



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e
della Socializzazione**

**Corso di laurea in Scienze psicologiche dello
sviluppo, della personalità e delle relazioni
interpersonali**

Elaborato finale

**Esercizio fisico e processi attentivi:
effetti a breve e a lungo termine**

**Physical exercise and attentional processes: short-term
and long-term effects**

Relatrice/Relatore
Prof.ssa/Prof. Irene Leo

***Laureanda/o: Margherita
Cazzato***
Matricola: 1165605

Anno Accademico 2021/2022

Indice

<i>Introduzione</i>	p. 3
1. L'attenzione	p. 4
1.1 Strumenti di misura	p. 6
2. L'esercizio fisico	p. 9
2.1 Tipologie principali	p. 10
3. Gli effetti dell'esercizio fisico sull'attenzione	p. 12
3.1 Effetti a breve termine	p. 12
3.2 Effetti a lungo termine	p. 20
4. Meccanismi sottostanti	p. 24
<i>Conclusioni</i>	p. 28
<i>Riferimenti bibliografici</i>	p. 31

Introduzione

I benefici dell'esercizio fisico non riguardano solamente la salute fisica degli individui (Warburton, Nicol, e Bredin, 2006), ma anche il funzionamento cognitivo, come evidenziato da diverse metanalisi (Chang, Etnier, Gapin, e Labban, 2012; Colcombe e Kramer, 2003; Lambourne e Tomporowski, 2010). Tra le varie funzioni cognitive, l'attenzione gioca un ruolo centrale in quasi tutte le attività che svolgiamo ogni giorno (Turatto, 2004). Per mezzo dell'attenzione, possiamo operare una selezione tra gli innumerevoli stimoli che riceviamo dall'ambiente e dal nostro corpo (Stablum, 2002), e in questo modo focalizzare le nostre risorse cognitive su quelli rilevanti al fine di un adattamento efficace alle nostre esigenze e a quelle ambientali (Fabio e Marcantoni, 2008).

L'intento di questa rassegna è quello di esplorare lo stato dell'arte della letteratura sulla relazione tra esercizio fisico e attenzione. A questo scopo, saranno innanzitutto presentate le funzioni dell'attenzione e i parametri principali che definiscono l'esercizio fisico. Verranno poi presi in esame sia studi sugli effetti dell'esercizio *acuto* (a breve termine), che studi su quelli dell'esercizio *cronico* (a lungo termine), al fine di esplorare come varino gli effetti dell'esercizio sulle prestazioni attentive a seconda dei parametri di esercizio utilizzati. Infine, saranno discussi i benefici dell'esercizio osservati e il ruolo dei meccanismi sottostanti, mettendo in luce i parametri di esercizio più funzionali ad ottenere giovamento a livello cognitivo, in vista di possibili applicazioni in contesti di vita quotidiana.

1. L'attenzione

L'attenzione, così come la percezione, la memoria, il pensiero o il linguaggio, fa parte delle funzioni cognitive, cioè di quei processi attraverso cui la nostra mente acquisisce, elabora, immagazzina e recupera informazioni (*Dizionario di Medicina*, 2010), e che sono controllati dai centri superiori della corteccia cerebrale (Malim, 1995). Nello specifico, l'attenzione può essere descritta come l'insieme dei processi di selezione che il cervello opera nei confronti delle informazioni che riceve, sia dal mondo esterno (stimoli ambientali che giungono attraverso gli organi di senso) sia da quello interno (pensieri, emozioni e sensazioni), definendo ciò di cui siamo coscienti in un dato momento (Turatto, 2004). In altre parole, essa è l'allocazione di risorse cognitive funzionale a rendere momentaneamente disponibili alla nostra coscienza parte degli stimoli che riceviamo (Gerbino, 2016). L'attenzione è alla base di gran parte delle attività cognitive e comportamentali che compiamo quotidianamente, come leggere un libro, ascoltare e comprendere un discorso, o guidare un autoveicolo (Turatto, 2004).

Al suo interno possiamo individuare più funzioni (Fabio e Marcantoni, 2008):

1. l'attenzione generalizzata (o arousal), ovvero lo stato di attivazione generale del sistema nervoso di un individuo (*Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, 2008), che lo predispone a dirigere le sue risorse cognitive verso nuovi stimoli;
2. l'attenzione selettiva, cioè la capacità di selezionare gli stimoli rilevanti per il raggiungimento dei nostri obiettivi ed elaborarli in maniera privilegiata, e di sopprimere l'interferenza dovuta a stimoli irrilevanti. In questo senso essa costituisce una componente chiave del controllo inibitorio, cioè la capacità di ignorare gli stimoli conflittuali, e concentrarci su quelli importanti, al fine di fornire una risposta adeguata alla situazione (Giuriato e Lovecchio, 2020);

3. l'attenzione sostenuta, ossia la capacità di mantenere l'attenzione sulle informazioni salienti per un tempo prolungato (Fabio e Marcantoni, 2008).

Secondo la legge di Yerkes e Dodson (1908), arousal e attenzione selettiva sono tra loro in un rapporto descritto da una funzione ad U capovolta, in cui ad un basso livello di arousal corrisponde una scarsa attenzione selettiva, che porta ad accettare acriticamente anche stimoli irrilevanti; quando il livello di attivazione cresce, la selettività raggiunge il suo apice, consentendo una prestazione ottimale; infine, ad un ulteriore aumento del livello di attivazione, torna a verificarsi un calo della selettività, in cui la distraibilità agli stimoli conflittuali aumenta, gli stimoli rilevanti vengono trascurati e la prestazione peggiora (Fabio e Marcantoni, 2008). Allo stesso modo, un buon livello di arousal sarebbe indispensabile in compiti che richiedono attenzione sostenuta: soltanto un certo livello di arousal consentirebbe infatti il mantenimento della motivazione necessaria a sostenere nel tempo l'attenzione sugli stimoli salienti che vengono selezionati. Questa legge è supportata da numerose evidenze scientifiche. Diversi studi che hanno esaminato l'attenzione in relazione all'aumento dell'arousal indotto dall'esercizio fisico, hanno riscontrato un andamento ad U capovolta (Levitt e Gutin, 1971; Salmela and Ndoeye, 1986), registrando tempi di reazione più brevi in corrispondenza di intensità moderate di esercizio (arousal moderato) rispetto alle condizioni di riposo (arousal basso) e di alta intensità (arousal elevato).

L'attenzione si presenta dunque come un fenomeno complesso e non unitario, che coinvolge diverse componenti in interazione tra loro (Stablum, 2002). La componente selettiva ci permette di elaborare le informazioni rilevanti per l'esecuzione di comportamenti finalizzati, aiutandoci a raggiungere gli scopi che ci siamo prefissati, anziché rimanere in balia degli stimoli sensoriali; allo stesso tempo, ci consente di tenere monitorato l'ambiente, cogliendo stimoli nuovi o particolarmente significativi sulla base delle loro caratteristiche, della nostra esperienza passata o della nostra reattività individuale agli stimoli sensoriali. La componente sostenuta, inoltre, è necessaria non solo per portare a termine un

ragionamento, un'attività pianificata o composta da più azioni in sequenza, ma anche nell'apprendimento di nuove abilità (De Gangi e Porges, 1990).

Per questi motivi l'attenzione è un processo cognitivo fondamentale: esso gioca un ruolo basilare nella capacità di adattamento dell'individuo, consentendo l'elaborazione delle informazioni importanti per produrre un comportamento funzionale alle richieste ambientali (Fabio e Marcantoni, 2008).

1.1 Strumenti di misura

Per studiare i vari tipi di attenzione è necessario usare compiti di natura differente (Fabio e Marcantoni, 2008). Di seguito ne vengono presentati alcuni tra quelli utilizzati nella ricerca sulla relazione tra esercizio fisico e processi attentivi.

Per lo studio dell'attenzione selettiva, uno dei paradigmi più adoperati è quello della ricerca visiva (Dell'Acqua, 2016), in cui il soggetto è chiamato a rilevare, il più velocemente possibile, uno o più oggetti-bersaglio all'interno di un insieme di stimoli presentati simultaneamente. Il tempo di reazione (TR) impiegato per individuare gli stimoli-target può essere considerato una misura dell'efficienza dei processi di attenzione selettiva. Uno strumento che si colloca all'interno di questo paradigma è il *Color-Word Stroop Test*, in cui gli stimoli mostrati consistono nei nomi di alcuni colori; nella versione più comune del test, al soggetto si chiede di denominare il colore dell'inchiostro, senza considerare ciò che è scritto. I nomi possono essere scritti con inchiostro dello stesso colore indicato dalla parola (condizione congruente) o di colore diverso (condizione incongruente) (Zorzi, 2016). Se la parola scritta non è il nome di un colore ma una sequenza di lettere priva di significato (ad esempio "XXXX"), si parla di condizione neutra. Analizzando i tempi impiegati per denominare il colore dell'inchiostro, il test misura la capacità di selezionare lo stimolo rilevante (colore dell'inchiostro) rispetto a quello conflittuale (parola scritta) (Stroop, 1935). La conflittualità tra le informazioni nella condizione incongruente (colore inchiostro e parola

scritta) genera un'interferenza nota come "effetto Stroop", osservabile nel rallentamento dei TR rispetto alla condizione neutra o congruente (Laird et al., 2005).

Un altro strumento impiegato nella valutazione dell'attenzione selettiva è l'*Eriksen flanker task* (Eriksen & Eriksen, 1974). Il compito consiste nell'identificare l'orientamento di una freccia (stimolo target), in posizione centrale all'interno di una riga di frecce puntate in direzione concorde (prove congruenti) o opposta (prove incongruenti), premendo il tasto destro o sinistro a seconda della direzione dello stimolo target (Baghdadi, Towhidkhan e Rajabi, 2021). In questo modo il compito genera un effetto interferenza simile all'effetto Stroop. Misurando tempi di reazione e accuratezza delle risposte, è utilizzato anch'esso per valutare l'attenzione selettiva.

Per quanto riguarda la valutazione dell'attenzione sostenuta, saranno presentati brevemente tre strumenti: il *Visual Oddball Task*, il *Sustained Attention to Response Test* (SART) e il compito di vigilanza psicomotoria (PVT).

Il *Visual Oddball Task* si basa sulla presentazione di una sequenza di stimoli consecutivi (distrattori), tra i quali saltuariamente compare uno stimolo target (Huettel e McCarthy, 2004). Al partecipante si richiede di emettere una risposta, il più rapidamente possibile, ogni qualvolta compaia lo stimolo target. In questo modo, il compito valuta la capacità di mantenere l'attenzione, per un periodo protratto di tempo, alla ricerca dello stimolo target, e di inibire le risposte per gli altri stimoli (Stebbins, 2007).

Al contrario, il *Sustained Attention to Response Test* (SART) consiste nella presentazione di una serie di cifre casuali (stimoli *Go*), per ciascuna delle quali bisogna premere un tasto, ad eccezione che per una cifra prestabilita (*No-go*) che compare raramente e in modo casuale all'interno della sequenza (Manly e Robertson, 2005). Anche in questo caso, registrando tempi di reazione e accuratezza, si misura la capacità di mantenere l'attenzione sugli stimoli presentati, per essere pronti a inibire la risposta di fronte a quelli *No-go*.

Il *compito di vigilanza psicomotoria (Psychomotor Vigilance Task, PVT)*, invece, richiede di rispondere il più rapidamente possibile ad uno stimolo target che compare a intervalli di tempo casuali (Goebel, Basner, e Dinges, 2015). Dovendo rimanere vigili fino alla comparsa dello stimolo bersaglio, i TR a quest'ultimo sono considerati una misura dell'attenzione sostenuta.

2. L'esercizio fisico

Prima di introdurre cos'è l'esercizio fisico, è utile considerare il concetto di attività fisica. Secondo la definizione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (2021), essa comprende qualsiasi movimento determinato dall'apparato muscolo-scheletrico che comporta un dispendio energetico maggiore di quello a riposo. L'attività fisica, quindi, si riferisce non solo ai movimenti praticati durante l'attività sportiva, ma anche durante il tempo libero, il lavoro o gli spostamenti da un luogo all'altro.

L'esercizio fisico, invece, si caratterizza come attività fisica pianificata e quantificata, in cui i movimenti sono programmati, strutturati e ripetuti al fine di migliorare una o più componenti della forma fisica dell'individuo (Caspersen, Powell e Christenson, 1985). Nella pianificazione dell'esercizio fisico, diversi parametri vengono modificati a seconda degli obiettivi e dello stato di salute della persona (Johnston, 2018). Tali parametri includono l'intensità, la durata, il volume e la frequenza dell'esercizio, e infine la componente della forma fisica che si intende migliorare, come capacità aerobica, forza muscolare, flessibilità, o equilibrio.

Il primo parametro da considerare nella pianificazione dell'esercizio è l'intensità, cioè il livello di sforzo compiuto dal soggetto (Cavill, Kahlmeier e Racioppi, WHO, 2006). Esso dipende dal tipo di attività eseguita e dalla capacità dell'individuo, che varia in funzione dell'età, e può essere riferito attraverso due misure diverse, a seconda del tipo di esercizio fisico (Johnston, 2018). Nell'esercizio di tipo aerobico, si è soliti utilizzare la percentuale di frequenza cardiaca massimale (HR_{max}) del soggetto, cioè la frequenza in corrispondenza della quale si verifica il picco di consumo di ossigeno (VO_{2peak}); entro tale frequenza l'esercizio rimane a carico del metabolismo aerobico, mentre superandola, attraverso un esercizio più intenso o prolungato nel tempo, si passa al metabolismo anaerobico, a causa della carenza di ossigeno. Nell'allenamento della forza, invece, l'intensità è stimata come

percentuale di carico massimo della persona per una ripetizione (1RM) di un certo esercizio, ossia il massimo peso che essa può sollevare o più in generale “contrastare” in una ripetizione del dato esercizio (Fleck e Kraemer, 2014).

Al fine della trattazione degli effetti di diverse intensità di esercizio fisico sull’attenzione, è inoltre utile distinguere cosa si intende per intensità moderata o alta. Nell’allenamento aerobico si parla di intensità moderata per attività che richiedono il 60-80% della frequenza cardiaca massimale (HR_{max}), elevata se arrivano all’85-95% della HR_{max} (Johnston, 2018). L’allenamento della forza, analogamente, è considerato di intensità bassa quando svolto con carichi inferiori al 65% del carico massimale (1RM), moderata se tra il 65-80% di 1RM, alta se tra l’85-100% di 1RM (Coburn e Malek, 2011).

Un secondo parametro relativo all’esercizio fisico è il volume, ovvero la quantità di attività svolta in una sessione di allenamento (Johnston, 2018). In linea generale, esso può essere considerato come il prodotto di intensità e durata dell’esercizio (De Mei, Cadeddu, Luzi e Spinelli, 2018).

Infine, il parametro della frequenza, rilevante quando si pianifica un programma di allenamento, si riferisce al numero di sessioni di esercizio in un determinato arco di tempo, solitamente settimanale (De Mei et al., 2018).

L’importanza di considerare questi parametri deriva dalla possibilità di rendere l’esercizio fisico misurabile, e così studiarne gli effetti sulla salute degli individui, in questo caso sul funzionamento cognitivo.

2.1 Tipologie principali

Come accennato, vi sono più componenti della forma fisica che è possibile allenare, e questo attraverso quattro tipi principali di esercizio fisico.

L’esercizio aerobico, innanzitutto, lavora sulla capacità aerobica (detta anche resistenza cardiovascolare), cioè la capacità del sistema cardio-respiratorio di fornire energia

all'organismo durante uno sforzo fisico (Corbin, Dowell, Ruth e Tolson, 1981). Si tratta di un'attività fisica ritmica e prolungata, solitamente eseguita ad un'intensità sostenibile dal metabolismo aerobico, ma nella quale possono essere inseriti intervalli di sforzo maggiore che attivano il metabolismo anaerobico (Johnston, 2018).

L'allenamento della forza, in inglese *resistance training*, indica tutti quegli esercizi in cui i muscoli esercitano il proprio sforzo contro una forza opposta (o resistenza), che sia un sovraccarico (peso esterno) o il peso corporeo stesso, col fine di sviluppare la forza, la potenza o la resistenza muscolare (Fleck e Kraemer, 2014). Se svolto ad un'intensità elevata, questo tipo di esercizio può anche potenziare la capacità aerobica (Johnston, 2021).

Lo stretching, invece, lavora su un'altra componente della forma fisica (Johnston, 2021): la flessibilità, cioè l'ampiezza di movimento possibile attorno ad un'articolazione (Walker, 2007). Attraverso lo stretching, in cui vengono assunte posizioni tali da consentire l'allungamento dei muscoli, l'elasticità di questi ultimi aumenta, e così anche la flessibilità.

Un'ultima tipologia di esercizio è l'allenamento dell'equilibrio, che mira ad aumentare la capacità del soggetto di rimanere in equilibrio, con esercizi specifici che mettono alla prova il controllo posturale (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018).

3. Gli effetti dell'esercizio fisico sull'attenzione

Gli effetti dell'esercizio fisico sull'attenzione, e sul funzionamento cognitivo in generale, sono stati esplorati sia nel breve termine, dopo una singola sessione di esercizio fisico, noto anche come esercizio *acuto* (di durata solitamente compresa tra i 10 e i 40 minuti), sia nel lungo termine, ossia a seguito di esercizio *cronico*.

3.1 Effetti a breve termine

Un numero sempre crescente di pubblicazioni sostiene che vi siano considerevoli benefici dell'esercizio fisico su diverse funzioni cognitive. Per quanto riguarda gli effetti a breve termine, Lambourne e Tomporowski (2010), in una metanalisi sugli effetti dell'esercizio acuto sulla performance cognitiva in giovani adulti, hanno trovato che l'esercizio ha un generale effetto positivo, sebbene di piccola entità ($d=0.20$)¹. Questo risultato concorda con una metanalisi più recente, comprendente studi effettuati su tutte le fasce d'età (Chang, Etnier, Gapin, e Labban, 2012): anche in questo caso, l'effetto complessivo dell'esercizio fisico sulla performance cognitiva è risultato positivo e debole ($d=0.097$, su 79 studi), ed effetti significativamente maggiori sono stati osservati in particolare, tra le varie categorie di compiti cognitivi, nei compiti volti a misurare l'attenzione sostenuta ($d=0.416$, su 7 di 79 studi) e le funzioni esecutive² ($d=0.271$, su 35 di 79 studi), tra cui il controllo inibitorio. Una metanalisi sulla relazione tra esercizio fisico e funzioni esecutive in una fascia d'età più bassa, comprendente preadolescenti, adolescenti e giovani adulti, ha trovato un effetto

¹ d di Cohen: indice di inferenza statistica che esprime il grado in cui la relazione tra due variabili differisce da una relazione nulla, o il grado in cui due gruppi sono sovrapponibili tra loro (Pastore, 2015). Assume valore zero in assenza di effetto, e cresce all'aumentare della distanza tra i gruppi (per convenzione, l'effetto è considerato debole se inferiore a 0.20, medio intorno a 0.50, forte quando maggiore di 0.80).

² Le funzioni esecutive sono un insieme di funzioni cognitive di ordine superiore che hanno il ruolo di controllare l'attenzione quando si eseguono compiti nuovi o complessi (Cristofori, Cohen-Zimmerman e Grafman, 2019; De Pisapia, N.D.); esse includono controllo inibitorio, memoria di lavoro e flessibilità cognitiva (Diamond, 2012).

moderato ($d=0.46$) dell'esercizio fisico sul controllo inibitorio, in tutti e tre i gruppi (Verburgh, Königs, Scherder, e Oosterlaan, 2014).

Esistono però differenze negli effetti sull'attenzione a seconda dei parametri di esercizio fisico utilizzati? Tra le variabili che intervengono nella relazione tra esercizio fisico e attenzione, e cognizione più in generale, vi è innanzitutto l'*intensità* dell'esercizio. L'intensità è infatti uno dei principali moderatori degli effetti dell'esercizio sulla cognizione, date le sue dirette implicazioni sui meccanismi fisiologici che sottendono tali effetti (Chang et al., 2012; Lambourne e Tomporowski, 2010).

Analizzando il ruolo dell'intensità dell'esercizio sulla performance cognitiva, misurata immediatamente dopo una sessione di allenamento, Chang e i suoi colleghi (2012) hanno trovato effetti positivi significativi per intensità basse o moderate, ma non per intensità alte, molto alte o massimali, per le quali gli effetti osservati non erano più significativi. Tuttavia, quando la performance cognitiva è stata misurata dopo un ritardo di almeno 1 minuto dalla fine dell'esercizio, anche le intensità più elevate hanno avuto come risultato un effetto positivo significativo, mentre per quelle basse gli effetti scomparivano. Secondo gli autori, quindi, il livello di intensità ideale per ottenere maggiori benefici sarebbe medio-basso per performance cognitive valutate immediatamente dopo l'esercizio, e medio-alto per performance che hanno luogo dopo un periodo di pausa, come più spesso avviene in contesti di vita reale.

Anche nell'ambito della letteratura sull'attenzione, numerosi studi hanno mostrato come l'esercizio fisico acuto ad intensità medio-alta sia in grado di migliorare le prestazioni attentive (Tomprowski, 2003b).

Considerando in primo luogo gli studi sull'*attenzione selettiva*, Yanagisawa e i suoi colleghi (2010) hanno registrato miglioramenti significativi sulla performance attentiva associati all'esercizio aerobico acuto ad intensità moderata. Nel loro studio, 20 giovani adulti sono stati sottoposti a due condizioni in ordine controbilanciato, una di riposo e una di esercizio

aerobico al 50% del VO_{2max} (corrispondente al 70% circa della HR_{max})³, della durata di 10 minuti. Una versione del test di Stroop è stata somministrata ai partecipanti sia prima che dopo entrambe le condizioni: la differenza nel grado di interferenza dovuto alla conflittualità tra gli stimoli (calcolato come differenza tra i TR della condizione incongruente e di quella neutrale) tra la condizione post-esercizio e quella pre-esercizio è risultata significativamente maggiore nel gruppo sottoposto a esercizio rispetto a quello a riposo. In questo senso, l'esercizio acuto a intensità moderata ha avuto un effetto positivo sull'attenzione selettiva, agevolando la capacità di far fronte agli stimoli interferenti. La diminuzione dell'effetto di interferenza nella condizione di esercizio è inoltre risultata associata ad una maggiore differenza tra l'attività corticale post-esercizio e pre-esercizio (rilevata a partire dai segnali cerebrali di emoglobina ossigenata) rispetto alla condizione di riposo, in particolare nell'area dorsolaterale prefrontale dell'emisfero sinistro, parte del network attentivo frontoparietale (Mezzacappa, 2011). Da quanto osservato, dunque, l'incremento di attività nella corteccia dorsolaterale prefrontale sinistra indotto dall'esercizio fisico costituirebbe un possibile substrato neurale delle migliori prestazioni attentive osservate.

Anche intensità più elevate di esercizio sono a volte risultate associate a un miglioramento dell'attenzione selettiva, ma i risultati non sono sempre concordi tra loro.

In uno studio, ad esempio, 15 atleti allenati alla resistenza cardiovascolare sono stati sottoposti ad una seduta di cicloergometro della durata di 60 minuti (Hogervorst, Riedel, Jeukendrup e Jolles, 1996). L'esercizio è stato svolto al 75% della loro potenza di lavoro massimale (W_{max}), paragonabile all'85% della HR_{max} ⁴. Sia prima che dopo la sessione, ai partecipanti è stata somministrata una serie di prove cognitive comprendente tre test di

³ VO_{2max} è il volume massimo di ossigeno che l'organismo può consumare e convertire in energia muscolare (Plowman e Smith, 2003). Utilizzando l'equazione di regressione trovata da Swain e colleghi (1994), è possibile convertire la % di VO_{2max} in % di HR_{max} .

⁴ Secondo uno studio di Arts e Kuipers (1994), negli atleti, le espressioni dell'intensità in % di W_{max} e in % di VO_{2max} sono tra loro paragonabili, in quanto si trovano tra loro in una relazione lineare con $r=0.98$ ($p<.001$). Considerando quindi che il 75% di W_{max} equivale al 75% di VO_{2max} , è stata stimata, a partire da quest'ultima, la % di HR_{max} corrispondente, utilizzando l'equazione trovata da Swain e colleghi (1994).

reaction-time (*simple reaction time*, *3-choice-reaction time* e *incompatible 3-choice-reaction time*) e una breve versione del Color-Word Stroop Test. L'esercizio ha avuto effetti agevolanti nel test di *simple reaction-time*, ma non in quelli di scelta, e ha migliorato significativamente i tempi di reazione nel subtest incongruente del test di Stroop, indicando un effetto positivo dell'esercizio aerobico ad alta intensità sulla capacità di selezionare le informazioni rilevanti e di inibire quelle irrilevanti.

D'altro canto, uno studio precedente su 16 giovani adulti riguardante gli effetti dell'esercizio anaerobico (una seduta di cyclette eseguita fino allo sfinimento muscolare, quindi ad intensità sovramassimali) su un compito di ricerca visiva non ha trovato alcun effetto sulle capacità di detezione e localizzazione spaziale dello stimolo target, misura dell'attenzione selettiva visiva (Bard e Fleury, 1978).

Alcuni studi hanno invece indagato gli effetti di un tipo diverso di allenamento aerobico ad alta intensità, noto come *High Intensity Interval Training* (HIIT), caratterizzato per un carico di lavoro variato nel tempo, anziché costante. Nello specifico, si tratta di un metodo di allenamento in cui brevi periodi di esercizio a frequenza cardiaca elevata (anche sovramassimale) vengono alternati con periodi di recupero a bassa frequenza o di riposo (Boutcher, 2010). In questo caso, i risultati riscontrati nella letteratura appaiono più affini.

Alves e i suoi colleghi (2014) hanno analizzato l'influenza di una seduta di allenamento HIIT (*High Intensity Interval Training*) sull'attenzione selettiva, valutata attraverso una versione breve del test di Stroop. Nello studio in questione, 22 adulti sono stati sottoposti sia ad una seduta di HIIT, composta da 10 cicli da 1 minuto di cyclette, al 90% della HR_{max} , intervallati da 1 minuto di recupero attivo, sia ad una seduta di controllo, consistente in un periodo di stretching attivo a bassa intensità della durata di 15 minuti. La grandezza dell'effetto calcolata per ciascuna condizione sperimentale (differenza intra-gruppo tra il prima e il dopo) è risultata significativa per la condizione di HIIT ($p=.0002$, $d=-0.53$), ma non per la condizione di stretching. Inoltre, subito dopo l'allenamento HIIT, i tempi di esecuzione della sezione

color-word del test (condizione incongruente), così come l'effetto di interferenza dovuto alla conflittualità tra gli stimoli (calcolato come differenza tra i tempi di esecuzione della condizione incongruente e di quella congruente), sono risultati significativamente inferiori rispetto alla condizione di controllo.

Uno studio più recente sulle funzioni esecutive, focalizzato in particolare sul controllo inibitorio (valutato tramite il Color-Word Stroop test), ha inoltre riscontrato un maggiore beneficio dell'esercizio fisico ad alta intensità piuttosto che ad intensità moderata, in termini di durata degli effetti (Tsukamoto et al., 2016). Le prestazioni al Color-Word Stroop Test di un campione di 12 giovani adulti, assegnati casualmente a protocolli di HIIE (*high-intensity interval exercise*) o MCE (*moderate-intensity continuous exercise*) di cicloergometro (a parità di volume) e poi alternati, si sono rivelate egualmente migliori rispetto alla condizione base (pre-esercizio), per entrambi i protocolli, mostrando tempi di reazione significativamente più bassi subito dopo l'esercizio rispetto alla condizione pre-esercizio (tranne per i TR del compito neutro, significativamente inferiori solo per il protocollo di HIIE), e accuratezza invariata (tranne che per il compito incongruente nella condizione di HIIE, dove è risultata significativamente più bassa dopo l'esercizio rispetto al prima). Il protocollo ad alta intensità ha però mostrato un effetto "prolungato", riscontrato anche durante la fase di 30 minuti di recupero post-esercizio, laddove nella condizione di esercizio ad intensità moderata le prestazioni tornavano al livello base: i TR ridotti osservati alla fine del protocollo di HIIE, infatti, sono stati mantenuti anche nella fase di recupero, ma ciò non è avvenuto per il protocollo di MCE; anche i punteggi di interferenza (calcolati come $[(\text{TR del compito incongruente} - \text{TR del compito neutro}) / \text{TR del compito neutro} \times 100]$), significativamente ridotti subito dopo entrambi i protocolli, sono rimasti tali solo per l'HIIE, tornando al livello pre-esercizio per il MCE. Questo studio suggerirebbe dunque che l'esercizio fisico acuto ad alta intensità sia più efficace di quello a intensità moderata al fine di migliorare le capacità attentive, in termini di durata degli effetti. Gli autori hanno inoltre registrato un aumento

dell'arousal (percepito) indotto dall'esercizio in entrambe le condizioni di intensità (ma significativamente maggiore nella condizione di HIIE rispetto al MCE); tuttavia, solo nella condizione di HIIE l'aumento si è protratto nella fase post-esercizio, ritornando al livello pre-esercizio nella condizione di MCE: tale risultato, secondo gli autori, potrebbe spiegare almeno in parte il vantaggio del protocollo ad alta intensità su quello a intensità moderata nel mantenere un miglioramento del funzionamento esecutivo, possibilmente attraverso un aumento dell'attività neurale cerebrale.

Accanto alla ricerca sugli effetti dell'esercizio fisico sulla componente selettiva dell'attenzione, altri studi si sono focalizzati su quella *sostenuta*.

In uno studio sull'attenzione sostenuta valutata dopo una seduta di esercizio ad intensità moderata, i tempi di reazione di 34 giovani adulti in un compito di *Oddball* visivo a tre stimoli sono risultati più brevi nella condizione di esercizio rispetto a quella di riposo (Pontifex, Parks, Henning e Kamijo, 2015). Intensità basse di esercizio sembrano invece non produrre alcun effetto sulla capacità di sostenere l'attenzione nel tempo, come osservato dai tempi di reazione in un compito di vigilanza psicomotoria (PVT) misurati durante una seduta di cicloergometro a bassa intensità (Gonzalez-Fernandez, Etnier, Zabala e Sanabria, 2017).

Confrontando gli effetti di diverse intensità di esercizio aerobico sull'attenzione sostenuta, uno studio su 12 giovani adulti (ciclisti) sottoposti a una seduta di cicloergometro ha rilevato prestazioni migliori associate ad intensità moderate piuttosto che basse, in particolare se a carico variabile (Radel, Tempest e Brisswalter, 2018). Nello studio in questione, l'attenzione sostenuta è stata valutata attraverso il Sustained Attention to Response Task (SART), a partire da 5 minuti dopo il raggiungimento dell'intensità desiderata di esercizio (della durata complessiva di 35 minuti circa). L'analisi dei tempi di reazione e dell'accuratezza delle risposte non ha trovato alcun cambiamento di performance tra la condizione di riposo e la condizione di esercizio a bassa intensità, anzi in quest'ultima si è verificato un calo significativo dell'accuratezza (più errori nei confronti degli stimoli *No-Go*). Lo studio ha

invece mostrato TR significativamente più brevi nella condizione di esercizio a intensità moderata, rispetto alle condizioni di bassa intensità e di riposo, ma una minore accuratezza rispetto alla condizione di riposo. Inoltre, i TR per la condizione di esercizio ad intensità moderata con carico variato sono risultati ancora più rapidi rispetto alla condizione di esercizio moderato a carico costante, senza cali nell'accuratezza. Gli autori hanno anche registrato la concentrazione salivare di α -amilasi (un enzima indicativo della risposta noradrenergica, e conseguentemente dell'arousal) e i livelli di attività cerebrale nella corteccia prefrontale e parietale (sede del network attentivo frontoparietale), in quanto possibili precursori delle capacità attentive (Sara e Bouret, 2012). La differenza di α -amilasi tra l'inizio e la fine di ciascuna condizione è risultata maggiore per le condizioni di esercizio a intensità moderata (sia a carico variabile che costante) rispetto all'esercizio a bassa intensità e al riposo. Relativamente all'attivazione del network attentivo frontoparietale (inferita dai livelli corticali di emoglobina ossigenata), la condizione di intensità moderata a carico costante è risultata associata ad una maggiore attività della corteccia parietale inferiore, rispetto alla condizione di bassa intensità; inoltre, la condizione di intensità moderata a carico variabile ha mostrato una maggiore attivazione della corteccia dorsolaterale prefrontale destra rispetto alla condizione a carico costante. La condizione di esercizio a bassa intensità, invece, non ha portato cambiamenti significativi rispetto a quella di riposo, né nei livelli di α -amilasi né di attività corticale. In base a quanto osservato, gli autori hanno concluso che l'esercizio a intensità moderata, in particolare se a carico variato, aumenta la capacità di mantenere l'attenzione, plausibilmente attraverso un incremento dell'attività noradrenergica e una conseguente maggiore mobilitazione delle aree corticali coinvolte nell'attenzione sostenuta; d'altro canto, intensità basse di esercizio aerobico non avrebbero un impatto neurofisiologico sufficiente per apportare benefici sull'attenzione sostenuta.

Kamijo e i suoi collaboratori (2004) hanno trovato risultati analoghi dal punto di vista elettrofisiologico per intensità diverse di esercizio fisico, registrando l'ampiezza della P300, un'onda indicativa dell'attività elettrica cerebrale che riflette la risposta attentiva ad uno stimolo target (Picton, 1992). Esaminando la performance di 12 giovani adulti in un compito *Go/No-Go* dopo sedute di cicloergometro ad alta, media e bassa intensità, e dopo una condizione di controllo (riposo), lo studio ha rilevato, rispetto a quest'ultima, un'ampiezza della P300 significativamente maggiore dopo l'esercizio a intensità moderata e, viceversa, minore dopo quello ad alta intensità (sia per gli stimoli *Go* che per quelli *No-Go*). La differenza di ampiezza non è risultata significativa dopo l'esercizio a bassa intensità. Essendo la P300 proporzionale alla quantità di risorse attentive impiegate in un compito (Kramer and Strayer, 1988), questo pattern di risultati indicherebbe che tali risorse aumentino in seguito ad intensità moderate di esercizio, e diminuiscano in seguito a intensità elevate. Tuttavia, in questo studio, i tempi di reazione agli stimoli non sono risultati significativamente diversi tra loro a seconda della condizione sperimentale.

Un'altra variabile moderatrice della relazione tra esercizio fisico e cognizione considerata dalla letteratura è la *durata* dell'esercizio. Diverse metanalisi hanno trovato che la durata influenza significativamente gli effetti dell'esercizio sulla cognizione: gli effetti sono trascurabili o addirittura negativi per sessioni di esercizio di durata breve, inferiore ai 20 minuti, ma diventano significativi e positivi per durate superiori (Chang et al., 2012; Lambourne e Tomporowski, 2010). Secondo una metanalisi precedente (Tomprowski, 2003b), l'esercizio aerobico (ad intensità submassimale), praticato per una durata compresa tra i 20 e i 60 minuti, ha effetti positivi su diversi processi cognitivi, tra cui quelli attentivi. Tuttavia, prendendo in esame gli studi finora trattati sull'attenzione, è stato possibile osservare effetti positivi anche con durate più brevi di esercizio (Yanagisawa et al., 2010). Considerando infine il *tipo* di esercizio fisico, Chang e colleghi (2012) hanno riscontrato effetti negativi dell'esercizio anaerobico e di forza muscolare sulla performance cognitiva.

Effetti positivi sono stati trovati, invece, per l'esercizio aerobico, soprattutto se in combinazione con l'allenamento della forza muscolare.

3.2 Effetti a lungo termine

Gli effetti dell'esercizio fisico nel lungo termine sono stati esaminati sia attraverso studi longitudinali, con l'impiego di diversi programmi di allenamento (di durata generalmente compresa tra le 6 e le 30 settimane e composti da più sessioni settimanali), sia studi trasversali, che hanno confrontato le prestazioni cognitive di soggetti con diversi livelli di fitness, cioè diversi stati di forma fisica (Caspersen et al., 1985).

Una revisione sistematica di studi randomizzati controllati sugli effetti dell'allenamento (nel lungo periodo) sulla performance cognitiva in soggetti anziani ha riscontrato miglioramenti significativi nei gruppi sottoposti ad "allenamento multicomponentiale" (che combina capacità aerobica e forza) rispetto ai gruppi di controllo (intervento di stretching/tonificazione o nessun intervento), sia in compiti di attenzione (Color-Word Stroop Test e *Trail Making Test A-B*)⁵ sia di funzionamento cognitivo globale (López Sáez de Asteasu, Martínez-Velilla, Zambom-Ferraresi, Casas-Herrero, e Izquierdo, 2017). Anche nella condizione di allenamento della forza, i gruppi assegnati alla condizione sperimentale hanno mostrato, nella maggior parte degli studi, miglioramenti significativamente maggiori rispetto ai gruppi di controllo, nei compiti cognitivi atti a valutare le funzioni esecutive, inclusa l'attenzione. I risultati sono invece apparsi inconsistenti nella condizione di allenamento aerobico.

Una metanalisi precedente sugli effetti dell'allenamento sulla performance cognitiva in soggetti anziani, invece, ha trovato miglioramenti significativi, in una varietà di compiti cognitivi, anche nei partecipanti coinvolti in programmi di allenamento di tipo aerobico,

⁵ Il *Trail Making Test A-B* (TMT A-B) è un test utilizzato per valutare il funzionamento esecutivo, composto da due parti (Stebbins, 2007). La parte A richiede al soggetto di collegare in ordine numerico, il più velocemente possibile, dei cerchi numerati disposti in modo casuale; la parte B presenta anche cerchi contrassegnati da una lettera, e richiede di collegare i cerchi in ordine numerico e alfabetico, alternando numeri e lettere. Il test coinvolge sia attenzione selettiva che controllo esecutivo.

rispetto ai soggetti di controllo (Colcombe e Kramer, 2003), e benefici maggiori sono stati osservati, in particolare, sulle funzioni esecutive. Tuttavia, anche secondo questa metanalisi, gli interventi di allenamento aerobico combinato all'esercizio della forza hanno benefici maggiori dell'allenamento aerobico puro.

Anche il livello di fitness di un individuo, cioè lo stato di forma fisica basato su componenti quali capacità aerobica e forza muscolare (Caspersen et al., 1985), sembra rivestire un ruolo considerevole nel determinare la performance cognitiva. Chang e colleghi (2012), nella loro metanalisi comprendente studi su tutte le fasce d'età, hanno osservato che la performance cognitiva misurata durante una sessione di esercizio fisico subisce effetti diversi a seconda del livello di forma fisica dell'individuo: mentre nei soggetti con un alto livello di fitness si osservano effetti positivi, in quelli con un basso livello gli effetti sono negativi. Se invece la performance viene misurata dopo l'esercizio, gli effetti sono positivi al di là del livello di fitness del soggetto, ma gli individui in una migliore forma fisica traggono comunque benefici maggiori.

Diversi sono gli studi che hanno riscontrato effetti positivi dell'allenamento o di un elevato livello di fitness anche sulle capacità attentive, sia in soggetti giovani (Bullock e Giesbrecht, 2014; Kamijo e Takeda, 2010) che anziani (Colcombe et al., 2004; Smiley-Oyen, Lowry, Francois, Kohut, e Ekkekakis, 2008). Colcombe e colleghi (2004), ad esempio, hanno riportato, in due esperimenti separati, un potenziamento delle prestazioni attentive e dell'attività corticale (incluse le regioni laterali della corteccia prefrontale) in soggetti anziani durante l'*Eriksen flanker task*, sia in coloro con maggiori livelli di fitness cardiorespiratorio (studio 1) sia in coloro sottoposti ad un periodo di allenamento aerobico (studio 2). Il compito di flanker, nello specifico, richiedeva ai partecipanti di identificare l'orientamento di una freccia (quella centrale) all'interno di una riga di frecce puntate in direzione concorde (prove congruenti) o opposta (prove incongruenti). Nello studio 1 sono stati misurati i livelli di fitness cardio-respiratorio dei soggetti e l'attivazione corticale durante lo svolgimento del compito;

nello studio 2, i partecipanti sono stati assegnati ad una condizione di allenamento aerobico della durata di 6 mesi o alla condizione di controllo (stretching e tonificazione), e le stesse misurazioni dello studio 1 sono state effettuate sia prima che dopo il programma assegnato. I risultati hanno mostrato livelli di interferenza comportamentale, durante il compito, significativamente inferiori nei partecipanti con alti livelli di fitness rispetto a quelli con bassi livelli (studio 1), come indicato dal minor tempo impiegato per rispondere alle prove incongruenti rispetto a quelle congruenti; lo stesso si è verificato nei partecipanti sottoposti ad allenamento aerobico (studio 2), al termine del quale hanno manifestato un decremento significativo nell'effetto interferenza rispetto alla condizione pre-allenamento, oltre che un aumento significativo del fitness cardio-respiratorio, a differenza del gruppo di controllo che non ha ottenuto gli stessi benefici. Inoltre, nello studio 1, nei soggetti con alto fitness è stata rilevata una maggiore attivazione delle aree corticali frontoparietali deputate ai processi attentivi, rispetto ai soggetti con basso fitness; analogamente, nello studio 2, a termine del programma di intervento, il gruppo sottoposto ad allenamento aerobico ha mostrato livelli di attività cerebrale significativamente superiori rispetto al gruppo di controllo, nelle stesse aree identificate nello studio 1. Questi risultati suggeriscono che un maggiore livello di fitness cardio-respiratorio, presente in partenza o indotto dall'allenamento, consenta un miglior funzionamento del network attentivo frontoparietale e una migliore performance, e che un buon livello di fitness, in tal senso, sia ottenibile attraverso periodi di allenamento aerobico di durata relativamente breve.

Oltre agli effetti sul piano neuropsicologico (performance cognitiva), l'esercizio fisico cronico sembra influenzare il cervello anche a livello strutturale. Confrontando la struttura cerebrale di adulti aerobicamente allenati (praticanti esercizio fisico da più di 10 anni) e sedentari, Tarumi e colleghi (2021) hanno notato che l'integrità complessiva dei fasci di materia bianca era significativamente maggiore negli adulti allenati che in quelli sedentari, in particolare nel ginocchio del corpo calloso, nel fasciolo longitudinale superiore (che collega la corteccia

parietale inferiore con quella prefrontale dorsolaterale, rivestendo un ruolo importante nell'attenzione spaziale) (Makris et al., 2005) e nel cingolo (che connette la corteccia orbitofrontale con i lobi parietale e temporale, supportando anch'esso i processi attentivi) (Dalley et al., 2004). A livello corticale, inoltre, negli adulti fisicamente attivi è stato osservato uno spessore maggiore di alcune aree, tra cui il giro post-centrale destro (sede delle aree somatosensoriali primarie) e la corteccia pericalcarina (sede dell'area visiva primaria, coinvolta nel network attentivo prefrontale). In aggiunta a ciò, uno studio trasversale sugli effetti di livelli differenti di fitness sulla densità corticale, in adulti e anziani, ha trovato che il livello di fitness cardiovascolare dei soggetti modera la traiettoria di perdita del tessuto cerebrale associata all'avanzare dall'età: i soggetti con livelli più alti di fitness cardiovascolare hanno mostrato perdite significativamente minori a livello di corteccia frontale, prefrontale e parietale (Colcombe et al., 2003). Visti i miglioramenti sulla performance cognitiva associati a livelli maggiori di fitness cardiovascolare o ad allenamenti della capacità aerobica, questi studi suggeriscono che tali benefici siano anche il risultato di un'azione protettiva dell'esercizio sull'integrità cerebrale, incluse le aree corticali frontoparietali e i tratti di materia bianca tramite cui queste aree coordinano la loro azione.

4. Meccanismi sottostanti

Molte metanalisi hanno messo in evidenza gli effetti positivi dell'esercizio *acuto* sul funzionamento cognitivo (Chang et al., 2012; Lambourne e Tomporowski, 2010; Verburgh, et al., 2014), e il ruolo dell'intensità dell'esercizio come una delle principali variabili moderatrici di tali effetti.

Esplorando vari studi sulla relazione tra esercizio acuto e attenzione selettiva, è emerso come effetti positivi sulle prestazioni attentive si ottengano sia per intensità moderate che alte (Hogervorst et al., 1996; Yanagisawa et al. 2010), come dimostrato da una diminuzione dei tempi di reazione e dei punteggi di interferenza misurati nel test di Stroop dopo l'esercizio rispetto alle prestazioni pre-esercizio. Entrambe le intensità sembrano dunque apportare benefici sull'attenzione selettiva, ma un vantaggio dell'intensità elevata su quella moderata è suggerito da studi più recenti sull'*High Intensity Interval Training*. Esaminando gli effetti di questo tipo di esercizio, che si differenzia dai classici allenamenti ad alta intensità per un carico di lavoro variato nel tempo, si osserva non solo un miglioramento nelle prestazioni attentive (Alves et al. 2014), ma anche un mantenimento dei livelli di prestazione per tempi più lunghi rispetto all'esercizio ad intensità moderata (Tsukamoto et al., 2016). Anche gli studi sull'attenzione sostenuta hanno trovato effetti facilitanti dell'esercizio a intensità moderata sulle capacità attentive (Pontifex et al., 2015; Radel et al., 2018). Inoltre, come per gli studi sull'attenzione selettiva, i benefici maggiori sembrano essere raggiunti in condizioni di variazione del carico di lavoro nel corso dell'esercizio, piuttosto che di carico costante (Radel et al., 2018).

Indagando i meccanismi alla base dei miglioramenti nelle prestazioni attentive associati all'esercizio fisico acuto, diverse risposte fisiologiche all'esercizio sono emerse come possibili mediatori: tra queste vi sono l'aumento dei livelli di catecolamine (Chmura, Nazar e Kaciuba-Uscilko, 1994) e del flusso sanguigno cerebrale (Querido e Sheel, 2007). Come

osservato da Chmura e colleghi (1994), l'esercizio fisico induce un incremento dei livelli plasmatici di adrenalina e noradrenalina, due sostanze neuro-ormonali coinvolte nella regolazione dell'attenzione (Bear, Connors e Paradiso, 2016). In particolare, attraverso il rilascio di noradrenalina, il locus coeruleus regolerebbe l'attivazione del network attentivo frontoparietale, facilitando così i processi attentivi (Aston-Jones, Rajkowski e Cohen, 1999; Sara e Bouret, 2012). Nella presente rassegna, diversi studi hanno registrato, in condizioni di esercizio a intensità moderata, un aumento dei livelli di emoglobina ossigenata (indicativi dell'attività cerebrale) in alcune regioni del network attentivo frontoparietale, quali la corteccia dorsolaterale prefrontale e quella parietale inferiore (Radel et al., 2018; Yanagisawa et al. 2010). Inoltre, Radel e colleghi (2018) hanno osservato un aumento significativo dell'attività noradrenergica associato ad intensità moderate di esercizio. Pertanto, l'incremento dei livelli di noradrenalina e dell'attività neuronale nelle aree corticali appartenenti al network attentivo frontoparietale potrebbe spiegare i benefici associati a intensità moderate di esercizio sulla performance in compiti di attenzione. L'assenza di effetti per intensità basse di esercizio, osservata sia sulle misure di attenzione sostenuta (Gonzalez-Fernandez et al., 2017; Radel et al., 2018) che di performance cognitiva generale (Chang et al., 2012), potrebbe invece essere spiegata sulla base del fatto che le risposte fisiologiche all'esercizio, che si suppongono mediare la risposta neuropsicologica, non raggiungano in questo caso un livello sufficiente da apportare benefici alle attività cognitive, come sostenuto da diversi studiosi (Chang et al., 2012; Radel et al., 2018). Tale ipotesi, inoltre, sarebbe in accordo con quanto affermato dalla legge di Yerkes e Dodson (1908), sulla base della quale un arousal troppo basso corrisponde ad una scarsa capacità attentiva. Gli effetti dell'esercizio a intensità elevata su compiti di attenzione sostenuta non sono stati presi in considerazione; tuttavia, osservati i benefici associati a un'intensità moderata su prestazioni attentive misurate durante l'esercizio (Radel et al., 2018), e assumendo che tali benefici siano mediati dai livelli di attività noradrenergica e di flusso sanguigno cerebrale, è

ragionevole ipotizzare che, se misurate dopo l'esercizio (quando i livelli di arousal fisiologico ricominciano a scendere), anche un'intensità elevata possa migliorare le capacità di sostenere l'attenzione.

Accanto ai benefici dell'esercizio acuto sulla performance cognitiva, diverse revisioni sistematiche hanno sottolineato quelli dell'esercizio *cronico* (Colcombe e Kramer, 2003; López Sáez de Asteasu et al., 2017), per differenti tipi di allenamento. In particolare, l'allenamento "multicomponenziale" sembra avere i benefici maggiori; tuttavia, la grande variabilità nelle popolazioni studiate, nei protocolli di esercizio e nelle misure rilevate complica l'interpretazione dei risultati (López Sáez de Asteasu et al., 2017).

Per quanto riguarda i benefici dell'esercizio a lungo termine sull'attenzione nello specifico, diversi studi hanno notato prestazioni migliori in compiti come il test di Stroop o il paradigma di *Eriksen flanker* nei soggetti coinvolti in programmi di allenamento aerobico, rispetto a quelli assegnati a condizioni di controllo (Colcombe et al., 2004; Smiley-Oyen et al., 2008). Inoltre, anche i soggetti con un buon livello di fitness in partenza mostrano un vantaggio in compiti di attenzione rispetto ai soggetti più sedentari (Kamijo e Takeda, 2010), anche se tale vantaggio a volte emerge solo a seguito di una seduta di esercizio acuto (Bullock e Giesbrecht, 2014).

Livelli più alti di fitness, indotti dall'esercizio a lungo termine, sono associati non solo ad una maggiore attività nelle aree corticali frontoparietali durante i compiti di attenzione (Colcombe et al., 2004), ma anche a cambiamenti nella struttura cerebrale (Colcombe et al., 2003; Tarumi et al., 2021). Un ruolo importante nello spiegare l'integrità delle aree corticali e la loro maggiore attivazione in soggetti con fitness più alto è attribuito al fattore neurotrofico cerebrale (*brain-derived neurotrophic factor*, o BDNF), una proteina appartenente alla famiglia delle neurotrofine che agisce sul sistema nervoso promuovendo la crescita, la plasticità e la sopravvivenza neuronale (Neeper, Gomez-Pinilla, Choi e Cotman, 1995). È stato infatti dimostrato che i livelli di BDNF risultano significativamente incrementati a

seguito dell'esercizio, sia acuto che cronico (Ferris, Williams e Shen, 2007; Zoladz et al., 2008). In questo senso, il rilascio di BDNF e i processi a cascata che ne derivano a livello neurostrutturale possono contribuire a spiegare gli effetti positivi di maggiori livelli di fitness sull'attenzione.

Conclusioni

Esplorando gli effetti dell'esercizio fisico su una varietà di compiti di attenzione, sia selettiva che sostenuta, ciò che emerge è che la maggior parte degli studi ha riscontrato un miglioramento dei processi attentivi. Nel corso della presente rassegna, sono stati presi in esame sia gli effetti osservabili nel breve termine, che quelli nel lungo termine, e il ruolo che diversi parametri di esercizio fisico hanno sulle prestazioni attentive. Per quanto riguarda l'esercizio acuto, la trattazione si è focalizzata sul ruolo dell'intensità; la gran parte della ricerca sugli effetti di una singola seduta di esercizio sulle capacità attentive è infatti dedicata allo studio di tale parametro, date le conseguenze dirette che esso ha sul piano fisiologico (Chang et al., 2012; Lambourne e Tomporowski, 2010). A questo proposito, intensità medio-alte di esercizio, in particolare se a carico variato, sono risultate associate ai benefici maggiori (senza però considerare il ruolo della durata). Se, da un lato, in accordo con la legge di Yerkes e Dodson (1908), il maggiore beneficio associato ad intensità medio-alte può essere spiegato sulla base di un livello ottimale di attivazione fisiologica, dall'altro, rimane discutibile il vantaggio di una variazione del carico di esercizio rispetto ad un carico costante; osservata una maggiore attivazione corticale per l'esercizio a carico variato, piuttosto che costante (Radel et al., 2018), sarebbe interessante investigare, a titolo speculativo, i processi neurofisiologici alla base della maggiore attivazione corticale indotta da una variazione del carico. Il ruolo della durata dell'esercizio, invece, è stato esaminato solo a livello più ampio di performance cognitiva, e non specificamente in relazione alle prestazioni attentive. Nonostante alcuni studi, in relazione a queste ultime, abbiano riportato benefici visibili già per durate di 10 minuti (Yanagisawa et al., 2010), un nuovo stimolo per la ricerca potrebbe essere quello di indagare la durata minima di esercizio funzionale ad ottenere un giovamento nelle capacità attentive, soprattutto a seconda delle richieste attentive di attività cognitive in contesti di vita reale. Per quanto concerne l'esercizio cronico,

in questa sede è stato esplorato brevemente il ruolo del tipo di allenamento sulla performance cognitiva, inclusa quella attentiva; i risultati di diverse metanalisi sono concordi nell'affermare che i benefici migliori si ottengano per allenamenti combinati di forza e capacità aerobica (Colcombe e Kramer, 2003; López Sáez de Asteasu et al., 2017). Tuttavia, i processi alla base del maggior "guadagno cognitivo" associato all'allenamento multicomponentiale è rimasto inesplorato.

Le conclusioni tratte dai risultati di questa rassegna hanno un mero valore qualitativo; i parametri che caratterizzano l'esercizio fisico, infatti, sono stati analizzati singolarmente, senza considerare l'interazione che vi è tra essi. Inoltre, l'ampia variabilità nei disegni di ricerca presi in esame, diversi per età del campione, parametri di esercizio e strumenti di misura utilizzati, rende difficile fare un'analisi comparativa. Infine, rimane da testare l'attendibilità dei risultati osservati in ambito sperimentale nei contesti di vita quotidiana, dove le capacità attentive si dispiegano in attività cognitive e comportamentali più complesse rispetto ai compiti di attenzione standardizzati. Alcune ricerche si sono già mosse in questa direzione, sperimentando l'efficacia di interventi di esercizio fisico anche negli ambienti educativi. Nei bambini di scuola elementare, ad esempio, brevi pause di esercizio ad alta intensità riducono i comportamenti di distrazione (come agitarsi sulla sedia, chiacchierare coi compagni, o distogliere lo sguardo dall'insegnante) durante la lezione (Ma, Le Mare e Gurd, 2014). Risultati analoghi sono stati osservati anche negli studenti universitari: l'impiego di tre pause di esercizio ad intensità moderata, della durata di soli 5 minuti e distribuite equamente nel corso di una videolezione di 50 minuti, ha migliorato notevolmente l'attenzione nel corso della lezione, e anche l'apprendimento dei contenuti, valutato sia immediatamente dopo la lezione sia a distanza di due giorni, è risultato superiore rispetto alle condizioni di assenza di pause o di pausa diversa dall'esercizio (Fenesi, Lucibello, Kim, e Heisz, 2018).

Questi studi sono solo l'inizio del percorso di scoperta dei benefici dell'esercizio in contesti di vita reale, ma i risultati promettenti da essi ottenuti nutrono di motivazione la futura ricerca sulla relazione tra esercizio fisico e capacità attentive. Come ha sottolineato Tomporowski (2003), conoscere i parametri di esercizio più funzionali al fine di ottimizzare la performance cognitiva e le prestazioni attentive non è una questione di mera speculazione scientifica, ma trova "diretta applicazione" nella progettazione di ambienti educativi e di lavoro efficaci. Infine, considerati i benefici dell'esercizio fisico a lungo termine sull'integrità neurostrutturale, esso si dimostra anche uno strumento utile al fine di rallentare il declino cognitivo legato all'età e ridurre il rischio di insorgenza di malattie neurodegenerative (Park e Festini, 2017).

Riferimenti bibliografici

1. Alves, C., R., R., Tessaro, V., H., Texeira, L., A., C., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B., e Takito, M., Y. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual & Motor Skills: Learning & Memory*, 118(1), 63-72.
2. *Aston-Jones, G., Rajkowski, J., e Cohen, J. (1999). Role of locus coeruleus in attention and behavioral flexibility. *Biol. Psychiatry*, 46(9), 1309–1320.
3. Baghdadi, G., Towhidkhah, F., e Rajabi, M. (2021). *Neurocognitive Mechanisms of Attention* (pp. 224-225). N.D.: Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90935-8.00005-6>.
4. *Bard, C., e Fleury, M. (1978). Influence of imposed metabolic fatigue on visual capacity components. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 1283–1287.
5. Bear, M., F., Connors, B., W., e Paradiso, M., A. (2016). *Neuroscienze. Esplorando il cervello* (pp. 163-164). Milano: Edra.
6. Boutcher, S., H. (2010). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of Obesity*, 2011, 868305.
7. Bullock, T., e Giesbrecht, B. (2014). Acute exercise and aerobic fitness influence selective attention during visual search. *Front Psychol.*, 5, doi: 10.3389/fpsyg.2014.01290.
8. Caspersen, C., J., Powell, K., E., e Christenson, G., M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126-131.
9. Cavill, N., Kahlmeier S., e Racioppi, F. (2006). *Physical activity and health in Europe: evidence for action*. Copenhagen: Organizzazione Mondiale della Sanità, Ufficio Regionale per l'Europa. Disponibile su https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/87545/E89490.pdf.
10. Chang, Y., K., Etnier, J., L., Gapin, J., I., e Labban, J., D. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101.
11. Chmura, J., Nazar, K., e Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 172–176.

12. *Coburn, J., W., e Malek, M., H. (2011). *NSCA's Essentials of Personal Training*. Human Kinetics (p. 358). Champaign, IL: Human Kinetics.
13. Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., et al. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, *101*, 3316–3321.
14. Colcombe, S., J., e Kramer, A., F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychol. Sci.* *14*(2), 125–130.
15. Colcombe, S., J., Erickson, K., I., Raz, N., Webb, A., G., Cohen, N., J., McAuley, E., e Kramer, A., F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *The Journals of Gerontology: Series A*, *58*(2), 176-180.
16. *Corbin, C., B., Dowell, L., J., Ruth, L., e Tolson, H. (1981). *Concepts in physical education, with laboratories and experiments*. Dubuque, IA: W. C. Brown Company.
17. Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., Grafman, J., H. (2019). Executive functions. In D'Esposito, M., e Grafman, J., H. (Cur.), *Handbook of Clinical Neurology*, *163* (pp. 197-219). N.D.: Elsevier.
18. Dalley, J., W., Theobald, D., E., Bouger, P., Chudasama, Y., Cardinal, R., N., e Robbins, T., W. (2004). Cortical cholinergic function and deficits in visual attentional performance in rats following 192 IgG–saporin-induced lesions of the medial prefrontal cortex. *Cereb. Cortex*, *14*, 922-932.
19. *De Gangi, G., e Porges, S. (1990). *Neuroscience Foundations of Human Performance*. Rockville, MD: American Occupational Therapy Association Inc.
20. De Mei, B., Cadeddu, C., Luzi, P., e Spinelli, A. (2018). *Movimento, sport e salute: l'importanza delle politiche di promozione dell'attività fisica e le ricadute sulla collettività*. Roma: Istituto Superiore di Sanità, Rapporti ISTISAN 18/9.
21. Dell'Acqua, R. (2016). Attenzione e coscienza. In Girotto, V., e Zorzi, M. (Cur.), *Manuale di psicologia generale* (pp. 130-135). Bologna: il Mulino.
22. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135-68.
23. Dizionario di Medicina (2010). Voce *Psicologia cognitiva*. Disponibile su https://www.treccani.it/enciclopedia/psicologia-cognitiva_%28Dizionario-di-Medicina%29/.
24. Dolezal, B., A., Neufeld, E., V., Boland, D., M., Martin, J., L., e Cooper, C., B. (2017). Interrelationship between Sleep and Exercise: A Systematic Review. *Advances in Preventive Medicine*, 2017. doi: [10.1155/2017/1364387](https://doi.org/10.1155/2017/1364387)

25. Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2008). Voce *Arousal*. Disponibile su https://www.treccani.it/enciclopedia/arousal_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/.
26. *Eriksen, B., A., e Eriksen, C., W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143-149.
27. Erickson, K., I., Voss, M., W., Prakash, R., S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J., S., Heo, S., Alves, H., White, S., M., Wojcicki, T., R., Mailey, E., Vieira, V., J., Martin, S., A., Pence, B., D., Woods, A., J., McAuley, E., e Kramer, A., F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Acad. of Sciences*, 108(7), 3017-3022.
28. Fabio, R., A., e Marcantoni, M. (2008). *L'attenzione. Fisiologia, patologie e interventi riabilitativi* (pp. 13-22). Milano: FrancoAngeli.
29. Fenesi, B., Lucibello, K., Kim, J., A., e Heisz, J., J. (2018). Sweat so you don't forget: Exercise breaks during a University Lecture increase on-task attention and learning. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 7(2), 261–269.
30. Ferris, L., T., Williams, J., S., e Shen, C., L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Med Sci Sports Exerc.*, 39(4), 728-734.
31. Fleck, S., J., e Kraemer, W., J., (2014). *Designing Resistance Training Programs* (pp. 1-4). Champaign, IL: Human Kinetics.
32. Gerbino, W. (2016). Percezione e azione. In Giroto, V., e Zorzi, M. (Cur.), *Manuale di psicologia generale* (p. 31). Bologna: il Mulino.
33. Giuriato, M., e Lovecchio., N. (2020). Cosa sono le funzioni esecutive: analisi, riscontri e legami nello sport. *Formazione & Insegnamento XVIII – 2*, 50-63.
34. Goel, N., Basner, M., e Dinges, D., F. (2015). Phenotyping of Neurobehavioral Vulnerability to Circadian Phase During Sleep Loss. In Sehgal, A. (Cur), *Methods in Enzymology*, 552, Part B (pp. 285-308). Amsterdam, NL: Elsevier Academic Press.
35. Gonzalez-Fernandez, F., Etnier, J., Zabala, M., e Sanabria, D. (2017). Vigilance performance during acute exercise. *International Journal of Sport Psychology*, 48, 1-00. doi: 10.7352/IJSP 2017.48.
36. Hogervorst, E., Riedel, W., Jeukendrup, A., e Jolles, J. (1996). Cognitive performance after strenuous physical exercise. *Perceptual and Motor Skills*, 83, 479–488.

37. Huettel, S., A., e McCarthy, G. (2004). What is odd in the oddball task?: Prefrontal cortex is activated by dynamic changes in response strategy. *Neuropsychologia*, *42*, 379-386.
38. Johnston, B. (2018, Giugno). Panoramica sull'esercizio fisico. *Manuale MSD. Versione per i professionisti*. Disponibile su <https://www.msmanuals.com/it-it/professionale/argomenti-speciali/esercizio/panoramica-sull-esercizio-fisico>.
39. Johnston, B. (2021, Agosto). Avvio di un programma di allenamento. *Manuale MSD. Versione per i pazienti*. Disponibile su <https://www.msmanuals.com/it-it/casa/aspetti-fondamentali/attivita%20e-forma-fisica/avvio-di-un-programma-di-allenamento>.
40. Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Wasaka, T., Kida, T., e Kuroiwa, K. (2004). Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system. *Eur J Appl Physiol.*, *92*(3), 305-311.
41. Kamijo, K., e Takeda, Y. (2010). Regular physical activity improves executive function during task switching in young adults. *Int. J. Psychophysiol.* *75*, 304–311.
42. *Kramer, A., F., Strayer, D., L. (1988). Assessing the development of automatic processing: an application of dual-task and event-related brain potential methodologies. *Biol Psychol*, *26*, 231–36.
43. *Laird, A., R., McMillan, K., M., Lancaster, J., L., Kochunov, P., Turkeltaub, P., E., Pardo, J., V., e Fox, P., T. (2005). A comparison of label-based review and ALE meta-analysis in the Stroop task. *Human Brain Mapping*, *25*(1), 6–21.
44. Lambourne, K., e Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Research*, *1341*, 12–24.
45. *Levitt, S., e Gutin, B. (1971). Multiple choice reaction time and movement time during physical exertion. *Research Quarterly*, *42*, 405–411.
46. López Sáez de Asteasu, M., Martínez-Velilla, N., Zambom-Ferraresi, F., Casas-Herrero, A., e Izquierdo, M. (2017). Role of physical exercise on cognitive function in healthy older adults: A systematic review of randomized clinical trials. *Ageing Research Reviews*, *37*, 117–134.
47. Ma, J., K., Le Mare, L., e Gurd, B., J. (2014). Classroom-based high-intensity interval activity improves off-task behaviour in primary school students. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *39*(12), 1332-1337.

48. Makris, N., Kennedy, D., N., McInerney, S., Sorensen, A., G., Wang, R., Caviness, Jr, V., S., e Pandya, D., N. (2005). Segmentation of Subcomponents within the Superior Longitudinal Fascicle in Humans: A Quantitative, *In Vivo*, DT-MRI Study. *Cerebral Cortex*, 15, 854–869.
49. Malim, T., (1995). *Processi cognitivi. Attenzione, percezione, memoria e pensiero* (pp. 8-9). Trento: Erickson.
50. Manly, T., Robertson, I., H. (2005). The Sustained Attention to Response Test (SART). In Itti, L., Rees, G., Tsotsos, J., K. (Cur.), *Neurobiology of Attention* (pp. 337-338). N. D.; Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012375731-9/50059-8>.
51. Neeper, S., A., Gomez-Pinilla, F., Choi, J., e Cotman, C. (1995). Exercise and brain neurotrophins. *Nature*, 373, 109.
52. Organizzazione Mondiale della Sanità (2021). *Physical activity Fact Sheet*. Disponibile su <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HEP-HPR-RUN-2021.2>.
53. Park, D., C., e Festini, S., B. (2017). Theories of Memory and Aging: A Look at the Past and a Glimpse of the Future. *The Journals of Gerontology: Series B*, 72(1), 82–90.
54. Physical Activity Guidelines Advisory Committee (2018). *2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report*. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services. Disponibile su https://health.gov/sites/default/files/2019-09/PAG_Advisory_Committee_Report.pdf.
55. Picton, T., W. (1992). The P300 Wave of the Human Event-Related Potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9(4), 456-79.
56. *Plowman, S., A, e Smith, D., L (2003). *Exercise Physiology: for Health, Fitness, and Performance*. Glenview, IL: Benjamin Cummings.
57. Pontifex, M., B., Parks, A., C., Henning, D., A., Kamijo, K. (2015). Single bouts of exercise selectively sustain attentional processes. *Psychophysiology*, 52(5), 618–625.
58. Querido, J., S, e Sheel, A., W. (2007). Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports Medicine*, 37, 765–782.
59. Radel, R., Tempest, G., D., e Brisswalter, J. (2018). The long and winding road: Effects of exercise intensity and type upon sustained attention. *Physiology & Behavior*, 195, 82-89.

60. *Raglin, J., S. (1990). Exercise and mental health. Beneficial and detrimental effects. *Sports Med.*, 9(6), 323-329.
61. *Salmela, J., H., e Ndoye, O., D. (1986). Cognitive distortions during progressive exercise. *Perceptual and Motor Skills*, 63, 1067–1072.
62. *Sara, S., J., e Bouret, S. (2012). Orienting and reorienting: the locus coeruleus mediates cognition through arousal. *Neuron*, 76(1), 130–141.
63. Smiley-Oyen, A., L., Lowry, K., A., Francois, S., J., Kohut, M., L., e Ekkekakis, P. (2008). Exercise, fitness, and neurocognitive function in older adults: the selective improvement and cardiovascular fitness hypotheses. *Ann. Behav. Med.* 36, 280–291.
64. Stablum, F. (2002). *L'attenzione*. Roma: Carocci.
65. Stebbins, G., T. (2007). Neuropsychological Testing. In Goetz, C., G. (Cur.), *Textbook of Clinical Neurology* (pp. 539-557). N.D.: Saunders Elsevier.
66. Stroop, J., R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662.
67. Swain, D., P., Abernathy, K., S., Smith, C., S., Lee, S., J., e Bunn S., A. (1994). Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(1), 112-116.
68. Tarumi, T., Tomoto, T., Repshas, J., Wang, C., Hyan, L., S., Munro Cullum, M., Zhu, D., C., e Zhang, R. (2021). Midlife aerobic exercise and brain structural integrity: Associations with age and cardiorespiratory fitness. *NeuroImage*, 225, 117512. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.117512.
69. Tomporowski, P. (2003b). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112, 297–324.
70. Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., Isaka, T., e Hashimoto, T. (2016). Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiology & Behavior*, 155, 224–230
71. Turatto, M. (2004). Attenzione e coscienza. In Girotto, V., e Zorzi, M. (Cur.). *Fondamenti di psicologia generale* (pp.105-106). Bologna: il Mulino.
72. Verburch, L., Königs, M., Scherder, E. J., e Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta analysis. *Br. J. Sports Med.*, 48, 973–979.
73. Walker, B. (2007). *The Anatomy of Stretching* (pp. 12-16). Chichester, EN: Lotus Publishing.

74. Warburton, D., E., R., Nicol, C., W., e Bredin, S., S., D. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174(6), 801–809.
75. Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., e Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *NeuroImage*, 50, 1702–1710.
76. *Yerkes, R., M., e Dodson, J., D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459–482.
77. Zoladz, J., A., Pilc, A., Majerczak, J., Grandys, M., Zapart-Bukowska, J., e Duda, K. (2008). Endurance training increases plasma brain-derived neurotrophic factor concentration in young healthy men. *J. Physiol. Pharmacol.*, 59, 119–132.
78. Zorzi, M., (2016). Metodi. In Giroto, V., e Zorzi, M. (Cur.), *Manuale di psicologia generale* (pp. 20-21). Bologna: il Mulino.

* = opere non direttamente consultate.