



NOTE SULL'AUTORE

Aurelio Trofé

Laurea in Scienze delle attività motorie e sportive
Luglio 2015
Laurea magistrale in Scienze e tecniche dell'attività motoria preventiva e adattata
110/110 (ottobre 2017)
Concorrente per il dottorato in Scienza e cultura del benessere e degli stili di vita
2017-2018



RISPOSTA CARDIOVENTILATORIA ALL'ATTIVITÀ FISICA: DIFFERENZE DI GENERE AL TERMINE DELL'ETÀ ADOLESCENZIALE

di Aurelio Trofé

INTRODUZIONE

Nel presente articolo verranno trattate le differenze anatomiche, antropometriche e fisiologiche, che caratterizzano la differente risposta cardiocircolatoria e ventilatoria all'esercizio fisico, in ragazzi e ragazze al termine dello sviluppo evolutivo.

Nello specifico, saranno approfondite le differenze di genere per quel che concerne l'apparato cardiocircolatorio e respiratorio, con particolare attenzione all'analisi di alcuni elementi quali: dimensioni di cuore e polmoni, volumi ventilatori e di eiezione cardiaca, valori di fre-

quenza cardiaca e ventilatoria a riposo e in corso di sforzo, composizione ematica e consumo d'ossigeno massimo e basale.

Verrà inoltre offerta una panoramica generale sulla differente antropometria e composizione corporea caratteristica del genere, con particolare riferimento ai parametri di massa magra e massa grassa; nella parte conclusiva infine, verranno riassunti e sintetizzati i concetti chiave trattati, spiegando il ruolo esercitato dalla genetica nel determinare le differenze prestantive assolute esistenti fra i due generi.



Parole chiave: fisiologia dell'esercizio; differenze di genere; ragazzi e ragazze; evolutiva; sport.

GITTATA E DIMENSIONI CARDIACHE

Durante un esercizio fisico di elevata intensità, è fondamentale incrementare massimalmente la gittata cardiaca, per garantire un flusso ematico che soddisfi le esigenze prestantive e termoregolatrici dell'organismo, riuscendo a far arrivare alla periferia muscolare un quantitativo d'ossigeno sufficiente, a rispondere alle richieste metaboliche imposte dallo sforzo.

I minori diametri atriali e ventricolari, determinano nelle ragazze una gittata cardiaca massima quantitativamente inferiore rispetto ai ragazzi: a parità di livello atletico, il volume ematico potenzialmente eiettabile dal cuore, condiziona largamente le intensità di sforzo assolute potenzialmente raggiungibili, in quanto garantire un maggiore o minore flusso significa in prima analisi riuscire o meno a rifornire i muscoli attivi di un quantitativo d'ossigeno sufficiente alla prosecuzione dello sforzo fisico, garantendo al contempo un'efficace termoregolazione dell'organismo, con adeguato allontanamento del calore interno generato dalla contrazione muscolare.

Questo primo aspetto ci permette di sottolinearne altri due, fondamentali: il primo è il ruolo esercitato dalla genetica nell'influenzare attraverso la specifica anatomia cardiaca, la massima capacità prestativa nei due generi, in relazione al livello di sforzo potenzialmente sostenibile; il secondo aspetto quanto mai importante, è che risulta inappropriato attuare un confronto prestativo fra uomini e donne, basandosi esclusivamente su dati quantitativi relativi alla performance assoluta, ma occorrerebbe effettuare un paragone in termini più qualitativi, attraverso il monitoraggio del carico interno.

Come si capirà bene lungo tutto il corso di quest'articolo, impostare un protocollo di allenamento attraverso percentuali di carico indifferenziate per ragazzi e ragazze, risulta alquanto sconveniente sia in termini di potenziale esprimibile, sia per quel che concerne il rischio d'infortuni durante la pratica sportiva.

Volendo anticipare attraverso un esempio pratico, un concetto alla base dell'allenamento specifico per il sesso, se un ragazzo e una ragazza di pari livello atletico, svolgono una corsa continua di resistenza ad intensità pari all'80% della FCmax, avranno in termini di carico interno cardiocircolatorio e ventilatorio, due costi nettamente differenti: in virtù di una superiore gittata cardiaca e, come vedremo successivamente, di una maggiore riserva di frequenza cardiaca, il carico interno risulterà minore per il ragazzo rispetto alla ragazza.

I grafici che seguono mostrano i differenti parametri anatomo-fisiologici, registrati in ragazze e ragazzi di 19 anni durante test incrementale massimale: il delta prestativo finale è fortemente condizionato dalle minori dimensioni atriali e ventricolari, che a loro volta determinano i minori volumi potenzialmente eiettabili dal cuore; entrando maggiormente nello specifico, una gittata cardiaca quantitativamente minore, più che il picco massimo d'intensità raggiungibile, condiziona il tempo a cui è possibile perdurare ad intensità di sforzo massimali.

A parità di livello atletico, il gap di performance assoluta che si registra fra atleti e atlete, è largamente determinato dalla possibilità del genere maschile di sostenere per un tempo superiore le intensità di sforzo massimali: questa differenza come già detto, è largamente attribuibile alla superiore gittata cardiaca permessa dalle più ampie dimensioni atriali e ventricolari, gittata che garantisce un maggiore flusso ematico ai muscoli attivi, ritardando così l'insorgere della fatica muscolare da ipossia e acidosi.

>>



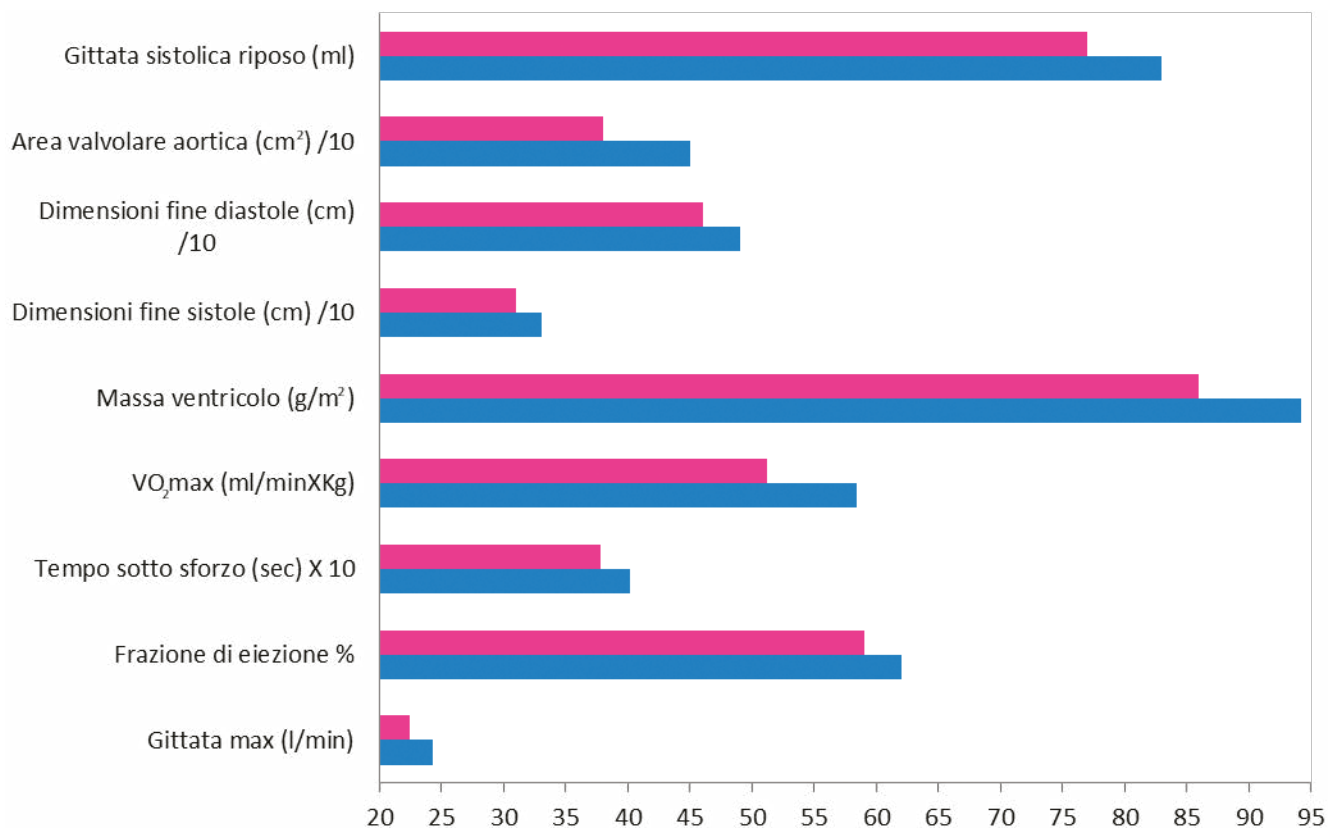


Figura 1 Parametri rilevati durante test incrementale massimale in ragazzi (blu) e ragazze (rosa) (Ben-Sira 1997)

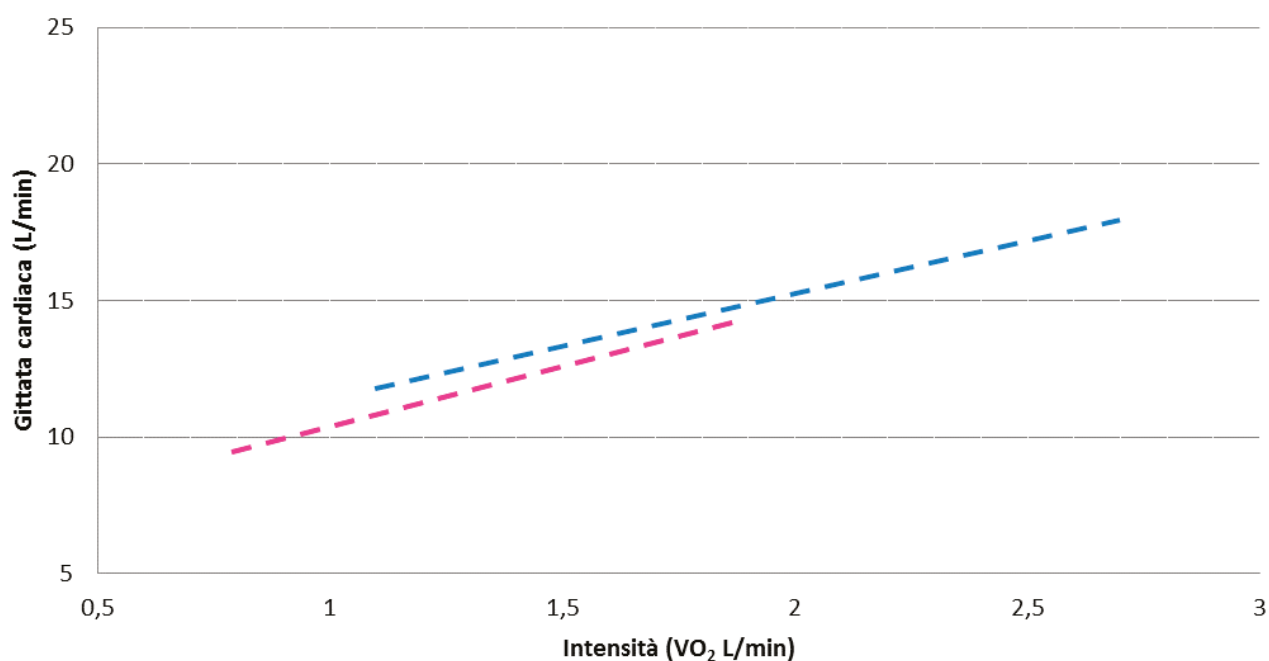


Figura 2 Gittata cardiaca durante test submassimale in ragazzi (blu) e ragazze (rosa) non allenati (Turley 1997)

GITTATA SISTOLICA E FREQUENZA CARDIACA

Approfondendo ulteriormente l'elemento cardiaco, in riferimento al monitoraggio del carico interno cardiocircolatorio, il minor diametro del ventricolo sinistro determina nelle ragazze una gittata sistolica quantitativamente inferiore rispetto ai ragazzi: poiché il volume complessivo della gittata cardiaca, è dato dal prodotto fra i volumi sistolici e la frequenza cardiaca, per riuscire a soddisfare adeguatamente le richieste metaboliche imposte dallo sforzo fisico, le ragazze devono ricorrere maggiormente ad un incremento della frequenza per compensare i volumi sistolici inferiori, ottenendo così nel complesso una gittata cardiaca funzionale alle richieste metaboliche.

Occorre ricordare che la gittata sistolica può incrementare fino a un dato volume, che sebbene sia condizionato largamente dal livello di fitness atletica, corrisponderà sempre ad un'intensità di sforzo submassimale; via via che l'intensità cresce verso valori massimali, la gittata sistolica raggiunge un plateau e l'incremento ulteriore della gittata cardiaca, è possibile esclusivamente grazie all'incremento della frequenza cardiaca.

Per comprendere al meglio, quanto il precoce aumento di frequenza cardiaca che si registra nelle ragazze rispetto ai ragazzi, incida nel determinare un maggior costo interno dell'esercizio ed influenzi i livelli d'intensità raggiungibili, occorre richiamare il concetto di riserva di frequenza cardiaca (RFC), che rappresenta la differenza fra frequenza cardiaca massima e frequenza cardiaca a riposo.

A parità d'intensità di sforzo espressa, una frequenza cardiaca maggiore riduce più velocemente i valori di riserva (RFC): laddove alle più alte intensità, un incremento di gittata cardiaca è possibile unicamente grazie all'aumento della frequenza cardiaca, una minore RFC consentirà alle ragazze di poter incrementare meno la gittata cardiaca rispetto ai loro coetanei maschi; viceversa i ragazzi, grazie ai maggiori volumi sistolici, incrementeranno meno la frequenza

cardiaca a parità di sforzo, salvaguardando così maggiore riserva, da poter essere successivamente spesa alle intensità di sforzo vicine alla massimale, per incrementare ulteriormente la gittata cardiaca e garantire un flusso ematico superiore ai muscoli impegnati.

Va altresì ricordato come il livello di allenamento e lo stato di fitness atletica, condizionano largamente l'economia dello sforzo fisico: uno dei benefici più rapidi ed evidenti di un training aerobico di lungo periodo indipendentemente dal sesso, è proprio quello di incrementare i volumi sistolici e ridurre i valori di frequenza cardiaca sia a riposo, che ad ogni livello d'intensità submassimale espressa.

Nel grafico sottostante vengono mostrati i valori di frequenza cardiaca e gittata sistolica, registrati in ragazze e ragazzi sedentari durante test incrementale submassimale: si noti come a parità di sforzo, i volumi sistolici risultino sempre superiori nei ragazzi, mentre i valori di frequenza cardiaca costantemente più alti delle ragazze, mirino a compensare una gittata sistolica inferiore; va altresì notato, a conferma delle considerazioni fin qui espresse, che i maggiori volumi di gittata cardiaca permettono ai ragazzi di poter raggiungere intensità di sforzo superiori rispetto alle ragazze.



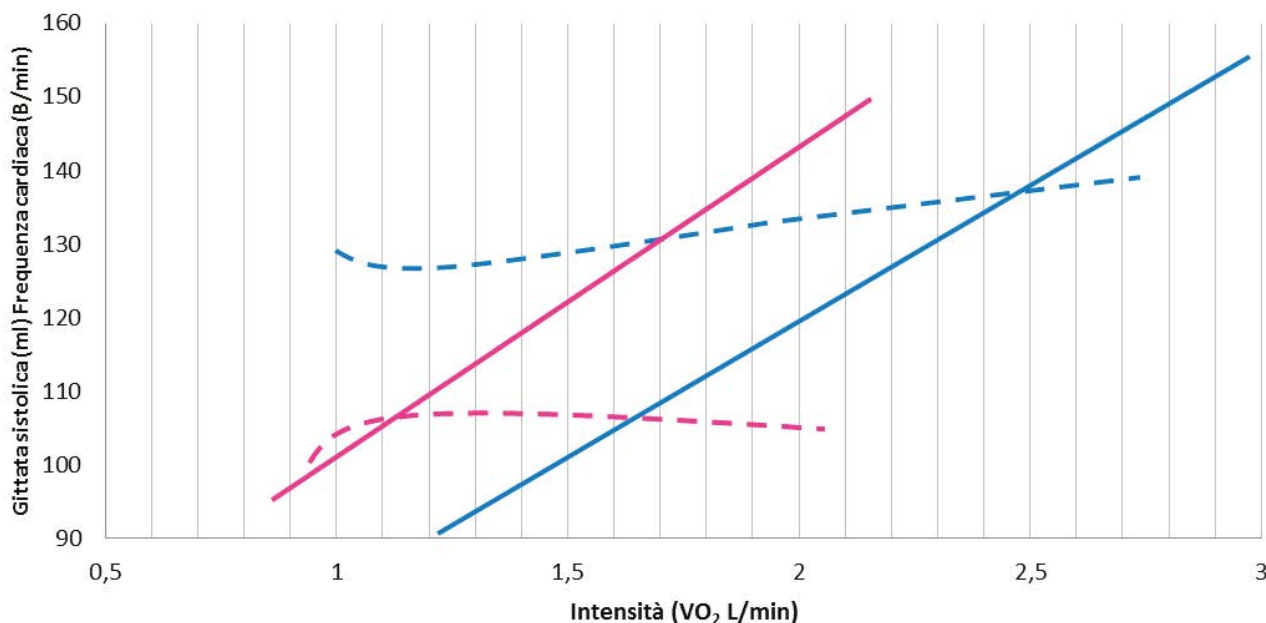


Figura 3 Frequenza cardiaca (continua) e gittata sistolica (tratteggiata) in ragazzi (blu) e ragazze (rosa) non allenati, durante prove submassimali (Turley 1997)

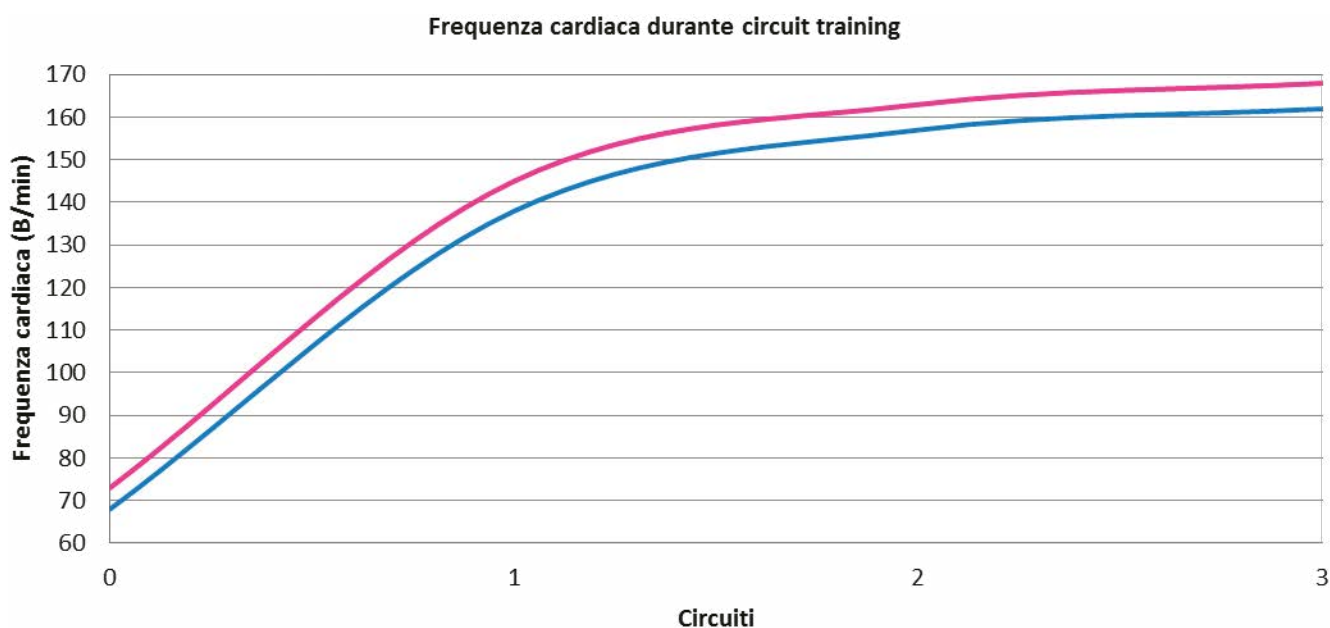


Figura 4 Frequenza cardiaca media registrata in maschi (blu) e femmine (rosa) durante circuit-training di sollevamento pesi. 0: baseline riposo; 1-3: circuiti (Ortego 2009)

Come mostrato dal grafico soprastante, una frequenza cardiaca costantemente più elevata si mantiene nelle ragazze, anche in attività fisiche di tipo intervallato, come ad esempio un circuit training per l'incremento della forza e dell'ipertrofia muscolare: ad incidere qui concorrono anche i maggiori valori di frequenza

cardiaca basale e la velocità di recupero post-esercizio, che risultano essere quantitativamente differenti nei due generi, sebbene il dibattito in letteratura sia ancora aperto.

Gli argomenti verranno ulteriormente approfonditi in lavori successivi.



VO₂ E COMPOSIZIONE CORPOREA

A parità di fitness atletica, le ragazze hanno un consumo di ossigeno massimo e basale inferiore rispetto a quello dei ragazzi: per quel che concerne il massimo consumo d'ossigeno o VO₂-max, questo delta è massimalmente influenzato dalla minore gittata cardiaca massima, che determina come abbiamo visto in precedenza, un minor flusso di sangue e ossigeno ai muscoli attivi; per quel che riguarda il consumo d'ossigeno a riposo, invece, ad incidere maggiormente in questa differenza è l'elemento antropometrico, nello specifico la differente composizione corporea nei valori medi di massa magra e massa grassa.

In virtù dei maggiori livelli di grasso primario o essenziale, le femmine hanno una percentuale di massa grassa superiore e in valori assoluti, una percentuale mediamente inferiore di massa muscolare magra: poiché a determinare il consumo d'ossigeno, è la massa cellulare metabolicamente attiva e poiché ad essere metabolicamente attiva è la massa magra e non la massa grassa, i maggiori livelli di massa muscolare dei ragazzi, concorrono a determinare un consumo d'ossigeno massimo e basale globalmente superiore.

La tabella sottostante riassume i parametri antropometrici dei ragazze e ragazzi, protagonisti dei diversi studi di ricerca citati in quest'articolo: i dati confermano come a parità di livello atletico di allenamento vi sia una differente composizione corporea, nei parametri di massa magra e grassa al termine del periodo evolutivo; come abbiamo precedentemente sottolineato, una massa muscolare maggiore determina un VO₂ superiore, in quanto a maggiore tessuto metabolicamente attivo corrisponderà una maggiore richiesta e un maggiore afflusso e consumo d'ossigeno.

Nel grafico che segue vengono mostrati i differenti valori di VO₂, registrati in ragazzi e ragazze durante test incrementale massimale eseguito al treadmill: per tutta la durata della prova e per qualsiasi livello d'intensità raggiunta, il consumo di ossigeno risulta costantemente superiore nei ragazzi rispetto alle ragazze; volendo sintetizzare i concetti chiave, il maggior tasso di massa muscolare unito ai maggiori volumi cardiaci, determinano un flusso ematico e un successivo consumo d'ossigeno dei muscoli, quantitativamente superiore nei ragazzi, consentendo loro di poter sostenere le più alte intensità di sforzo per un tempo maggiore.

Ortego AR et al. 2009					
Sesso	Età	Peso	Altezza	Massa magra	Massa grassa
M	23	86 kg	179 cm	74 kg	14%
F	23	72 kg	166 cm	54 kg	25%
Turley and Wilmore 1997					
Sesso	Età	Peso	Altezza	Massa magra	Massa grassa
M	23	80 kg	180 cm	69 kg	13,5%
F	23	63 kg	166 cm	48,5 kg	23%
Kang J et al. 2006					
Sesso	Età	Peso	Altezza	Massa magra	Massa grassa
M	22	78 kg	176 cm	67 kg	14%
F	22	58 kg	163 cm	42 kg	21%
Deschenes MR et al. 2006					
Sesso	Età	Peso	Altezza	Massa magra	Massa grassa
M	20	79 kg	178 cm	67 kg	15%
F	20	59 kg	163 cm	47 Kg	20%

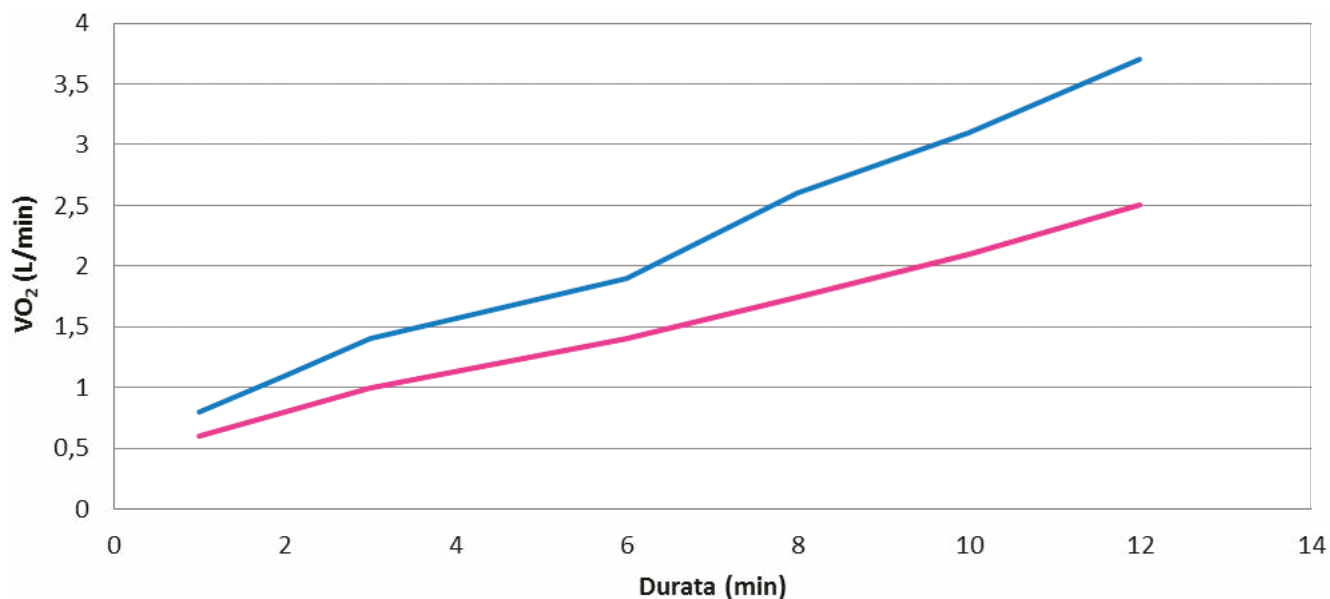


Figura 5 Consumo di ossigeno durante test incrementale in ragazzi (blu) e ragazze (rosa) di 21 anni (Kang 2006)

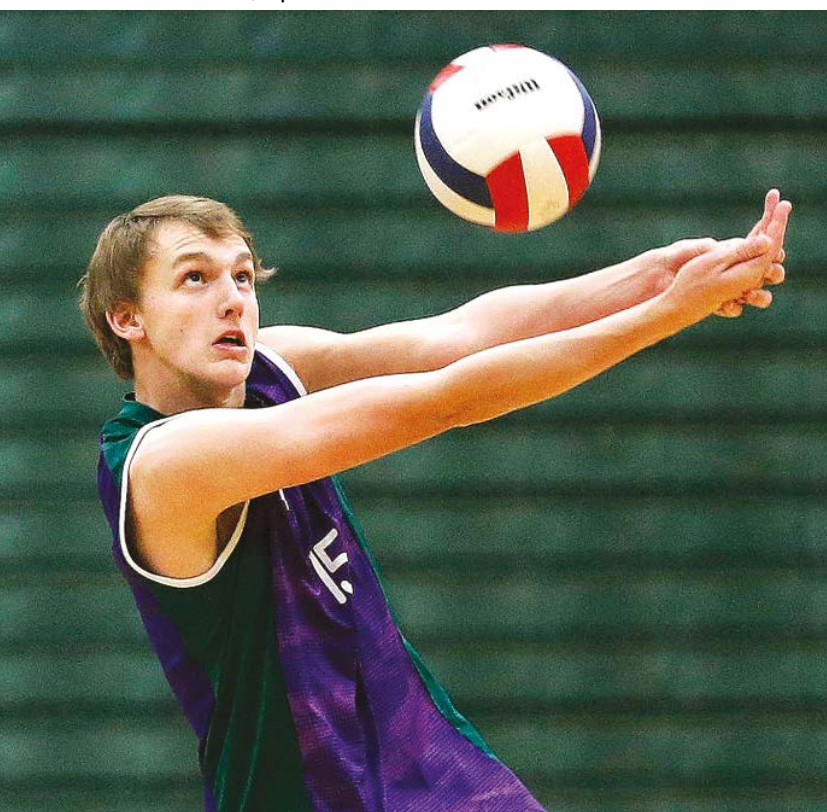
Un ulteriore fattore deterrente il VO_{2max} nelle ragazze, è rappresentato dalla differente composizione ematica esistente nei due sessi: ricordando come l'ossigeno "viaggia" nel sangue legato all'emoglobina dei globuli rossi, il minor numero di globuli rossi per unità di volume di sangue (valori medi ematocrito femminile 37-48% vs maschile 40-52%) e il minor quantitativo di emoglobina (valori medi donne 12-16 g/dl uomini 14-18 g/dl) determina una capacità di trasporto dell'ossigeno quantitativamente inferiore, sia che questo trasporto vada dal cuore alla periferia muscolare, sia che vada dall'albero polmonare al cuore e viceversa.

SISTEMA RESPIRATORIO

L'albero respiratorio è responsabile degli scambi gassosi con l'aria esterna (O_2-CO_2), che sotto esercizio servono ad acquisire rapidamente l'ossigeno di cui si necessita, ed eliminare tanto rapidamente l'anidride carbonica prodotta dal metabolismo muscolare; inoltre il sistema ventilatorio, è una delle vie finali del processo di tamponamento dell'acido lattico, attraverso l'eliminazione per via aerea degli ioni idrogeno derivanti dal processo di tamponamento.

In virtù delle minori dimensioni di polmoni e gabbia toracica, le ragazze hanno massimi valori di volume corrente e ventilazione sotto sforzo inferiori rispetto ai ragazzi: questa più ridotta architettura del sistema respiratorio, influenza largamente la prestazione fisica alle più alte intensità di sforzo, laddove si necessita di ampi volumi ventilatori per acquisire massivamente ossigeno, ed eliminare velocemente i prodotti di scarto del metabolismo muscolare.

Questo concetto è facilmente intuibile nell'esempio seguente, dove si evidenzia la correlazione esistente fra i volumi ventilatori e valori di consumo d'ossigeno, durante un test incrementale massimale: appare evidente come il VO_2 sia correlato alla ventilazione e come entrambi siano indissolubilmente legati alla prestazione fisica potenzialmente raggiungibile.



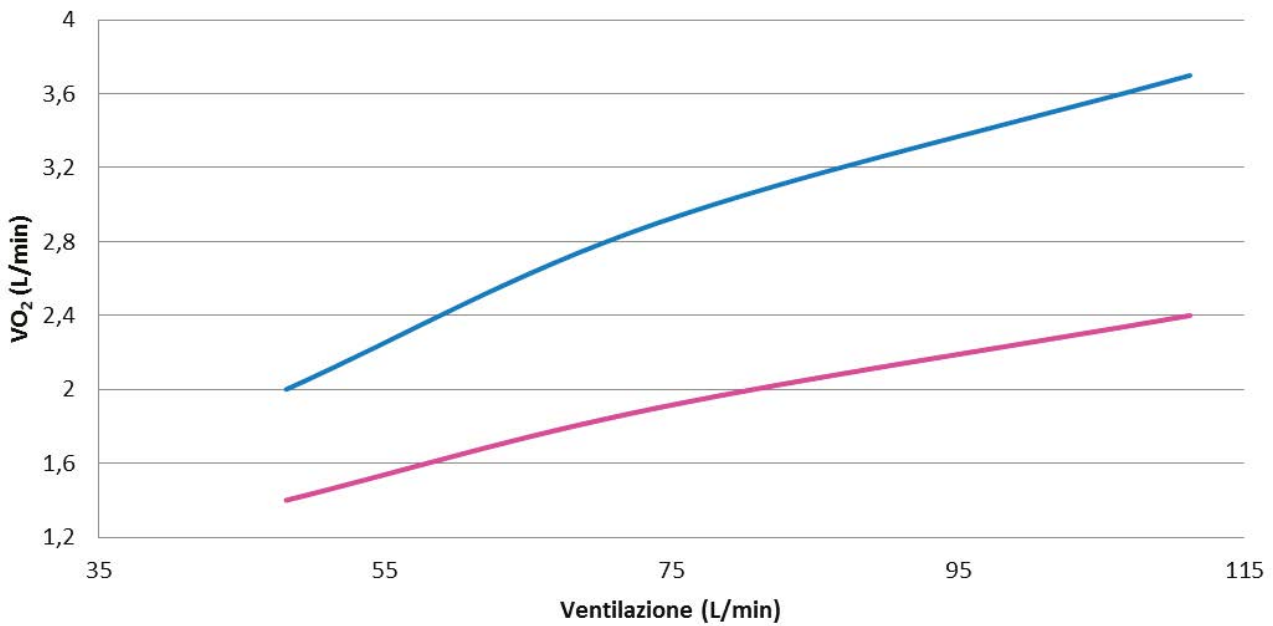


Figura 6 Ventilazione e consumo di ossigeno in maschi (blu) e femmine (rosa) non allenati durante test incrementale massimale (Seebauer 2003)

Si può tranquillamente affermare, senza la preoccupazione di essere contraddetti, che a parità di livello atletico e prestativo, sia la genetica a determinare, grazie ai volumi cardiaci e ventilatori, il potenziale massimo esprimibile nei due generi: durante una fase di sforzo fisico, una maggiore ventilazione significa un maggiore tasso di ossigenazione tissutale, unito ad un più rapido allontanamento dei prodotti metabolici

di scarto, entrambi elementi che consentono di ritardare l'insorgere della fatica muscolare, consentendo di poter perdurare nello sforzo fisico intenso per un tempo superiore. Il grafico seguente mostra come a parità di sforzo espresso (e a parità di livello atletico), i volumi ventilatori risultino costantemente superiori nei maschi rispetto alle femmine, in virtù di una maggiore capacità dell'albero respiratorio.

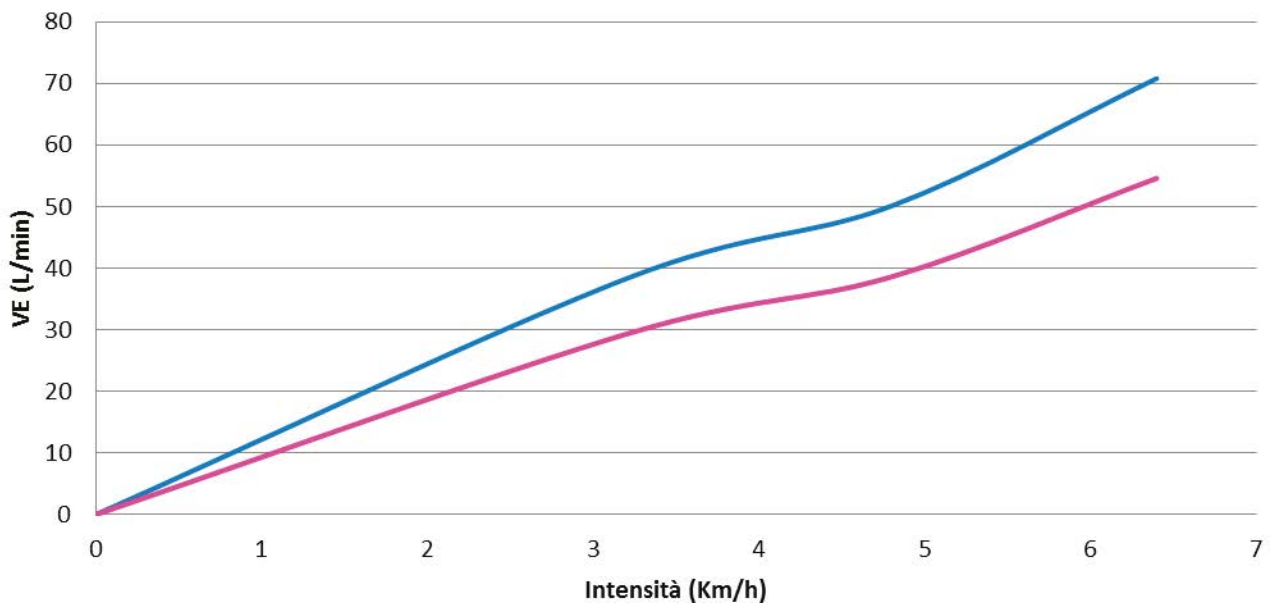


Figura 7 Volumi ventilatori registrati in maschi (blu) e femmine (rosa) durante cross-walk al treadmill con pendenza al 3% (Butts 1995)

Nelle donne, inoltre, gli atti respiratori al minuto (frequenza) risultano tendenzialmente più elevati rispetto agli uomini, in virtù di un meccanismo compensativo simile a quello che si riscontra a livello cardiaco: poiché la ventilazione è il prodotto fra volume corrente e frequenza respiratoria, le minori dimensioni polmonari delle ragazze determinano in fase di sforzo volumi correnti minori, che vengono compensati da una frequenza respiratoria più alta, sempre al fine di poter garantire un volume ventilatorio adeguato alle richieste metaboliche dello sforzo fisico.

A conferma di quanto appena scritto, i due grafici sottostanti mostrano il contributo di volume corrente e frequenza respiratoria in relazione all'intensità di sforzo, durante un test incrementale massimale al cicloergometro: apparirà evidente il maggiore ricorso all'incremento della frequenza respiratoria da parte delle ragazze, per riuscire a compensare i minori volumi correnti e garantire così un adeguato volume ventilatorio, che soddisfi le richieste funzionali dell'organismo.

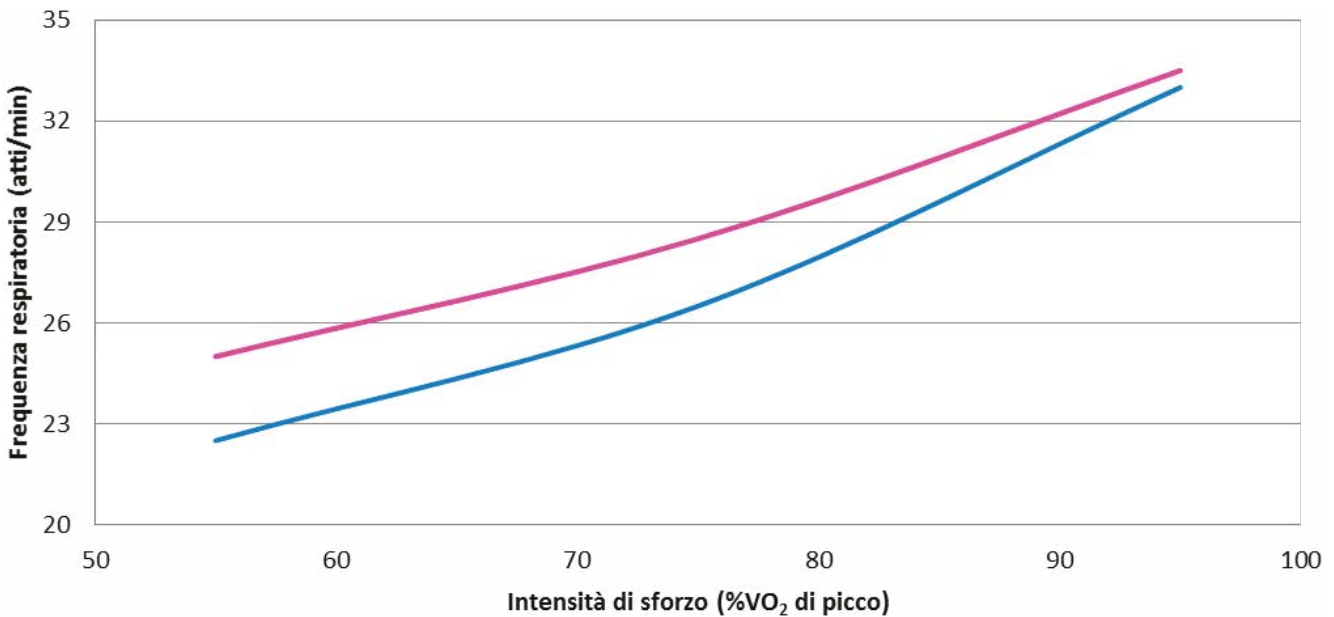


Figura 8 Frequenza respiratoria in maschi (blu) e femmine (rosa) in test incrementale massimale (Seebauer 2003)

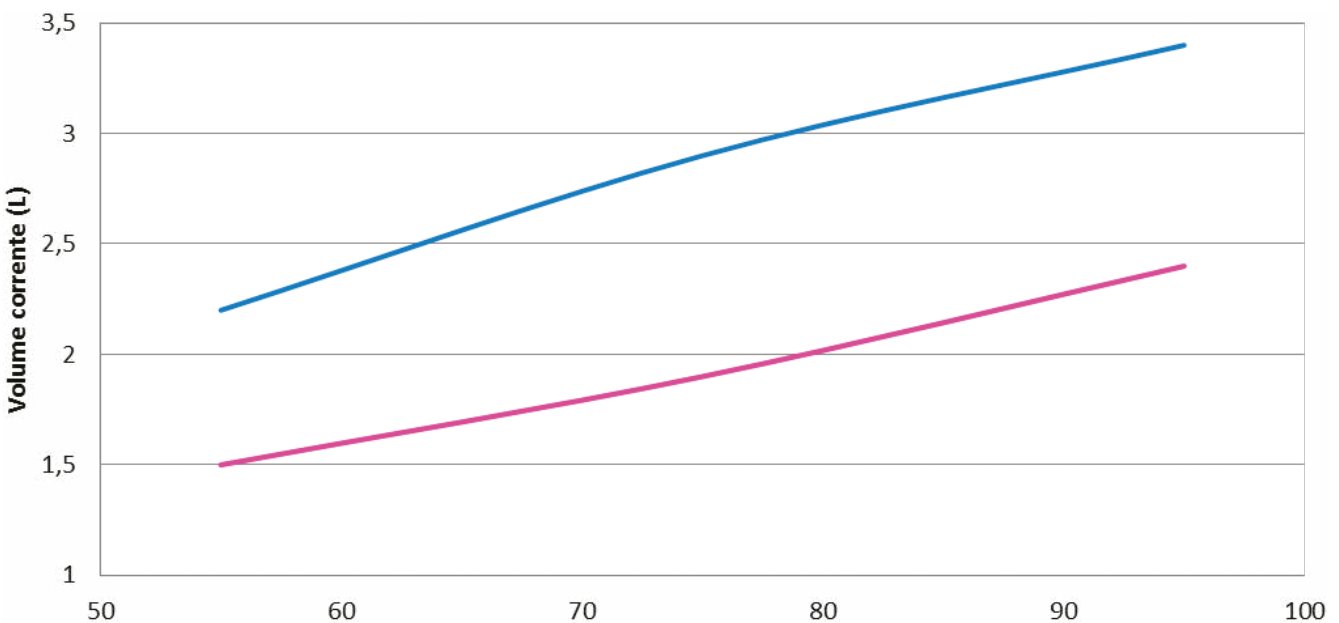


Figura 9 Volume corrente in maschi (blu) e femmine (rosa) durante test incrementale massimale (Seebauer 2003)

Se a livello cardiocircolatorio il maggior ricorso all'incremento di frequenza cardiaca ha effetti negativi sulla RFC, a livello ventilatorio il maggior ricorso all'incremento di frequenza ventilatoria da parte delle ragazze, oltre ad aumentare il lavoro dei muscoli respiratori, influenza negativamente l'efficienza ventilatoria, misurata nel rapporto fra litri d'aria ventilati per litro d'ossigeno consumato, ovvero il cosiddetto equivalente ventilatorio (VE/VO_2).

Da tutte queste considerazioni è intuibile come le differenze genetiche, che in questo caso definiscono una minor capacità del sistema respiratorio femminile, determinano l'insorgenza di fatica muscolare nelle ragazze, per livelli d'intensità assolute inferiori, rispetto a quelle raggiunte dai ragazzi: a parità di sforzo espresso infatti, si registra nelle femmine un maggiore carico interno, misurato nei suoi parametri cardiocircolatori, ventilatori e metabolici.

CONCLUSIONI

In questo articolo è stata presentata una panoramica generale sulle differenti risposte fisiologiche all'esercizio fisico, registrate in ragazzi e ragazze al termine del periodo evolutivo: sono state approfondite alcune fra le più importanti caratteristiche cardiocircolatorie e ventilatorie, fra le quali dimensioni atriali, ventricolari, polmonari e gabbia toracica, a cui conseguono volumi cardiaci e ventilatori massimali quantitativamente differenti, che determinano, in ultima analisi, i livelli di performance assoluta potenzialmente raggiungibili dai due generi.

Sono stati approfonditi i caratteristici incrementi di frequenza respiratoria e cardiaca in fase di sforzo, soffermandosi particolarmente sul concetto di riserva di frequenza cardiaca, così importante nel determinare i limiti prestativi raggiungibili; è stato inoltre indagato il fattore antropometrico, con particolare attenzione alla specifica composizione corporea nei parametri di massa magra e grassa, così importanti nel determinare differenti valori di consumo d'ossigeno massimo e basale; è stato fatto inoltre accenno alla differente composizione ematica e spiegato come essa sia in grado di influenzare il massimo trasporto dell'ossigeno.

Lungo tutto il corso dell'articolo, è stato più volte sottolineato come sia essenzialmente il fattore genetico a determinare il gap prestativo assoluto esistente fra ragazzi e ragazze e più in generale fra atleti ed atlete: questa più favorevole genetica orientata alla performance fisica estrema, che si ritrova nel sesso maschile, altro non è che il frutto di secoli di storia evolutivistica e cultura popolare, che hanno costantemente associato il sesso maschile allo sforzo fisico e allo sport. Ma il recente ingresso massiccio delle donne nel mondo dello sport determinerà, nel corso del tempo, lo sviluppo di una genetica prestativa eguale se non superiore a quella maschile, consentendo alle atlete di eguagliare e probabilmente superare i record fisici assoluti ottenuti dagli atleti. ■



ABSTRACT

In this article we will discuss the anatomical, anthropometric and physiological gender differences, that characterize the different cardiocirculatory and ventilatory response to physical exercise, in boys and girls at the end of adolescence age.

More in depth, will be explored gender differences of some cardiocirculatory's and respiratory's elements, like heart and lung size, ventilatory and cardiac ejection volumes, heart rate and ventilatory values at rest and during exertion, blood composition and maximum and basal oxygen consumption.

Furthermore, we will analyze the gender differences regarding anthropometry and body composition, with particular reference to the parameters of lean mass and fat mass; at the end of this article, we will analyze the role of genetics in determining the differences in absolute sports performance between males and females. Keywords: physiology of exercise; gender or sex differences; boys and girls; sport; physical activity.

BIBLIOGRAFIA

1. Ben-Sira David and Sagiv Michael The effect of gender on left ventricular function immediately after the wingate test. *Eur J Appl Physiol* 1997 75:549-553
2. Butts NK et al. Energy costs of walking on a dual-action treadmill in men and women. *Med. Sci Sports Exerc* 1995 27, 1:121-125
3. Deschenes MR et al. Effects of gender on physiological responses during submaximal exercise and recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006; 38,7: 1304-1310
4. Ortego AR et al. Effects of gender on physiological responses to strenuous circuit resistance exercise and recovery. *Journal of strength and conditioning research* 2009; 23, 3
5. Seebauer et al. Gender differences in workload effect on coordination between breathing and cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35, 3:495-499
6. Trofè A. *Scienza dell'allenamento fisico e sportivo: le basi dell'allenamento sportivo e dell'attività motoria per la salute.* 2017 ISBN 9781973303671 Independently published
7. Turley KR and Wilmore JH Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults. *J Appl. Physiol.* 1997 83(3): 948-957
8. Kang J et al. Gender differences in the progression of metabolic responses during incremental exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 2006; 46, 1