

## **Monitoraggio Psicofisiologico nello Sport**

Selenia Di Fronso <sup>\*</sup>, Laura Bortoli <sup>\*\*</sup>, Katerina Mazzoni <sup>\*\*\*</sup>, Claudio Robazza <sup>\*\*</sup> e Maurizio Bertollo <sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Behavioral Imaging and Neural Dynamics Center, Dipartimento di Scienze Biomediche

<sup>\*\*</sup>Behavioral Imaging and Neural Dynamics Center, Dipartimento di Medicina e Scienze dell'Invecchiamento, Facoltà di Scienze dell'Educazione Motoria, Università di Chieti

<sup>\*\*\*</sup>Dipartimento di Scienze Biomediche

### **Riassunto**

Negli ultimi 20 anni lo studio dei processi psicofisiologici sottostanti la prestazione sportiva è cresciuto in maniera esponenziale, anche sulla spinta dell'interesse per l'allenamento mentale da parte di atleti ed allenatori. Il monitoraggio psicofisiologico, che permette di analizzare questi processi, consiste nella rilevazione del grado di attivazione e funzionamento dell'organismo e può essere considerato come un approccio interdisciplinare che tenta di dare risposte ai problemi riguardanti il rapporto corpo-mente. Nel mondo dello sport, può essere utilizzato per migliorare la comprensione dei processi sottostanti la prestazione sportiva, per poterla successivamente incrementare od ottimizzare. Le tecniche che si stanno utilizzando per questo tipo di monitoraggio comprendono l'elettromiografia (EMG), l'elettrocardiografia (ECG), l'elettroencefalografia (EEG), la risonanza magnetica funzionale (fMRI) ma anche altre tecniche più semplici che misurano l'attività elettrodermica (EDA) o il ritmo respiratorio.

Scopo di questo articolo è quello di offrire una panoramica generale del funzionamento di queste tecniche, degli sport che ne hanno tratto utilità e delle informazioni che se ne possono ricavare per comprendere, migliorare ed ottimizzare la prestazione in tutta la sua complessità.

### **Parole chiave**

Psicofisiologia; prestazione sportiva; elettromiografia; elettrocardiografia; elettroencefalografia; risonanza magnetica funzionale

### **Summary**

In the last 20 years, there was a growing interest in the study of the theoretical and applied issues surrounding psychophysiological processes underlying performance. The psychophysiological monitoring, which enables the study of these processes, consists in the assessment of the activation

and functioning level of the organism. It can be considered as a multidisciplinary approach in the study of the mind-body relationship. In the sporting domain, it can be used to attain a better understanding of the processes underlying performance and to improve athletic achievements. The most used techniques include electromyography (EMG), electrocardiography (ECG), electroencephalography (EEG), functional magnetic resonance imaging (fMRI), and the assessment of electrodermal activity and breathing rhythm. The purpose of this paper is to offer an overview of these techniques and their applications in sport.

**Keywords**

Psychophysiology; sport performance; electromyography; electrocardiography; electroencephalography; functional magnetic resonance imaging

## INTRODUZIONE

Il monitoraggio psicofisiologico consiste nella rilevazione del grado di attivazione e funzionamento dell'organismo. È un approccio interdisciplinare alle classiche questioni relative al funzionamento della mente ed al suo rapporto con il corpo, che tenta di dare risposte integrative ed olistiche ai problemi sollevati da sempre da filosofi e scienziati circa il binomio corpo-mente (Cacioppo, Tassinary e Berntson, 2007). Nel mondo dello sport, può essere utilizzato per migliorare la comprensione dei processi sottostanti la prestazione sportiva, per poterla successivamente incrementare od ottimizzare (Hatfield e Landers, 1987). Le tecniche che si stanno utilizzando per questo tipo di monitoraggio comprendono, ad esempio, **l'elettromiografia (EMG)**, **l'elettrocardiografia (ECG)**, **l'elettroencefalografia (EEG)**, **la risonanza magnetica funzionale (fMRI)** ma anche altre tecniche più semplici che misurano l'attività **elettrodermica (EDA)** o il **ritmo respiratorio**. Tali tecniche, e gli strumenti che ne consentono l'applicazione, sono state rese possibili dalle ricerche di fisica medica e dalle sue implementazioni bioingegneristiche.

## TECNICHE E MISURE PER IL MONITORAGGIO PSICOFISIOLOGICO

**L'elettromiografia (EMG)** è una tecnica che si occupa dello sviluppo, della registrazione e dell'analisi dei segnali mioelettrici che vengono generati dalle variazioni fisiologiche nello stato delle membrane delle fibre muscolari. In particolare, si fa qui riferimento all'elettromiografia chinesiológica, che si avvale di elettrodi di superficie e che viene utilizzata prevalentemente per lo studio dell'attivazione neuromuscolare in compiti posturali, movimenti funzionali, condizioni di lavoro o allenamento (Konrad, 2005). Essa può essere molto utile perché consente di "guardare" direttamente all'interno del muscolo e di effettuare le misurazioni riguardanti il lavoro muscolare; le analisi di tali registrazioni forniscono utili informazioni per migliorare la prestazione in attività motorie e sportive. Da un punto di vista psicofisiologico la tensione muscolare è stata spesso associata al vissuto emozionale per cui vi sono alcuni muscoli target, come ad esempio il trapezio, che più di altri vengono monitorati per avere informazioni rispetto al livello di ansia e tensione generale dell'atleta.

**L'elettrocardiografia (ECG)** misura il segnale elettrico del cuore e fornisce parametri come la frequenza cardiaca (Heart Rate: HR) o la variabilità della frequenza cardiaca (Heart Rate Variability: HRV), fenomeno fisiologico per cui l'intervallo di tempo tra due battiti cardiaci può variare. Per semplificare l'utilizzo di queste misure in ambito applicativo, anziché collegare

tradizionalmente gli elettrodi sul torace si utilizzano particolari sensori applicati al dito di una mano, che lavorano attraverso l'emissione e la captazione di luce infrarossa assorbita dal sangue. In tal modo si registrano le variazioni di flusso sanguigno nei capillari delle dita che rappresentano fedelmente il battito cardiaco. Oggi si utilizzano anche delle fasce toraciche, come ad esempio il Bioharness (Zephyr), in grado di monitorare il battito cardiaco e fornire i dati relativi in modalità wireless con un computer. Negli ultimi anni si sta utilizzando molto soprattutto l'analisi della variabilità della frequenza cardiaca, che varia in risposta a fattori quali il ritmo del respiro, gli stati emozionali, l'ansia e lo stress. Tali analisi possono essere elaborate nel dominio del tempo oppure in quello della frequenza; in quest'ultimo caso, la trasformata di Fourier del segnale registrato, un algoritmo che analizza le diverse bande di frequenza associate all'attività del sistema simpatico e di quello parasimpatico, può fornire diversi indici di bilanciamento del funzionamento dei due tipi di sistema nervoso autonomo (Berntson, Quigley e Lozano, 2007). Tale algoritmo, inoltre, può scomporre la variabilità in diverse componenti di frequenza: una molto bassa (Very Low Frequency: VLF), componente che va da 0,03 a 0,05 Hz, associata solitamente alla regolazione della temperatura, una frequenza bassa (Low Frequency: LF), componente che va da 0,05 a 0,15 Hz, associata solitamente alla regolazione della pressione del sangue, e una ad alta frequenza (High Frequency: HF), componente che va da 0,15 a 0,4 Hz, associata alle influenze respiratorie ed in particolare a quella variazione naturale della frequenza cardiaca definita aritmia del seno respiratorio (Respiratory Sinus Arrhythmia: RSA) (Grossman, 1992). La capacità dell'organismo di modificare il proprio bilanciamento verso l'uno o l'altro sistema (simpatico o parasimpatico) è molto importante per un buon funzionamento cardiaco, ed è un meccanismo che tende all'equilibrio dinamico, sia dal punto di vista fisiologico, che psicologico. Un'elevata variabilità della frequenza sarebbe associata ad una buona salute cardiaca e alle migliori prestazioni sportive, mentre periodi di stress mentale tenderebbero a ridurla (Wilson e Somers, 2011). Specifici pattern di variabilità della frequenza cardiaca possono offrire importanti informazioni per quanto riguarda le dinamiche cardiovascolari ed il loro controllo centrale e periferico. La variabilità della frequenza cardiaca può essere attribuita alle variazioni nel controllo parasimpatico associato alla respirazione e può essere utilizzata come indice di controllo vagale del cuore. Nel dettaglio, la variabilità in banda HF, collegata alla frequenza respiratoria, riflette le variazioni nel controllo vagale seno-atriale, e viene così utilizzata come indice selettivo di controllo cardiaco parasimpatico. Nel campo della psicofisiologia in relazione all'ambito motorio-sportivo c'è grande interesse per la variabilità cardiaca in quanto collegata all'arousal: la componente di alta frequenza aumenta infatti in condizioni di stress e di ansia elevata, soprattutto quando collegata anche ad attenzione focalizzata

ed inibizione motoria. La variabilità cardiaca all'interno delle bande VLF e LF, dal punto di vista fisiologico, rappresenta la combinazione dell'attività del sistema nervoso simpatico e di quello parasimpatico. Il suo significato psicologico è invece meno chiaro, sebbene la banda LF possa risultare utile nella valutazione del carico di lavoro cognitivo. L'analisi della variabilità cardiaca dovrebbe essere regolarmente associata a quella della pressione arteriosa al fine di evitare le possibili ambiguità sui motivi di variazione della frequenza cardiaca rispetto ai valori di riposo.

**La conduttanza della cute o attività elettrodermica**, anche conosciuta come Galvanic Skin Response (GSR), Electrodermal Activity and Response (EDA/EDR) o Psychogalvanic Reflex (PGR), rappresenta la conduttanza elettrica della pelle (l'inverso della resistenza) che varia con il suo livello di sudorazione. In breve, poiché le ghiandole sudoripare sono controllate dal sistema nervoso simpatico, la valutazione della conduttanza della cute attraverso degli specifici sensori è utilizzata come indicatore dello stato di attivazione psicofisiologica. L'ampio utilizzo dell'attività elettrodermica in una vasta gamma di studi è dovuta in gran parte alla sua relativa facilità di misurazione ed alla sua sensibilità agli stati psicologici. Tale metodica è stata utilizzata in diversi ambiti di studio: dalla ricerca di base sulla valutazione dei livelli di attivazione (Lazzano et al., 1999), allo studio dei processi elaborativi ed al monitoraggio dell'emozione (cfr. Dawson, Schell e Filion, 2007). Rispetto all'attività elettrodermica si sono evidenziate attività toniche e fasiche nelle risposte cutanee che oggi si associano rispettivamente a misure di Skin Conductance Level (SCL), ossia il livello di conduttanza cutanea, e di Skin Conductance Response (SCR), ossia la risposta di conduttanza cutanea. L'attività tonica esprime il valore assoluto della resistenza elettrica cutanea, e costituisce un indice dello stato generale di attivazione del sistema nervoso dell'organismo; l'attività fasica, invece, è indice delle rapide risposte del sistema elettrodermico in risposta a stimoli prettamente emozionali e sensoriali. Woodworth e Schloberg (1954) hanno notato che l'attività tonica è generalmente bassa durante il sonno e alta negli stati di attivazione. Gli stessi autori hanno collegato anche l'attività fasica all'attenzione, notando che simili risposte sono associate anche a stimoli nuovi o intensi. È bene ricordare che, nella maggioranza dei casi, i cambiamenti nell'attività elettrodermica si verificano come un insieme di risposte mediate dal sistema nervoso autonomo. A differenza della maggior parte delle risposte del sistema nervoso autonomo, l'attività elettrodermica fornisce una rappresentazione relativamente diretta dell'attività del sistema simpatico: infatti, il controllo neurale delle ghiandole sudoripare esocrine è interamente mediato da quest'ultimo. Quindi, incrementi nel livello di conduttanza cutanea o nella risposta di conduttanza sono dovuti ad una aumentata attivazione simpatica rispettivamente tonica o fasica, collegata quindi anche ai fenomeni emozionali ed all'ansia. Quindi, se si studia la reazione di soggetti ad una situazione o a

stimoli discreti che determinano ansia, il sistema elettrodermico sarà il sistema fisiologico di risposta immediata. Stimoli discreti capaci di evocare risposte di conduttanza (fasiche) sono quelli con forte valenza affettiva positiva o negativa, o quelli associati alla presa di decisione. Una situazione, invece, con stimoli continui che produce incrementi nel livello di conduttanza (attività tonica) si realizza quando si deve eseguire un compito. Munro, Dawson, Schell e Sakai (1987) hanno osservato poi che l'attività elettrodermica (in generale) aumentava durante l'esecuzione di un compito e hanno proposto due possibili spiegazioni: da una parte i compiti richiedono un dispendio di risorse d'attenzione, e questo, in accordo con Jennings (1986), può essere associato ad una grande attivazione del sistema nervoso autonomo; dall'altra vengono chiamati in causa, invece, i concetti di stress e di emozione, o affettività, collegati spesso a situazione di tipo sociale, piuttosto che attenzione e sforzo.

Un altro parametro fisiologico registrabile è il **ritmo respiratorio**, di solito valutato attraverso uno strumento posizionato intorno all'addome sotto la gabbia toracica (estensimetro). Durante un compito, in un atleta possono esservi spesso delle alterazioni nella respirazione: ad esempio, una respirazione superficiale coinvolge prevalentemente la muscolatura delle spalle e non quella addominale; oppure l'atleta in alcuni momenti può trattenere il respiro o, viceversa, aumentare volontariamente la frequenza respiratoria. Tali variazioni, favorite anche da fattori come ansia e stress, sono state associate a prestazioni più scadenti (Wilson e Somers, 2011). Di solito l'analisi del ritmo respiratorio è associata all'analisi della variabilità cardiaca, e tecniche respiratorie sono utilizzate per sviluppare training specifici di autoregolazione della frequenza cardiaca (Lagos, Vaschillo, Vaschillo, Lehrer, Bates & Pandina, 2008).

**La risonanza magnetica funzionale (fMRI)** è una delle tecniche di imaging di sviluppo più recente, utilizzata ampiamente per valutare la funzionalità di organi e apparati. È applicata in diversi ambiti clinici accanto ad altre tipologie di immagini (ad esempio, quelle ecografiche), ma in questo lavoro viene considerata solo come risonanza magnetica neuronale, in funzione cioè dell'analisi dell'attività corticale. Essa non visualizza direttamente l'attività dei neuroni, bensì la risposta emodinamica correlata all'attività corticale nelle diverse aree.

**L'elettroencefalografia (EEG)** di superficie registra i potenziali elettrici che l'attività corticale produce nel cuoio capelluto. Tale tecnica è proprio una registrazione di potenziali fluttuanti, ottenuta attraverso elettrodi posti sul capo secondo un sistema standard di posizionamento chiamato "sistema internazionale 10-20" (Fisch, 1991; Jasper, 1958; Pivik, Braughton, Coppola, Davidson, Fox e Nuwer, 1993). Tra i tanti sistemi di registrazione a disposizione (bipolari e unipolari) quello più comune ed utilizzato prevede la scelta di un elettrodo

di riferimento ed i segnali elettroencefalografici rappresentano, in questo caso, la differenza di potenziale tra gli elettrodi attivati e quello di riferimento; altre tecniche prevedono invece di confrontare il segnale medio acquisito da tutti gli elettrodi, oppure la differenza tra coppie di elettrodi. Attraverso gli studi elettroencefalografici si è in grado di associare particolari fasce o “bande” di frequenza delle onde cerebrali (alpha, beta, gamma, delta, ecc.) a stati mentali precisi. Infatti, una gran quantità di ricerca vede proprio un’associazione tra particolari pattern elettroencefalografici e le prestazioni in specifici compiti cognitivi ed in specifiche attività. Per questo motivo l’elettroencefalografia viene utilizzata come tecnica ad alta risoluzione temporale per comprendere la prestazione ed i suoi miglioramenti anche nel contesto delle scienze motorie e sportive, nonostante i problemi tecnici e metodologici che questo ambito di ricerca presenta (vedi Thompson, Steffert, Ros, Leach e Gruzelier, 2008).

## **IL MONITORAGGIO PSICOFISIOLOGICO APPLICATO ALLO SPORT**

Negli ultimi 20 anni l’analisi dei processi psicofisiologici sottostanti la prestazione sportiva è cresciuta in maniera esponenziale, anche sulla spinta dell’interesse per l’allenamento mentale da parte di atleti ed allenatori. Gli sport che utilizzano abilità chiuse (closed skill), che si svolgono cioè in contesti stabili e prevedibili dove l’atleta gestisce totalmente tempi di esecuzione e modalità, hanno particolarmente beneficiato di questo filone di ricerca. In particolare poi, gli sport di precisione, dove gli atleti eseguono da fermi il gesto tecnico (come nel tiro con l’arco e nel tiro a segno), si prestano in modo ottimale a rilevazioni accurate.

Uno degli aspetti maggiormente studiati è la gestione dell’arousal/attivazione, in quanto aspetto assai rilevante per gli atleti e parte integrante dei programmi di preparazione mentale. Con questo concetto viene intesa la modificazione dei livelli fisiologici e comportamentali di base dell’individuo in preparazione ad eventi attesi ed in risposta a stimoli interni o esterni. Tale risposta può essere funzionale o disfunzionale ai fini di una prestazione sportiva, in base al livello d’intensità e all’interpretazione cognitiva che ne dà l’atleta, e la gestione dell’arousal/attivazione è considerata, in psicologia dello sport, una delle abilità mentali importanti da acquisire. Nello specifico, l’arousal è definito tradizionalmente come un generale stato fisiologico e psicologico che fluttua dal sonno profondo all’intensa reattività (Gould e Krane, 1992). Il termine arousal è stato spesso utilizzato come sinonimo di *attivazione* fino a quando Barry e colleghi hanno cercato di distinguerli con i loro esperimenti (Barry, Clarke, McCarthy, Sclikowitz, Rushby e Ploskova, 2004; Barry, Clarke, McCarthy, Sclikowitz e Rushby, 2005; Vaez Mousavi, Barry, Rushby e Clarke 2007;

Vaez-Mousavi, S. M., Hashemi-Masoumi, E., e Jalali, S., 2008; Vaez Mousavi, Naji e Hassanzadeh, 2011). Secondo questi autori, infatti, l'arousal corrisponde ad una "prontezza" generale dell'organismo in preparazione ad un compito, mentre l'attivazione corrisponde alla capacità di mobilitazione dell'arousal quando un soggetto è coinvolto in un compito. In pratica, secondo questi autori, il livello di attivazione si misura come differenza tra il livello di SCL che il soggetto presenta prima del compito e il livello di SCL che egli raggiunge durante il compito, mentre l'arousal sarebbe la differenza tra la SCL a riposo e la SCL immediatamente prima del compito.

La psicofisiologia utilizza in genere un approccio multidimensionale e multimodale, integrando misure fisiologiche con dati comportamentali e psicologici: misure come la conduttanza cutanea o quelle derivanti da elettroencefalografia, elettromiografia ed elettrocardiografia vengono collegate a caratteristiche quali attenzione e stati emozionali. La modulazione di parametri fisiologici può rappresentare un elemento di controllo e d'incremento della prestazione.

Ad esempio, accelerazione e decelerazione della **frequenza cardiaca** sono state studiate in relazione ai processi cognitivi implicati nell'esecuzione motoria. I processi fisiologici sottostanti queste componenti cognitive sono fattori importanti da indagare per il miglioramento e l'ottimizzazione della prestazione (Abernethy, 2001; Abernethy, Maxwell, Masters, Van der Kamp e Jackson, 2007), in particolare per quanto riguarda la elaborazione delle informazioni inerenti un compito, il controllo dell'azione motoria e l'apprendimento e perfezionamento di abilità, nelle quali il focus attentivo interno o esterno può essere determinante per il successo (Wulf, 2007). Attraverso studi ormai classici, Lacey e Lacey (1980) hanno sviluppato la loro teoria definita "stimulus intake/rejection": lo stimulus intake, che corrisponde ad uno stato di attenzione focalizzata all'esterno, sarebbe associato ad una diminuzione della frequenza cardiaca, al contrario, uno stato di focalizzazione dell'attenzione su stimoli interni sarebbe accompagnato da un aumento della frequenza cardiaca. Obrist (1981) ha fornito, invece, una differente spiegazione della relazione tra preparazione motoria e diminuzione della frequenza cardiaca; per Obrist, infatti, la variazione della frequenza cardiaca non è direttamente collegata all'attenzione, ma potrebbe essere un effetto indiretto della riduzione dell'attività motoria. Secondo questa ipotesi, nel caso di uno stato di attenzione focalizzata, la decelerazione della frequenza cardiaca indicherebbe l'assenza generale di attività motoria.

Variazioni fisiologiche accompagnano spesso modulazioni dell'attenzione. Così, un decremento nella frequenza cardiaca sembra essere indice di cambiamenti nello stato di attenzione, come ha evidenziato uno studio di Tremayne e Barry (2001) nel quale sono state confrontate

frequenza cardiaca e conduttanza cutanea in tiratori di pistola di élite e in tiratori inesperti. Il compito prevedeva tre situazioni differenti ognuna della durata di 150 secondi: nella prima l'atleta doveva sparare ad un bersaglio posto a 25 m di distanza, nella seconda rimaneva semplicemente fermo in posizione di tiro, nella terza doveva di nuovo sparare al bersaglio. Per ogni colpo, i valori di frequenza cardiaca e conduttanza sono stati registrati ogni mezzo secondo a partire da 20 secondi prima fino a 10 secondi dopo il tiro. Nei tiratori esperti è stata notata una progressiva riduzione nella conduttanza cutanea e nella frequenza cardiaca nei momenti precedenti il tiro, con i valori che poi risalivano subito dopo il tiro. Tale fenomeno non è stato invece riscontrato nei tiratori inesperti. La decelerazione della frequenza cardiaca è stata osservata anche in compiti in cui è importante la capacità di reazione (*Reaction Time task*): secondo il modello proposto da Jennings (1986), una decelerazione della frequenza cardiaca indicherebbe la capacità di eseguire operazioni mentali su stimoli attesi ("ipotesi di capacità"). Invece, un'accelerazione della frequenza cardiaca sarebbe considerata un indice della capacità di elaborazione, ed è stata riscontrata durante l'impegno in attività mentali (Lacey, Kagan, Lacey e Moss, 1963). Nello studio di De Pascalis, Barry e Sparita (1995), 60 soggetti hanno partecipato ad un compito di riconoscimento di figure geometriche che richiedeva la pressione di tasti diversi, con la mano destra o sinistra, a seconda delle immagini; ad ogni azione seguiva un feedback su tempi di reazione e accuratezza nell'esecuzione. Durante la prova venivano monitorati i cambiamenti nella frequenza cardiaca in due condizioni differenti, di stress e non-stress. In entrambe le situazioni sono stati osservati due momenti di decelerazione della frequenza, uno precedente lo stimolo visivo, l'altro precedente il feedback; la decelerazione precedente il feedback è risultata più accentuata di quella rilevata prima dello stimolo. Questo è stato spiegato con il fatto che il feedback era semplicemente un'informazione visiva che non richiedeva al soggetto l'inibizione di una specifica risposta motoria (uso della mano destra o sinistra) come avveniva nel compito, e pertanto la risposta di decelerazione della frequenza cardiaca è stata considerata espressione solo di processi di elaborazione.

Radlo, Steinberg, Singer, Barba e Melnikov (2002) hanno preso in considerazione anche la direzione dell'attenzione, chiedendo ad atleti inesperti di lanciare freccette ad un bersaglio in due diverse condizioni attentive: mentre portavano l'attenzione all'esterno, verso il bersaglio stesso, oppure verso l'interno, sui propri movimenti. Un focus attentivo esterno è risultato associato ad una pronunciata decelerazione della frequenza cardiaca, immediatamente prima del tiro, mentre la focalizzazione interna è risultata collegata ad una accelerazione. Dal punto di vista della prestazione, il risultato migliore si è avuto con l'utilizzo di focus esterno, associato a decelerazione della frequenza cardiaca.

Altri autori hanno considerato invece, oltre ad aumento e diminuzione della **frequenza cardiaca**, anche la sua **variabilità**, valutando le singole componenti dello spettro di frequenza in relazione ai processi cognitivi. Già Mulder (1992) aveva proposto la riduzione della variabilità della frequenza cardiaca in banda LF come indice di sforzo mentale impiegato nell'esecuzione di un compito. Cooke, Kavussanu, McIntyre e Ring (2010), però, hanno osservato che la variabilità cardiaca in banda LF aumentava piuttosto che diminuire in condizioni di maggior pressione durante il putt nel golf. Gli autori hanno attribuito questo risultato ad un probabile incremento del volume respiratorio sotto pressione. In tal caso, un aumento della variabilità cardiaca in banda HF viene spiegato con la sua sensibilità alle variazioni nella respirazione. Tuttavia, gli studiosi non hanno osservato nessun cambiamento della variabilità in banda HF nonostante l'aumentata pressione e una percezione di maggiore sforzo durante il compito. Sembra infatti che l'impatto sulle misure cardiovascolari delle richieste fisiche e posturali del colpo, sebbene minime, sia superiore rispetto a quello dell'attività mentale (Veldhuizen van Zanten, Thrall, Wasche, Carrol e Ring, 2005). Questi risultati evidenziano perciò alcuni problemi nell'utilizzo della variabilità della frequenza cardiaca come indice di sforzo mentale durante l'esecuzione di compiti in cui vi sia un eccessivo carico fisico.

Neumann e Thomas (2009), hanno esaminato invece attività cardiaca e respiratoria in golfisti di élite, esperti e principianti, che dovevano effettuare un putt a 2,4 m dalla buca. Riguardo alla frequenza cardiaca, i golfisti esperti e quelli di élite, rispetto agli inesperti, hanno mostrato, oltre ad una minore frequenza cardiaca in generale, una pronunciata decelerazione della frequenza cardiaca immediatamente prima del colpo, spiegata come conseguenza di una focalizzazione attentiva esterna più efficace. Inoltre, gli esperti e gli atleti di élite hanno mostrato una maggiore variabilità cardiaca in banda VLF. Per quanto riguarda l'attività respiratoria si è visto che i golfisti esperti e quelli di élite avevano una maggiore tendenza ad utilizzare l'espirazione immediatamente prima del putt. I risultati suggeriscono un livello generale più basso di richieste di attenzione nei golfisti esperti e di élite rispetto ai principianti. Probabilmente i golfisti inesperti investono un maggiore sforzo attentivo durante il colpo, dovuto anche al fatto di dover eseguire un compito per loro nuovo. Un maggior livello di abilità motoria sarebbe quindi associato ad un aumento della variabilità della frequenza cardiaca nelle bande a bassa frequenza. Questo sarebbe anche coerente con l'idea che il conseguimento di un certo livello di abilità nello sport è associato ad aumento dell'automatismo esecutivo e a riduzione delle richieste di attenzione (Abernethy et al., 2007; Wulf, 2007).

Mullen, Hardy e Tattersall (2005) danno invece una spiegazione diversa al significato della variabilità cardiaca. Anch'essi hanno realizzato uno studio su golfisti dilettanti, proponendo un compito che prevedeva un putt eseguito in condizioni di compito singolo o con un contemporaneo compito distraente. Hanno riscontrato che la componente HF della variabilità era più alta durante la condizione di colpo con stimolo distraente, ed hanno attribuito tale risultato al fatto che i partecipanti, nella situazione più complessa, con maggiore richiesta di attenzione, potessero aver adottato qualche strategia di rilassamento basata sulla respirazione, con un'influenza della respirazione sulla componente ad alta frequenza della variabilità cardiaca.

Per quanto riguarda invece gli studi che valutano il rapporto tra arousal/attivazione e prestazione attraverso il monitoraggio dell'**attività elettrodermica**, Tremayne e Barry (2001), nello studio che è stato descritto precedentemente in riferimento ai valori di frequenza cardiaca come indice di controllo dei livelli di attenzione, riportano anche come la conduttanza cutanea sia un indice affidabile negli sport di precisione per monitorare il livello di arousal/attivazione. I dati dell'attività elettrodermica, registrati per delineare lo stato di arousal/attivazione dell'individuo momento per momento, hanno evidenziato un decremento dei valori elettrodermici degli atleti esperti prima del tiro, che potrebbe riflettere uno stato di calma del corpo negli ultimi secondi prima del colpo, seguito immediatamente da un ritorno ai valori iniziali. Questi dati aiutano a delucidare i complessi processi percettivo/cognitivi coinvolti nella prestazione di livello dei tiratori d'élite di pistola ed indicano l'utilità di una prospettiva psicofisiologica nella psicologia dello sport. Come abbiamo anticipato sopra, recentemente Vaez Mousavi e colleghi (Vaez-Mousavi et al., 2008; 2011) hanno cercato di differenziare il livello di arousal da quello di attivazione nei tiratori. L'arousal è la differenza tra la conduttanza cutanea basale e quella immediatamente precedente il compito, l'attivazione invece è la differenza tra quest'ultima e quella rilevata durante il compito; soltanto l'attivazione e non l'arousal sarebbe, per questi autori, utile per predire la prestazione. Peper e Schmid (1983), invece, hanno utilizzato l'attività elettrodermica per valutare il grado di rilassamento o di stress durante l'allenamento in collegamento con tecniche di imagery, ed hanno notato che i ginnasti con un'attività elettrodermica più elevata hanno poi prestazioni più scadenti in competizione.

L'utilizzo di sistemi integrati di monitoraggio permette di incrociare i dati fisiologici di frequenza cardiaca correlati all'attenzione e alla vigilanza con i dati di SCL correlati all'arousal/attivazione per poter meglio interpretare il funzionamento dell'atleta. Se si utilizza il modello probabilistico riferito alla zona individuale di funzionamento ottimale e si confrontano i pattern fisiologici associati alle zone ottimali e a quelle sotto-ottimali, si evidenzia un

funzionamento estremamente individuale negli atleti di alto livello, con pattern fisiologici coerenti con la letteratura per quanto riguarda l'arousal/attivazione, ma non per la frequenza cardiaca (Bertollo et al., 2012). Monitorare le caratteristiche psicofisiologiche e comportamentali collegate alla performance è importante quindi per sviluppare o migliorare tutte quelle tecniche che hanno lo scopo di supportare gli atleti nell'identificazione delle loro zone individuali di funzionamento ottimale, nella gestione delle proprie emozioni e nel miglioramento della loro performance (Bertollo, Bortoli, Gramaccioni, Hanin, Comani e Robazza, in press).

L'**elettromiografia** è stata utilizzata per valutare, ad esempio, la diversa attività muscolare correlata a compiti motori con focalizzazione attentiva interna ed esterna. A tal proposito, nello studio di Zachry, Wulf, Mercer e Bezodis (2005) i partecipanti eseguivano tre tiri liberi a canestro, sia in condizioni di focus interno (focalizzazione sul movimento del polso), che di focus esterno (focalizzazione sul canestro); durante il compito, veniva registrata l'attività elettromiografica dei muscoli dell'intero braccio di tiro. I risultati hanno dimostrato che l'accuratezza del tiro libero era maggiore quando i partecipanti adottavano un focus attentivo esterno rispetto ad uno interno. Inoltre, l'attività elettromiografica di alcuni gruppi muscolari è risultata più lenta con un focus attentivo esterno rispetto ad uno interno. Ciò suggerisce che un focus esterno potrebbe incrementare l'economia del movimento e ridurre gli elementi di disturbo nel sistema motorio che ostacolano il controllo del movimento fine e rendono il risultato meno preciso.

## **LE LINEE DI RICERCA PIÙ RECENTI: LO STUDIO DELL'ATTIVITÀ CORTICALE NELLO SPORT**

Negli ultimi anni, sta diffondendosi in modo particolare la ricerca sull'attività corticale, grazie anche ai rilevanti progressi nelle tecnologie specifiche. Le due tecniche maggiormente utilizzate sono la risonanza magnetica funzionale e l'elettroencefalografia. Con la **risonanza magnetica funzionale**, sono state studiate, ad esempio, le differenze nell'attività cerebrale tra l'osservazione di un'azione già appresa e di una nuova, allo scopo di valutare se i processi cerebrali durante l'osservazione di una azione siano modulati dall'esperienza e dal repertorio motorio personale (Calvo-Merino, Glaser, Grezes, Passingham e Haggard, 2005). A tal proposito, danzatori esperti in due diverse tipologie di danza (danza classica o capoeira) e soggetti di controllo sono stati sottoposti a risonanza magnetica funzionale durante la quale venivano fatti vedere loro filmati di entrambe le tipologie di danza. È stata quindi comparata l'attività cerebrale dei danzatori mentre guardavano dapprima il loro stile personale e poi l'altro stile. I danzatori mostravano una maggiore

attivazione della corteccia premotoria, aree parietali e solco temporale superiore, in modo predominante nell'emisfero sinistro, mentre guardavano il loro stile personale di danza. Per i soggetti di controllo, invece, non furono trovate differenze specifiche di attivazione nelle aree cerebrali. Quindi, mentre tutti e tre i gruppi erano sottoposti agli stessi stimoli visivi, le aree cerebrali rispondevano a seconda dell'esperienza motoria specifica dell'osservatore. La ricerca rivelerebbe dunque l'influenza dell'esperienza motoria sull'attività corticale durante l'osservazione di un'azione. Altre ricerche hanno messo in evidenza, invece, le estese capacità della risonanza magnetica funzionale nell'identificare le sottili differenze nei pattern di attivazione neurale associati con un particolare stato psicofisico che caratterizza le prestazioni migliori, quando gli atleti si trovano cioè nella loro "zona di funzionamento ottimale" (Ferrell, Beach, Szeverenyi, Krch e Fernhall, 2006).

Le apparecchiature necessarie per la risonanza magnetica, però, non consentono ancora di essere utilizzate in situazioni simili a quelle reali dello sport. Pertanto, per il monitoraggio dell'attività cerebrale nel mondo sportivo, l'**elettroencefalografia** è la tecnica maggiormente impiegata, perché utilizzabile anche al di fuori dello stretto ambito di laboratorio. Infatti, attualmente alcune attrezzature consentono rilevazioni anche in qualche situazione sportiva reale. In particolare, gli sport di precisione presentano condizioni ideali per le registrazioni elettroencefalografiche: infatti, gli atleti sono fermi e prima dell'esecuzione del gesto tecnico, che richiede la massima precisione, è necessaria una forte componente di attenzione. Questo ha fornito ai ricercatori sufficienti possibilità di descrivere pattern ottimali di attività corticale durante la mira in vari sport: tiro con l'arco (Landers et al., 1991; Salazar, Landers, Petruzzello, Han, Krews e Kubitz, 1990), golf (Babiloni et al., 2008; Crews e Landers, 1993; tiro a segno (Hatfield e Kerick, 2007; Del Percio et al., 2009, 2011; Doppelmayr, Finkenzeller e Sauseng, 2008; Kontinen e Lyytinen, 1993). L'elettroencefalografia negli sport di tiro è stata in grado di individuare predittori di prestazione ottimale, riscontrando differenze elettroencefalografiche nelle condizioni pre-tiro sia tra prestazione di esperti e non esperti, sia tra esecuzioni ottimali e non ottimali dello stesso atleta. Con l'ausilio dell'elettroencefalografia è stato possibile studiare alcune caratteristiche delle onde cerebrali e delle loro frequenze, collegandole a specifiche situazioni. In tabella 1 sono sintetizzate le associazioni tra le diverse bande di frequenza delle onde cerebrali e gli aspetti corrispondenti.

Hatfield, Landers e Ray (1984), per esempio, hanno notato che vi era una asimmetria corticale in area temporale nella banda di frequenza alpha in tiratori di carabina evidenziata durante un intervallo di 7,5 secondi prima del tiro, mentre i soggetti erano in procinto di sparare in stazione eretta. Le registrazioni sono state fatte dai siti temporali sinistro e destro T3 e T4, e occipitali

sinistro e destro O1 e O2 usando Cz per il posizionamento dell'elettrodo di riferimento. La potenza alpha mostrava un marcato incremento durante l'intervallo di 7,5 secondi, nel sito temporale T3 dell'emisfero sinistro, mentre aumentava solo di poco in corrispondenza del sito destro T4. Assumendo che l'attività alpha è inversamente proporzionale all'attivazione corticale, un alto rapporto T4/T3 riflette un'attivazione corticale più grande nell'emisfero sinistro, mentre un rapporto più basso riflette un'attivazione corticale più grande nell'emisfero destro. Questi autori hanno interpretato l'aumento osservato nell'attività alpha dell'emisfero sinistro come decremento dell'attivazione di tale emisfero. Gli stessi autori hanno notato che il sito T3 si trova in coincidenza di aree collegate al linguaggio ed hanno ipotizzato che l'incremento dell'attività alpha potesse indicare una riduzione dell'attività simbolica e verbale ed anche del dialogo dell'atleta con se stesso, ed un incremento del focus attentivo sugli aspetti visuo-motori dello sparo. Questa interpretazione sembra compatibile con la descrizione degli stati ottimali di prestazione presentati da Williams e Krane (1993) e con la concezione del dialogo interno dell'atleta come elemento potenzialmente "disturbante" la prestazione (Bunker, Williams e Zinser, 1993).

Konttinen e Lyytinen (1992, 1993), hanno studiato invece gli "slow cortical potential" in tiratori esperti e non, per poi paragonare l'attività cerebrale durante il compito in termini specifici di componenti motorie e visive. Concentrarsi sugli aspetti motori del compito, senza avere un obiettivo visivo, riduceva in gran parte la negatività degli slow cortical potential che sembrava esser dovuta alla componente visiva del compito e al mantenimento del focus al di fuori della componente motoria. Salazar et al. (1990) hanno eseguito un simile studio sugli arcieri in quattro differenti condizioni: 1) normale situazione di tiro, 2) con gli arcieri che sostenevano un arco pesante senza tirare; 3) stessa condizione precedente ma con peso dell'arco ridotto; 4) con arcieri in posizione rilassata mentre fissavano l'obiettivo. È stata osservata in tutte le situazioni un'asimmetria emisferica (con potenza elettroencefalografica maggiore nell'emisfero sinistro specialmente nel range di frequenza tra 10 e 14 Hz), maggiormente pronunciata nella condizione di tiro reale. Ciò può suggerire che tale condizione sia accompagnata da una riduzione maggiore rispetto alla condizione normale nell'attivazione corticale dell'emisfero sinistro, dovuta probabilmente allo sforzo nel mantenere l'arco o alle abilità motorie e richieste posturali degli arcieri. In seguito, Landers, Han, Salazar, Petruzzello, Kubitz e Gannon (1994) hanno confrontato rilevazioni elettroencefalografiche in T3 e T4 (aree temporali) di arcieri inesperti prima e dopo un percorso di allenamento della durata di 14 settimane. È stato notato che l'asimmetria all'elettroencefalografia cambiava come risultato dell'allenamento. Dopo l'allenamento, infatti, l'asimmetria subiva un incremento sostanziale durante il tiro, soprattutto nell'emisfero sinistro.

Nella prestazione sportiva, un approccio diretto per valutare le differenze nel livello di abilità e negli stati mentali ad esse associati, come si evince anche da quanto detto finora, è quello poi di verificare le differenze fra esperti ed inesperti in un compito specifico. In generale, negli inesperti sono attivati per lo più processi percettivi di identificazione dello stimolo per individuare informazioni interne ed esterne rilevanti, mentre gli esperti sono già in grado di “filtrare” le informazioni e focalizzarsi sui processi di decisione e strategia (Wrisberg, 2001). Nello studio di Baumeister, Reinecke, Liesen e Weiss (2008), che hanno utilizzato il paradigma di ricerca “esperti/inesperti” nel golf, i risultati hanno mostrato una significativa migliore esecuzione nei golfisti esperti. Questa situazione era associata ad una potenza dell’onda theta fronto-mediale più alta e a valori di potenza di alfa alto parietale maggiori, rispetto all’attività corticale associata al colpo negli inesperti. Inoltre, i risultati suggeriscono che, incrementando il livello di abilità, i golfisti potrebbero aver sviluppato strategie di risoluzione del compito, che comprendono attenzione focalizzata ed economia nell’elaborazione dell’informazione, che porterebbe ad una prestazione di maggiore successo. Del Percio et al. (2009) hanno riscontrato che atleti d’élite di tiro con la pistola sono caratterizzati, durante la preparazione al tiro, da un incremento nella potenza delle onde alpha<sup>2</sup> (circa 10-12 Hz) e beta (circa 14-35 Hz), probabilmente collegato ai processi di attenzione ed efficienza neurale. In uno studio successivo i risultati suggeriscono, inoltre, che gli atleti d’élite si contraddistinguono per una stabilizzazione dell’accoppiamento funzionale delle onde preparatorie tra l’area visuo-spaziale e altre aree corticali posteriori (Del Percio et al., 2011). Doppelmayr et al. (2008), invece, hanno notato un costante incremento di potenza durante gli ultimi 3 secondi prima del tiro con carabina solo in soggetti esperti e non in soggetti inesperti. I risultati indicano, infatti, un’attività theta significativamente più elevata per gli esperti, strettamente localizzata nell’area cingolata anteriore e nella corteccia fronto-mediale. Gli esperti e gli inesperti, difatti, utilizzano differenti strategie durante il periodo di mira: mentre gli atleti inesperti mantengono un carico d’attenzione verso l’obiettivo relativamente costante, gli esperti sono in grado di aumentare l’attenzione esattamente nel momento in cui viene premuto il grilletto. Tali risultati sarebbero coerenti anche con il concetto che ad una più elevata performance corrisponde una maggiore crescita “psicofisiologica” (Harung, Travis, Pensgaard, Bored, Cook-Greuter e Daley, 2011).

Le metodologie elettroencefalografiche applicate al mondo sportivo erano state utilizzate, in realtà, anche negli anni '50, con delle ricerche di tipo clinico riguardanti la boxe e le sue conseguenze sulla salute (Busse e Silverman, 1952; Ravina, 1952). I ricercatori, in questo campo, si erano concentrati su due temi differenti: avevano innanzitutto studiato le differenze elettro-corticali pre-post combattimento, ed in seconda analisi, le differenze a lungo termine tra adulti in salute e

pugili professionisti sottoposti a ripetuti traumi alla testa. Analogamente, erano stati anche studiati gli effetti a lungo termine dei ripetuti traumi alla testa nei calciatori, causati dal contatto tra testa e pallone. Questi studi hanno dimostrato l'utilità dell'elettroencefalografia per la valutazione dei danni cerebrali negli sport come il calcio o la boxe.

Attualmente l'**elettroencefalografia**, sebbene carente in termini di risoluzione spaziale rispetto a metodi più complessi e costosi come la risonanza magnetica funzionale, offre una eccellente risoluzione temporale e, grazie anche alle sue componenti hardware wireless, quasi impossibili con altre tecniche di neuroimmagine, consente acquisizioni in situazioni molteplici, anche più vicine a quelle reali legate alla prestazione sportiva.

## **CONCLUSIONI**

Il monitoraggio psicofisiologico rappresenta una fonte ricchissima di informazioni che riguardano l'atleta: frequenza cardiaca, variabilità della frequenza cardiaca, onde cerebrali, attività muscolare e del sistema nervoso autonomo sono tutti dati di fondamentale importanza, in quanto hanno consentito e ci consentono di comprendere la prestazione in tutta la sua complessità. Le tecniche fisico-mediche qui descritte per il monitoraggio rappresentano metodologie utilissime alla comprensione dei processi sottostanti la prestazione sportiva, in particolare dei processi corticali.

Fine ultimo del monitoraggio psicofisiologico è poi quello di utilizzare alcuni dei segnali acquisiti tramite queste tecniche come valide informazioni di ritorno per aiutare gli atleti, ma in generale le persone, non solo a conoscere meglio le proprie funzioni corporee, ma anche a sviluppare capacità di autoregolazione di tali funzioni. Sono infatti ormai una realtà dei sistemi di biofeedback e neurofeedback che consentono, attraverso programmi informatici, di visualizzare informazioni su cui il soggetto può agire in tempo reale. È inoltre possibile rilevare in modo integrato più tipologie di segnali, favorendo una sempre maggiore comprensione dei complessi fattori legati alla prestazione e dei sistemi di autoregolazione. Tali conoscenze rendono fattibile una programmazione dell'allenamento che consideri anche aspetti di pratica mentale, valorizzandone il ruolo anche grazie alle possibilità di verificarne l'efficacia.

## **BIBLIOGRAFIA**

Abernethy, B. (2001). Attention. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas, & C. M. Janelle (Eds.), *Handbook of sport psychology* (pp. 53-85). New York, NY: Wiley.

- Abernethy, B., Maxwell, J. P., Masters, R. S. W., Van der Kamp, J., & Jackson, R. C. (2007). Attentional processes in skill learning and expert performance. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Eds.), *Handbook of sport psychology* (pp. 245-263). New Jersey, NJ: Wiley & Sons.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Iacoboni, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N., Crespi, G., Dassù, F., Pirritano, M., Gallamini, M., & Eusebi, F. (2008). Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *Journal of Physiology*, *586*, 131-139.
- Barry, R. J., Clarke, A. R., McCarty, R., Sclikowitz, M., Rushby, J. A., & Ploskova, E. (2004). EEG differences in children as a function of resting-state arousal level. *Clinical Neurophysiology*, *115*, 402-408.
- Barry, R. J., Clarke, A. R., McCarty, R., Sclikowitz, M., & Rushby, J. A. (2005). Arousal and activation in a continuous performance task: an exploration of state effects in normal children. *Journal of Psychophysiology*, *19*, 91-99.
- Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H., & Weiss, M. (2008). Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. *European Journal of Applied Physiology*, *104*, 625-631.
- Berntson, G. G., Quigley, K. S., & Lozano, D. (2007). Cardiovascular psychophysiology. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (3<sup>rd</sup> ed.) (pp. 182-210). New York: Cambridge university press.
- Bertollo, M., Bortoli, L., Gramaccioni, G., Hanin, Y., Comani, S., Robazza, C. (In press). Behavioural and psychophysiological correlates of athletic performance: a test of the Multi Action Plan model. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*.
- Bertollo, M., Robazza, C., Falasca, W. N., Stocchi, M., Babiloni, C., Del Percio, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Vecchio, F., Limatola, C., & Comani, S. (2012). Temporal pattern of pre-shooting psychophysiological states in elite athletes: a probabilistic approach. *Psychology of Sport and Exercise*, *13*, 91-98.
- Bunker, L., Williams, J. M., & Zinnser, N. (1993). Cognitive techniques for improving performance and building confidence. In J. M. Williams (Ed.), *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance* (pp. 226-242). Mountain View, CA: Mayfield publishing Co.
- Busse, E. W., & Silverman, A. J., (1952). Electroencephalographic changes in professional boxers. *Journal of American Medical Association*, *149*, 1522-1525.
- Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. G. (2007). Psychophysiological science: interdisciplinary approaches to classic questions about the mind. In J. T. Cacioppo, L. G.

- Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 13-16). New York: Cambridge university press.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grezes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, *15*, 1243-1249.
- Cooke, A., Kavussanu, M., McIntyre, D., & Ring, C. (2010). Psychological, muscular and kinematic factors mediate performance under pressure. *Psychophysiology*, *47*, 1109-1118.
- Crews, D. J., & Landers, D. M. (1993). Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *25*, 116-126.
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Filion, D. L. (2007). The electrodermal system. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 159-181). New York, NY: Cambridge university press.
- De Pascalis, V., Barry, R. J., & Sparita, A. (1995). Decelerative changes in heart rate during recognition of visual stimuli: effects of psychological stress. *International Journal of Psychophysiology*, *20*, 21-31.
- Del Percio, C., Babiloni, C., Bertollo, M., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Lizio, R., Stocchi, M., Robazza, C., Cibelli, G., Comani, S., & Eusebi, F. (2009). Visuo-attentional and sensorimotor alpha rhythms are related to visuo-motor performance in athletes. *Human Brain Mapping*, *30*, 3527-354.
- Del Percio, C., Iacoboni, M., Lizio, R., Marzano, N., Infarinato, F., Vecchio, F., Bertollo, M., Robazza, C., Comani, S., Limatola, C., & Babiloni, C. (2011). Functional coupling of parietal alpha rhythms is enhanced in athletes before visuomotor performance: a coherence electroencephalographic study. *Neuroscience*, *175*, 198-211
- Doppelmayr, M., Finkenzeller, T., & Sauseng, P. (2008). Frontal midline theta in the pre-shot phase of rifle shooting: differences between experts and novices. *Neuropsychologia*, *46*, 1463-1467.
- Ferrell, M. D., Beach, R. L., Szeverenyi, N. M., Krch, M., & Fernhall, B. (2006). An fMRI analysis of neural activity during perceived zone-state performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *28*, 421-433.
- Fisch, B. J. (1991). *Spehlmann's EEG primer* (2<sup>nd</sup>ed). New York, NY: Elsevier science publisher.
- Gould, D., & Krane, V. (1992). The arousal-athletic performance relationship: Current status and future directions. In T.S. Horn (Ed.), *Advances in sport psychology* (pp. 119-142). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Grossman, P. (1992). Respiratory and cardiac rhythms as windows to central and autonomic biobehavioral regulation: selection of window frames, keeping the panes clean and viewing the neural topography. *Biological Psychology*, *34*, 131-161.
- Harung, H. S., Travis, F., Pensgaard, A. M., Bored, R., Cook-Greuter, S., & Daley, K. (2011). Higher psychophysiological refinement in world-class Norwegian athletes: brain measures of performance capacity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *21*, 32-41.
- Hatfield, B. D., & Kerick, S. E. (2007). The psychology of superior sport performance: a cognitive and affective neuroscience perspective. In G. Tenenbaum & R. Eklund (Eds), *Handbook of sport psychology* (3<sup>rd</sup>ed) (pp. 84-112). Chichester, UK: Wiley.
- Hatfield, B. D., & Landers, D. M. (1987). Psychophysiology in exercise and sport research. An overview. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *15*, 351-388.
- Hatfield, B. D., Landers, D. M., & Ray, W.J. (1984). Cognitive processes during self-paced motor performance: an electroencephalographic profile of skilled marksmen. *Journal of Sport Psychology*, *6*, 42-59.
- Jasper, H. (1958). The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, *10*, 371-375.
- Jennings, J. R. (1986). Bodily changes during attending. In M. G. H. Coles, E. Donchin, & S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: systems, processes and applications* (pp. 268-289). New York, NY: Guilford.
- Konrad, P. (2005). The ABC of EMG. A practical introduction to kinesiological electromyography (1<sup>st</sup> ed). Scottsdale, AZ: Noraxon INC. USA.
- Konttinen, N., & Lyytinen, H. (1992). Physiology of preparation: brain slow waves, heart rate and respiration preceding triggering in rifle shooting. *International Journal of Sport Psychology*, *23*, 110-127.
- Konttinen, N., & Lyytinen, H. (1993). Individual variability in brain slow wave profiles in skilled sharpshooters during the aiming period in rifle shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *15*, 275-289.
- Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1980). Cognitive modulation of time-dependent primary bradycardia. *Psychophysiology*, *17*, 209-221.
- Lacey, J. I., Kagan, J., Lacey, B. C., & Moss, H. A. (1963). The visceral level. Situational determinants and behavioral correlates of autonomic patterns. In P. H. Knapp (Ed.), *Expression of emotions in man* (pp. 161-196). New York, NY: International universities press.

- Lagos, L., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lehrer, L., Bates M., & Pandina, R. (2008). Heart rate variability biofeedback as a strategy for dealing with competitive anxiety: a case study. *Biofeedback*, *36*, 109-115.
- Landers, D. M., Han, M. W., Salazar, W., Petruzzello, S. J., Kubitz, K. A., & Gannon, T. L. (1994). Effect of learning on electroencephalographic and electrocardiographic patterns in novice archers. *International Journal of Sport Psychology*, *25*, 313-320.
- Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Salazar, W., Crews, D. J., Kubitz, K. A., Gannon, T. L., & Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-élite archers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *23*, 123-129.
- Lazzano, I., Gordon, E., Li, W., Linn, C. L., Plahn, M., Withmont, S., Clarke, S., Barry, R. J., Dosen, A., Mcarees, R. (1999). Simultaneous EEG and EDA measures in adolescent attention deficit hyperactivity disorder. *International Journal of Psychophysiology*, *34*, 123-134.
- Mulder, L. J. M. (1992). Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments. *Biological Psychology*, *34*, 205-236.
- Mullen, R., Hardy, L., & Tattersall, A. (2005). The effects of anxiety on motor performance: a test of the conscious processing hypothesis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *27*, 212-225.
- Munro, L. L., Dawson, M. E., Schell, A. M., & Sakai, L. M. (1987). Electrodermal liability and rapid performance decrement in a degraded stimulus continuous performance task. *Journal of Psychophysiology*, *1*, 249-257.
- Neumann, D. L., & Thomas, P. R. (2009). The relationship between skill level and patterns in cardiac and respiratory activity during golf putting. *International Journal of Psychophysiology*, *72*, 276-282.
- Obrist, P. A. (1981). *Cardiovascular psychology: a perspective*. New York, NY: Plenum press
- Peper, E., & Schmid, A. (1983). The use of electrodermal biofeedback for peak-performance training. *Somatics*, *4*, 16-18.
- Pivik, R. T., Broughton, R. J., Coppola, R., Davidson, R. J., Fox, N., & Nuwer, M. R. (1993). Guidelines for the recording and the quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. *Psychophysiology*, *30*, 547-558.
- Radlo, S. J., Steinberg, G. M., Singer, R. N., Barba, D. A., & Melnikov, A. (2002). The influence of an attentional focus strategy on alpha brain wave activity, HR, and dart-throwing performance. *International Journal of Sport-Psychology*, *33*, 205-217.

- Ravina, A. (1952). Electroencephalographic changes in professional boxers. *La Presse Medicale*, 60, 1575.
- Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., Crews, D. J., & Kubitz, K. A. (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response and performance in elite archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61, 351-359.
- Thompson, T., Steffert, T., Ros, T., Leach, J., & Gruzelier, J. (2008). EEG application for sport and performance. *Methods*, 45, 279-288.
- Tremayne, P., & Barry, R. J. (2001). Elite pistol shooters. Physiological patterning of best versus worst shots. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 19-29.
- VaezMousavi, S. M., Barry, R. J., Rushby J. A., & Clarke, A. R. (2007). Evidence for differentiation arousal and activation in normal adults. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 67, 179-186.
- Vaez-Mousavi, S. M., Hashemi-Masoumi, E., & Jalali, S. (2008). Arousal and activation in a sport shooting task. *World Applied Science Journal*, 4, 824-829.
- VaezMousavi, S. M. K., Naji, M., & Hassanzadeh, N. (2011). Arousal and activation in a pistol shooting task. *Iranian Journal of Military Medicine*, 12, 185-190.
- Veldhuijzen van Zanten, J. J. C. S., Thrall, D., Wasche, D., Carroll, D., & Ring, C. (2005). The influence of hydration status on mental and postural stress-induced hemoconcentration. *Psychophysiology*, 42, 98-107.
- Williams, J. M., & Krane, V. (1993). Psychological characteristics of peak performance. In J. M. Williams (Ed.), *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance* (pp. 137-147). Mountain View, CA: Mayfield publishing Co.
- Wilson, W. S., & Somers, K. (2011). Psychophysiological assessment and training with athletes. Knowing and managing your mind and body. In B. Strack, M. Linden, & V. S. Wilson (Eds.), *Biofeedback & neurofeedback applications in sport psychology* (pp. 45-88). Wheat Ridge, CO: American Association Psychophysiology & Biofeedback.
- Wilson, W. S., Thompson, M., Thompson, L., Thompson, J., Fallahpour, K. (2011). Introduction to EEG biofeedback neurofeedback. In B. Strack, M. Linden, & V. S. Wilson (Eds.), *Biofeedback & neurofeedback applications in sport psychology* (pp. 175-198). Wheat Ridge, CO: American Association Psychophysiology & Biofeedback.
- Woodworth, R. S., & Schlosberg, H. (1954). *Experimental psychology* (2<sup>nd</sup> ed.). New York, NY: Holt, Rinehart & Winston.

- Wrisberg, C.A. (2001). Levels of performance skill from beginners to experts. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas, & C. A. Janelle (Eds.), *Handbook of sports psychology*. New York, NY: Wiley and Sons.
- Wulf, G., (2007). Attentional focus and motor-learning: a review of 10 years of research. In E. J. Hossner & N. Wenderoth (Eds.), Wulf on attentional focus and motor learning. *E-Journal Bewegung and Training, 1*, 4-14.
- Zachry, T., Wulf, G., Mercer, J., & Bezodis, N. (2005). Increased movement accuracy and reduced EMG activity as the result of adopting an external focus of attention. *Brain Research Bulletin, 67*, 304-309.

Tabella 1. Significato psicologico e mentale delle diverse frequenze di attività corticale (adattata da Wilson, Thompson, Thompson, Thompson e Fallahpour, 2011)

<i>Banda di frequenza</i>	<i>Significati delle frequenze</i>
1-3 Hz Delta	Dominante nel IV stadio del sonno. Nell'analisi delle frequenze va posta attenzione agli artefatti da movimenti oculari e movimenti degli elettrodi che possono avere le stesse frequenze della banda Delta. Tale attività può aumentare nell'EEG da svegli negli individui con danno cerebrale e problemi d'apprendimento.
4-5 Hz Low Theta	Tipica della quiete e del sonno.
6-7 Hz High Theta	Tipica dell'orientamento interno; il soggetto non è focalizzato su compiti esterni di apprendimento, come lettura, ascolto o esecuzione di abilità specifiche nello sport (fissazione bersaglio nel tiro), bensì internamente. Molto attiva ed importante nei processi di recupero dalla memoria.
8-10 Hz Low Alpha	Tipica dell'orientamento interno; aumenta durante alcune tecniche di meditazione.
11-12 Hz High Alpha	Collegata ad uno stato di grande allerta e coscienza; tipica degli atleti di alto livello quando sono nella loro "zona di prestazione ottimale".
13-21 Hz (low Beta)	Frequenze che rappresentano la banda beta; utilizzata nei rapporti di potenza theta/beta per le valutazioni dei disturbi da deficit d'attenzione e iperattività (ADHD).
12-15 Hz Ritmo sensorimotorio (SMR) rilevato lungo la zona sensorimotoria (C3, Cz, C4).	Ritmo collegato ad inibizione motoria; indica uno stato di calma, quando ansia o impulsività diminuiscono.
16-20 Hz (ritmo in banda Beta)	Collegata a problem-solving, sia di tipo motorio che cognitivo. Per la maggior parte delle persone la risoluzione di problemi è associata ad un'attività di 16-18 Hz. Una banda beta maggiore è presente durante l'apprendimento di un compito.
19-22 Hz (ritmo in banda Beta)	Collegata ad "intensità" emozionale (ad esempio, all'ansia).
23-36 Hz High Beta	Collegata all'elaborazione cognitiva. In alcuni individui può corrispondere ad elaborazioni mentali che incidono negativamente su una prestazione (può essere un importante indice di distrazione negli atleti d'élite).
40 Hz ("ritmo a picco") Gamma	"Picco" collegato all'attenzione e al funzionamento cognitivo. Incrementare questa banda di frequenza può aiutare nei deficit di apprendimento. Essa è anche associata all'attività muscolare per cui in ambito sportivo si deve fare attenzione nell'associarla ad aspetti cognitivi, ma un burst di attività si è riscontrato in questa banda in relazione al recupero dell'equilibrio durante registrazione in prove di stabilometria.