una famiglia di processi mentali "dall'alto verso il basso", che intervengono nei casi in cui si ritiene opportuno non agire seguendo un meccanismo automatico come l'istinto.^[35]

I risultati di questa metanalisi hanno ribadito che gli interventi di attività fisica per individui con disturbi dello sviluppo neurologico hanno prodotto effetti positivi sugli aspetti delle funzioni esecutive, migliorando più domini delle stesse.^[36]

Uno studio pilota ha focalizzato invece l'attenzione sull'attività di jogging, riscontrando un rafforzamento della consapevolezza di sé e dell'umore generale nei soggetti ASD valutati. Una possibile spiegazione è stata elaborata sulla base del fatto che i partecipanti potrebbero aver

sperimentato un miglioramento cognitivo o una maggiore autoefficacia con il fine di implementare strategie di regolazione delle emozioni e per far fronte a quelle interferenti.^[37]

Infine, una revisione ha preso in esame, oltre al jogging, le attività di equitazione, danza, arti marziali e nuoto, dimostrando che tutti questi interventi possono portare a numerosi progressi in termini di diminuzione dei comportamenti stereotipati, di funzionamento socio-emotivo e di mantenimento dell'attenzione. Gli studi indagati nella sopracitata revisione sono riportati nella seguente tabella (Tabella 2).^[38]

Tabella 2: Riassunto degli studi presi in esame nella revisione sui benefici apportati da un'attività in termini di miglioramento dei sintomi tipici dell'ADS.^[38]

Autori (anno)	Soggetti	Diagnosi	Tipo di intervento	Follow-up
Bahrami et al. (2012) ^[38]	30	Autismo	Arti marziali	30 giorni
Bass et al. (2009) ^[39]	34	Autismo	Equitazione	-
Kern et al. (2011) ^[40]	24	Autismo	Equitazione	-
Levinson e Reid (1993) ^[41]	3	Autismo	Jogging	90 minuti
Movahedi et al. (2013) ^[42]	26	Autismo	Arti marziali	30 giorni
Pan (2010) ^[43]	16	Autismo e sindrome di Aspenger	Nuoto	10 settimane
Roseblatt et al. (2011) ^[44]	24	Autismo	Yoga e danza	-

In seguito, verranno approfonditi i tratti fondamentali dell'attività di nuoto e successivamente i suoi benefici nei soggetti affetti da disturbo dello spettro autistico.

3.2 Introduzione alla disciplina di nuoto

Il nuoto è un'attività motoria molto adatta al supporto della salute e del benessere. L'esercizio può essere eseguito sia a livello agonistico che con scopo ricreativo: in generale è una delle forme di attività fisica più popolari, praticate e consigliate, in quanto facilmente accessibile e non molto costosa.^[45]

Fisiologicamente e meccanicamente, il nuoto è in larga misura diverso dagli altri sport di resistenza: combinando, infatti, l'aumento della profondità degli atti respiratori (iperpnea) indotto dallo sforzo e l'immersione di tutto il corpo e del viso, va a provocare l'affaticamento muscolare di tutto l'organismo, andando a coinvolgere sia l'apparato locomotore, sia quello dei muscoli respiratori.^[46]

Il fatto che il nuotatore, a causa della galleggiabilità dell'acqua, non risenta del carico del proprio peso corporeo implica che le forze articolari di compressione sono inferiori e, di conseguenza, gli impatti negativi sul sistema muscolo-scheletrico e le lesioni sono rari.^[45]

In merito all'apparato respiratorio vanno invece fatte considerazioni specifiche.^[45]

I dati suggeriscono che il nuoto sia uno sport straordinariamente impegnativo per i muscoli respiratori: l'immersione in acqua costringe i nuotatori ad espandere la parete toracica contro una pressione più alta e ad aumentare la velocità di contrazione dei muscoli inspiratori. Questi fattori, insieme ad un potenziale duplice uso dei muscoli respiratori accessori per aiutare il nuoto, potrebbero portare ad affaticamento muscolare.^[47]

L'affaticamento dei muscoli respiratori si sviluppa durante un esercizio esaustivo e può limitarne la qualità d'esecuzione. L'allenamento dei muscoli respiratori (RMT), a sua volta, può aumentare le prestazioni dell'esercizio. La RMT, infatti, può ridurre lo sviluppo dell'affaticamento contrattile dei muscoli inspiratori ed espiratori, nonché la percezione di sensazioni respiratorie avverse durante l'esercizio esaustivo a carico costante.^[48]

Studi successivi si sono invece focalizzati sulla specifica formazione dei muscoli inspiratori (IMT) e sugli eventuali benefici nel nuoto d'élite, arrivando a concludere che l'IMT ha un effetto benefico sulle prestazioni di nuoto con carattere agonistico. L'allenamento dei muscoli inspiratori può quindi essere considerato un valido aiuto ergogenico per i nuotatori competitivi a livello di club.^[49]

Un altro fattore importante che la ricerca sta approfondendo negli ultimi anni è il collegamento di un beneficio in termini di prestazioni con la respirazione a frequenza controllata (CFB) nei nuotatori ricreativi. Questo tipo di tecnica consiste nel trattenere il respiro alla capacità polmonare totale (TLC) per circa 7-12 bracciate prima di fare un altro respiro, ovvero un trattenimento del respiro prolungato (CFB).^[50]

La CFB è una tecnica di allenamento utilizzata dai nuotatori nel tentativo di simulare carichi di lavoro ad alta intensità, limitando la disponibilità di ossigeno al corpo e stimolando il metabolismo anaerobico.^[51]

Nell'ottica di una divisione canonica si evidenziano quattro stili di nuoto, formalmente riconosciuti a livello nazionale della FIN (Federazione Italiana Nuoto):^[52]

- Crawl: l'avanzamento avviene in posizione orizzontale prona, la quale garantisce la minima resistenza del corpo in acqua. Per la propulsione, l'azione delle braccia è nettamente più importante di quella delle gambe.
- Dorso: l'avanzamento avviene in posizione orizzontale supina, il bacino deve essere più sollevato possibile. Il capo è rilassato, appoggiato in acqua e lo sguardo è rivolto in avanti/alto. La propulsione è data, come nel crawl, dall'azione continua della bracciata.
- Rana: l'avanzamento avviene in posizione orizzontale prona, il corpo è leggermente rialzato. A differenza degli altri stili, la propulsione è data principalmente dalla gambata.
- Farfalla: l'avanzamento avviene in posizione orizzontale prona e leggermente inclinata. La propulsione è data da un movimento ondulatorio di tutto il corpo, che nasce da uno sforzo contiguo di braccia e gambe. La testa guida l'ondulazione.

La seguente immagine (Figura 17) illustra l'esecuzione dei quattro stili sopra descritti.

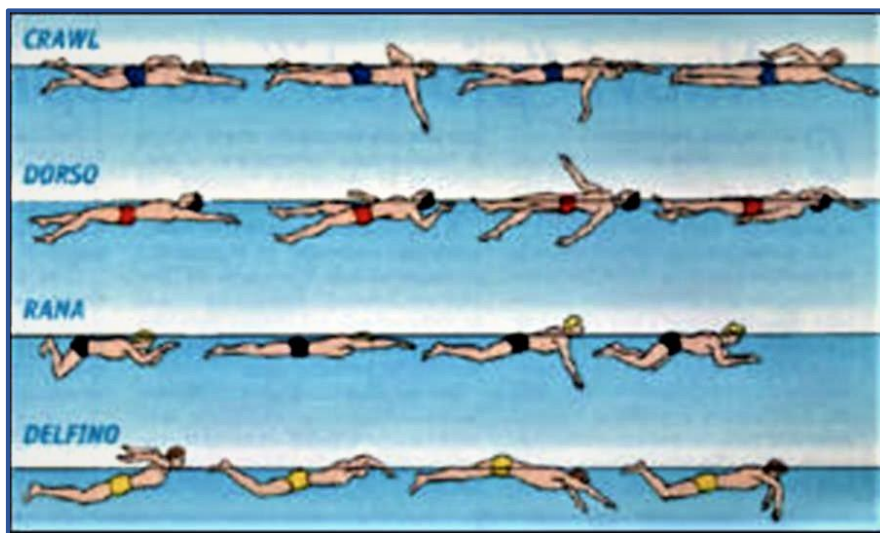


Figura 17: illustrazione dei quattro stili canonici.^[52]

I quattro stili suindicati sono vicendevolmente differenti sia per quanto riguarda le velocità che possono essere raggiunte sia in termini di costo energetico. Le tecniche di nuoto agonistico sono classificate in gruppi alternati (crawl e dorso) e gruppi simultanei (farfalla e rana). Nell'ambito delle tecniche alternate, i nuotatori di solito raggiungono una velocità di nuoto maggiore.^[53]

Un nuotatore competitivo mira, dunque, a percorrere una determinata distanza il più velocemente possibile. Quindi, la velocità media del nuoto è la misura di giudizio migliore per le prestazioni e risulta definita come segue (Eq.1):^[54]

$$v_m = SL \cdot SF \quad \text{Eq.1}$$

Dove v_m rappresenta la velocità media del nuoto, SL la lunghezza della corsa e SF la frequenza della corsa.^[54]

La relazione tra SL , SF , v e le singole prestazioni, facendo anche riferimento al contesto (distanza di gara e stile utilizzato) è uno dei principali punti di interesse nella ricerca biomeccanica. Per una data distanza e sesso, il crawl risulta essere lo stile più veloce, seguito da farfalla, dorso e rana.^[54]

Negli anni si è documentata l'incidenza dello stile non solo in riferimento alla velocità, ma anche per la qualità della prestazione nel complesso. Si ritiene inoltre che lo stile possa incidere sul costo energetico (C), parametro fondamentale per la valutazione energetica dell'atto natatorio.^[55]

Il costo energetico C rappresenta dunque l'energia spesa per coprire un'unità di distanza nuotando ad una data velocità e con un dato colpo, ovvero in un determinato stile.^[54]

Il costo energetico di propulsione nel nuoto è generalmente alto, ma si verifica una notevole riduzione ad una specifica velocità come risultato di un allenamento regolare. Nei nuotatori misti il costo energetico è più basso per il crawl, seguito da dorso farfalla e rana.^[56]

La velocità massima di nuoto è tanto maggiore quanto maggiore è il potere metabolico massimo del nuotatore e minore è il suo costo energetico (C).

Nella seguente immagine (Figura 18) sono illustrati il costo energetico e le sue determinanti, che verranno approfondite successivamente.^[57]

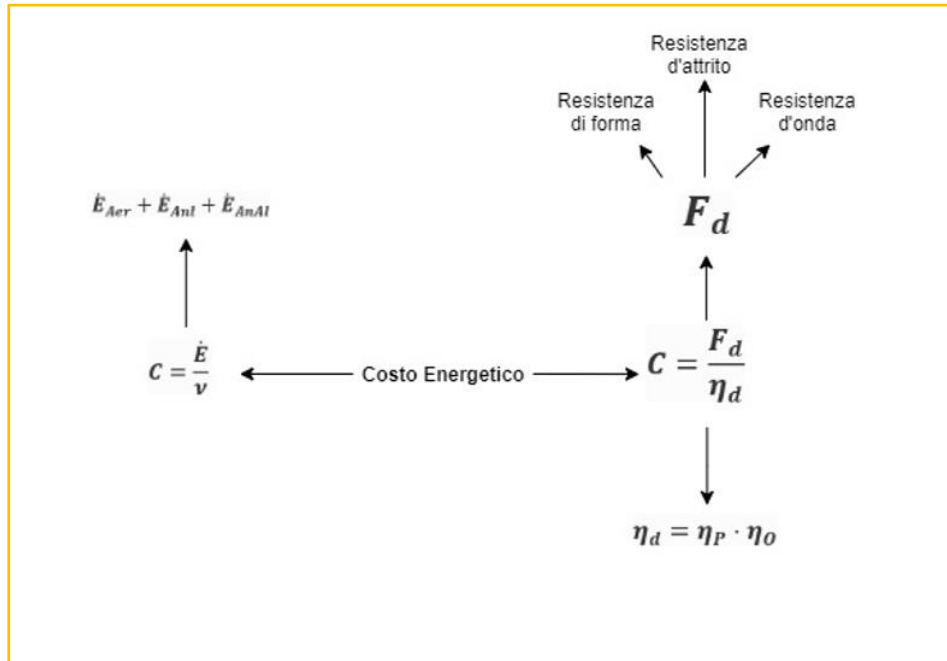


Figura 18: costo energetico del nuoto e sue componenti: le grandezze presenti nell'immagine vengono descritte successivamente in maniera dettagliata.^[57]

Come indicato nell'immagine, per una completa comprensione dell'energetica del nuoto, è necessario non solo misurare / stimare il dispendio di energia metabolica ma anche misurare / stimare il lavoro e l'efficienza del nuoto.^[54]

Si distinguono dunque due espressioni del costo energetico: la prima rappresenta il contributo metabolico e si presta dunque ad un'analisi di tipo fisiologico, mentre la seconda illustra le relazioni fisiche, indagando quindi gli aspetti di carattere biomeccanico, che coinvolgono la propulsione e la resistenza idrodinamica. In seguito, si approfondiscono ambedue gli aspetti, andando del resto a chiarire complessivamente l'immagine.^[58]

In primo luogo, si analizzano le relazioni meccaniche alla base dell'attività natatoria, così presentate (Eq.2):^[57]

$$C = \frac{F_d}{\eta_d} \quad \text{Eq.2}$$

F_d rappresenta la *resistenza idrodinamica*: nella locomozione acquatica l'energia metabolica viene spesa principalmente proprio per superare questa resistenza, tanto più quanto maggiore risulta essere la velocità. La resistenza dell'aria è trascurabile rispetto alla resistenza all'acqua.^[57]

F_d è data dalla somma di tre componenti:^[57]

- La *resistenza di forma*, che dipende dalla forma del corpo e dai suoi effetti sul flusso dell'acqua.
- La *resistenza all'attrito*, che dipende dalle caratteristiche della superficie del corpo e dalle caratteristiche dello strato limite.
- La *resistenza delle onde*, che dipende dalla formazione delle onde sulla superficie dell'acqua.

η_a è invece chiamata *efficienza di prestazione* e rappresenta l'efficienza con cui il potere metabolico immesso viene trasformato in potenza meccanica utile. Esplicitando quanto illustrato nell'immagine (Eq.3):^[57]

$$\eta_a = \eta_P \cdot \eta_O \quad \text{Eq.3}$$

η_P è detta *efficienza propulsiva*, cioè l'efficienza con cui la potenza meccanica complessiva prodotta dal nuotatore si trasforma in potenza meccanica utile per vincere la resistenza idrodinamica.^[57]

η_O è detta *efficienza complessiva*, cioè l'efficienza con cui la potenza metabolica in ingresso viene trasformata in potenza meccanica uscita.^[57]

Presentando invece gli aspetti metabolici, si definisce C come *costo energetico* del nuoto per una distanza unitaria (Eq.4):^[54]

$$C = \frac{\dot{E}}{v} \quad \text{Eq.4}$$

Dal punto di vista metabolico il costo energetico si esprime dunque come il rapporto tra la *potenza metabolica* (\dot{E}) e la *velocità di nuoto* (v).^[54]

Il potere metabolico massimo dipende dalla disponibilità di fonti di energia aerobica e anaerobica (lattacido e alattacido), come è evidenziato nell'equazione (Eq.5). Più grandi sono queste sorgenti e più velocemente possono essere utilizzate, maggiore è la potenza metabolica.^[59]

$$\dot{E} = \dot{E}_{Aer} + \dot{E}_{Anl} + \dot{E}_{AnAl} \quad \text{Eq.5}$$

Con riferimento ai quattro stili canonici si sono stati analizzati diversi parametri caratteristici degli aspetti metabolici del nuoto al variare della distanza percorsa: i risultati riportati in tabella (Tabella 3).^[60]

In particolare, nel pannello vengono illustrati:^[60]

- Velocità (m/s)
- Concentrazione di acido lattico nel sangue [La] (1/mmol)
- Costo energetico (C) (kJ/m),
- Componente energetica aerobica (E_{Aer}) (kW),
- Componente energetica anaerobica lattacida (E_{Anl}) (kW)
- Componente energetica anaerobica alattacida (E_{AnAl}) (kW)

Questi valori sono stati ottenuti durante delle prove sovra massimali per tutti i soggetti (n), i risultati sono riportati in termini di media (M) e relativa deviazione standard (DS) ed evidenziano i seguenti aspetti:^[60]

- Il crawl è lo stile più economico dal punto di vista energetico, seguito da dorso, farfalla e rana.
- In crawl, dorso e rana il costo energetico si incrementa in maniera lineare con la velocità di nuoto, mentre nello stile farfalla raggiunge un minimo ad una velocità pari a 1 m/s e cresce con andamento esponenziale per velocità maggiori.
- La quantità di potenza metabolica complessiva fornita dalla sorgente aerobica si incrementa all'aumentare della distanza coperta.

Tabella 3: parametri caratteristici degli aspetti metabolici ottenuti durante delle prove sovra massimali variando la distanza percorsa.^[60]

Distanza (m)	Stile	Velocità		[La]		C		E_{Aer}		E_{Anl}		E_{AnAl}	
		M	DS	M	DS	M	DS	M	DS	M	DS	M	DS
47.5	Crawl	1.97	0.07	9.9	2.16	2.25	0.199	0.56	0.053	1.94	0.83	0.83	0.091
	Dorso	1.73	0.05	11.1	1.05	2.37	0.146	0.56	0.103	1.93	0.75	0.75	0.062
	Rana	1.50	0.10	7.7	2.98	1.79	0.389	0.65	0.073	1.09	0.69	0.69	0.100
	Farfalla	1.85	0.08	9.3	0.35	2.39	0.276	0.54	0.026	1.85	0.83	0.83	0.081
			1.75	0.20	9.3	2.37			0.58	0.074	1.67	0.78	0.78
91.4	Crawl	1.75	0.05	10.5	2.74	1.73	0.16	0.90	0.089	1.29	0.53	0.53	0.048
	Dorso	1.64	0.03	12.4	0.81	1.64	0.194	0.88	0.157	1.05	0.48	0.48	0.041
	Rana	1.34	0.09	11.9	5.18	1.67	0.350	0.99	0.110	0.81	0.40	0.40	0.070
	Farfalla	1.63	0.11	14.1	2.37	1.84	0.145	0.88	0.044	1.26	0.51	0.51	0.053
			1.59	0.19	13.1	3.39			0.92	0.105	1.10	0.48	0.48
182.9	Crawl	1.62	0.05	11.4	1.60	1.28	0.113	1.19	0.128	0.48	0.27	0.27	0.026
	Dorso	1.52	0.03	13.9	1.34	1.34	0.192	1.15	0.205	0.55	0.24	0.24	0.021
	Rana	1.23	0.09	13.1	3.38	1.54	0.210	1.24	0.152	0.41	0.19	0.19	0.038
	Farfalla	1.41	0.01	13.5	1.67	1.43	0.066	1.18	0.054	0.52	0.23	0.23	0.007
			1.45	0.19	11.9	2.76			1.20	0.134	0.47	0.24	0.24

Il costo energetico del nuoto dipende da molti fattori quali l'impermeabilità, la tecnica di nuoto e lo stile. Il seguente grafico (Figura 19) illustra l'assorbimento di ossigeno di nuotatori caratterizzati da tre diversi livelli di abilità (nuotatori dilettanti, medi e d'élite) al variare della velocità. Il costo energetico ad una velocità stabilita risulta essere circa doppio in nuotatore dilettante se confrontato a quello di un nuotatore d'élite. Inoltre, emerge che un nuotatore d'élite è in grado di sostenere un livello di assorbimento di ossigeno più alto e di nuotare ad una velocità maggiore.^[56]

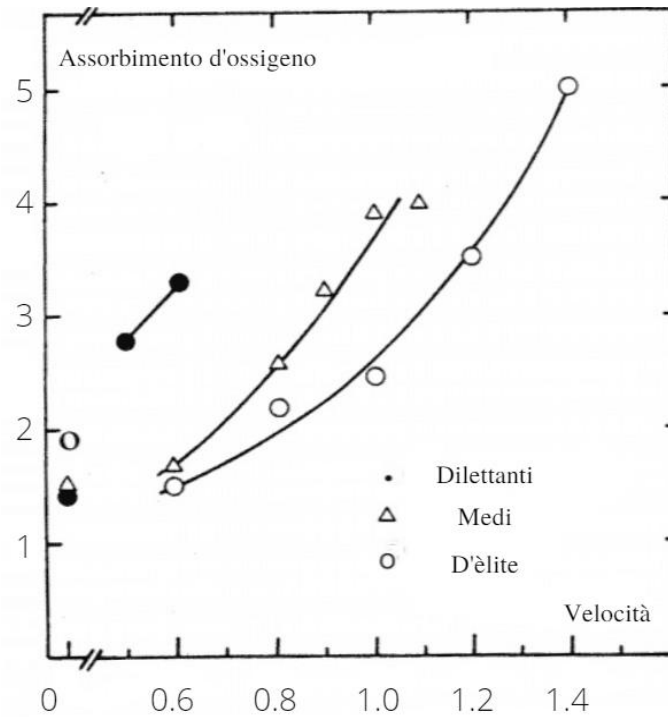


Figura 19: l'assorbimento di ossigeno di nuotatori dilettanti, medi e d'élite al variare della velocità.^[56]

3.3. Terapia acquatica nella disabilità: focus sull'autismo

3.3.1. Benefici motori

Nei bambini con diagnosi di disturbo dello spettro autistico, la capacità di nuotare risulta meno compromessa rispetto ad altre attività fisiche.^[43]

L'idroterapia viene utilizzata per la riabilitazione muscolo-scheletrica e neuromuscolare da oltre un secolo: è stato dimostrato che migliora le prestazioni motorie nei bambini con distrofia muscolare, paralisi cerebrale, fibrosi cistica, spina bifida e sindrome di Rett.^[61]

Grazie alle proprietà dell'acqua, gli esercizi basati sul nuoto forniscono un ambiente piacevole e sicuro: è dunque più facile per i bambini con ASD muoversi attivamente e rafforzare le capacità motorie.^[62]

Inoltre, un beneficio fondamentale apportato dall'attività di nuoto è il miglioramento della resistenza cardiorespiratoria, che si traduce in una maggiore capacità dei soggetti di nuotare per periodi più lunghi nella zona di frequenza cardiaca target.^[63]

L'idroterapia si basa sui principi dell'idrodinamica (galleggiabilità, densità relativa, viscosità, resistenza, pressione idrostatica, turbolenza e flusso) e si ritiene che fornisca stimoli sensoriali multipli attraverso la temperatura dell'acqua, il sollievo dal peso e l'input vestibolare. Le proprietà dell'acqua aiutano il movimento attivo, forniscono supporto posturale e promuovono il rilassamento dei muscoli spastici.^[64]

Negli anni si è sviluppata maggiore attenzione agli interventi di idroterapia specifici per le persone con disabilità. Ad esempio, il metodo Halliwick è stato sviluppato da James McMillan alla fine degli anni '40, per introdurre le persone con disabilità nell'ambiente acquatico. Utilizzando i principi dell'idrodinamica e della meccanica del corpo, il metodo comprende quattro fasi: adattamento all'acqua, rotazioni, controllo del movimento nell'acqua e movimento nell'acqua.^[64]

L'applicazione del metodo Halliwick segue un programma a 10 punti:^[65]

- 1) Regolazione mentale
- 2) Disimpegno
- 3) Controllo rotazionale trasversale
- 4) Controllo rotazionale sagittale
- 5) Controllo rotazionale longitudinale
- 6) Controllo rotazionale combinato
- 7) Spinta di galleggiamento
- 8) Equilibrio nella quiete
- 9) Scivolamento turbolento

10) Progressione semplice e Corsa di nuoto di base

In riferimento al metodo di Halliwick si prende in esame uno studio che lo ha utilizzato con lo scopo di dimostrare i benefici motori ottenuti da un intervento di attività acquatica. In particolare, sono stati valutati diversi punteggi di idoneità fisica, sulla base dei seguenti test motori:^[66]

- Equilibrio: l'equilibrio in piedi sul piede destro e sinistro è stato valutato con gli occhi aperti e chiusi.
- Test di spinta: questo test è stato utilizzato per valutare l'agilità.
- Salto in lungo da fermo: questo test è stato utilizzato per determinare la potenza.
- Forza di presa: è stato utilizzato il dinamometro manuale per misurare la forza di presa.
- Forza muscolare: sono state misurate la forza della flessione della spalla (destra-sinistra) e dell'estensione del ginocchio (destro-sinistro).

I risultati dei test sono riportati in tabella tabella (Tabella 4) e differenziati tra antecedenti e successivi all'idroterapia.

Dopo 10 settimane di allenamento di nuoto i punteggi di equilibrio, velocità, agilità e potenza sono aumentati. Inoltre, sono aumentate la forza muscolare degli arti superiori e inferiori, la forza di presa, la flessibilità e la resistenza cardiorespiratoria.^[66]

Un altro beneficio fornito dalla terapia acquatica nei soggetti con ASD è un miglioramento dal punto di vista dell'equilibrio.^[67]

In riferimento a ciò si cita uno studio recente in cui 10 bambini con diagnosi di ASD sono stati sottoposti ad un programma basato sul nuoto della durata di 10 settimane. La valutazione dell'equilibrio è stata fatta sulla base di due test:^[62]

- Test della cicogna: il test della cicogna è stato utilizzato per misurare l'equilibrio statico. In questo test, ai soggetti è stato chiesto di stare in equilibrio su una gamba (quella dominante) sollevare la gamba libera fino alla caviglia della gamba dominante e mettere le mani lungo il corpo. Quando la gamba libera è tornata a terra, il tempo è stato fermato e registrato.
- Test della camminata dal tallone alla punta: per valutare l'equilibrio dinamico, è stato utilizzato il test di camminata tallone-punta. In questo test, viene misurata la capacità di una persona di camminare in linea retta dal tallone alla punta. Ai soggetti è stato chiesto di seguire un percorso specifico con una lunghezza di 15 gradini. Se i soggetti si allontanano dal percorso prima di essere completato, il test viene interrotto e il numero di gradini effettuati viene registrato come punteggio.

I risultati sono riportati in tabella (Tabella 4): questo studio ha mostrato che l'allenamento con tecniche acquatiche è in grado di migliorare il tempo del test di equilibrio statico e dinamico nei bambini ASD.^[62]

Tabella 4: risultati dei test motori prima e dopo della terapia.^[62]

Test motori	Prima della terapia	Dopo la terapia
Forza di presa (kg)	9.4	12
Forza di flessione della spalla destra (kg)	10.1	13.2
Forza di flessione della spalla sinistra (kg)	8.3	11.2
Forza di estensione del ginocchio destro (kg)	15.1	24.3
Forza di estensione del ginocchio sinistro (kg)	12	15.1
Flessione laterale del corpo destra (cm)	10	14
Flessione laterale del corpo sinistra (cm)	9	12
Equilibrio - occhi aperti (destra) (s)	12.9	46.19
Equilibrio - occhi aperti (sinistra) (s)	8.92	21.16
Equilibrio - occhi chiusi (destra) (s)	12.72	16.59
Equilibrio - occhi chiusi (sinistra) (s)	2.33	10.69
Agilità (spinta) (pt)	10	13
Salto in lungo da fermo (cm)	104	110

Tabella 5: risultati dei test d'equilibrio prima e dopo l'intervento di terapia acquatica.^[68]

Variabili	Gruppo di Nuoto	
	Media (DS)	
	Prima della terapia	Dopo la terapia
Equilibrio statico	7,20 (1,22)	9,60 (1,34)
Equilibrio dinamico	4,20 (0,918)	6,00 (1,15)

In conclusione, l'allenamento in ambiente acquatico si mostra ricco di benefici motori nei soggetti con diagnosi del disturbo dello spettro autistico. Un risultato importante risiede anche nell'apprendimento complessivo dei soggetti esaminati: ad esempio, una volta che il bambino ha appreso la fase fondamentale delle abilità acquatiche, sono stati aggiunti compiti più impegnativi e dinamici come l'equilibrio e il movimento controllato, l'azione delle gambe e il movimento combinato in acqua. Dopo aver padroneggiato questi compiti, i bambini sono stati in grado di controllare meglio i loro corpi. Il buon coordinamento e la sensazione di adeguatezza accompagnatoria raggiunti grazie alle attività acquatiche possono portare a una maggiore motivazione e ad una migliore capacità di anticipare gli eventi imminenti.^[68]

3.3.2. Benefici mentali e comportamentali

Sebbene i principali benefici dell'attività fisica siano spesso stati individuati in termini di miglioramento delle capacità motorie, non mancano studi che evidenziano i benefici che l'attività acquatica esercita in termini di rilassamento e di miglioramento del comportamento e dell'interazione sociale, presentandosi dunque come estremamente adeguata per i soggetti autistici.^[43]

Si ritiene che l'uso terapeutico del nuoto con bambini autistici faciliti lo sviluppo del linguaggio e il concetto di sé, migliori il comportamento adattivo e fornisca un contesto appropriato per un intervento educativo precoce.^[66]

Le attività acquatiche offrono inoltre opportunità per l'interazione sociale e il gioco, andando quindi ad agire nei domini in cui i soggetti ASD presentano deficit significativi.^[64]

Si evidenzia per giunta uno studio pilota randomizzato e controllato da crossover che individua l'attività acquatica come un'opzione terapeutica, praticabile a livello clinico, per i bambini con ASD che presentano preoccupazioni emotive e comportamentali che incidono sulla loro salute mentale e sul loro benessere, in quanto non sono stati riportati effetti negativi a seguito di attività di questo tipo.^[69]

Si propone in seguito una tabella (Tabella 5) che, in riferimento a quattro studi, ribadisce i miglioramenti nella sfera mentale e comportamentale dopo un intervento di attività acquatica.^[64]

Tabella 6: caratteristiche dei quattro studi presi in esame nella revisione sui miglioramenti apportati da un intervento di idroterapia in soggetti autistici.^[64]

Studio	N	Diagnosi	Intervento	Misura del risultato	Risultati
Yilmaz et al ^[66]	1	Non specificato	Programma di idroterapia con metodo di Halliwick	Analisi video dei comportamenti prima e dopo l'intervento	Diminuzione dei movimenti stereotipati Aumento della risposta agli stimoli
Ennis ^[70]	11 di cui 5 abbandoni	Autismo	Programma acquatico	Peds-QL	Miglioramento dei punteggi Peds-QL e miglioramento nelle abilità sociali, nel funzionamento della scuola e nel funzionamento emotivo
Pan ^[54]	16	Autismo (n=8) e Sindrome di Aspenger (n=8)	Programma di nuoto basato sul metodo di Halliwick	SSBS-2	Miglioramento delle interazioni sociali e nel comportamento
Chu e Pan ^[71]	42 di cui 21 ASD	Autismo (n=14) e Sindrome di Aspenger (n=7)	Programma acquatico basato sul metodo di Halliwick	CEPI-PE	Miglioramenti nei comportamenti fisici e sociali (maggiori con l'assistenza di familiari/fratelli)

Vengono in seguito approfonditi i primi due studi.

Nella prima indagine citata in tabella si fa riferimento ai comportamenti stereotipati, che sono stati valutati prima e dopo 10 settimane di applicazione di idroterapia. I test includevano analisi del movimento stereotipato (rotazione, oscillazione, ecolalia ritardata) e la reazione ad uno stimolo entro 5 secondi. La misurazione della durata dei movimenti autistici stereotipati e della reazione allo stimolo è stata effettuata utilizzando una videocamera e registrando nei di 45 minuti prima e dopo le sessioni di idroterapia.^[66]

Dopo l'idroterapia, la quantità di movimenti autistici stereotipati (rotazione, oscillazione ed ecolalia ritardata) è diminuita, come evidenziato nella tabella (Tabella 6).^[66]

Il secondo studio tratta invece la possibilità di coinvolgere le famiglie.

Questo tipo di intervento è sostenuto anche dalla filosofia di Halliwick, che incoraggia i fratelli ed i familiari normodotati a partecipare all'attività, incoraggiando l'attività familiare e l'interazione sociale.^[65]

In particolare, in questo studio si fa riferimento ad un programma di nuoto che ha coinvolto 6 soggetti con diagnosi di ASD ed i loro familiari, che hanno avuto la possibilità di fornire un feedback sui miglioramenti comportamentali, sociali, scolastici e fisici dei loro figli.^[70]

Per operare questa valutazione si è ricorsi all'uso della scala Peds-QL (Pediatric Quality of Life Inventory), che è uno strumento modulare per misurare la qualità della vita correlata alla salute (HRQOL) in bambini e adolescenti di età compresa tra 2 e 18 anni. Il Peds-QL 4.0 Generic Core è costituito da scale multidimensionali di autovalutazione del bambino e di feedback del genitore. Le scale di base generiche Peds-QL 4.0 sono costituite da 23 elementi applicabili a popolazioni di scuole e comunità sane, nonché popolazioni pediatriche con condizioni di salute acute e croniche.^[72]

In seguito, vengono riportati i punteggi complessivi per ognuno dei 6 soggetti (Tabella 7), che riassumono i punteggi ottenuti nelle quattro scale principali del metodo di valutazione Peds-QL (fisica, emotiva, sociale, scolastica). La maggior parte dei punteggi Peds-QL si è dimostrata negativa al cambiamento, che è indicativo di una funzione migliorata.^[64]

Tabella 7: valutazione dei movimenti stereotipati prima e dopo dell'intervento di idroterapia.^[67]

	Durata dei movimenti stereotipati			Nessuna reazione agli stimoli (numero)
	Oscillazione	Rotazione	Ecolalia ritardata	
Prima della terapia	7 minuti	2 minuti	4 minuti	12
Dopo la idroterapia	5 minuti	0 minuti	2 minuti	6

Tabella 8: riassunto dei risultati di valutazione tramite Peds-QL nei 6 soggetti presi in esame. ^[70]

Soggetto	Peds-QL prima della terapia	Peds-QL dopo la terapia	Cambiamento totale del Peds-QL
1	49	51	2
2	23	21	-2
3	60	40	-20
4	48	30	-18
5	53	61	8
6	28	25	-3

4. Idroterapia

Avendo documentato i benefici che nel corso di anni di studi l'idroterapia ha dimostrato di avere, si focalizza ora l'attenzione su programmi specifici, che hanno rivoluzionato e stanno tutt'ora rivoluzionando il modo di affrontare diagnosi del disturbo dello spettro autistico, incoraggiando l'inclusione e le abilità sociali dei soggetti affetti.

In particolare, verranno approfonditi due programmi: il Metodo Caputo-Ippolito (Terapia acquatica multi-sistemica) ed "Acqua mediatrice di comunicazione".

4.1 Terapia acquatica multi-sistemica: Metodo Caputo-Ippolito

La *Terapia Multisistemica in Acqua Metodo Caputo Ippolito* (CI-MAT o TMA) è una terapia che utilizza l'acqua come attivatore emozionale, sensoriale, motorio, capace di spingere il soggetto con disturbi della comunicazione, relazione, autismo e disturbi generalizzati dello sviluppo ad una relazione significativa. Viene definita multisistemica perché valuta ed interviene sui diversi sistemi funzionali del bambino, ossia sul sistema relazionale, cognitivo, comportamentale, emotivo, senso-motorio e motivazionale.^[73]

La TMA si compone di tre fasi:^[74]

- 1) La prima fase del programma CI-MAT è chiamata "Adattamento emotivo", poiché è incentrata sulla costruzione di una relazione di attaccamento funzionale tra l'esperto e il bambino con ASD. A tal fine vengono sollecitati immediatamente comportamenti di attaccamento nel bambino quando entra in piscina; insieme ai genitori, l'esperto prende la mano del bambino e si avvia all'esplorazione della piscina. Quando la risposta di attaccamento del bambino è ben rafforzata, si persegue la costruzione di una base sicura. Solo quando il bambino mostra comportamenti esplorativi stabili, si passa alla fase successiva.
- 2) La seconda fase del programma CI-MAT è chiamata "Adattamento del nuoto" poiché il suo scopo principale è quello di insegnare le abilità di nuoto per mezzo di esercizi acquatici specificamente adattati per le persone con disabilità. Solo quando il bambino mostra sistematicamente queste capacità, può avere accesso all'ultima fase di allenamento del programma CI-MAT.
- 3) Nella terza e ultima fase CI-MAT, "Integrazione sociale", il bambino partecipa ad attività e giochi di nuoto di gruppo, al fine di facilitare l'integrazione, la cooperazione e l'interazione sociale. Il gruppo è piccolo, da 4 a 6 bambini: può essere formato da coetanei del bambino

con uno sviluppo tipico o da bambini affetti da disturbi dello sviluppo neurologico con disabilità del bambino comparabile.

Con questo particolare tipo di terapia i soggetti con autismo hanno ottenuto i seguenti risultati:^[72]

- Diminuzione dei comportamenti problematici legati all'auto ed etero aggressività, alle stereotipie e ai comportamenti disadattivi
- Aumento dei tempi di attenzione
- Aumento dei contatti corporei
- Miglioramento delle capacità motorie e natatorie
- Aumento dell'espressione emotiva (riconoscimento della paura, rabbia, felicità, vergogna...)
- Aumento della ricerca spontanea e intenzionale della figura di riferimento (riconoscimento e ricerca intenzionale del terapeuta, capacità di differenziazione tra terapeuta ed altre figure...)
- Aumento della reciprocità sociale (condivisione delle regole sociali, riconoscimento del gruppo di appartenenza...)
- Aumento comunicazione verbale e non verbale

In seguito, vengono approfonditi due studi, il primo analizza l'efficacia della TMA in termini di abilità comportamentali, il secondo fa invece riferimento ai miglioramenti riscontrati nelle abilità motorie.

4.1.1. Abilità comportamentali

Il seguente studio di gruppo è stato svolto con lo scopo di testare l'efficacia del programma CI-MAT e verificare i miglioramenti sui deficit funzionali dei bambini con diagnosi del disturbo dello spettro autistico ASD. A tal fine, sono stati reclutati due gruppi di bambini con ASD, il primo sperimentale ed il secondo di controllo. Entrambi hanno ricevuto il trattamento standard di cura, ma il gruppo sperimentale ha ricevuto anche il programma CI-MAT. Sono state raccolte misure standardizzate di adattamento funzionale e di diversi comportamenti autistici. Inoltre, sono state valutate anche le abilità acquatiche dei bambini appartenenti al gruppo sperimentale.^[75]

La diagnosi clinica è stata validata mediante l'Autism Diagnostic Interview-Revised (ADI-R) e l'Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS), somministrati da esaminatori formati e certificati. Il totale del campione era di 26 soggetti: 13 partecipanti al gruppo CI-MAT e 13 partecipanti al gruppo di controllo. Prima dell'inizio della terapia i bambini hanno ricevuto una valutazione pre-trattamento. La fase di trattamento è durata 10 mesi e al termine di questo periodo sono state svolte le stesse valutazioni.^[75]

Sono stati selezionati test standardizzati per valutare le capacità comportamentali, socio-comunicative ed emotive, la sintomatologia dell'autismo, l'adattamento funzionale e le abilità di nuoto. Sono state incluse le seguenti misure:^[75]

- Childhood Autism Rating Scale (CARS)
- Vineland Adaptive Scale Comportamento (VABS)
- Humphries 'Assessment of Aquatic Readiness (HAAR)

La checklist HAAR valuta le abilità acquatiche ed è divisa in cinque fasi:^[76]

- 1) adattamento mentale (cinque elementi: ad esempio, giocare con i giocattoli sul ponte della piscina; entrare / uscire dalla piscina dall'istruttore che li trasporta; entrare / uscire dalla piscina tenendo la mano dell'istruttore)
- 2) introduzione all'ambiente acquatico (10 elementi: ad esempio, spruzzare acqua con le mani con il supporto dell'istruttore; toccare l'acqua con il mento; soffiare bolle nell'acqua)
- 3) rotazioni (tre elementi: eseguire una rotazione verticale / in avanti; eseguire una rotazione laterale; eseguire una rotazione combinata)
- 4) equilibrio e controllo (otto elementi: ad esempio, consentire all'istruttore di muoverli passivamente attraverso l'acqua in posizione prona; calciare le gambe con il supporto dell'istruttore)
- 5) movimento indipendente in acqua (sei elementi: ad esempio, galleggiamento supino senza assistenza)

I risultati hanno evidenziato miglioramenti significativi del gruppo CI-MAT rispetto ai controlli su CARS (Risposta emotiva, Adattamento al cambiamento) nel post-trattamento. I confronti tra i due gruppi hanno dimostrato un miglioramento significativo su quasi tutti gli elementi CARS, per quanto riguarda il gruppo CI-MAT, mentre nel gruppo di controllo non è stato riscontrato alcun miglioramento significativo. Il gruppo CI-MAT ha anche mostrato miglioramenti significativi sulle abilità di vita quotidiana e un miglioramento generale dei comportamenti adattivi misurati dalla scala VABS. La lista di controllo HAAR ha rivelato anche l'apprendimento delle abilità di nuoto.^[75]

I risultati ottenuti nel post terapia nelle scale CARS (Tabella 9), VABS (Tabella 10) e HAAR (Tabella 11) sono riportati in seguito.^[75]

Tabella 9: risultati ottenuti nel pre-terapia e nel post-terapia nella scala CARS.^[75]

	Pre-terapia				Post-terapia			
	Gruppo CI-MAT		Controlli		Gruppo CI-MAT		Controlli	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
Relazionarsi con le persone	3.23	0.73	2.77	0.83	2.46	0.78	2.62	0.77
Imitazione	2.54	0.66	2.46	0.97	2.00	0.00	2.23	0.60
Risposta emotiva	3.23	0.83	3.08	0.86	2.15	0.38	2.92	0.76
Uso del corpo	2.77	0.73	2.31	0.86	2.23	0.73	2.46	0.78
Uso degli oggetti	2.77	0.93	2.23	0.73	2.15	0.80	2.08	0.64
Adattamento al cambiamento	3.08	0.86	2.46	0.66	1.85	0.38	2.54	0.78
Risposta visiva	2.46	0.66	2.00	0.41	1.77	0.44	2.08	0.49
Risposta d'ascolto	2.54	0.78	1.92	0.78	2.00	0.41	2.00	0.71
Risposta ad un vicino interlocutore	2.54	0.97	1.92	0.76	1.85	0.56	2.08	0.76
Paura o ansia	3.15	0.69	2.46	0.88	2.00	0.41	2.38	0.77
Comunicazione verbale	2.69	0.86	2.77	0.83	2.38	0.65	2.69	0.86
Comunicazione non verbale	2.23	0.60	2.15	0.69	2.00	0.00	2.31	0.95
Livello di attività	2.54	0.66	2.54	0.88	1.92	0.28	2.54	0.78
Risposta intellettuale	3.00	0.82	2.62	0.77	2.54	0.78	2.69	0.86
Impressione generale	2.77	0.83	2.54	0.78	2.54	0.78	2.62	0.87
Punteggio totale	41.23	8.11	35.46	8.01	30.46	6.58	35.15	8.87

Tabella 10: risultati ottenuti nel pre-terapia e nel post-terapia nella scala VABS.^[75]

	Pre-terapia				Post-terapia			
	Gruppo CI-MAT		Controlli		Gruppo CI-MAT		Controlli	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
Comunicazione	54.85	18.83	52.23	15.42	67.08	18.41	56	16.73
Vita quotidiana	53	11.93	54	10.83	67.23	10.97	55.46	10.98
Abilità sociali	53.77	13.24	52.62	10.16	64.15	14.06	57.92	15.44
Capacità motorie	64.54	10.53	63.08	15.89	70.77	9.29	66.08	15.22
Scala composita	59.85	7.84	58.54	5.76	66.15	11.39	61	7.25

Tabella 11: risultati ottenuti nel pre-terapia e nel post-terapia nella scala HAAR.^[75]

	Pre-terapia		Post-terapia	
	Media	DS	Media	DS
Regolazione mentale	70.77	32.26	100	0
Introduzione all'ambiente acquatico	33.85	26.31	92.31	12.35
Rotazioni	12.82	21.68	69.22	34.61
Equilibrio e controllo	23.08	18.99	76.92	19.66
Movimento indipendente in acqua	15.39	24.02	78.21	20.84

4.1.2. Abilità motorie

Alla luce di quanto appurato nel primo studio, il secondo si pone l'obiettivo di studiare gli effetti di un programma CI-MAT in termini di miglioramenti sulle abilità motorie, in particolare sull'abilità di locomozione (L), sul controllo degli oggetti (OC) e sui comportamenti di contatto e interazione in tre adolescenti con ASD.^[77]

Lo studio è stato suddiviso in tre fasi: ^[77]

1. Pre-Terapia
2. Programma CI-MAT di 12 settimane
3. Post-Terapia

Nella fase di Pre-Terapia è stata effettuata una valutazione per misurare le caratteristiche antropometriche dei partecipanti, le capacità motorie grossolane, l'età mentale, i profili adattivi e sociali. La valutazione del comportamento adattivo è stata effettuata attraverso la somministrazione della scala VABS alle madri dei partecipanti. La valutazione delle capacità motorie lorde è stata effettuata mediante il test dello sviluppo motorio lordo (TGMD), che si compone di due test secondari volti a misurare due set di abilità: 7 abilità di locomozione (L) e 5 abilità di controllo degli oggetti (OC).^[77]

Compiti di locomozione:

- 1) correre il più velocemente possibile per 15 metri
- 2) galoppare per dieci metri
- 3) saltare su una gamba per cinque metri
- 4) saltare in avanti
- 5) fare un salto in lungo
- 6) fare piccoli salti in avanti
- 7) Fare piccoli salti lateralmente.

Compiti di controllo degli oggetti.

- 8) Colpire una pallina con una racchetta da tennis
- 9) rimbalzare sulla palla
- 10) prendere una palla
- 11) calciare la palla in esecuzione
- 12) e lanciare una palla con la mano

Le prestazioni dei partecipanti sono state videoregistrate con una videocamera digitale che ha permesso di analizzare separatamente le sequenze di movimento e di assegnare i punteggi. Ai partecipanti è stato chiesto di ripetere ogni prova tre volte: un punteggio di 1 è stato assegnato quando il soggetto ha eseguito correttamente la prova per due volte, mentre è stato assegnato un punteggio di 0 quando il soggetto non era in grado di eseguire il test. La somma dei punteggi grezzi è stata ottenuta per ogni componente e per la prestazione totale. Sono stati calcolati due punteggi totali grezzi di locomozione e controllo dell'oggetto (punteggio totale massimo: 48) sommando gli elementi relativi a ciascuna scala. I risultati sono riportati nella seguente tabella (Tabella 12).^[77]

I risultati hanno mostrato che il programma di addestramento acquatico applicato era efficace per migliorare il controllo degli oggetti e le capacità locomotorie nei soggetti con ASD. È stato quindi verificato che i programmi di allenamento in acqua migliorano la capacità aerobica, la forma fisica e la forza muscolare nei bambini con ASD perché l'acqua dà resistenza durante l'attività fisica.^[77]

Tabella 12: punteggi totali grezzi di locomozione (1-7) e controllo dell'oggetto (8-12) ottenuti dai tre soggetti nel pre-terapia e nel post-terapia. Le descrizioni dei task (1-12) sono state riportate in precedenza.^[77]

		Momento di valutazione	Soggetto 1	Soggetto 2	Soggetto 3
Abilità locomotorie	1	Pre-terapia	1	4	2
		Post-terapia	3	4	4
	2	Pre-terapia	0	0	1
		Post-terapia	0	2	4
	3	Pre-terapia	0	0	0
		Post-terapia	0	4	4
	4	Pre-terapia	0	0	0
		Post-terapia	0	1	0
	5	Pre-terapia	1	2	2
		Post-terapia	2	4	4
	6	Pre-terapia	0	0	1
		Post-terapia	0	2	1
	7	Pre-terapia	0	3	3
		Post-terapia	0	4	4
Punteggio totale	Pre-terapia	2	9	9	
	Post-terapia	5	21	21	
Abilità di controllo degli oggetti	8	Pre-terapia	0	0	0
		Post-terapia	0	3	0
	9	Pre-terapia	0	1	2
		Post-terapia	2	3	2
	10	Pre-terapia	2	4	2
		Post-terapia	4	4	4
	11	Pre-terapia	1	2	0
		Post-terapia	2	4	1
	12	Pre-terapia	1	2	1
		Post-terapia	2	4	4
	Punteggio totale	Pre-terapia	6	18	14
		Post-terapia	15	39	32

4.2. Acqua mediatrice di comunicazione

Il programma “Acqua Mediatrice di Comunicazione” è caratterizzato da due obiettivi strettamente correlati, come segue: ^[78]

1. Raggiungere una buona familiarità con l'ambiente acquatico e apprendere le basi del nuoto
2. Stabilire una relazione reciproca interpersonale positiva con l'adulto e anche gradualmente con i coetanei.

Per raggiungere questi obiettivi, il programma si fonda su un rapporto 1 a 1 (un educatore e un bambino), volto a garantire il contatto fisico e visivo tra il bambino e l'adulto, nonché una graduale conoscenza dell'ambiente acquatico.

La ricerca ha coinvolto 33 bambini di età compresa tra i 3 e gli 8 anni, di cui 14 hanno frequentato il programma di nuoto “Acqua Mediatrice di Comunicazione”, mentre 19 hanno frequentato due centri di riabilitazione (gruppo di controllo).

Si sono svolte un totale di 12 sessioni per ogni bambino, della durata di mezz'ora ciascuna. Ogni sessione prevedeva vari tipi di attività in base al livello di confidenza del bambino con l'ambiente acquatico, seguendo questi passaggi progressivi:

1. Familiarità con l'ambiente piscina: questo passaggio si vede composto di attività preliminari in camerino (imparare a spogliarsi in camerino, mettere i vestiti nell'armadietto, indossare un costume da bagno) e di prime esperienze a bordo piscina (sedersi sul bordo della piscina e giocare con piccoli oggetti o guardare, cammina intorno alla piscina con l'educatore).
2. Prime attività in acqua: queste mirano a far familiarizzare i bambini con l'acqua (alcuni bambini scendono in acqua tra le braccia dell'educatore, altri scendono la scala mano nella mano).
3. Esperienza di gioco, con vari strumenti, nella piscina di medie dimensioni: riuscire a tenersi a galla con l'aiuto di barre di gomma o altri strumenti e giocare con vari oggetti. Durante questa fase il bambino impara a usare le braccia per muoversi, per battere i piedi, con l'assistenza di un adulto. Inoltre, il bambino prova a soffiare aria sull'acqua e inizia a

immergere la testa. Il tutto si svolge in un clima ludico, con facilitazione e attraverso processi interattivi individualizzati basati sul divertimento.

4. Inserimento nel gruppo dei compagni di classe dopo le sessioni di familiarizzazione individuale: l'insegnante della classe del bambino entrerà con 2 o 3 compagni di classe neuro tipici e il gioco d'acqua diventerà più attivo (scivoli in piscina, giochi con tappetini galleggianti, fare bolle o mettere la testa sott'acqua).
5. Attività volte a favorire l'autonomia del bambino: il bambino (solo con l'educatore o con alcuni suoi compagni di classe e la presenza di una maestra) impara a muoversi in acqua utilizzando dei tubi avvolti attorno al corpo. In questa fase possono essere provate diverse attività, come i giochi con la palla ad altri giochi con oggetti galleggianti.
6. Acquisizione della tecnica natatoria: questa si raggiunge attraverso attività basate su fondamentali modelli acquatici motori e posturali, nonché esercizi basati sul galleggiamento (in posizione prona e supina), scivolamento, respirazione, immersione. Man mano che il bambino acquisisce maggiore sicurezza, l'attività del nuoto viene incoraggiata. Essendo sempre in situazioni interattive e ludiche, il bambino diventa sempre più capace di muoversi liberamente, di nuotare, di battere le gambe, di tenere la testa sott'acqua e infine di nuotare in modo autonomo.
7. Esercizi di attività di nuoto finalizzati al raggiungimento di una reale padronanza del movimento in acqua e all'apprendimento dei diversi stili di nuoto.

Sono state incluse le seguenti misure:

- Autism Behaviour Checklist (ABC)
- Social Responsiveness Scale (SRS)
- HAAR (solo per i bambini del gruppo sperimentale)

La Social Responsiveness Scale (SRS) – (Constantino & Gruber, 2005) consiste di 65 elementi inclusi in cinque aree che valutano aspetti sociali, cioè consapevolezza sociale, cognizione sociale, comunicazione sociale, motivazione sociale e manierismi autistici. Questa misura completata dal genitore o dall'insegnante è stata ampiamente utilizzata negli studi sui bambini a causa della sua facilità di somministrazione e delle forti proprietà psicometriche. L'SRS viene ora somministrato di routine come parte di valutazioni diagnostiche complete dell'ASD. Ha un'affidabilità e una validità soddisfacenti per misurare i sintomi dell'autismo in individui di età pari o inferiore a 18 anni.^[79]

I risultati delle prime due scale di valutazione sono riportati nelle seguenti tabelle (Tabella 13 e Tabella 14). Sono in particolare evidenziati i dati prima e dopo della partecipazione al programma “Acqua Mediatrice di Comunicazione”. Il gruppo sperimentale ha inoltre partecipato ad una sessione di follow-up dopo un periodo di sei mesi di interruzione delle attività acquatiche.^[78]

Dai risultati è evidente che il coinvolgimento in varie attività psico-educative strutturate per affrontare i deficit tipici dell'autismo sembra efficace nel migliorare alcuni dei sintomi dell'autismo misurati attraverso l'Autism Behaviour Checklist e la Social Responsiveness Scale. Ciò è stato dimostrato dall'effetto principale in quasi tutte le sottoscale dell'ABC e nel punteggio totale. Tuttavia, solo la partecipazione al programma di nuoto sembrava favorire comportamenti relazionali, come la tendenza a rispondere all'affetto facciale, l'uso del contatto visivo e l'imitazione.^[78]

La maggior parte dei miglioramenti mostrati dal gruppo sperimentale nella seconda fase tendono a persistere 6 mesi dopo, soprattutto nelle abilità sociali, nell'autonomia e nella riduzione dei comportamenti negativi, e in misura minore nelle risposte agli stimoli sensoriali.^[78]

In linea con i precedenti, anche questo studio conferma che i bambini con diversi livelli di autismo possono dimostrare il miglioramento delle capacità motorie in un ambiente acquatico e possono imparare nuotare.^[78]

Tabella 13: risultati ottenuti nel pre-terapia e nel post-terapia nella scala ABC.^[78]

ABC	Gruppo	Pre-terapia		Post-terapia	
		Media	DS	Media	DS
Sensoriale	Controllo	10.00	5.46	8.250	3.98
	Sperimentale	12.54	5.55	9.923	4.89
Relazionale	Controllo	17.58	8.64	14.25	9.38
	Sperimentale	18.31	7.02	10.23	4.17
Uso del corpo e degli oggetti	Controllo	19.42	9.44	14.17	6.93
	Sperimentale	13.69	6.60	10.69	7.26
Linguaggio	Controllo	23.667	8.457	21.750	9.026
	Sperimentale	25.692	8.702	25.000	7.778
Sociale e autoaiuto	Controllo	18.167	3.689	15.583	2.999
	Sperimentale	15.538	3.755	12.538	5.109
Punteggio totale	Controllo	89.000	25.534	74.083	23.469
	Sperimentale	86.000	21.905	68.385	17.091

Tabella 14: risultati ottenuti nel pre-terapia e nel post-terapia nella scala SRS.^[78]

SRS	Gruppo	Pre-terapia		Post-terapia	
		Media	DS	Media	DS
Consapevolezza sociale	Controllo	12.500	3.849	11.917	3.288
	Sperimentale	12.077	3.013	11.538	3.992
Cognizione sociale	Controllo	21.583	4.562	19.750	4.224
	Sperimentale	19.462	6.036	19.308	5.483
Comunicazione sociale	Controllo	35.08	9.82	32.92	11.17
	Sperimentale	34.15	8.62	30.15	9.75
Motivazione sociale	Controllo	34.154	9.821	32.917	11.172
	Sperimentale	32.917	8.620	30.154	9.745
Comportamenti autistici	Controllo	20.833	6.132	17.583	7.585
	Sperimentale	19.692	5.250	16.692	4.131
Punteggio totale	Controllo	106.167	24.357	97.750	27.496
	Sperimentale	100.538	21.904	91.308	24.312

Nella seguente tabella riassuntiva vengono riportati i sopracitati studi in merito all'idroterapia, la popolazione analizzata, le scale di valutazione utilizzate ed i risultati ottenuti (Tabella 15).

Tabella 15: riassunto dei tre studi analizzati in precedenza.

Studio	Popolazione	Scale di valutazione	Risultato
Effectiveness of a Multisystem Aquatic Therapy for Children with Autism Spectrum Disorders ^[75]	26 soggetti autistici: 13 appartenenti al gruppo sperimentale e 13 a quello di controllo	CARS VABS HAAR	Miglioramenti significativi del gruppo sperimentale nelle scale CARS e HAAR
Influence of a Specific Aquatic Program on Social and Gross Motor Skills in Adolescents with Autism Spectrum Disorders: Three Case Reports ^[77]	3 soggetti autistici	VABS TGMD	Miglioramento nel controllo degli oggetti e nelle capacità locomotorie
Effectiveness of the Program "Acqua Mediatrix di Comunicazione" (Water as a Mediator of Communication) on Social Skills, Autistic Behaviors and Aquatic Skills in ASD Children ^[78]	33 soggetti autistici, di cui 14 appartenenti al gruppo sperimentale e 19 a quello di controllo	ABC SRS HAAR	Miglioramenti significativi del gruppo sperimentale nella scala ABC e persistenza dei risultati nel follow-up di sei mesi

Acronimi:

CARS=Childhood Autism Rating Scale

VABS=Vineland Adaptive Scale Comportamento

HAAR=Humphries 'Assessment of Aquatic Readiness

TGMD=Test dello sviluppo motorio lordo

ABC=Autism Behaviour Checklist

SRS=Social Responsiveness Scale

5. Esempio di monitoraggio cardiaco nel nuoto

5.1. Materiali e metodi

5.1.1. KardiaMobile 6L

Durante le acquisizioni è stato usato lo strumento 6L Kardia. Questo strumento permette di ottenere un tracciato ad una oppure a sei derivazioni. Le sue dimensioni ridotte (9,0 x 3,0 x 0,72 cm) ed il suo peso (24 grammi) fanno sì che 6L Kardia possa essere definito tascabile, dunque estremamente comodo da utilizzare. La semplicità di impiego è inoltre favorita dall'assenza di fili, gel e adesivi comunemente necessari per la corretta esecuzione di un elettrocardiogramma. Dal punto di vista tecnico 6L Kardia permette di acquisire registrazioni la cui durata può andare da 30 secondi a 5 minuti, un secondo viene rappresentato da 300 campioni (frequenza di campionamento) ed ogni campione da 14 bit (Risoluzione a 14 bit). Come precedentemente specificato questo strumento fornisce le seguenti sei derivazioni:^[80]

- derivazioni bipolari degli arti (DI, DII, DIII)
- derivazioni unipolari degli arti (aVR, aVL, aVF)

Le derivazioni sono ottenute tramite tre elettrodi. Superiormente sono presenti due elettrodi per le dita, mentre il terzo si trova nella parte inferiore, a contatto con la pelle della gamba sinistra. La seguente immagine (Figura 20) illustra il posizionamento degli elettrodi nella faccia superiore e in quella inferiore dello strumento.^[80]

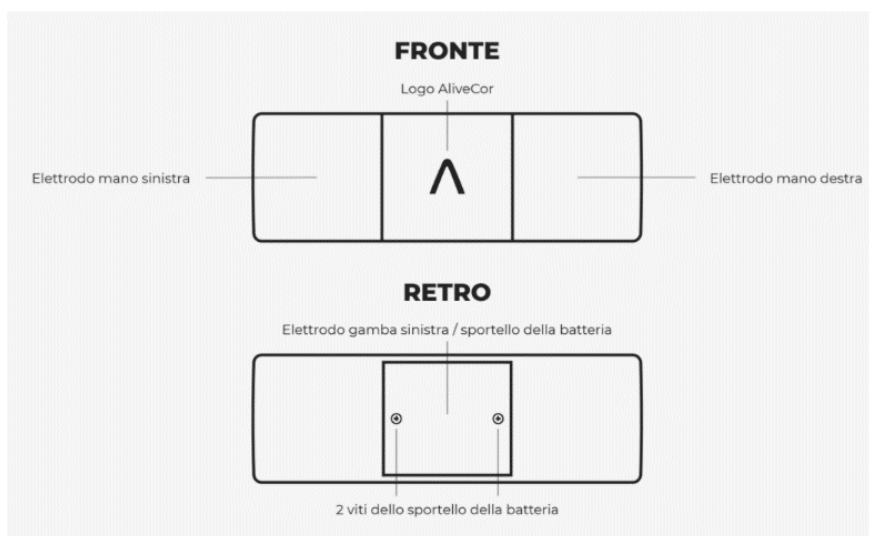


Figura 20: faccia superiore e inferiore dello strumento con indicazioni sul posizionamento degli elettrodi.^[80]

Come evidenziato sopra lo strumento permette:^[80]

- Registrazione di un ECG a 1 derivazione: si appoggia il dispositivo su una superficie piana vicino allo smartphone o tablet, assicurarsi che il dispositivo sia orientato correttamente con la “A” di AliveCor rivolta verso di sé. Si posizionano poi due dita di ciascuna mano su ognuno dei due elettrodi superiori. L’app indicherà quando il contatto è ottimale.
- Registrazione di un ECG a 6 derivazioni: si appoggiano i pollici sui due elettrodi superiori. Assicurarsi che il dispositivo sia orientato correttamente. Tenendo i pollici appoggiati sui due elettrodi superiori, si posiziona il dispositivo ECG sulla pelle nuda della gamba sinistra (ginocchio o interno della caviglia). L’elettrodo inferiore deve entrare in contatto con la pelle. L’app indicherà quando il contatto è ottimale.

Le seguenti immagini mostrano le modalità con cui si esegue un elettrocardiogramma ad una derivazione (Figura 21) ed a sei derivazioni (Figura 22).

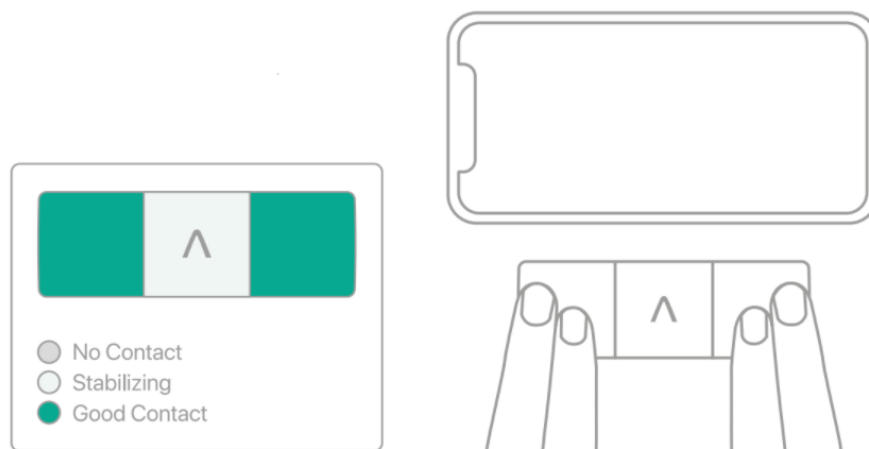


Figura 21: esecuzione di un ECG ad una derivazione.^[80]

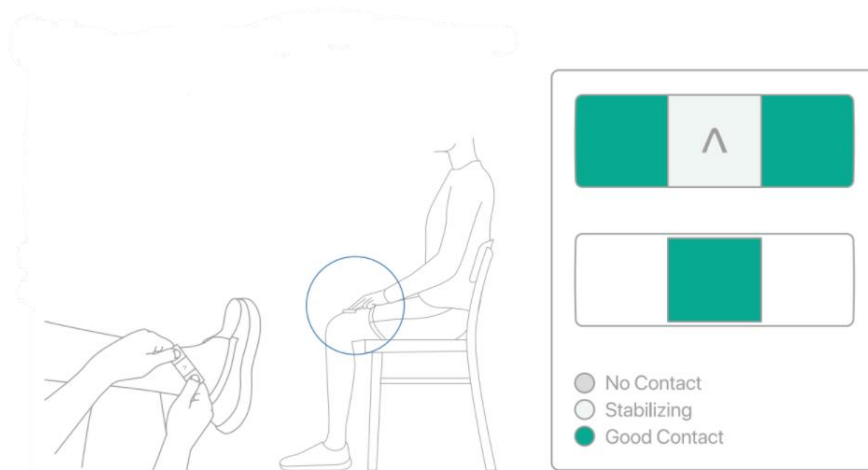


Figura 22: esecuzione di un ECG a sei derivazioni.^[80]

Uno studio ha confrontato l'equivalenza clinica di un dispositivo ECG a 6 derivazioni basato su smartphone (AliveCor KardiaMobile 6L) con un ECG a 12 derivazioni, concludendo che l'ECG fornito da KardiaMobile 6L è di ottimo livello. L'ECG prodotto dallo strumento è infatti di livello medico; allo strumento è inoltre associata un'applicazione che ne permette la visualizzazione su smartphone e facilita la condivisione del tracciato.^[80]

Al termine della registrazione, la App fa un'analisi immediata dell'ECG, segnalando la presenza di anomalie del ritmo e della frequenza, sono riportate in seguito le possibili interpretazioni:

- “Normale”: non sono state rilevate anomalie nell' ECG. Questo significa che il tuo ritmo cardiaco è nel range di 50 – 100 battiti al minuto, che non ci sono (o sono irrilevanti) battiti anomali, e che ritmo e frequenza cardiaca si considerano non patologici, per la durata della registrazione effettuata.
- “Possibile fibrillazione atriale”: l'algoritmo ha individuato nel tracciato la possibile presenza di fibrillazione atriale (sensibilità del 98%, specificità 97%). Questo risultato non è una diagnosi, ma una possibile rilevazione.
- “Bradicardia”: La fibrillazione atriale non è stata rilevata e la frequenza cardiaca era pari o inferiore a 40-50 bpm. Questo può talvolta essere un risultato normale in alcuni adulti ed atleti sani.
- “Tachicardia”: la fibrillazione atriale non è stata rilevata e la frequenza cardiaca era alta, pari o maggiore di 100-140 bpm. Questa può in alcuni casi essere una normale risposta a condizioni come stress o esercizio fisico.
- “Non classificato”: Un risultato di questo tipo può essere causato da altre aritmie, frequenze cardiache insolitamente veloci o lente o registrazioni di scarsa qualità.

KardiaMobile 6L e la App Kardia sono dispositivi medici certificati, come indicato sul sito del Ministero della Salute. Sono anche:

- FDA cleared: Approvati dalla Food and Drug Administration, l'ente governativo statunitense che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici, dipendente dal Dipartimento della salute e dei servizi umani degli Stati Uniti d'America.
- CE marked: la marchiatura CE0123 di conformità per dispositivi medici è un requisito obbligatorio per la commercializzazione di prodotti sanitari in Europa, e indica che il prodotto è conforme alle direttive comunitarie di sicurezza ed efficacia.

La seguente immagine (Figura 23) illustra lo strumento KardiaMobile 6L e l'interfaccia dell'App Kardia durante l'esecuzione di un elettrocardiogramma a sei derivazioni.

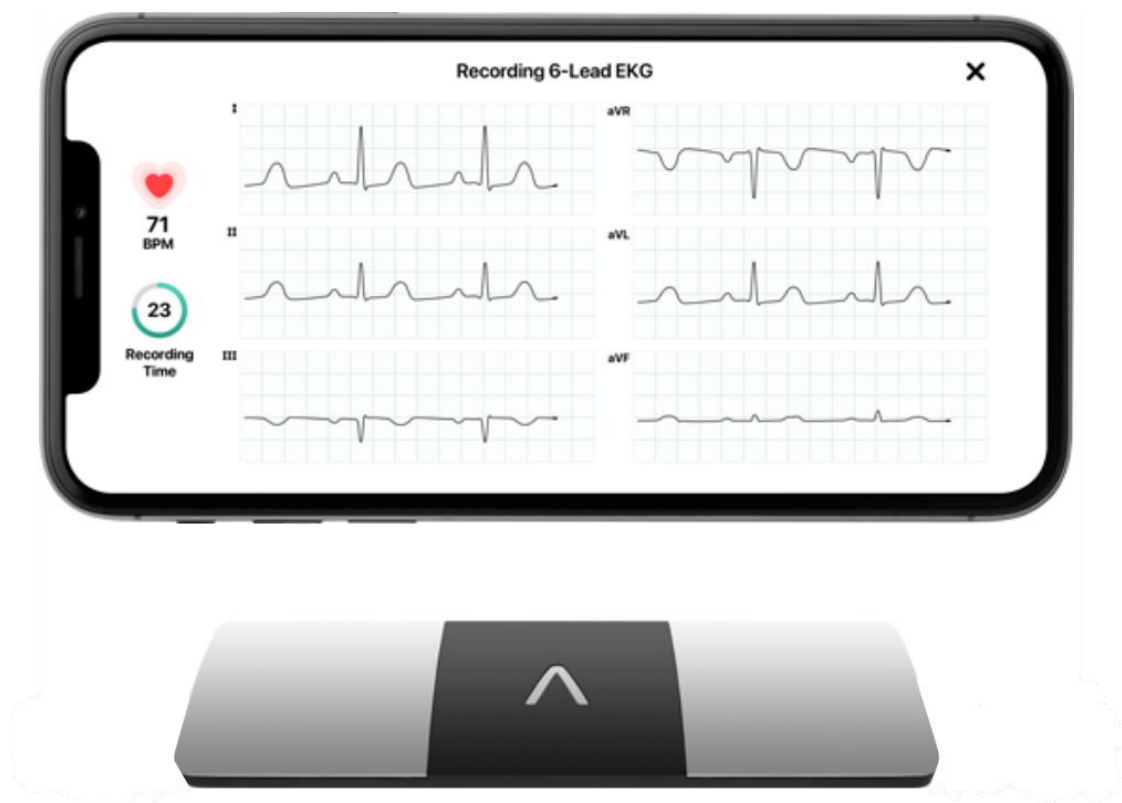


Figura 23: dispositivo KardiaMobile 6L e interfaccia App Kardia.^[80]

5.1.2. Kubios HRV

Kubios HRV è un software di analisi della variabilità della frequenza cardiaca (HRV) standard di riferimento progettato per la ricerca. Il software è adatto a ricercatori clinici e di sanità pubblica, professionisti lavorare sul benessere umano, o gli appassionati di sport. Kubios HRV è un software convalidato scientificamente ed è il software di analisi HRV più comunemente usato a livello scientifico nell'ambito della ricerca. I prodotti software Kubios HRV sono compatibili con la maggior parte dei monitor HR sul mercato, con diversi dispositivi per elettrocardiogramma (ECG) comunemente usati e con alcuni dispositivi per fotoplethysmogramma (PPG). Il requisito per l'analisi HRV è che è necessario disporre di dati RR o IBI battito per battito o dati ECG o PPG grezzi.^[81]

Kubios HRV è attualmente disponibile come due prodotti alternativi:^[81]

Kubios HRV Standard: software di analisi HRV gratuito per uso personale non commerciale. Supporta il calcolo dei parametri HRV nel tempo e nella frequenza. Il software viene gestito tramite un'interfaccia grafica utente di facile utilizzo e i risultati dell'analisi possono essere salvati come rapporto PDF o file di testo.

Kubios HRV Premium: software di analisi HRV completo progettato per la ricerca scientifica e i professionisti. Supporta un'ampia gamma di dati ECG, PPG e HR e calcola i parametri nei domini più comunemente usati: tempo, frequenza e non lineari. Inoltre, Kubios HRV Premium include una migliore pre-elaborazione ed estese opzioni di esportazione. I risultati dell'analisi possono essere salvati come report PDF illustrativi, file di testo CSV, file MATLAB MAT.

La versione Standard di Kubios HRV prevede un'interfaccia utente grafica (GUI) di facile utilizzo, nella quale è possibile scegliere parametri e soglie sia per il pre-processing che per l'analisi vera e propria, sia questa in tempo o in frequenza. È inoltre possibile specificare i dati anagrafici del soggetto considerato.

La versione Standard del software permette di pre-elaborare il segnale attraverso una correzione del battito basata sulla soglia e la rimozione ottimale del trend dai dati RR per l'analisi HRV a breve termine. Nella seguente schermata viene riportata l'interfaccia di pre-processing del nostro caso specifico ed il logo del software (Figura 24).^[81]

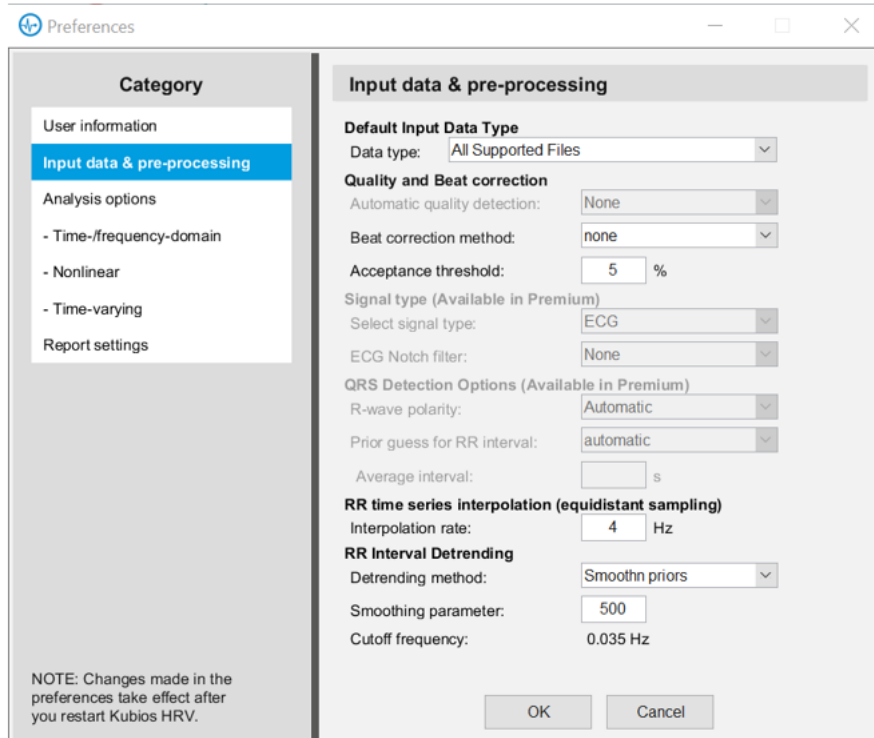


Figura 24: Interfaccia di inserimento dati e pre-elaborazione dei casi in esame.^[81]

In termini di analisi il software permette, nella sua versione standard, di analizzare i seguenti parametri nel dominio del tempo:

- RR medio
- SDNN
- RMSSD
- pNN50

In termini di analisi il software permette, nella sua versione standard, di analizzare i seguenti parametri nel dominio della frequenza:

- potenze di banda VLF, LF e HF
- frequenze di picco
- rapporto LF/HF

I parametri sopra citati sono spiegati approfonditamente nel capitolo 1 (Aspetti cardiovascolari).

5.2. Risultati

In seguito, vengono riportati i risultati di due esempi di monitoraggio di casi reali. I soggetti in questione sono entrambi nuotatori e le acquisizioni sono state fatte prima e dopo l'attività.

Il primo soggetto in analisi è un nuotatore di 45 anni di sesso maschile. In questo caso le acquisizioni sono state eseguite cinque minuti prima e cinque minuti dopo dell'attività di nuoto. Lo strumento utilizzato è il KardiaMobile 6L. L'output dello strumento è un segnale elettrocardiografico in formato pdf. Le seguenti immagini raffigurano il segnale prima (Figura 25) e dopo (Figura 26) dell'attività fisica.

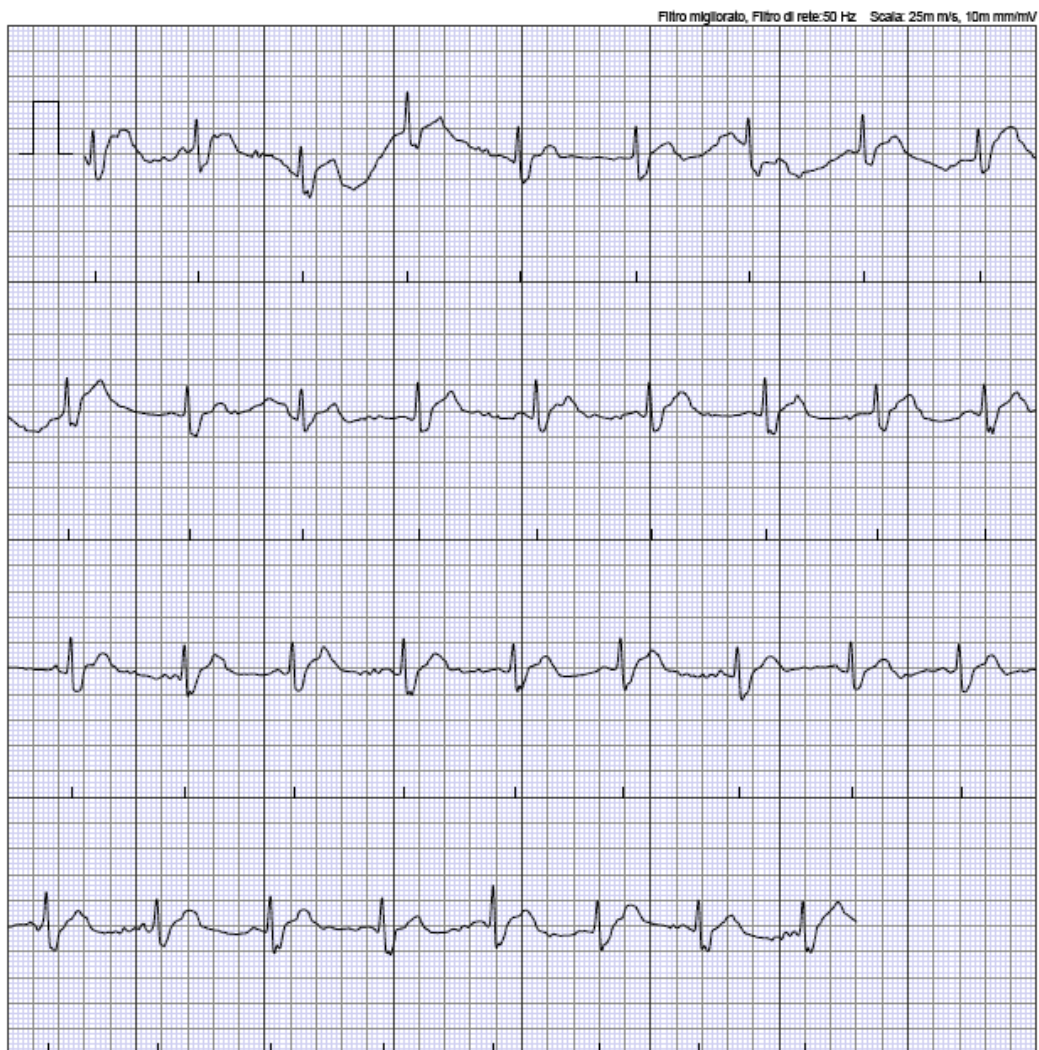


Figura 25: Tracciato elettrocardiografico ottenuto con lo strumento KardiaMobile prima dell'attività natatoria, soggetto sano.

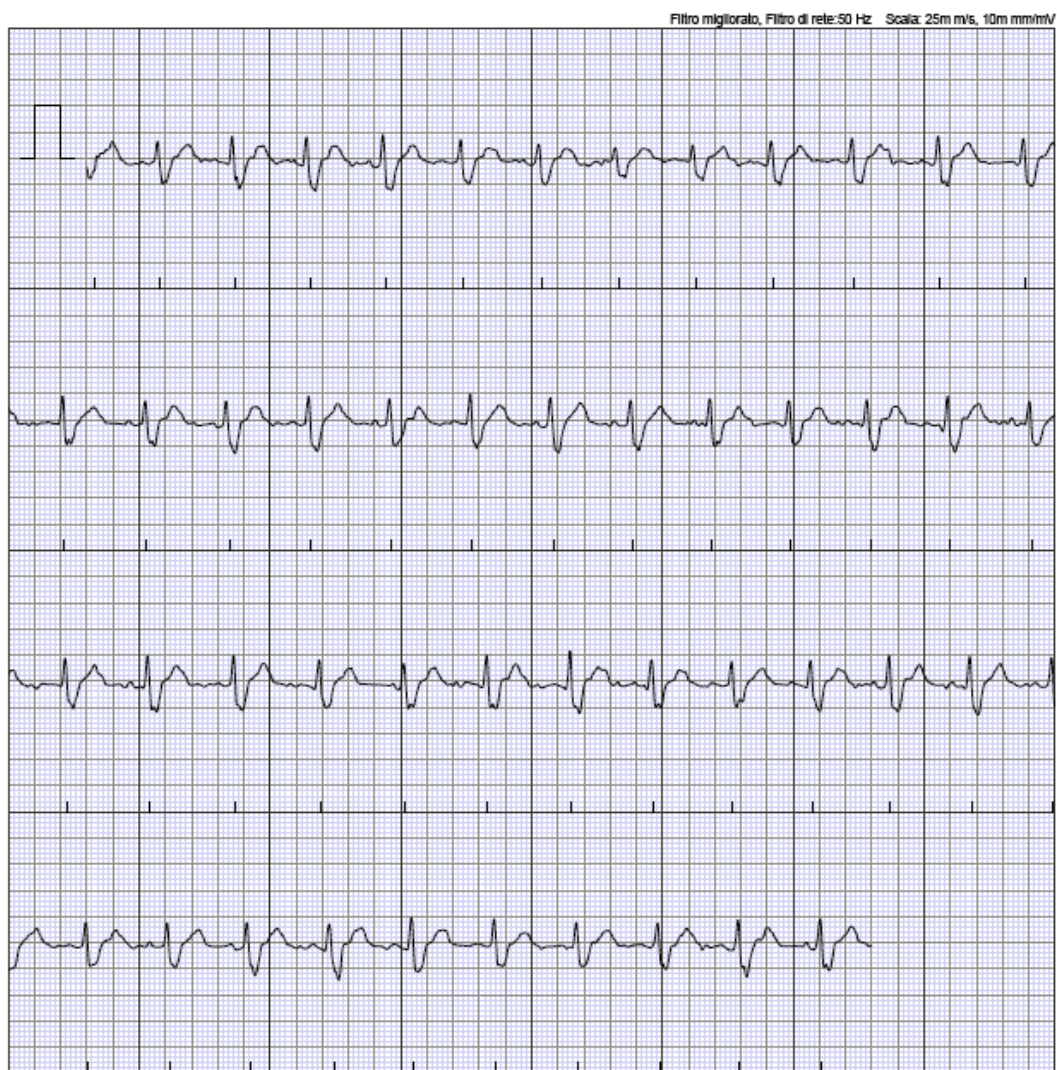


Figura 26: Tracciato elettrocardiografico ottenuto con lo strumento KardiaMobile dopo dell'attività natatoria, soggetto sano.

Il secondo soggetto è un nuotatore con diagnosi di disturbo dello spettro autistico. In seguito, viene riportato l'output dello strumento Kardia Mobile prima (Figura 27) e dopo (Figura 28) dell'attività fisica.



Figura 27: Tracciato elettrocardiografico ottenuto con lo strumento KardiaMobile prima dell'attività natatoria, soggetto autistico.



Figura 28: Tracciato elettrocardiografico ottenuto con lo strumento KardiaMobile dopo dell'attività natatoria, soggetto autistico.

Dai dati procurati con il Kardia sono poi stati estratti i picchi R, con Matlab R2020b si sono poi ricavati gli intervalli R-R, ottenendo quindi un file di formato opportuno, ovvero un file di testo (.txt), per essere preso in ingresso da Kubios, con lo scopo di analizzare la variabilità cardiaca. Tramite Matlab R2020b si sono anche ottenuti i plot delle serie RR e HR in funzione del numero di battiti, sia per quanto riguarda l'acquisizione pre-allenamento (Figura 29), che per quella post-allenamento (Figura 30) del soggetto sano e di quello autistico (Figure 31 e 32).

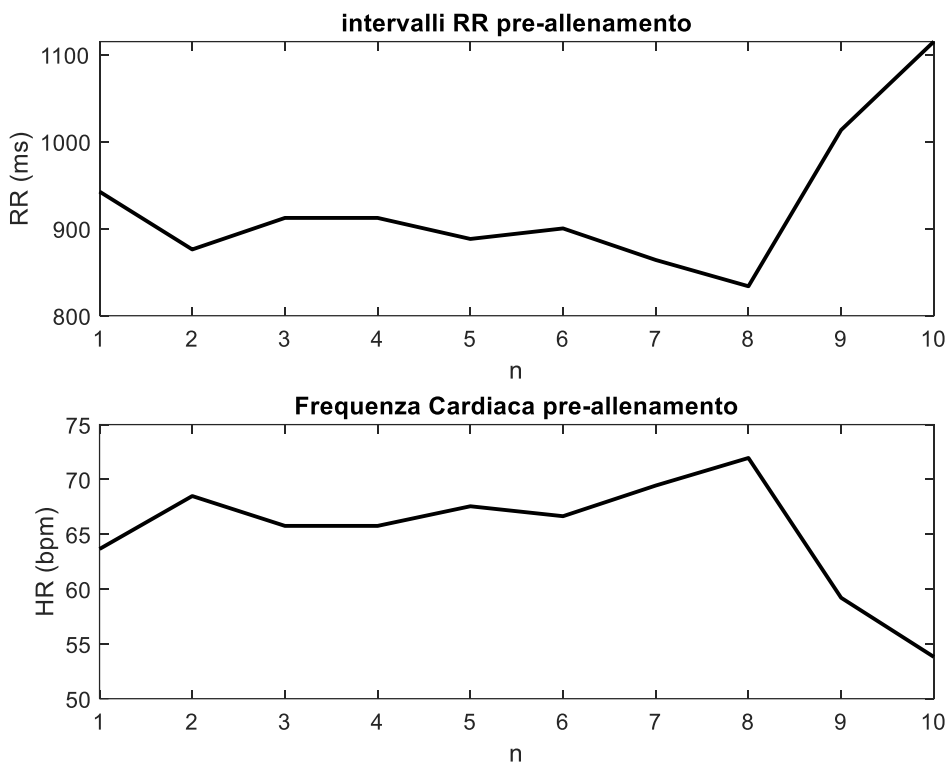


Figura 29: Intervalli RR e frequenza cardiaca in funzione del numero di battiti (n) pre-allenamento

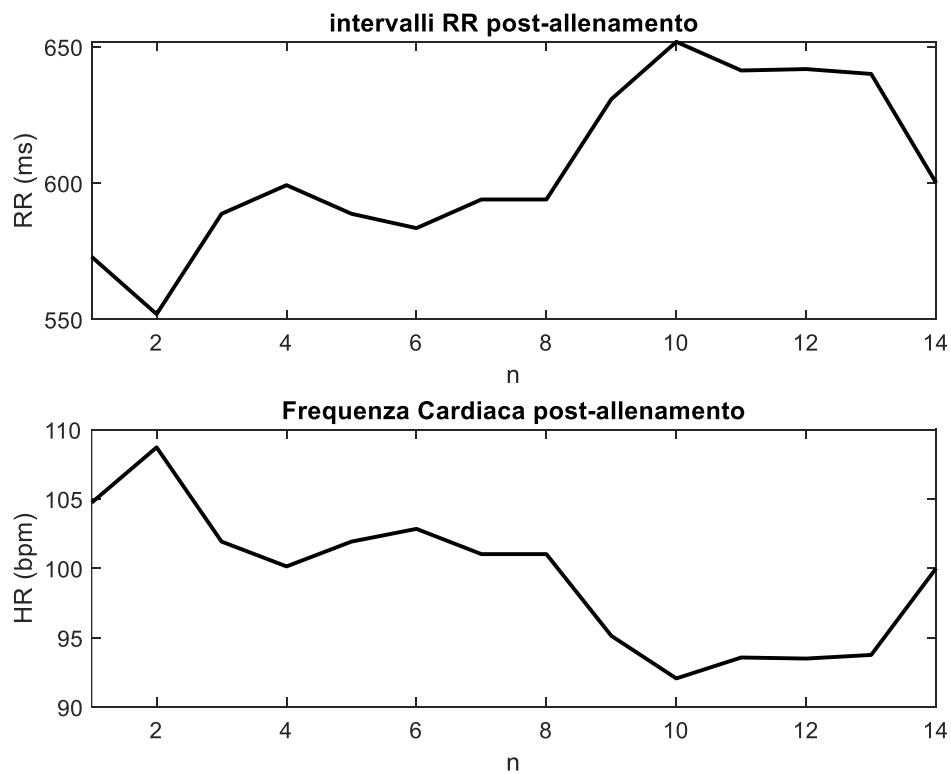


Figura 30: Intervalli RR e frequenza cardiaca in funzione del numero di battiti (n) post-allenamento

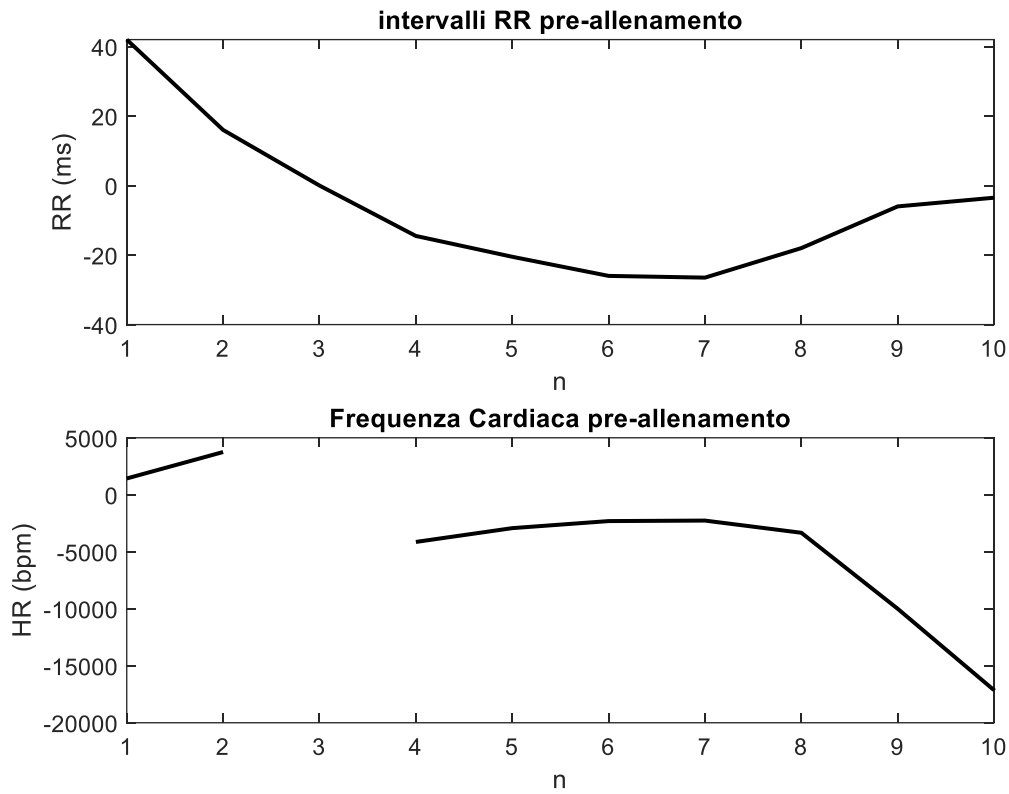


Figura 31: Intervalli RR e frequenza cardiaca in funzione del numero di battiti (n) pre-allenamento

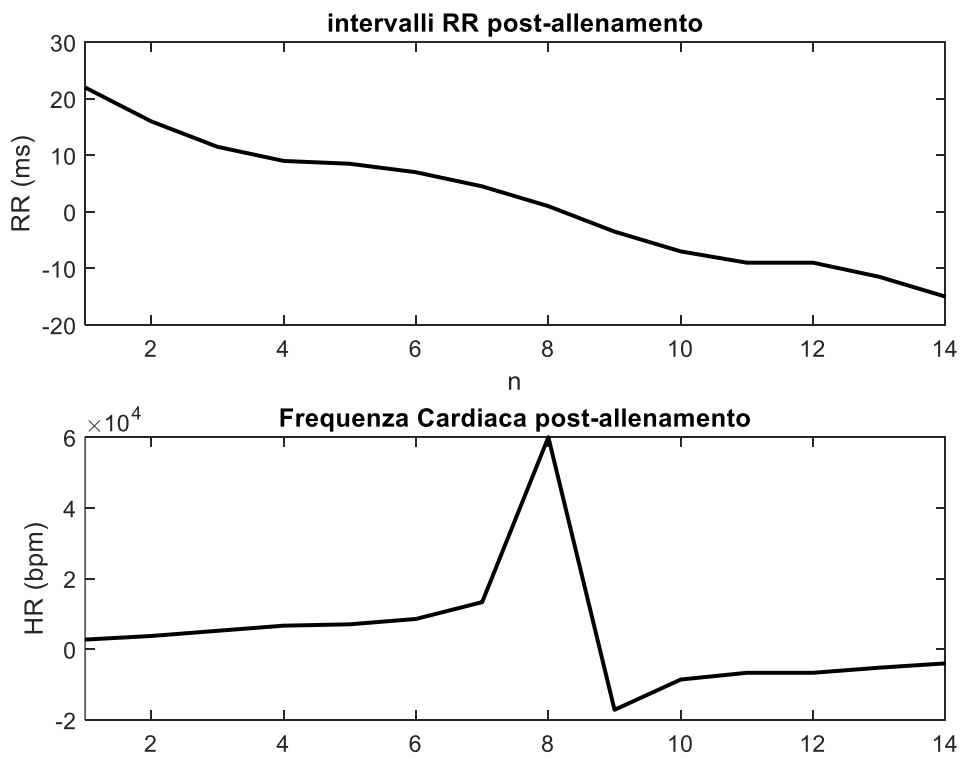


Figura 32: Intervalli RR e frequenza cardiaca in funzione del numero di battiti (n) post-allenamento

I domini d'interesse sono quello del tempo e quello della frequenza. In seguito, vengono riportati i risultati ottenuti nel dominio del tempo, prima (Tabella 16) e dopo (Tabella 17) dell'attività fisica e nel dominio della frequenza, prima (Tabella 18) e dopo (Tabella 19) dell'attività fisica nel primo caso in analisi (soggetto sano).

Tabella 16: parametri d'interesse nel dominio del tempo relativi al pre-allenamento, soggetto sano.

Parametro	Valore	Unità di misura
RR medio	987	ms
SDNN	60.7	ms
HR medio	60	bpm
STD HR	3.8	bpm
HR minimo	55	bpm
HR massimo	68	bpm
RMSSD	63.9	ms

Tabella 17: parametri d'interesse nel dominio del tempo relativi al post-allenamento, soggetto sano.

Parametro	Valore	Unità di misura
RR medio	605	ms
SDNN	19.8	ms
HR medio	99	bpm
STD HR	3.4	bpm
HR minimo	93	bpm
HR massimo	105	bpm
RMSSD	20.6	ms

Tabella 18: parametri d'interesse nel dominio della frequenza relativi al pre-allenamento, soggetto sano.

Parametro	VLF	LF	HF	LF/HF
Picco (Hz)	0.40	0.13	0.15	
Potenza (ms ²)	94.87	2374.30	2859.20	0.83
Potenza (log)	4.55	7.77	7.96	
Potenza (%)	1.78	44.55	53.64	
Poteza (n.u.)		45.35	54.62	

Tabella 19: parametri d'interesse nel dominio della frequenza relativi al post-allenamento, soggetto sano.

Parametro	VLF	LF	HF	LF/HF
Picco (Hz)	0.04	0.15	0.25	
Potenza (ms ²)	0.75	21.25	159.70	0.13
Potenza (log)	0	3.06	5.07	
Potenza (%)	0.41	11.69	87.84	
Poteza (n.u.)		11.74	88.20	

Un altro risultato di particolare interesse è lo spettro PSD, che si ottiene nel dominio della frequenza a partire dalla trasformata di Fourier. Le seguenti immagini mostrano lo spettro PSD nel pre-allenamento (Figura 28) e nel post-allenamento (Figura 29) nel primo caso in analisi (soggetto sano).

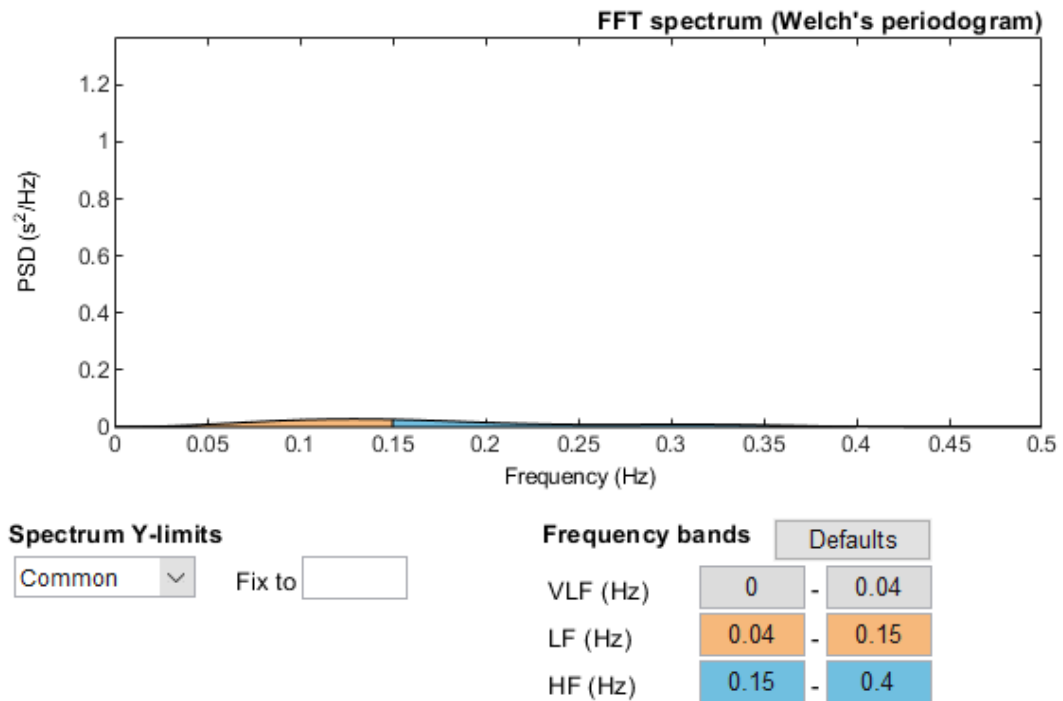


Figura 33: spettro PSD nel pre-allenamento, soggetto autistico.

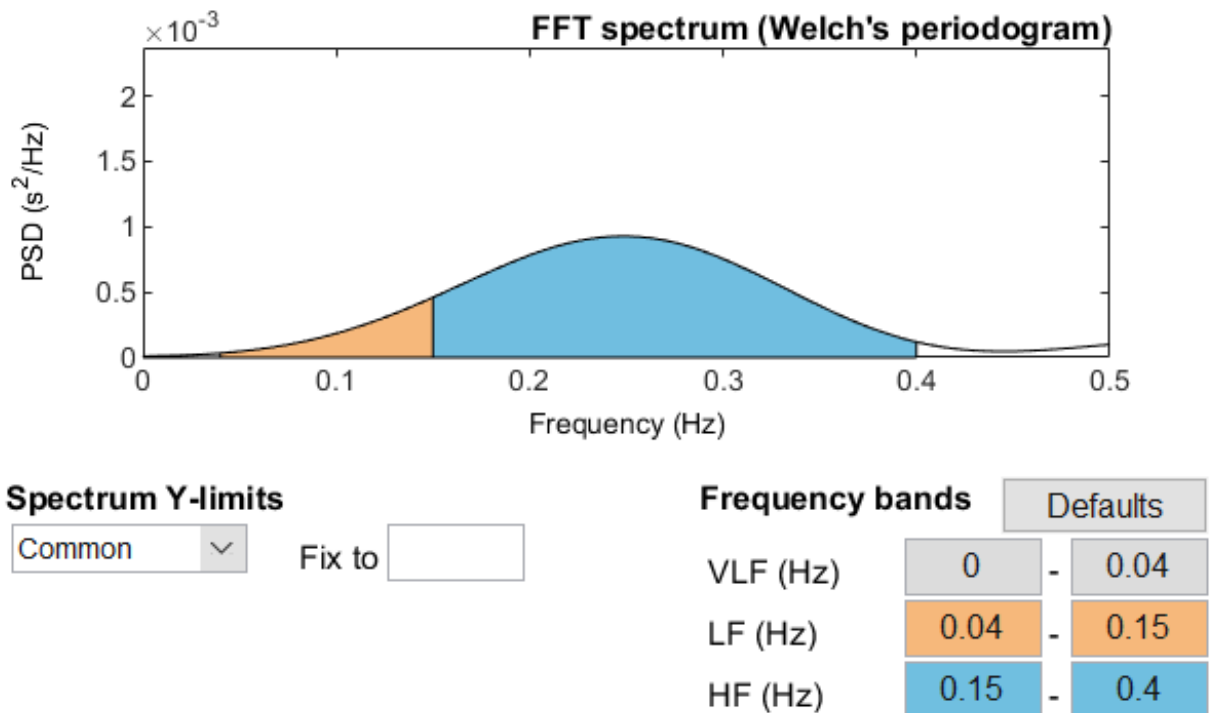


Figura 34: spettro PSD nel post-allenamento, soggetto sano.

In seguito, vengono invece riportati i risultati ottenuti dall'analisi del secondo soggetto: anche in questo caso i domini d'interesse sono tempo e frequenza.

Tabella 20: parametri d'interesse nel dominio del tempo relativi al pre-allenamento, soggetto autistico.

Parametro	Valore	Unità di misura
RR medio	630.95	ms
SDNN	120.50	ms
HR medio	95	bpm
STD HR	35	bpm
HR minimo	88	bpm
HR massimo	119	bpm
RMSSD	139.8	ms

Tabella 21: parametri d'interesse nel dominio della frequenza relativi al pre-allenamento, soggetto autistico.

Parametro	VLF	LF	HF	LF/HF
Picco (Hz)	0.40	0.09	0.15	
Potenza (ms ²)	134.9	551.08	177.29	3.10
Potenza (log)	4.9	6.31	5.18	
Potenza (%)	15.60	63.71	20.50	
Poteza (n.u.)		75.48	24.28	

Tabella 22: parametri d'interesse nel dominio del tempo relativi al post-allenamento, soggetto autistico.

Parametro	Valore	Unità di misura
RR medio	675.38	ms
SDNN	18.31	ms
HR medio	89	bpm
STD HR	2	bpm
HR minimo	86	bpm
HR massimo	93	bpm
RMSSD	18.4	ms

Tabella 23 parametri d'interesse nel dominio della frequenza relativi al post-allenamento, soggetto autistico.

Parametro	VLF	LF	HF	LF/HF
Picco (Hz)	0.40	0.14	0.15	
Potenza (ms ²)	7.04	96.20	170.39	0.56
Potenza (log)	1.9	4.57	5.14	
Potenza (%)	2.57	35.12	62.21	
Poteza (n.u.)		36.05	63.85	

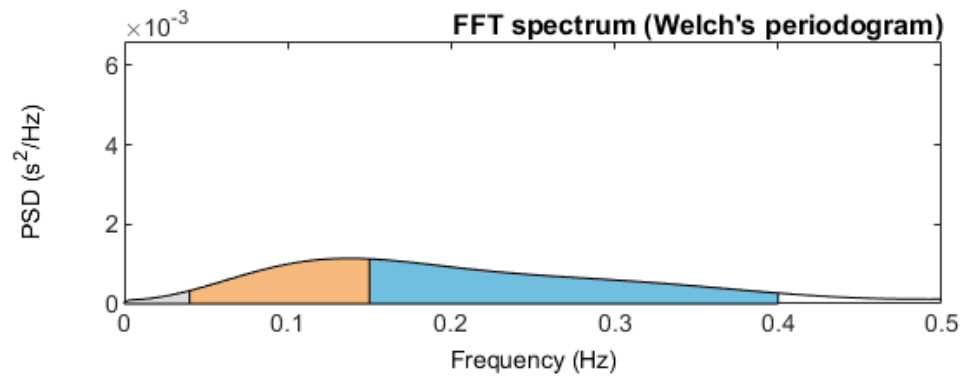


Figura 35: spettro PSD nel pre-allenamento, soggetto autistico.

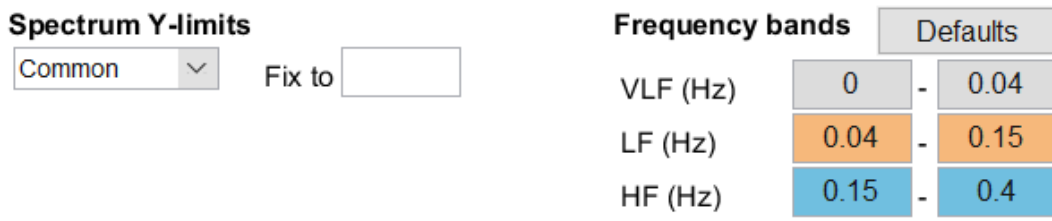
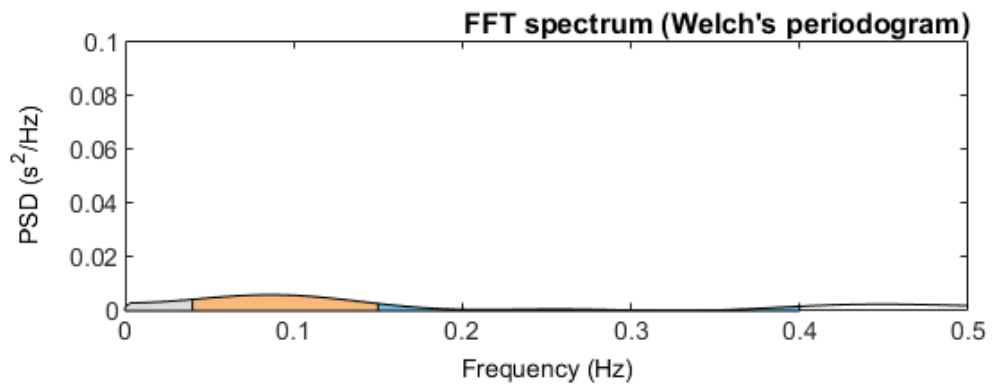


Figura 36: spettro PSD nel post-allenamento, soggetto autistico.

5.3. Discussione

Lo scopo di questi esempi di analisi di un caso reale era quello di individuare un protocollo opportuno per l'acquisizione di dati in un contesto sportivo, in particolare prima e dopo l'attività natatoria.

A partire dai risultati ottenuti dalla prima acquisizione si nota che la frequenza cardiaca del secondo segnale acquisito dopo l'allenamento è maggiore di quella evidenziata nel primo: questo risultato era atteso perché l'esercizio fisico fa aumentare HR.

Inoltre, durante l'attività fisica la variabilità del ritmo cardiaco tende a diminuire e questo si evidenzia nella diminuzione degli indici HRV calcolati in tempo nel post-allenamento, che sono inferiori rispetto a quelli che risultano dal primo segnale acquisito prima dell'allenamento.

Per quanto riguarda l'analisi nel dominio della frequenza si nota che il rapporto LF/HF vede sempre prevalere il sistema vagale e quindi l'attività parasimpatica: nel pre-allenamento questa prevalenza è lieve, infatti l'indice è poco minore di uno (se l'indice è unitario si parla di condizione di equilibrio simpato-vagale), mentre nel post allenamento il rapporto è molto minore di uno e questo evidenzia una netta prevalenza della componente parasimpatica su quella simpatica. Questa netta riattivazione parasimpatica è dovuta al fatto che il soggetto sta tornando a riposo e il sistema vagale permette di abbassare la frequenza cardiaca fino ai livelli di resting.

Spostando ora l'attenzione sul secondo soggetto con diagnosi di autismo, vediamo che le considerazioni sui risultati nel dominio del tempo sono opposte al primo caso: la frequenza cardiaca nel post-allenamento diminuisce, mentre gli indici HRV tendono ad aumentare, indicando dunque una maggiore variabilità cardiaca in seguito all'attività fisica. Queste differenze potrebbero essere legate alla particolare condizione patofisiologica.

Anche in questo caso le considerazioni riguardanti l'analisi nel dominio della frequenza si basano sul rapporto LF/HF, in modo da evidenziare la prevalenza della componente simpatica o parasimpatica del sistema nervoso autonomo.

Nel pre-allenamento il rapporto è molto maggiore di 1, il che indica una netta prevalenza dell'attività simpatica su quella parasimpatica. Questo risultato potrebbe essere giustificato dal fatto che si tratta dell'analisi di un soggetto con diagnosi di autismo, patologia che, come evidenziato in precedenza (capitolo 3), può essere correlata a carenze nel sistema vagale.

Per quanto riguarda invece il rapporto LF/HF nel post-allenamento, questo risulta essere minore di 1 ma comunque maggiore rispetto a quello ottenuto nel post-allenamento del soggetto sano. Come nel

primo caso si giustifica la prevalenza del sistema parasimpatico ipotizzando che questo si sia attivato per riportare il soggetto in condizioni di riposo in seguito all'attività natatoria, ma si potrebbe ipotizzare che la differenza tra i risultati ottenuti nel post-allenamento nei due soggetti sia dovuta, di nuovo, ad una carenza del sistema vagale presente nel soggetto con diagnosi di autismo, ovvero nel secondo caso. Un più ampio campione di soggetti è necessario per confermare tali risultati.

Conclusione

Il protocollo di monitoraggio ed i metodi di analisi considerati hanno prodotto risultati in linea con quanto atteso sia nel caso del soggetto sano sia nel caso di soggetto affetto da disturbo dello spettro autistico. È chiaro che l'analisi di due soggetti non è sufficiente per trarre conclusioni sulla base di confronti statistici, ma a livello qualitativo, in fase sperimentale si è verificato quanto rimarcato in letteratura.

In particolare, considerando il disturbo dello spettro autistico risulta fondamentale riuscire ad indicizzare il sistema nervoso, soprattutto nella sua componente autonoma, con lo scopo di andare ad approfondire la carenza nel sistema vagale riscontrata nei soggetti autistici sia nella parte di ricerca che nella fase di monitoraggio di un caso reale.

Lo studio dei parametri legati alla variabilità cardiaca sembra quindi affidabile ed estremamente importante, soprattutto in casi particolari come quelli legati alla presenza di una patologia. Infatti, il protocollo di monitoraggio appare in grado di discriminare le differenze riscontrabili in termini di analisi in tempo ed in frequenza tra i due soggetti (sano e patologico), verificando inoltre quanto segnalato in precedenza nella relazione tra diagnosi di disturbo dello spettro autistico e variabilità cardiaca nell'attività fisica.

Bibliografia

- [1] Kenneth S. Saladin. *Anatimia Umana*. McGraw-Hill Education. 2017
- [2] Laborde S, Mosley E, Thayer JF. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research - Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Front Psychol*. 2017 Feb 20;8:213. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00213.
- [3] Shaffer F, Ginsberg JP. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health*. 2017 Sep 28;5:258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258.
- [4] A. Cocco, F. Orso. “Dall’autismo di Kanner ai criteri diagnostici di autismo del DSM-3 e DSM-4: la storia delle definizioni di autismo”. www.divisioneautismocastelmonte.it
- [5] Volkmar FR, Reichow B, McPartland J. “Classification of autism and related conditions: progress, challenges, and opportunities”. *Dialogues Clin Neurosci*. 2012 Sep;14(3):229-37. doi: 10.31887/DCNS.2012.14.3/fvolkmar.
- [6] Masi A, DeMayo MM, Glozier N, Guastella AJ. “An Overview of Autism Spectrum Disorder, Heterogeneity and Treatment Options”. *Neurosci Bull*. 2017 Apr;33(2):183-193. doi: 10.1007/s12264-017-0100-y.
- [7] A. Cocco. “L’autismo ne DSM-5: il concetto di spettro autistico e la diagnosi dimensionale”. www.divisioneautismocastelmonte.it
- [8] American Psychiatric Association (APA) “Highlights of Changes from DSM-IV-TR to DSM-5” 2013
- [9] “Definizione e caratteristiche del Disturbo dello Spettro Autistico”. www.centroaita.it
- [10] Kenny L, Hattersley C, Molins B, Buckley C, Povey C, Pellicano E, “Which terms should be used to describe autism? Perspectives from the UK autism community”. *Autism* 2016 May;20(4):442-62. doi: 10.1177/1362361315588200.
- [11] SINPIA (Società Italiana di Neuropsichiatria dell’Infanzia e dell’Adolescenza) “Linee Guida sull'autismo: raccomandazioni tecniche-operative per i servizi di neuropsichiatria dell’età evolutiva”. 2017 Dec
- [12] Werling DM, Geschwind DH. “Sex differences in autism spectrum disorders”. *Curr Opin Neurol*. 2013 Apr 2013 Apr;26(2):146-53. doi: 10.1097/WCO.0b013e32835ee548.
- [13] SNLG-ISS (Sistema nazionale per le linee guida dell’Istituto Superiore di Sanità) . “Linea Guida 21”. 2011 Ottobre
- [14] Lai MC, Lombardo MV, Baron-Cohen S. “Autism.” *Lancet*. 2014 Mar 8;383(9920):896-910. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61539-1.
- [15] Randall M, Egberts KJ, Samtani A, Scholten RJ, Hooft L, Livingstone N, Sterling-Levis K, Woolfenden S, Williams K. “Diagnostic tests for autism spectrum disorder (ASD) in preschool children”. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018 Jul 24;7(7):CD009044. doi: 10.1002/14651858.CD009044.pub2.

- [16] Siddique A, Khan HF, Ali S, Abdullah A, Munir H, Ariff M. “Estimation of Alpha-Synuclein Monomer and Oligomer Levels in the Saliva of the Children With Autism Spectrum Disorder: A Possibility for an Early Diagnosis”. *Cureus*. 2020 Aug 22;12(8):e9936. doi: 10.7759/cureus.9936.
- [17] Sacco R, Gabriele S, Persico AM. Head circumference and brain size in autism spectrum disorder: A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Res*. 2015 Nov 30;234(2):239-51. doi: 10.1016/j.psychres.2015.08.016.
- [18] Hazlett HC, Poe M, Gerig G, Smith RG, Provenzale J, Ross A, Gilmore J, Piven J. “Magnetic resonance imaging and head circumference study of brain size in autism: birth through age 2 years”. *Arch Gen Psychiatry*. 2005 Dec;62(12):1366-76. doi: 10.1001/archpsyc.62.12.1366.
- [19] DiCicco-Bloom E, Lord C, Zwaigenbaum L, Courchesne E, Dager SR, Schmitz C, Schultz RT, Crawley J, Young LJ. “The developmental neurobiology of autism spectrum disorder”. *J Neurosci*. 2006 Jun. 28;26(26):6897-906. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1712-06.2006.
- [20] Courchesne E. “Brain development in autism: early overgrowth followed by premature arrest of growth”. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*. 2004;10(2):106-11. doi: 10.1002/mrdd.20020.
- [21] Courchesne E, Pierce K. “Why the frontal cortex in autism might be talking only to itself: local over-connectivity but long-distance disconnection”. *Curr Opin Neurobiol*. 2005 Apr;(2):225-30. doi: 10.1016/j.conb.2005.03.001.
- [22] Carper RA, Courchesne E. “Localized enlargement of the frontal cortex in early autism”. *Biol Psychiatry*. 2005 Jan .15;57(2):126-33. doi: 10.1016/j.biopsych.2004.11.005.
- [23] Miyazaki K, Narita N, Sakuta R, Miyahara T, Naruse H, Okado N, Narita M. “Serum neurotrophin concentrations in autism and mental retardation: a pilot study”. *Brain Dev*. 2004 Aug ;26(5):292-5. doi: 10.1016/S0387-7604(03)00168-2.
- [24] Bazelmans T, Jones EJH, Ghods S, Corrigan S, Toth K, Charman T, Webb SJ. Heart rate mean and variability as a biomarker for phenotypic variation in preschoolers with autism spectrum disorder. *Autism Res*. 2019 Jan;12(1):39-52. doi: 10.1002/aur.1982.
- [25] Cheng YC, Huang YC, Huang WL. Heart rate variability in individuals with autism spectrum disorders: A meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2020 Nov;118:463-471. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.08.007.
- [26] Jansen LM, Gispens-de Wied CC, Wiegant VM, Westenberg HG, Lahuis BE, van Engeland H. Autonomic and neuroendocrine responses to a psychosocial stressor in adults with autistic spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*. 2006 Oct;36(7):891-9. doi: 10.1007/s10803-006-0124-z.
- [27] Pace M, Bricout VA. Low heart rate response of children with autism spectrum disorders in comparison to controls during physical exercise. *Physiol Behav*. 2015 Mar 15;141:63-8. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.01.011
- [28] Ming X, Julu PO, Brimacombe M, Connor S, Daniels ML. Reduced cardiac parasympathetic activity in children with autism. *Brain Dev*. 2005 Oct;27(7):509-16. doi: 10.1016/j.braindev.2005.01.003.
- [29] Benevides TW, Lane SJ. A review of cardiac autonomic measures: considerations for examination of physiological response in children with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*. 2015 Feb;45(2):560-75. doi: 10.1007/s10803-013-1971-z. +

- [30] Bricout VA, Pace M, Dumortier L, Baillieul F, Favre-Juvin A, Guinot M. Reduced Cardiorespiratory Capacity in Children with Autism Spectrum Disorders. *J Clin Med*. 2018 Oct 16;7(10):361. doi: 10.3390/jcm7100361. +
- [31] Pace M, Bricout VA. Low heart rate response of children with autism spectrum disorders in comparison to controls during physical exercise. *Physiol Behav*. 2015 Mar 15;141:63-8. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.01.011.
- [32] Rosenthal-Malek A, Mitchell S. Brief report: the effects of exercise on the self-stimulatory behaviors and positive responding of adolescents with autism. *J Autism Dev Disord*. 1997 Apr;27(2):193-202. doi: 10.1023/a:1025848009248..
- [33] Bernstein EE, McNally RJ. Acute aerobic exercise helps overcome emotion regulation deficits. *Cogn Emot*. 2017 Jun;31(4):834-843. doi: 10.1080/02699931.2016.1168284.
- [34] Diamond A. Executive functions. *Annu Rev Psychol*. 2013;64:135-68. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750.
- [35] Sung MC, Ku B, Leung W, MacDonald M. The Effect of Physical Activity Interventions on Executive Function Among People with Neurodevelopmental Disorders: A Meta-Analysis. *J Autism Dev Disord*. 2021 Apr 15. doi: 10.1007/s10803-021-05009-5.
- [36] ACY. Brief Report: Impact of a Physical Exercise Intervention on Emotion Regulation and Behavioral Functioning in Children with Autism Spectrum Disorder. *J Autism Dev Disord*. 2020 Nov;50(11):4191-4198. doi: 10.1007/s10803-020-04418-2.
- [37] Bremer E, Crozier M, Lloyd M. A systematic review of the behavioural outcomes following exercise interventions for children and youth with autism spectrum disorder. *Autism*. 2016 Nov;20(8):899-915. doi: 10.1177/1362361315616002.
- [38] Bahrami F, Movahedi A, Marandi SM, Abedi A. Kata techniques training consistently decreases stereotypy in children with autism spectrum disorder. *Res Dev Disabil*. 2012 Jul-Aug;33(4):1183-93. doi: 10.1016/j.ridd.2012.01.018.
- [39] Bass MM, Duchowny CA, Llabre MM. The effect of therapeutic horseback riding on social functioning in children with autism. *J Autism Dev Disord*. 2009 Sep;39(9):1261-7. doi: 10.1007/s10803-009-0734-3.
- [40] Kern L, Koegel RL, Dyer K, Blew PA, Fenton LR. The effects of physical exercise on self-stimulation and appropriate responding in autistic children. *J Autism Dev Disord*. 1982 Dec;12(4):399-419. doi: 10.1007/BF01538327.
- [41] Levinson LJ and Reid G (1993) The effects of exercise intensity on the stereotypic behaviors of individuals with autism. *Adapted Physical Activity Quarterly* 10(1): 255-268
- [42] Movahedi A, Bahrami F, Marandi SM, et al. (2013) Improvement in social dysfunction of children with autism spectrum disorder following long term Kata techniques training. *Research in Autism Spectrum Disorders* 7(9): 1054-1061
- [43] Pan CY. Effects of water exercise swimming program on aquatic skills and social behaviors in children with autism spectrum disorders. *Autism*. 2010 Jan;14(1):9-28. doi: 10.1177/1362361309339496.
- [44] Rosenblatt LE, Gorantla S, Torres JA, Yarmush RS, Rao S, Park ER, Denninger JW, Benson H, Fricchione GL, Bernstein B, Levine JB. Relaxation response-based yoga improves functioning in young children with autism: a pilot study. *J Altern Complement Med*. 2011 Nov;17(11):1029-35. doi: 10.1089/acm.2010.0834.

- [45] Tanaka H. Swimming exercise: impact of aquatic exercise on cardiovascular health. *Sports Med.* 2009;39(5):377-87. doi: 10.2165/00007256-200939050-00004.
- [46] Illidi CR, Stang J, Melau J, Hisdal J, Stensrud T. Does Cold-Water Endurance Swimming Affect Pulmonary Function in Healthy Adults? *Sports (Basel)*. 2021 Jan 10;9(1):7. doi: 10.3390/sports9010007.
- [47] Cunha M, Mendes F, Paciência I, Rodolfo A, Carneiro-Leão L, Rama T, Rufo J, Delgado L, Moreira A. The effect of inspiratory muscle training on swimming performance, inspiratory muscle strength, lung function, and perceived breathlessness in elite swimmers: a randomized controlled trial. *Porto Biomed J.* 2019 Oct 24;4(6): e49. doi: 10.1097/j.pbj.0000000000000049.
- [48] Verges S, Lenherr O, Haner AC, Schulz C, Spengler CM. Increased fatigue resistance of respiratory muscles during exercise after respiratory muscle endurance training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2007 Mar;292(3): R1246-53. doi: 10.1152/ajpregu.00409.2006.
- [49] Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol.* 2010 Feb;108(3):505-11. doi: 10.1007/s00421-009-1228-x.
- [50] Burtch AR, Ogle BT, Sims PA, Harms CA, Symons TB, Folz RJ, Zavorsky GS. Controlled Frequency Breathing Reduces Inspiratory Muscle Fatigue. *J Strength Cond Res.* 2017 May;31(5):1273-1281. doi: 10.1519/JSC.0000000000001589.
- [51] West SA, Drummond MJ, Vanness JM, Ciccolella ME. Blood lactate and metabolic responses to controlled frequency breathing during graded swimming. *J Strength Cond Res.* 2005 Nov;19(4):772-6. doi: 10.1519/R-14543.1.
- [52] Settore Istruzione Tecnica . Federazione Italiana Nuoto (FIN) : Corai allievo istruttore – Istruttore base . 2014
- [53] Gonjo T, Narita K, McCabe C, Fernandes RJ, Vilas-Boas JP, Takagi H, Sanders R. Front Crawl Is More Efficient and Has Smaller Active Drag Than Backstroke Swimming: Kinematic and Kinetic Comparison Between the Two Techniques at the Same Swimming Speeds. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020 Sep 24;8:570657. doi: 10.3389/fbioe.2020.570657.
- [54] Zamparo P, Capelli C, Pendergast D. Energetics of swimming: a historical perspective. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Mar;111(3):367-78. doi: 10.1007/s00421-010-1433-7.
- [55] Costill DL, Kowaleski J, Porter D, Kirwan J, Fielding R, King D. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med.* 1985 Oct;6(5):266-70. doi: 10.1055/s-2008-1025849.
- [56] Ingvar Holmer, *Swimming Physiology.* *Ann. Physiol. Anthropol.* 11(3): 269-276,1992
- [57] Zamparo P, Cortesi M, Gatta G. The energy cost of swimming and its determinants. *Eur J Appl Physiol.* 2020 Jan;120(1):41-66. doi: 10.1007/s00421-019-04270-y.
- [58] Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM, Marinho DA, Carvalho C, Silva AJ. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *J Sci Med Sport.* 2010 Mar;13(2):262-9. doi: 10.1016/j.jsams.2009.01.003.
- [59] di Prampero PE (1981) Energetica dell'esercizio muscolare. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 89: 143–222

- [60] Capelli C, Pendergast DR, Termin B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998 Oct;78(5):385-93. doi: 10.1007/s004210050435.
- [61] Vonder Hulls DS, Walker LK, Powell JM. Clinicians' perceptions of the benefits of aquatic therapy for young children with autism: a preliminary study. *Phys Occup Ther Pediatr*. 2006;26(1-2):13-22. doi: 10.1300/j006v26n01_03.
- [62] Ansari S, Hosseinkhanzadeh AA, AdibSaber F, Shojaei M, Daneshfar A. The Effects of Aquatic Versus Kata Techniques Training on Static and Dynamic Balance in Children with Autism Spectrum Disorder. *J Autism Dev Disord*. 2020 Nov 18. doi: 10.1007/s10803-020-04785-w.
- [63] Fragala-Pinkham M, Haley SM, O'Neil ME. Group aquatic aerobic exercise for children with disabilities. *Dev Med Child Neurol*. 2008 Nov;50(11):822-7. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03086.x.
- [64] Mortimer R, Privopoulos M, Kumar S. The effectiveness of hydrotherapy in the treatment of social and behavioral aspects of children with autism spectrum disorders: a systematic review. *J Multidiscip Healthc*. 2014 Feb 3;7:93-104. doi: 10.2147/JMDH.S55345.
- [65] Skinner A, Thomson A. Aquatic therapy and the Halliwick concept. *Exceptional parent*. 2008.
- [66] Yilmaz I, Yanarda M, Birkan B, Bumin G. Effects of swimming training on physical fitness and water orientation in autism. *Pediatr Int*. 2004 Oct;46(5):624-6. doi: 10.1111/j.1442-200x.2004.01938.x.
- [67] Baccouch R, Rebai H, Sahli S. Kung-fu versus swimming training and the effects on balance abilities in young adolescents. *Phys Ther Sport*. 2015 Nov;16(4):349-54. doi: 10.1016/j.ptsp.2015.01.004.
- [68] Chien-Yu Pan. The efficacy of an aquatic program on physical fitness and aquatic skills in children with and without autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*. 2011. 5(1).
- [69] Mills W, Kondakis N, Orr R, Warburton M, Milne N. Does Hydrotherapy Impact Behaviours Related to Mental Health and Well-Being for Children with Autism Spectrum Disorder? A Randomised Crossover-Controlled Pilot Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jan 15;17(2):558. doi: 10.3390/ijerph17020558.
- [70] Ennis E. The Effects of a Physical Therapy-directed Aquatics Program on Children with Autism Spectrum disorders.
- [71] Chu CH, Pan CY. L'effetto del programma acquatico assistito da pari e fratelli sui comportamenti di interazione e sulle abilità acquatiche dei bambini con disturbi dello spettro autistico e dei loro pari / fratelli. *Res Autism Spectr Disord*. 2012; 6 (3): 1211–1223
- [72] Varni JW, Seid M, Kurtin PS. PedsQL 4.0: reliability and validity of the Pediatric Quality of Life Inventory version 4.0 generic core scales in healthy and patient populations. *Med Care*. 2001 Aug;39(8):800-12. doi: 10.1097/00005650-200108000-00006.
- [73] Caputo G., Ippolito G. *Terapia Multisistemica in Acqua, Metodo Caputo e Ippolito*. Disponibile online: <http://www.terapiamultisistemica.it> .
- [74] Caputo G., Ippolito G., Maietta P., *La terapia multisistemica in acqua. Un nuovo approccio terapeutico per soggetti con disturbo autistico e della relazione. Indicazioni per operatori, psicologi, terapisti, genitori*. FrancoAngeli. 1° edizione (18 febbraio 2015)
- [75] Caputo G, Ippolito G, Mazzotta M, Sentenza L, Muzio MR, Salzano S, Conson M. Effectiveness of a Multisystem Aquatic Therapy for Children with Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord*. 2018 Jun;48(6):1945-1956. doi: 10.1007/s10803-017-3456-y.

[76] Valutazione di Humphries K. Humphries della prontezza acquatica. Dipartimento di Kinesiologia, Educazione fisica adattata e attività, Texas Woman's University. [(visitato il 25 marzo 2018)]; Disponibile online: http://www.twu.edu/downloads/inspire/haar_manual_1.pdf.

[77] Battaglia G, Agrò G, Cataldo P, Palma A, Alesi M. Influence of a Specific Aquatic Program on Social and Gross Motor Skills in Adolescents with Autism Spectrum Disorders: Three Case Reports. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2019 May 24;4(2):27. doi: 10.3390/jfmk4020027.

[78] Zanolini M, Solari S. Effectiveness of the Program "Acqua Mediatrice di Comunicazione" (Water as a Mediator of Communication) on Social Skills, Autistic Behaviors and Aquatic Skills in ASD Children. *J Autism Dev Disord*. 2019 Oct;49(10):4134-4146. doi: 10.1007/s10803-019-04128-4.

[79] Chan W, Smith LE, Hong J, Greenberg JS, Mailick MR. Validating the social responsiveness scale for adults with autism. *Autism Res*. 2017 Oct;10(10):1663-1671. doi: 10.1002/aur.1813.

[80] www.alivecor.it/kardiamobile61

[81] www.kubios.com