

Il contributo dell'attività fisica su cognizione e apprendimento

The contribution of physical activity on cognition and learning

Anna Maria Mariani

Università degli Studi Niccolò Cusano - Telematica Roma - annamaria.mariani@unicusano.it

Luigi Piceci

Università degli Studi Niccolò Cusano - Telematica Roma - luigi.piceci@unicusano.it

Francesco Melchiori

Università degli Studi Niccolò Cusano - Telematica Roma - francesco.melchiori@unicusano.it

ABSTRACT

The motor approach can be a way that integrates itself or that presents itself as an alternative for the maintenance of cognitive abilities. More scientific research documents how motor activity has psycho-physical benefits on the individual. In Italy and in Europe, teaching physical activity in schools of all levels seems to have given it less importance than other school subjects. In this study there are some aspects of improvement in the cognitive field in relation to the consumption of oxygen linked to light motor activity with the aim of laying the foundations for a subsequent analysis on a broader spectrum, both with respect to the cognitive abilities examined and with respect to the specificity of motor activity. This is a pilot study carried out on a sample of University students to Università Niccolò Cusano di Roma, using the "Lexical research and production test", verifying the results with or without an aerobic activity performed on the treadmill.

L'approccio motorio può essere una strada che si integra o che si pone come alternativa per il mantenimento delle capacità cognitive. Sempre più ricerche scientifiche documentano come l'attività motoria abbia dei benefici psico-fisici sull'individuo. Di contro, in Italia ed in Europa, l'insegnamento dell'attività motoria nelle scuole di ogni ordine e grado sembra le abbia attribuito un'importanza minore rispetto alle altre materie. In questo studio si presentano alcuni aspetti migliorativi in campo cognitivo in relazione al consumo di ossigeno legato ad un'attività motoria lieve, con il fine di porre le basi per una successiva analisi a più ampio spettro, sia rispetto alle capacità cognitive prese in esame che rispetto alla specificità dell'attività motoria. Si tratta di uno studio pilota effettuato su un campione di studenti Universitari dell'Università Niccolò Cusano di Roma utilizzando il "Test di ricerca e produzione lessicale" verificandone i risultati con o senza un'attività aerobica effettuata sul tapis roulant.

KEYWORDS

physical activity, oxygen consumption, learning, fluency, cognitive abilities
attività fisica, consumo ossigeno, apprendimento, fluenza, capacità cognitive

- * Il manoscritto è il risultato di un lavoro collettivo degli autori i cui specifici contributi sono da afferire come segue: Anna Maria Mariani paragrafo 2; Luigi Piceci paragrafi 1; 3.1; Francesco Melchiori paragrafi 3, 3.2; Le conclusioni sono state realizzate da Anna Maria Mariani e Luigi Piceci.

1. Introduzione

Esiste la tendenza generalizzata in Italia e nei paesi europei di attribuire all'insegnamento dell'educazione fisica nelle scuole, di qualsiasi ordine e grado, un'importanza minore rispetto ad altre materie come la matematica, le lingue, le scienze. Questo aspetto risulta preoccupante se messo in relazione con quanto affermato negli ultimi anni dalle neuroscienze cognitive, le quali sostengono che gran parte dei processi cognitivi e linguistici si radicano nelle interazioni percettive e fisiche del corpo umano con il mondo (Barsalou, 2008). Non va poi dimenticata la pericolosa tendenza alla sedentarietà da parte di giovani e adulti. In Europa, infatti, oltre un terzo della popolazione adulta e due terzi degli adolescenti non svolgono abbastanza attività fisica. In ultimo, si assiste a un aumento dell'età media dovuto a una maggiore longevità, in conseguenza della quale si ha un incremento delle patologie che sono in relazione con le capacità cognitive e con il loro deperimento. In particolare, la demenza è una delle più grandi sfide del nostro tempo. Nel 2015 erano circa 47 milioni le persone in stato di demenza a livello mondiale e le previsioni parlano di un incremento fino a 66 milioni entro il 2030 e 115 milioni entro il 2050. Il deperimento delle capacità cognitive non è da mettere in relazione solo con l'età, in quanto esistono fattori scatenanti che afferiscono allo stile di vita. In questo campo, il voler evitare un percorso farmacologico, ha visto la nascita di studi che seguono la strada dell'approccio motorio, visto come uno strumento di mantenimento delle capacità cognitive e, quindi, rallentamento della patologia.

I benefici generali dell'attività motoria sulla salute psico-fisica sono ben documentati. Le ricerche in medicina si sono concentrate sui benefici di uno stile di vita attivo sia a livello individuale che sociale. L'attività motoria praticata con regolarità svolge un ruolo di primaria importanza nella prevenzione delle malattie cronico degenerative. Una meta-analisi (Thomas, Elliot, Naughton, 2009) e una revisione sistematica (Orozco, Buchleitner, Gimenez-Perez, Roqué, Richer, Mauricio, 2008) della Cochrane Database of Systematic Reviews, dimostrano che l'esercizio fisico migliora il controllo glicemico e riduce il tessuto adiposo viscerale e i trigliceridi plasmatici (ma non il colesterolo plasmatico) nelle persone con diabete di tipo due, anche senza perdita di peso. Inoltre, l'esercizio fisico, combinato con una corretta alimentazione, diminuisce l'incidenza di diabete mellito di tipo due su persone con alterata tolleranza al glucosio o sindrome metabolica. In "Harvard Alumni Health Study" (Sesso, Paffengarger, I-Min, 2000), è stata evidenziata la correlazione tra attività fisica e rischio di malattie cardiovascolari. Lo studio ha evidenziato che i soggetti che praticavano più attività fisica hanno beneficiato, nel tempo, di una ridotta mortalità cardiovascolare (circa il 20 per cento in meno del campione), tra i soggetti con attività fisica settimanale elevata (più di 12.600 kjoule) rispetto a quelli con attività ridotta o assente (meno di 2.100 kjoule). Si può affermare che una regolare attività fisica, soprattutto se di tipo aerobico, è importante nel prevenire lo sviluppo di coronaropatie e nel ridurre la pressione arteriosa (Elmer, Grimm, Laing, Grandits, Svendsen, Van Heel, Betz, Raines, Kink, Stamler, 1995).

Negli ultimi anni, vi è una crescente attenzione ai benefici che la partecipazione ad attività sportive e, più in generale, al movimento può dare su altri aspetti della vita delle persone, incluso il benessere mentale, le relazioni e interazioni sociali, la cognizione e il livello di istruzione. Questo articolo vuole avere un focus specifico su questi aspetti, portando un contributo che alimenti l'attenzione della comunità scientifica e degli organi istituzionali sull'importanza dell'insegnamento

e pratica dell'educazione fisica nelle scuole di ogni ordine e grado, anche a livello universitario, perché questo, oltre a portare benefici a livello fisico può avere una influenza importante sul benessere psicologico e sull'apprendimento di materie scientifiche e letterarie ma anche di competenze trasversali. A questo scopo, dopo una disamina della letteratura scientifica su questi temi, vengono presentati i risultati di uno studio pilota effettuato su studenti dell'Università Niccolò Cusano di Roma.

2. Cognizione, apprendimento e movimento fisico

Il termine cognizione si riferisce ai processi intellettivi superiori come il pensiero, la memoria, le capacità deduttive, il problem solving, l'attenzione e i processi percettivi complessi (Gutchess, 2014), che coordinano le rappresentazioni mentali di principi, procedure, nozioni dominio-specifici necessarie e funzionali alle capacità adattive. I livelli di competenza cognitiva influenzano l'apprendimento di abilità sempre più specifiche come la lettura, il calcolo, la scrittura, garantendo efficienza e stabilità ai processi di pianificazione, controllo e coordinazione delle abilità mentali. Nella concettualizzazione dell'apprendimento, come acquisizione delle abilità scolastiche, negli ultimi anni hanno assunto un ruolo importante alcuni processi cognitivi come l'attenzione e la memoria di lavoro che rientrano tra quelle funzioni superiori definite con il nome di funzioni esecutive (FE). In particolare, tali funzioni esecutive rendono possibile sostenere l'attenzione, definire e mantenere in mente obiettivi, tollerare la frustrazione, inibire comportamenti automatici, riflettere sulle esperienze passate e pianificare per il futuro. Blair e Razza (2007) hanno evidenziato come l'effetto delle funzioni esecutive sulla capacità di apprendimento può essere superiore anche al livello cognitivo.

Gathercole e altri hanno dimostrato in diversi studi che, tra i 7 e i 14 anni, i ragazzi che hanno un punteggio mediocre nelle misurazioni della memoria di lavoro legata alle abilità esecutive, hanno una performance inferiore agli standard anche nelle prove curriculari nazionali in Gran Bretagna per Inglese, Matematica e Scienze (Gathercole, Brown, & Pickering, 2003; Gathercole & Pickering, 2000; Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004; Jarvis & Gathercole, 2003).

Tra le funzioni menzionate, gli studi di Gathercole e altri (2004) e di Swanson e Howell (2001) hanno evidenziato come la memoria di lavoro fonologica e la visuo-spaziale abbiano un valore predittivo sulle abilità di lettura e sembrano essere coinvolte anche nella composizione del testo, anche se il loro ruolo sulle componenti ortografiche e sintattiche non è certo (Olive et al., 2008; Raulerson et al., 2010). La memoria di lavoro verbale svolge, invece, un ruolo significativo nella comprensione del testo, grazie all'utilizzo della struttura sintattica per comprendere il significato di un periodo (Hickok e Rogalsky, 2011).

La memoria di lavoro sembra svolgere un ruolo rilevante anche nelle abilità di calcolo (Geary 2004; Geary et al., 2012; Swanson et al., 2001): nella fase di acquisizione del contare, nell'acquisizione dei fatti numerici e nel problem solving matematico.

Anche l'inibizione rappresenta una componente importante per l'apprendimento, in particolare, della matematica e del lessico. Secondo Blair e Razza (2007) la capacità auto regolativa è un importante prerequisito per l'apprendimento, che spiega il 12% della varianza nell'acquisizione delle prime abilità matematiche (Espy et al., 2004).

Le funzioni esecutive consentono agli studenti non solo di apprendere in modo più efficace, ma anche di elaborare il contenuto che hanno appreso in

classe e di applicarlo a un esame o alla loro vita quotidiana. Possiamo dire che le funzioni esecutive, così intese, si sovrappongono considerevolmente all'abilità di ragionamento o a quella che viene definita intelligenza fluida (Ackerman, Beier e Boyle 2005; Kane, Hambrick e Conway 2005). Secondo alcune ricerche, esse sono essenzialmente identiche all'intelligenza fluida (Kyllonen e Christal, 1990). Già nel 1989, Mischel e altri hanno evidenziato come il livello delle funzioni esecutive misurato durante l'infanzia è in grado di prevedere il rendimento scolastico e la competenza sociale nell'adolescenza. A questo, altri autori hanno aggiunto la possibilità di prevedere un'ampia gamma di risultati importanti, inclusa la preparazione per la scuola (McClelland et al. 2007), la transizione riuscita dall'asilo (Blair e Razza, 2007) e meno problemi legati all'uso di droghe e a condanne penali (Moffitt et al., 2011).

Da un punto di vista anatomico, le funzioni di memoria di lavoro, flessibilità, controllo inibitorio, attenzione sono associate con alcune regioni della corteccia prefrontale a volte distinte, a volte sovrapposte. Queste includono aree dorsali, laterali ventrali e mediane della corteccia prefrontale, oltre che la corteccia cingolata anteriore, adiacente alla parte prefrontale. Numerosi studi con le neuroimmagini hanno dimostrato come tutte queste aree sono risultate attive in adulti che completano compiti che includono la ritenzione di informazioni in memoria, l'inibizione di una risposta in favore di un'altra e lo shifting tra due compiti o problemi. Inoltre, la corteccia prefrontale è strettamente connessa con molte aree del cervello consentendo una regolazione molto rapida di alcune attività come quelle associate al linguaggio, alla memoria, all'attenzione e alle risposte motorie. In particolare, la parte orbitomediale riceve informazioni dall'ambiente interno, grazie alle connessioni con la corteccia cingolata anteriore e le afferenze dalle strutture sottocorticali come i gangli della base, che sono importanti per i modelli di apprendimento e le routine, e l'amigdala, che è importante per le emozioni e la risposta allo stress. Tali strutture sottocorticali sono direttamente legate alla regolazione delle emozioni e alla risposta allo stress, rilevanti nello sviluppo delle abilità cognitive e nella loro relazione con i risultati educativi.

Le evidenze scientifiche degli ultimi anni affermano che il livello di attività fisica è in relazione significativa con l'incremento o il mantenimento, contingente o di lunga durata, delle capacità cognitive, sia nei bambini e adolescenti, sia negli adulti.

Molte ricerche documentano gli effetti dell'attività fisica sulle funzioni cognitive. Sibley e Etnier (2003), nella loro meta-analisi effettuata su 44 studi, hanno evidenziato come l'attività fisica sia positivamente associata a migliori abilità cognitive nei ragazzi. In particolare, i ragazzi dagli 11 ai 13 anni sembrano beneficiare maggiormente della pratica dell'attività fisica. Brisswalter e altri (2002), dopo l'analisi di alcuni studi sugli effetti dell'esercizio fisico su compiti specifici, hanno concluso che per avere miglioramenti nelle performance di compiti decisionali, l'intensità ottimale da raggiungere copre un ampio raggio (~40–80% VO max). Inoltre, Tomporowski (2003) ha aggiunto che la durata ottimale dovrebbe essere uguale o superiore ai venti minuti.

Altri studi importanti hanno evidenziato che l'esercizio fisico influenza positivamente molti processi cognitivi, come la velocità (Dustman et al., 1994), il controllo esecutivo (Kramer et al., 1999), e le abilità visuospaziali (Shay and Roth, 1992). Inoltre, negli ultimi anni la ricerca scientifica per la definizione di una relazione tra attività fisica e risultati scolastici è aumentata in modo sostanziale. Molti sono gli studi che hanno evidenziato un collegamento tra attività fisica integrata nell'orario scolastico, la quantità di attività e l'aspetto aerobico della stessa, da un lato e i risultati dei singoli ai test standardizzati di diverse materie. In particolare, gli effetti positivi del-

L'attività fisica sono stati riscontrati in particolare su test di tipo matematico. Donnelly e altri (2011) hanno dimostrato che aggiungendo 90 minuti di attività fisica, da moderata a vigorosa, durante l'orario scolastico settimanale, in sessioni di 10 minuti, comporta un miglioramento dei risultati a test specifici su matematica, lettura, ortografia e composizione nell'arco di tre anni su bambini di scuola primaria. In uno studio su 155 studenti delle elementari portato avanti da Reed e altri (2010), grazie a 30 minuti di attività fisica integrata nell'orario scolastico per tre giorni a settimana su un periodo di quattro settimane, sono stati registrati risultati migliori rispetto al gruppo di controllo sui test standardizzati di materie umanistiche e sociali, nonché una correlazione positiva con l'intelligenza fluida che definisce l'abilità di ragionamento astratto e veloce. Lo studio di Davis e altri (2011), condotto su ragazzi dai 7 agli 11 anni, suddivisi in 3 gruppi (un gruppo di controllo, un gruppo con 30 minuti di attività aerobica giornaliera e un terzo gruppo con 40 minuti di attività aerobica giornaliera) ha evidenziato una correlazione positiva tra aumento dell'attività aerobica, 40 minuti, e migliori risultati in matematica ma non nella lingua madre. Sempre in un campione della stessa età (7-11 anni), lo studio di Kamijo e altri (2011) ha evidenziato come un'attività da moderata a vigorosa per 70 minuti giornalieri porta a un miglioramento dell'accuratezza delle risposte nei test di memoria rispetto alla non attività e come tali benefici sono maggiori tanto maggiore è la complessità del compito di memoria richiesto.

Per quanto riguarda le evidenze scientifiche relativamente ai benefici di un'attività fisica sull'apprendimento e, più in generale sulle capacità cognitive, di studenti universitari i contributi sono minori. Interessante è lo studio di Dubuc e altri (2017) che ha valutato 100 donne con età media di 24 anni dell'Università del Quebec in Canada, mostrando una relazione significativa tra risultati accademici e consumo di VO₂ max. Un ulteriore studio, che ha messo in relazione l'esercizio aerobico e le funzioni cognitive, in particolare la memoria visuale (Maureira et al., 2015), ha evidenziato come un esercizio aerobico di 30 minuti ha migliorato le prestazioni nella memoria visuale di studenti universitari cileni. Un'interessante ricerca di Kayani e altri (2018) ha evidenziato una correlazione positiva tra attività fisica, risultati accademici e autostima. In particolare, è stato evidenziato come l'autostima sia il mediatore tra attività fisica e risultati accademici.

Di Corrado e La Paglia (2012), nel loro studio su adolescenti tra i 14 e i 18 anni, hanno evidenziato che l'attività aerobica è associata a un miglioramento nell'esecuzione di compiti sotto pressione temporale, nell'inibizione delle risposte e nella riduzione delle interferenze dell'automatizzazione. Inoltre, è stato rilevato una riduzione nel fattore di distraibilità, conseguentemente al potenziamento dei meccanismi di vigilanza e di concentrazione.

Le ricerche (Trudeau & Shephard, 2008; Hillman, Castelli & Buck, 2005) mostrano che il movimento fisico può influenzare la fisiologia del cervello, incrementando il flusso sanguigno, l'ossigenazione, la crescita di cellule nervose nell'ippocampo, centro della memoria e dell'apprendimento (Pereira et al., 2007; Erickson et al., 2011; Maass et al., 2014; Niemann et al., 2014; Thomas et al., 2016) e nelle aree frontali (Colcombe et al., 2006; Erickson et al., 2010; Flöel et al., 2010; Voss et al., 2013; Oberlin et al., 2016), i livelli dei neurotrasmettitori, lo sviluppo di connessioni nervose e molto altro. Altri studi mostrano un'associazione positiva tra esercizio aerobico, ippocampo e performance della memoria episodica (Erickson et al., 2009), ma anche tra attività aerobica, funzioni esecutive e volume della materia grigia prefrontale (Erickson et al., 2007; Weinstein et al., 2012) nonché struttura della materia bianca (Voss et al., 2013; Oberlin et al., 2016). Weinstein (2012) nel suo studio su 179 adulti tra i 58 e gli 81 anni ha dimostrato che una maggiore

frequenza cardiorespiratoria è associata a performance migliori sia nello Stroop Test sia nella Memoria di Lavoro Spaziale e che tale miglioramento è mediato da un maggior volume di materia grigia in numerose aree del cervello. In particolare, il volume della materia grigia nel giro frontale inferiore destro e nel giro precentrale mediano in modo significativo la relazione tra frequenza cardiorespiratoria e interferenze nello Stroop test, mentre il volume di materia grigia di entrambe i lati nel giro frontale mediale e nel giro cingolato posteriore mediano l'associazione tra frequenza cardiorespiratoria e l'accuratezza nel test di memoria di lavoro spaziale. A livello molecolare, le ricerche degli ultimi anni hanno evidenziato che l'attività motoria aerobica stimola il "Fattore Neurotrofico di Derivazione Cerebrale" (BDNF). Il BDNF agisce su determinati neuroni del sistema nervoso centrale e del sistema nervoso periferico, contribuendo a sostenere la sopravvivenza dei neuroni già esistenti, e favorendo la crescita e la differenziazione di nuovi neuroni e sinapsi. Nel cervello, il BDNF è maggiormente attivo nell'ippocampo, nella corteccia cerebrale, e prosencefalo basale - aree vitali per l'apprendimento, la memoria e il pensiero cognitivo. In uno studio condotto in laboratorio con i ratti, è stato dimostrato che l'attività fisica può incrementare la disponibilità di BDNF nelle cellule dell'ippocampo e della neocorteccia caudale, grazie a una maggior espressione del fattore nell'ippocampo (Neeper e al., 1995).

3. La metodologia e lo studio sperimentale

Lo studio è stato effettuato presso il laboratorio HERACLE dell'Università Niccolò Cusano di Roma, diretto dal Prof. Francesco Peluso Cassese, avvalendosi della struttura sportiva presente nell'università stessa che ha curato anche la fase di reclutamento dei partecipanti su base volontaria.

Previa compilazione del modulo di consenso informato e per il trattamento dei dati personali, 26 soggetti, tutti studenti universitari, sono stati sottoposti a due rilevazioni distinte in giorni consecutivi:

- Giorno 1: rilevazione dei dati basali a riposo e successiva immediata somministrazione di un test cognitivo;
- Giorno 2: prova sotto sforzo su tapis roulant e successiva immediata somministrazione di un test cognitivo con categorie differenti dal Giorno 1.

La media delle variabili ritenute caratterizzanti per il gruppo di partecipanti allo studio non si discostano significativamente dai valori medi della popolazione di riferimento: femmine (46%), età (M=24 e DS=3,5), Peso in Kg (M=63,96 DS=9,5), Altezza in cm (M=172,3 DS=7,9).

La prima ipotesi di ricerca elaborata suppone un miglioramento delle prestazioni dei soggetti ai test cognitivi a seguito della prova sotto sforzo, riuscendo a replicare risultati già ottenuti da studi precedenti. La seconda ipotesi da verificare afferma che il livello di VO₂Max dei soggetti sia un predittore del cambiamento nelle variabili criterio, assumendola quindi come variabile esplicativa all'interno del modello lineare di previsione. Inoltre, è intento di questo studio indagare la relazione di: genere (GENDER), età (AGE), Body Mass Index (BMI) con ciascuna variabile dipendente, ovvero con i due punteggi alle due scale di Fluenza Lettera e Categoria.

3.1. Misure

Test Cognitivo

Lo strumento somministrato è il “Test di ricerca e produzione lessicale” (Novelli, Papagno, Capitani, Laiacona, Vallar, Cappa, 1986), che richiede al soggetto di elencare delle parole per categorie fonemiche e semantiche proposte dallo sperimentatore nel tempo di un minuto. È stato richiesto al partecipante di elencare le parole riferite a una singola lettera e a una singola categoria semantica. In questo modo viene sollecitata sia una componente linguistica sia una componente di “fluenza” basata su competenze non linguistiche, come l’attenzione selettiva e la rapidità, necessarie per la ricerca e il recupero degli elementi nella memoria semantica (Perret, 1974), e il Sistema Attentivo Supervisore, necessario per il controllo del linguaggio, come evidenziato da Posner e di Girolamo (2000). I punteggi grezzi ottenuti dai partecipanti sono stati corretti in base alle indicazioni del manuale del test in relazione all’età e agli anni di studio individuali.

Parametri fisiologici

La rilevazione del metabolismo basale e del consumo di VO₂Max è stata effettuata con lo strumento COSMED FitMate PRO45, un metabolimetro elettronico da tavolo appositamente sviluppato per la rilevazione del consumo di ossigeno sia in ambito clinico che per la valutazione sportiva.

Per la rilevazione degli stessi parametri sotto sforzo, si è utilizzato il tapis-roulant MATRIX T50x Treadmill.

La rilevazione del metabolismo basale è stata effettuata, collocando il soggetto a riposo su un lettino, in una stanza in penombra, per la durata di 15 minuti.

Il consumo di ossigeno VO₂Max, e i parametri relativi, sono stati rilevati il secondo giorno, durante il movimento aerobico dei partecipanti su un tapis-roulant. È stato richiesto ai soggetti di camminare a passo veloce, o corsa leggera, per un tempo di venti minuti. La velocità del tapis roulant è stata aumentata, dopo tre minuti di riscaldamento iniziali, fino a portare la ventilazione espiratoria (Ve l/min) al 50% e mantenendo tale rapporto almeno negli ultimi 5 minuti della prova.

3.2. Principi generali ed etici

Il presente disegno di ricerca, pur non riguardando un ambito prettamente medico, è stato progettato e portato avanti rispettando le indicazioni previste nella Dichiarazione di Helsinki del 2013. I partecipanti sono stati informati sulle attività previste e sugli eventuali rischi ad esse legati. Gli stessi hanno firmato un consenso informato. Tutte le attività sono state svolte nel rispetto degli standard di sicurezza, in ambienti sicuri, prendendo le precauzioni previste relativamente all’attività su tapis roulant. Durante il protocollo di intervento non è stata prevista la presenza di un medico, in quanto l’attività aerobica pianificata non prevedeva il superamento della soglia massima di VO₂max, rimanendo a una ventilazione espiratoria massima al 50%. In ogni caso, il lavoro è stato svolto con la supervisione del Prof. Luca Impara, MD.

È stata presa ogni precauzione per proteggere la privacy dei soggetti coinvolti nella ricerca e la riservatezza dei loro dati. Gli stessi hanno firmato una liberatoria per l’utilizzo dei dati secondo quanto previsto dalla vigente legge italiana ed europea.

3.3. Risultati

È stato effettuato lo screening dei dati, propedeutico alle analisi successive, per l'individuazione di scostamenti significativi dei dati dalla normalità¹ e per l'individuazione di outliers e punteggi distorti (scarsa motivazione e incompletezza delle risposte) senza che fossero evidenziati bias.

Per verificare la prima ipotesi è stato condotto un T-test monodirezionale per campioni dipendenti, per comparare le medie delle due somministrazioni dei test, ovvero accettare l'ipotesi formale:

$$H_1: \mu_2 > \mu_1$$

Come ipotizzato, è stato rilevato un aumento statisticamente significativo del punteggio al test di produzione lessicale "lettera" nella somministrazione post prova sotto sforzo ($M = 16$ $DS = 5.564$) rispetto a quella a riposo ($M = 16$ $DS = 5.564$), $t(25) = 8.586$, $p = .001$. I risultati ottenuti supportano anche il miglioramento del punteggio medio dei partecipanti al subtest sulla fluenza "Categoria" ($M = 21.115$ $DS = 6.52$) rispetto al primo giorno ($M = 13.385$ $DS = 4.544$), $t(25) = 7.269$, $p = .001$.

Un ulteriore elemento di rilievo è dato dalla dimensione dell'effetto registrata in entrambi i confronti, e valutata secondo i criteri definiti da Cohen (1988) come estremamente elevata, rispettivamente $d = 1.684$ e $d = 1.426$.

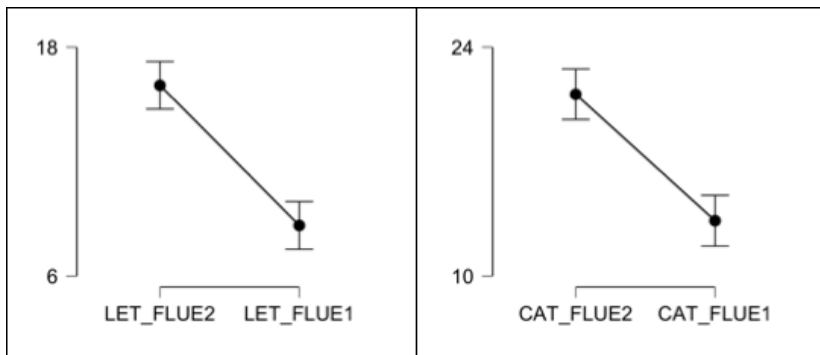


Figura 1 Diagrammi dei confronti tra campioni dipendenti con intervalli di confidenza al 95%

Per la verifica della seconda ipotesi è stata condotta una regressione multipla con l'obiettivo di determinare quanta variazione del punteggio a ciascun test è spiegata dalle variabili indipendenti determinate in base alla letteratura di riferimento, in particolare il contributo relativo al consumo di ossigeno (variabile VO2_MAX) secondo il modello completo seguente:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + e$$

- 1 Il test di normalità di Shapiro-Wilk per il T-test del confronto fluenza lettera ha presentato una lieve scostamento dalla normalità, che in ogni caso è stato valutato come non influente data la robustezza dello specifico test statistico (Havlicek & Peterson, 1974).

Le altre tre variabili inserite nel modello (replicato per ciascuna variabile dipendente, ovvero per i due punteggi alle due scale) sono: genere (GENDER), età (AGE), Body Mass Index (BMI). In entrambi i casi i modelli spiegano una proporzione di varianza molto bassa ($R^2 = .197$ e $R^2 = .248$) e non sono statisticamente significativi, fluenza Let $F(4, 21) = 1,284$ $p = .308$ e fluenza Cat $F(4, 21) = 1,731$ $p = .181$.

Sebbene questi risultati possano accadere anche in presenza per variabili indipendenti molto correlate e in campioni piccoli, in cui i test inferenziali sono meno potenti, dato che il contributo unico di ogni variabile indipendente potrebbe non essere sufficientemente grande (data la numerosità del campione e la variabilità delle variabili) per raggiungere la significatività statistica, non si ritiene che sia il caso in esame ed è importante leggere questi esiti nell'ottica di una revisione del disegno di ricerca più improntata alla valutazione della modalità attraverso cui il VO₂Max contribuisce che potrebbe essere indiretta.

4. Discussione

Questa ricerca è stata realizzata come studio preliminare per indagare l'esistenza di una relazione tra il consumo di VO₂MAX e alcune capacità cognitive. Alcuni contributi della letteratura sembrano supportare tale tesi, come la ricerca di Kubesch e colleghi (2009) in cui è stato rilevato come un singolo programma di attività fisica aerobica di 30 minuti comporti un miglioramento dell'attenzione sul compito, limitando le distrazioni. Lo stesso programma, invece, non apporta effetti su memoria di lavoro, flessibilità cognitiva e inibizione dei comportamenti automatici. Tali capacità cognitive sono elementi fondamentali per l'apprendimento delle abilità scolastiche. In questa direzione sono i risultati esposti nel lavoro di Castelli e altri (2007) che evidenziano come la capacità aerobica, quindi il livello di consumo di ossigeno, è positivamente associato con i risultati scolastici complessivi, e di matematica e lettura in specifico, in studenti della scuola superiore, così come lo studio di Dubuc (2017) che ha mostrato una relazione significativa tra risultati accademici e consumo di VO₂ max.

La presente ricerca presenta delle limitazioni costituite in primis dal campione ridotto, ma anche da un'assenza di un'analisi sulla durata dell'effetto e da una mancata analisi sull'effetto "addestramento al test" sulla seconda somministrazione test.

5. Conclusioni

In conclusione, ulteriori linee di studio potranno riguardare uno spettro più ampio di capacità cognitive, per verificare, per esempio, se esista una relazione tra una specifica attività motoria e una specifica capacità cognitiva, anche per creare nuovi approcci di intervento non farmacologico.

I risultati statisticamente rilevanti ottenuti in questa ricerca potranno essere utilizzati successivamente per modificare il piano sperimentale e le finalità di comprensione. Altrettanto rilevante è stata l'osservazione di un'influenza non statisticamente significativa delle variabili di genere e di età, che apre prospettive di ricerca molto interessanti. Si aprono ampi spazi di approfondimento con l'introduzione, ad esempio, di un'analisi condotta su un differente test cognitivo validato sempre in relazione al consumo di VO₂MAX.

I risultati fin qui raggiunti, seppur con le limitazioni evidenziate, sono in linea con la tesi che sostiene l'importanza dell'inserimento di programmi di attività motoria strutturati, all'interno delle ore dedicate all'apprendimento scolastico, sacrificando,

se necessario, le i tempi di altre materie. Su questa linea è lo studio di Trudeau & Shepard (2008) che sostiene l'importanza di introdurre nel curriculum scolastico maggiore ore di attività fisica specializzata, anche sacrificando il tempo di altre materie. Come abbiamo già evidenziato, gli studi che indagano gli effetti del consumo di ossigeno sull'apprendimento in studenti della fascia universitaria sono minori rispetto a quelli relativi alla scuola dell'obbligo. Il nostro studio vuole essere un contributo ulteriore nella ricerca relativamente alla fascia universitaria, con l'obiettivo a lungo termine di evidenziare i benefici dell'inserimento di programmi strutturati di attività motoria anche a livello universitario, oltre che nella scuola dell'obbligo.

Riferimenti bibliografici

- Academic Achievement in Third- and Fifth-Grade Students. *Journal of Sports and Exercise Psychology*, 29, 239-252.
- Ackerman, P.L., Beier, M.E., and Boyle, M.O. (2005). Working Memory and Intelligence: The Same or Different Constructs? *Psychological Bulletin*, 131(1), 30-60.
- Blair, C., Razza, R.P. (2007). Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability in Kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647- 680.
- Brisswalter, J., Collardeau, M., Rene, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med*, 32, 555-566.
- Castelli, D.M., Hillman, C.H., Buck, S.M., Erwin, H.E. (2007). Physical Fitness and
- Cohen J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, NY: Routledge Academic
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scaf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., Mcauley, E., et al. (2006). Brain volume in aging humans. *J. Gerontol. Med. Sci.* 61, 1166–1170.
- Davis, L.C., Tomporowski, P.D., McDowell, J.E., Austin, B.P., Miller, P.H., Yanasak, N.E., Allison, J.D., Naglieri, J.A. (2011). Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized Controlled Trial. *Health Psychology*, 30(1), 91-98.
- Di Corrado, D., La Paglia, R. (2012). Effetti dell'attività aerobica sulle funzioni cognitive: uno studio su adolescenti, GIPS- Il Giornale Italiano di psicologia dello Sport, 13.
- Donnelly, J.E., Lambourne K. (2011). Classroom-based physical activity, cognition and academic achievement, *Preventive Medicine*, 52, 36-42
- Dubuc, M.M., Aubertine-Leheudre, M., Karelis, A.D. (2017). Relationship between Academic Performance with Physical, Psychosocial, Lifestyle, and Sociodemographic Factors in Female Undergraduate Students. *Int J Prev Med*, 13(8), 22.
- Dustman, R. E., Emmerson, R., and Shearer, D. (1994). Physical activity, age, and cognitive-neuropsychological function. *J. Aging Phys. Act.*, 2, 143–181.
- Erickson, K. I., Raji, C. A., Lopez, O. L., Becker, J. T., Rosano, C., Newman, A. B., et al. (2010). Physical activity predicts gray matter volume in late adulthood: the cardiovascular health study. *Neurology* 75, 1415–1422.
- Erickson, K. I., Voss, M.W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., et al. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108, 3017–3022.
- Erickson, K.I., Prakash, R.S., Voss, M. W., Chaddock, L., Hu, L., Morris, K. S., White, S. M., Wójcicki, T. R., McAuley, E., Kramer, A.F. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*, 19(10), 1030-9.
- Espy, K.A., Bull, R. (2004). Inhibitory Processes in Young Children and Individual Variation in Short-Term Memory. *Dev Neuropsychol*, 28(2), 669–688.
- Flöel, A., Ruscheweyh, R., Krüger, K., Willemer, C., Winter, B., Völker, K., et al. (2010). Physical activity and memory functions: are neurotrophins and cerebral gray matter volume the missing link? *Neuroimage* 49, 2756–2763.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievement in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational*

- Psychology, 70, 177–194.
- Gathercole, S. E., Brown, L., & Pickering, S. J. (2003). Working memory assessments at school entry as longitudinal predictors of national curriculum attainment levels. *Educational and Child Psychology*, 20, 109–122.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from National Curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 1–16.
- Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Ambridge, B., Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Dev Psychol.* , 40(2),177-90.
- Geary, D. C. (2004). *Mathematics and Learning Disabilities*. Sage Journals, 37 (1), 4-15.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., Bailey, D.H. (2012). Mathematical cognition deficits in children with learning disabilities and persistent low achievement: a five-year prospective study. *Journal of Educational Psychology*, 104 (1), 206-223.
- Gutchess A. (2014). Plasticity of the aging brain: new directions in cognitive neuro science. *Science*, 346, 579-582.
- Havlicek, L. L., & Peterson, N. L. (1974). Robustness of the *T* Test: A Guide for Researchers on Effect of Violations of Assumptions. *Psychological Reports*, 34(3_suppl), 1095–1114. <<https://doi.org/10.2466/pr0.1974.34.3c.1095>>
- Hickock, G., Rogalsky, C. (2011). What Does Broca's Area Activation to Sentences Reflect?. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(10), Massachusetts Institute of Technology, 2329-2331.
- Hillman, C.H., Castelli, D.M., Buck, S.M. (2005). Aerobic fitness and neurocognitive function in healthy preadolescent children. *Med Sci Sports Exercise*, 37(11), 1967-1974.
- Jarvis, H. L., & Gathercole, S. E. (2003). Verbal and nonverbal working memory and achievements on national curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20, 123–140.
- Kamijo, K., Pontifex, M.B., O'Leary, K.C., Scudder, M.R., Wu, C.T., Castelli, D.M., Hillman, C.H. (2011). The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Dev Sci.*, 14(5), 1046-1058.
- Kane, M.J., Hambrick, D.Z., and Conway, A.R. (2005). Working Memory Capacity and Fluid Intelligence are Strongly Related Constructs: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 66-71.
- Kayani, S., Kiyani, T., Wang, J., Sanchez, M.L.Z., Kayani, S., Qurban, H. (2018). Physical Activity and Academic Performance: The Mediating Effect of Self-Esteem and Depression. *Sustainability*, 10, 3633.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., et al. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature* , 400, 418–419.
- Kramer, A.F., Erickson, K.I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends Cogn Sci.*, 11(8), 342-348.
- Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R., Hille, K. (2009). A 30 Minute Physical Education Program Improves Students' Executive Attention. *International Mind, Brain, and Education*, 3(4), 235-242.
- Kyllonen, P.C., and Christal, R.E. (1990). Reasoning Ability Is (Little More Than) Working-Memory Capacity?! *Intelligence*, 14(4), 389-433.
- Maass, A., Düzel, S., Goerke, M., Becke, A., Sobieray, U., Neumann, K., et al. (2014). Vascular hippocampal plasticity after aerobic exercise in older adults. *Mol. Psychiatry* 20, 585–593.
- Maureira, F., Henríquez, F.; Carvajal, D.; Vega, J. & Acuña, C. (2015). Efectos del ejercicio físico agudo sobre la memoria visual de corto plazo en estudiantes universitarios. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, N° 16 (1), 31-37.
- McClelland, M.M., Acock A.C., and Morrison, F.J. (2006). The Impact of Kindergarten Learning-Related Skills on Academic Trajectories at the End of Elementary School. *Early Childhood Research Quarterly*, 21(4), 471-490.
- Mischel, W., Shoda, Y., and Peake, P.K. (1988). The Nature of Adolescent Competencies by Preschool Delay of Gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(4), 687-696.
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B.W., Ross, S., Sears, M.R., Thomson, W.M., and Caspi, A. (2011). A Gradient of Childhood Self-Control Predicts Health, Wealth, and Public Safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 2693-2698.

- Neeper, S. A., Gomez-Pinilla, F., Choi, J., Cotman, C.W. (1995). Exercise and brain neurotrophins. *Nature*, 373, 109
- Niemann, C., Godde, B., and Voelcker-Rehage, C. (2014). Not only cardiovascular, but also coordinative exercise increases hippocampal volume in older adults. *Front. Aging Neurosci.* 6(170).
- Novelli, G., Papagno, C., Capitani, E., Laiacona, M., Vallar, G., Cappa, S. F. (1986). Tre test clinici di ricerca e produzione lessicale. Taratura su soggetti normali. *Archivio di Psicologia, Neurologia e Psichiatria*, 47 (4), 477-506.
- Oberlin, L. E., Verstynen, T. D., Burzynska, A. Z., Voss, M. W., Prakash, R. S., Chaddock-Heyman, L., et al. (2016). Whitematter microstructure mediates the relationship between cardiorespiratory fitness and spatial working memory in older adults. *Neuroimage* 131, 91–101.
- Olive, T., Kellog, R. T., Piolat, A. (2008). Verbal, visual, and spatial working memory demands during text composition. *Applied Psycholinguistics*, 29, 669–687.
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., et al. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 5638–5643.
- Perret, E. (1974). The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behaviour. *Neuropsychologia*, 12(3), 323-330.
- Posner M.I. & Di Girolamo G.J. (2000). Executive Attention: Conflict, Target Detection, and Cognitive Control in R. Parasuraman (ed.) *The Actentive Brain*. Bradford Books
- Raulerson, B. A. III, Donovan M. J., Whiteford, A. P., Kellogg, R. T. (2010). Differential Verbal, Visual, and Spatial Working Memory in Written Language Production. *Sage Journal*, 110 (1), 229-244.
- Reed, J.A., Einstein, G., Hahn, E., Hooker, S. P., Gross, V.P., Kravitz, J. (2010). *Journal of Physical Activity and Health*, 7, 343-351.
- Shay, K. A., and Roth, D. L. (1992). Association between aerobic fitness and visuospatial performance in healthy older adults. *Psychol. Aging*, 7, 15–24.
- Sibley, B. A., Etnier J (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Pediatr Exerc Sci*, 1(5), 243-256
- Swanson, H. L., Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *Journal of Educational Psychology*, 93(4), 720-734.
- Swanson, H. L., Sachse-Lee, C. (2001). Mathematical Problem Solving and Working Memory in Children with Learning Disabilities: Both Executive and Phonological Processes Are Important. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79(3), 294-321.
- Thomas, A. G., Dennis, A., Rawlings, N. B., Stagg, C. J., Matthews, L., Morris, M., et al. (2016). Multimodal characterization of rapid anterior hippocampal volume increase associated with aerobic exercise. *Neuroimage* 131, 162–170.
- Tomporowski, P.D. (2003). Cognitive and behavioral responses to acute exercise in youths: a review. *Pediatr Exercise Sci*, 1(5), 348-359.
- Trudeau, F., Shephard, R.J. (2008). Physical education, school physical activity, school sports and academic performance. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5(10)
- Voss, M. W., Heo, S., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Alves, H., Chaddock, L., et al. (2013). The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: results of a one-year exercise intervention. *Hum. Brain Mapp.* 34, 2972–2985.
- Voss, M. W., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Chaddock, L., Kim, J.S., Alves, H., Szabo, A., Phillips, S.M., Wójcicki, T. R., Mailey, E. L., Olson, E. A., Gothe, N., Vieira-Potter, V.J., Martin, S.A., Pence, B.D., Cook, M. D., Woods, J.A., McAuley, E., Kramer, A. F. (2013). Neurobiological markers of exercise-related brain plasticity in older adults. *Brain Behav Immun*, 28, 90-99.
- Weinstein, A. M., Voss, M. W., Prakash, R. S., Chaddock, L., Szabo, A., White, S. M., et al. (2012). The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume. *Brain Behav. Immun.* 26, 811–819.
- Zelazo, P. D., Blair, C. B., Willoughby, M. T., (2016). *Executive Function: Implications for Education (NCER 2017-2000)* Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education.