

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

**Dottorato di Ricerca in
Discipline delle Attività Motorie e Sportive**

XX ciclo

Sede amministrativa: Università di Bologna

Coordinatore: Prof. Salvatore Squatrito

**STUDIO E VALIDAZIONE DI UNA NUOVA
METODICA PER LA VALUTAZIONE DELLO
STATO DI FORMA**

Tesi di Dottorato

SSD: M-EDF/01

**Presentata da:
Dott. Elia Foschi**

**Relatore:
Prof. Claudio Tentoni**

Anno dell'esame finale: 2008

Un ringraziamento particolare al Prof. Romano Zannoli, al Dott. Ivan Corazza e al Dott. Diego Sangiorgi dell'Istituto di Cardiologia dell'Ospedale S.Orsola – UNIBO e all'Ing. Sebastiano Zannoli della Air Machine Com srl per la preziosa collaborazione scientifica e tecnica.

Un grazie anche a tutti coloro che si sono prestati per la realizzazione dei test e a chi in questi tre anni ha contribuito alla realizzazione di questo progetto.

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. IL “TOP”.....	3
3. MATERIALI E METODI	11
4. ANALISI DEI DATI	22
5. CONSIDERAZIONI FINALI E CONCLUSIONI	35
6. BIBLIOGRAFIA	36

1. PREMESSA

L'esame dei sistemi di azione motoria con tecnologie sempre più avanzate e sofisticate consente di configurare sempre più precisamente il profilo dello stato di forma dell'individuo, di raccogliere dati completi sulle qualità e le capacità fisiche che costituiscono le componenti fondamentali della fitness. La forma fisica efficiente, la *physical fitness*, corrisponde ad una condizione di capacità dell'individuo di svolgere in maniera efficace e soddisfacente determinati compiti motori nello svolgimento delle normali attività della vita quotidiana magari con una "riserva funzionale" che gli consenta di far fronte ad esigenze prestantive d'emergenza senza indebita fatica e con capacità di recupero e di completo restauro senza strascichi di affaticamento o di disagio psicofisico. Lo stile di vita e, in maniera rilevante, l'attività fisica, condiziona significativamente lo stato di forma e quindi la salute e la funzionalità corporea nel processo di invecchiamento. Tuttavia per far sì che la pratica dell'attività motoria possa svolgere una effettiva azione preventiva o di recupero, finalizzata ad una condizione di benessere fisico, psichico e sociale, è necessario precisare oculatamente e con rigore scientifico le modalità di una sua corretta applicazione pratica. Questa necessità, che diventa essenziale per alcune categorie di individui (anziani, cronici, convalescenti, diabetici), evidenzia l'indispensabilità di metodi e strumenti valutativi in grado di fornire idonee informazioni che siano oggettive, di buona precisione e completezza sulle qualità e le capacità fisiche, sui livelli di prestazione individuale e che siano basate, anch'esse, su prove e test somministrabili a tutte le categorie di individui.

2. IL “TOP”

- **Idea di partenza**

Nell'ambito degli esami effettuati nei nostri laboratori per la valutazione dello stato di forma, abbiamo constatato, spesso, la complessità di utilizzo dei sistemi attualmente in uso per la valutazione di alcune capacità funzionali correlate alla forma fisica che prevedono l'acquisizione di frequenza cardiaca e respiratoria, VO₂, VCO₂ e ventilazione durante esercizio con carico crescente, fino al raggiungimento e al superamento della soglia anaerobica. Tali metodologie comportano una lunga durata, difficoltà nel raggiungimento della soglia anaerobica, soprattutto per alcune categorie di individui, dovuta ad eccessivo affaticamento e impaccio causato dall'applicazione di sensori, maschere ed altro per la misurazione dei parametri fisiologici d'interesse. Seppure consapevoli della necessità delle predette indagini soprattutto nella valutazione medico-sportiva, riteniamo utile l'individuazione di una pratica metodologia d'esame della forma fisica facilmente applicabile, di vasta fruibilità, realizzabile in poco tempo, che abbia le caratteristiche di un “test da campo” e sia comunque un valido indicatore. Da studi condotti^{1,2} in collaborazione con la Cattedra di Fisica della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Bologna ed AirMachine è così nata l'idea di un nuovo test, da noi denominato TOP (Test Of Performance) che ha l'obiettivo di fornire una valutazione qualitativa dello stato di forma fisica tramite lo studio della frequenza cardiaca (FC) durante l'esecuzione di uno sforzo moderato e di breve durata.

- **La frequenza cardiaca come parametro monitorato**

La frequenza cardiaca è tra i parametri cardiocircolatori più semplici da rilevare. La frequenza cardiaca riflette la quantità di lavoro che il cuore

deve effettuare per soddisfare le maggiori richieste dell'intero organismo impegnato in una attività fisica e l'andamento del recupero che è strettamente connesso con lo stato di forma³. Vari articoli dimostrano la validità della frequenza cardiaca come parametro utilizzato per definire l'intensità del carico e per monitorare l'allenamento sia in soggetti giovani che anziani, atleti o sedentari⁴⁻⁹.

- **L'adattamento al carico**

Normalmente, poco prima dell'inizio di un esercizio fisico, la frequenza cardiaca aumenta ben oltre il normale valore di riposo. Questa è una sorta di risposta anticipatoria, indotta dalla liberazione del neurotrasmettitore noradrenalina da parte del sistema nervoso simpatico e dell'ormone adrenalina da parte delle ghiandole surrenali. È probabile che diminuisca anche il tono vagale.

All'inizio dell'attività fisica, la frequenza cardiaca aumenta in modo proporzionale all'intensità dell'esercizio, fin quando il soggetto non sia prossimo all'esaurimento. A quel punto la frequenza cardiaca si stabilizza, indicando la massima frequenza cardiaca raggiungibile da quel determinato soggetto. Quando, invece, l'intensità di lavoro è mantenuta costante a livello di esercizio submassimale, la frequenza cardiaca aumenta abbastanza rapidamente e poi si livella, raggiunge un plateau. Questo plateau rappresenta la frequenza cardiaca ottimale per soddisfare le esigenze circolatorie a quella determinata intensità di lavoro. Tanto più intenso è il lavoro, tanto più tempo ci vorrà a raggiungere il plateau. Coloro che hanno una migliore capacità di resistenza cardiorespiratoria, ovvero una migliore condizione fisica, presentano una frequenza cardiaca di steady-state più bassa rispetto ai soggetti la cui condizione fisica è meno buona. La frequenza cardiaca di steady-state può, quindi, essere considerata

un buon indicatore dell'efficienza cardiaca: una frequenza bassa riflette una maggiore efficienza cardiaca¹⁰.

- **Analisi dell'andamento della Fc durante il recupero**

L'esercizio fisico è associato ad un incremento dell'attività simpatica e ad un decremento di quella parasimpatica con un conseguente aumento della frequenza cardiaca¹¹⁻¹³.

La velocità con cui la frequenza cardiaca cala, dopo l'esercizio, è un indice di riattivazione del sistema vagale.

Durante l'esercizio, un incremento dell'attività simpatica e un decremento di quella vagale, causano, oltre all'aumento della frequenza cardiaca appena detto, anche un aumento della gittata sistolica e della forza di contrazione miocardica, per soddisfare la domanda energetica conseguente al lavoro muscolare.

L'aumento della frequenza cardiaca durante un esercizio di bassa intensità è dovuto solamente ad una inibizione del sistema vagale, mentre per un esercizio di intensità medio-alta interviene anche l'attivazione del sistema simpatico¹⁴.

Per quanto riguarda il contributo nervoso sulla diminuzione della frequenza cardiaca durante la fase di recupero, invece, non si hanno ancora dati certi.

Il recupero dopo l'esercizio è associato alla cessazione degli stimoli motori da parte del cervello che sono responsabili dell'iniziale rapido calo della frequenza cardiaca¹⁵.

I cambiamenti più lenti degli stimoli dei recettori metabolici e dei barorecettori che portano alla rimozione dei metaboliti e il ritardato abbassamento della temperatura corporea e dell'eliminazione delle catecolamine, sembra che siano fattori secondari nella diminuzione della frequenza cardiaca durante il recupero.

Tuttavia, l'attivazione del sistema vagale è considerata il meccanismo principale della diminuzione esponenziale dopo l'esercizio fisico^{14,16,17}.

La velocità con cui la frequenza cardiaca cala e la lunghezza del tempo di recupero dopo un esercizio, da moderato a intenso, sono solitamente usate come indice di fitness cardiovascolare¹⁸⁻²².

Aumentando l'intensità dell'esercizio, aumenta il tempo necessario per il ristoro. D'altra parte, condizioni fisiche migliori tendono ad abbreviare il periodo di ristoro.

Già Bowen²³ aveva riscontrato che una caduta iniziale subitanea e rapida della frequenza del polso può talvolta essere seguita da un plateau o periodo di frequenza costante, cui segue una discesa più lenta. Talvolta la frequenza del polso può abbassarsi al di sotto del livello precedente l'esercizio, e ciò si verifica perfino in coloro le cui frequenze a riposo sono state ottenute in condizioni accuratamente controllate. Ci si può ovviamente aspettare una diminuzione al di sotto del normale nei soggetti in cui le frequenze prima dell'esercizio erano più alte per l'influsso di vari fattori, alcuni dei quali anche di carattere psicologico.

Studi effettuati sulla frequenza cardiaca di molti soggetti dopo un esercizio faticoso hanno dimostrato che il polso post esercizio segue delle curve esponenziali. Nei soggetti allenati il ristoro risulta più rapido che in quelli non allenati.

L'intervallo di tempo necessario perché la frequenza del polso ritorni alla normalità può variare entro limiti ampi.

Anche il rapporto tra frequenza del polso e assunzione di ossigeno durante il periodo successivo all'esercizio è stato studiato. Durante un esercizio intenso si contrae un forte debito di ossigeno, e quindi è presumibile che per un certo tempo dopo l'esercizio il fabbisogno di ossigeno sia grande quasi quanto durante l'esercizio stesso. Eppure, anche durante il primo mezzo minuto dopo l'esercizio si verifica una forte diminuzione

nell'assunzione di ossigeno. Se ne conclude che la diminuzione immediata dell'assunzione di ossigeno è determinata non dal fabbisogno di ossigeno del corpo, ma piuttosto da un'alterazione del meccanismo di rifornimento. La diminuzione immediata dell'assunzione di ossigeno è attribuita soprattutto ad una modificazione della circolazione sanguigna, che risulta dalla cessazione dei movimenti corporei. In seguito all'interruzione delle contrazioni muscolari, diminuisce la velocità di ritorno del sangue venoso al cuore; ne deriva che diminuiscono pure l'efflusso cardiaco e la quantità di sangue che passa nei polmoni, e quindi meno ossigeno viene assorbito a livello polmonare. L'assunzione di ossigeno può raggiungere il valore precedente l'esercizio molto prima di quanto non avvenga per la frequenza cardiaca.

Il recupero, che avviene, come già detto, secondo una linea esponenziale, è dapprima molto rapido, poi più lento. Normalmente si divide il tempo necessario al recupero in tre parti: $2/3$ del recupero avvengono durante il primo terzo del periodo. Questo primo terzo è detto pausa vantaggiosa o di compenso. Nei successivi $2/3$ del periodo di recupero avviene solo il terzo rimanente dello stesso^{24,25} (fig.1).

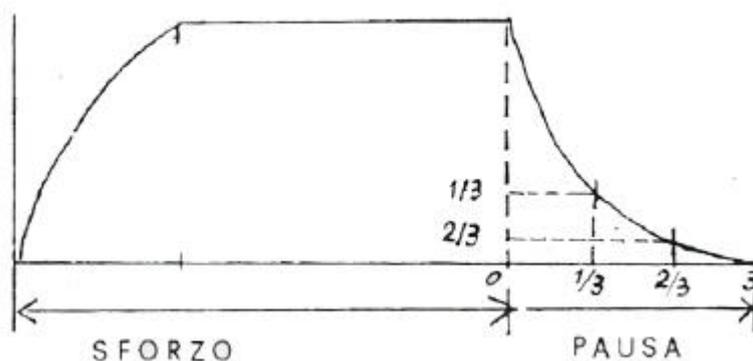


Figura 1: andamento del recupero dopo sforzo

Una lenta discesa della frequenza cardiaca nel primo minuto di recupero è stata considerata anche come indice di potenziale causa di morte²⁶⁻³².

L'attività del sistema vagale è stata studiata anche utilizzando la costante di tempo, che rappresenta la velocità con cui la frequenza cardiaca ritorna ai valori iniziali, la quale ha dimostrato essere in correlazione con la stessa ad intensità di lavoro submassimali mentre è emersa una scarsa correlazione per quanto riguarda intensità elevate e massimali³³.

Un altro indice utilizzato si basa sul rilievo del tempo di dimezzamento ($t_{1/2}$) della differenza fra la frequenza cardiaca osservata al termine di uno sforzo standard e frequenza cardiaca di riposo. Un soggetto caratterizzato da una funzionalità cardiovascolare superiore alla norma presenta, dopo una prova da sforzo standard, un rapido ritorno della frequenza cardiaca a valori di riposo, mentre un individuo scarsamente allenato presenta un tempo di dimezzamento ($t_{1/2}$) molto elevato³⁴.

Studi sul recupero sono stati effettuati anche sui bambini³⁵⁻³⁷. Una ricerca recente³⁸ condotta su 11 ragazzi (10.5 +/- 1 anni) e 10 ragazze (10.8 +/- 0.7 anni) ha evidenziato come non ci siano differenze sostanziali nel recupero, dopo un esercizio di bassa intensità, tra i due sessi.

- **La “frequenza cardiaca di riserva puntuale” FcRis’**

Il concetto di frequenza cardiaca di riserva, heart rate reserve (HRR), viene usato da Wasserman per indicare la differenza tra la massima frequenza cardiaca teorica e la frequenza cardiaca reale misurata al momento del massimo sforzo (picco di VO₂)³⁹. In questo caso ci troviamo davanti ad uno sforzo di tipo massimale e questo parametro viene considerato normale quando assume valori inferiori a 15 battiti al minuto. HRR indica, in sostanza, lo stress del sistema cardiovascolare durante un esercizio fisico e teoricamente, al massimo sforzo, dovrebbe essere uguale a zero.

Nel nostro caso la frequenza cardiaca è stata monitorata durante uno sforzo sottomassimale e l'impegno del sistema cardiovascolare è stato individuato sottraendo dalla massima frequenza cardiaca teorica la frequenza cardiaca "puntuale" (Fc'), ovvero la frequenza cardiaca misurata in un preciso momento dello sforzo. Per questo motivo tale parametro è stato da noi denominato "frequenza cardiaca di riserva puntuale" (FcRis').

È largamente dimostrato come un allenamento di tipo aerobico induca una diminuzione della frequenza cardiaca^{4,40} e come, quindi, durante uno sforzo sottomassimale, un soggetto allenato produca una frequenza cardiaca più bassa rispetto ad un soggetto non allenato con caratteristiche simili. È altrettanto dimostrato come la frequenza cardiaca massima non diminuisca con l'allenamento (o subisca lievi cali nell'anziano)¹⁰.

Pertanto, la differenza tra la massima frequenza cardiaca e la frequenza cardiaca puntuale, a parità di carico, potrebbe essere usata come indice di fitness. Maggiore sarà la differenza ottenuta e migliore sarà la fitness, sempre a parità di carico.

La massima frequenza cardiaca teorica è stata calcolata seguendo i più recenti lavori di Gellish⁴¹⁻⁴³ mentre la Fc' è stata misurata alla fine di ogni step del test TOP.

Basandoci su questi presupposti teorici abbiamo osservato con particolare attenzione questo parametro nel corso della ricerca.

- **Perché la soglia e non il picco?**

Il VO₂max è un valore universalmente riconosciuto come indicatore di capacità cardiopolmonare e molti test si basano proprio sull'individuazione, diretta o indiretta, di questo parametro per fornire indicazioni riguardanti la capacità fisica di un soggetto. Esistono però varie problematiche relative all'individuazione di questo parametro, sia metodologiche che pratiche. Per prima cosa bisogna considerare le caratteristiche dei soggetti che vengono

sottoposti a tali metodiche, soprattutto per quanto riguarda l'età dei soggetti e la loro condizione fisica. Mentre su soggetti altamente allenati e su atleti è possibile ottenere indicazioni precise, su soggetti sedentari o variamente attivi può essere molto difficile ottenere valori significativi. In questi soggetti, che rappresentano il campione da noi considerato, è molto difficile raggiungere un reale VO₂max, pertanto si parla innanzitutto di valori di picco. Inoltre, la somministrazione di un test massimale a questi soggetti prevede numerosi criteri di sospensione del test, soprattutto diversi da soggetto a soggetto, che ne variano la durata e lo rendono pertanto difficilmente confrontabile con prove successive.

Il VO₂ alla soglia, invece, una volta stabilita la metodica di individuazione della stessa, si dimostra un valore stabile e quindi un buon predittore della capacità prestativa e della valutazione della fitness anche di soggetti normali ed è indipendente dalla durata dello sforzo ^{39,44-48}

3. MATERIALI E METODI

In questo studio sono stati valutati più di 100 soggetti sani, di entrambi i sessi e di età varia. Più in specifico si possono evidenziare due fasce di età, la prima che comprende soggetti di età tra i 19 e i 27 anni ($20,9 \pm 1,87$) e la seconda che comprende soggetti di età tra i 68 e i 77 anni ($71,3 \pm 2,21$). Tutti i soggetti sono stati sottoposti a due specifiche metodiche di indagine dello stato di forma, la prima, usata come riferimento scientificamente riconosciuto, attraverso un test incrementale massimale con acquisizione del tracciato ECG e dei gas espirati (test CPX); la seconda, oggetto di questo studio, attraverso un test sottomassimale con acquisizione della frequenza cardiaca (test TOP).

Entrambe le metodiche saranno descritte dettagliatamente nei prossimi paragrafi.

Il primo passo affrontato è stato quello di verificare l'efficacia del TOP nel discriminare i miglioramenti indotti dall'esercizio fisico nello stesso soggetto.

Per fare ciò sono stati testati 40 soggetti sani, sedentari i quali hanno poi svolto un periodo di 6 mesi di allenamento aerobico, al termine del quale sono stati nuovamente testati, sia tramite metodica CPX che con il TOP.

Il secondo passo, il principale, è stato quello di verificare l'efficacia del TOP nel determinare la condizione fisica di un soggetto mediante l'individuazione di un indice di forma fisica.

- **Test CPX**

La strumentazione utilizzata per i test da sforzo consisteva in un sistema per l'analisi degli scambi gassosi (CPX/D System della Medgraphics®) collegato ad un cicloergometro (Corival Cycle Ergometer) e ad un elettrocardiografo (Cardio Perfect ST-2001) (Fig. 2).



Figura 2: Test CPX

Il test da sforzo prevedeva una fase iniziale di warm up di durata variabile ai fini dell'attivazione di tutti i parametri fisiologici del soggetto. In questa fase il soggetto doveva pedalare a Watt zero mantenendo una frequenza di pedalata pari a 60 rpm. Al termine di questa parte iniziava la fase centrale costituita da un lavoro incrementale con un aumento del carico di 10/20 Watt ogni minuto, in base all'età. La fase centrale continuava, oltre il raggiungimento della soglia anaerobica, fino al raggiungimento di uno dei seguenti stati:

- Raggiungimento della VO₂ max.
- Avvicinarsi al limite della massima frequenza cardiaca teorica predetta (220-età) entro un range compreso tra il 95 e il 105 % della stessa.
- Il soggetto non riusciva a mantenere la giusta frequenza di pedalata.
- Affaticamento percepito come massimale dal soggetto.

Raggiunto questo limite iniziava la fase di recupero composta da 5 minuti in cui il soggetto pedalava a carico costante (40 Watt) mantenendo la stessa frequenza di pedalata (60 rpm), e da successivi 5 minuti di recupero passivo in cui il soggetto rimaneva fermo sul cicloergometro. Anche in

questa fase venivano monitorati e acquisiti i dati relativi ai parametri fisiologici. Durante tutta la durata del test sono stati monitorati e acquisiti i valori, respiro per respiro, di consumo di ossigeno (VO_2), di produzione di biossido di carbonio (VCO_2), la ventilazione corrente (VE) e una serie di altri parametri derivati tra cui gli equivalenti respiratori di ossigeno e biossido di carbonio (VE/VO_2 , VE/VCO_2) e il quoziente respiratorio (VO_2/VCO_2) (fig.3).

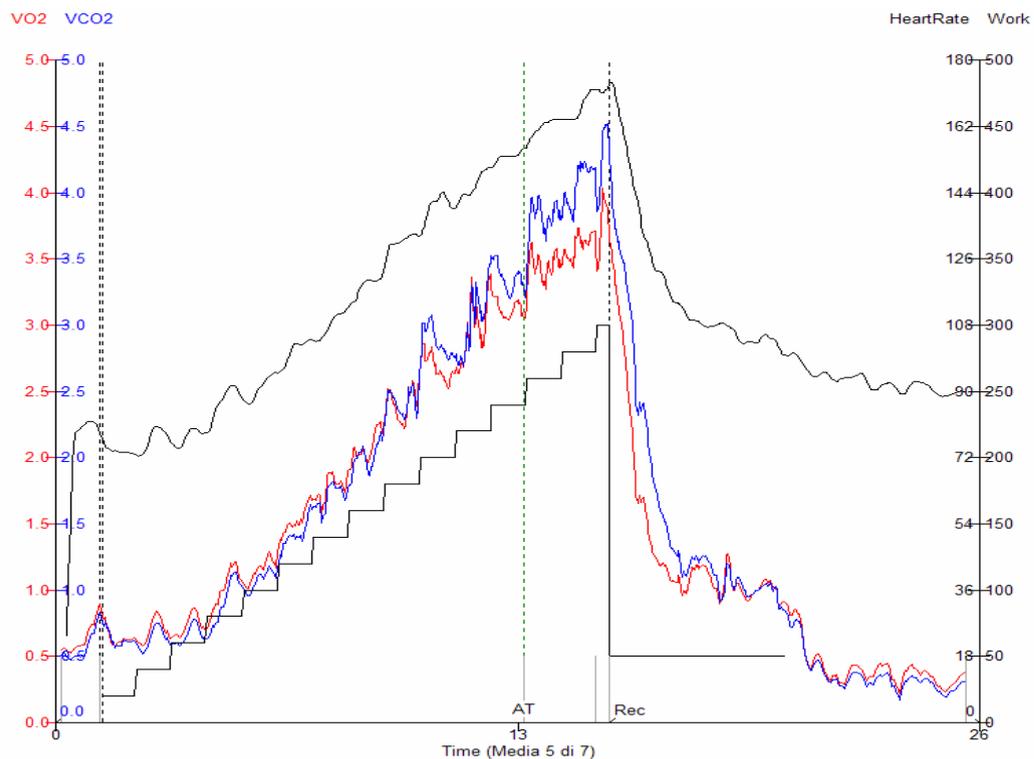


Figura 3: Curve test CPX

- **Individuazione della soglia anaerobica**

Seguendo le indicazioni di Wasserman³⁹, per ogni soggetto è stata individuata la soglia anaerobica. Il metodo convenzionale per l'identificazione della soglia anaerobica ventilatoria si avvale dell'analisi simultanea degli equivalenti ventilatori per l'ossigeno (VE/VO_2) e l'anidride carbonica (VE/VCO_2), del quoziente respiratorio (VCO_2/VO_2), e di $PETO_2$ e $PETCO_2$ durante esercizio^{49,50}. La comparsa della soglia anaerobica ventilatoria si definisce quando la risposta iperventilatoria conseguente all'incremento di VCO_2 si accompagna ad un aumento di

VE/VO₂ e PETO₂ in assenza di variazioni di VE/VCO₂ e PETCO₂, in quanto l'andamento della VE è consensuale a quello di VCO₂: questa è la fase isocapnica dell'esercizio, in cui l'acidosi metabolica non si è ancora sviluppata. Successivamente, la prosecuzione dell'esercizio e il derivante incremento della lattacidemia determinano un ulteriore aumento della VE, sproporzionato alla VCO₂, che caratterizza un incremento di VE/VCO₂ e un calo di PETCO₂: a ciò corrisponde una VCO₂ in eccesso rispetto al VO₂, ed il conseguimento di un quoziente respiratorio, VCO₂/VO₂, > 1. Dal punto di vista pratico l'identificazione della soglia anaerobica ventilatoria corrisponde al nadir di VE/VO₂ e PETO₂, prima che incrementino consensualmente, in presenza di VE/VCO₂ e PETCO₂ stabili e VO₂/VCO₂ intorno ad 1. Il metodo descritto si basa sulla risposta ventilatoria conseguente all'incremento di VCO₂ che può essere alterata in presenza di disturbi del controllo del respiro⁵¹ e/o di patologie meccaniche polmonari. Per ovviare a ciò è stato proposto il metodo V-slope, che valuta l'andamento di VCO₂ e la sua relazione con VO₂⁵². Al di sotto della soglia anaerobica esiste una relazione lineare fra VCO₂ e VO₂ mentre, superata la soglia anaerobica, l'incremento della lattacidemia produce un'addizionale VCO₂ con conseguente variazione della pendenza della relazione VCO₂/VO₂. Il metodo V-slope esige il campionamento *breath by breath*, la trasformazione dei dati (*filtering*) e la loro rielaborazione mediante calcoli matematici. Il metodo V-slope modificato⁵³ rappresenta la semplificazione del metodo descritto che permette di identificare manualmente la soglia anaerobica ventilatoria. La pendenza della relazione VCO₂/VO₂, prima della soglia anaerobica, è uguale a 1 e corrisponde ad una retta, linea di identità, parallela all'ipotenusa di un triangolo isoscele, che ha come lati il VO₂, asse X, e la parallela dell'asse di VCO₂, come Y: raggiunta la soglia anaerobica, la relazione VCO₂/VO₂ si discosta dalla linea di identità ed il VO₂ corrispondente al punto di flesso rappresenta il

valore alla soglia anaerobica ventilatoria. Nei soggetti sani la variabilità della soglia anaerobica ventilatoria è $< 16\%$ ⁵⁴⁻⁵⁷.

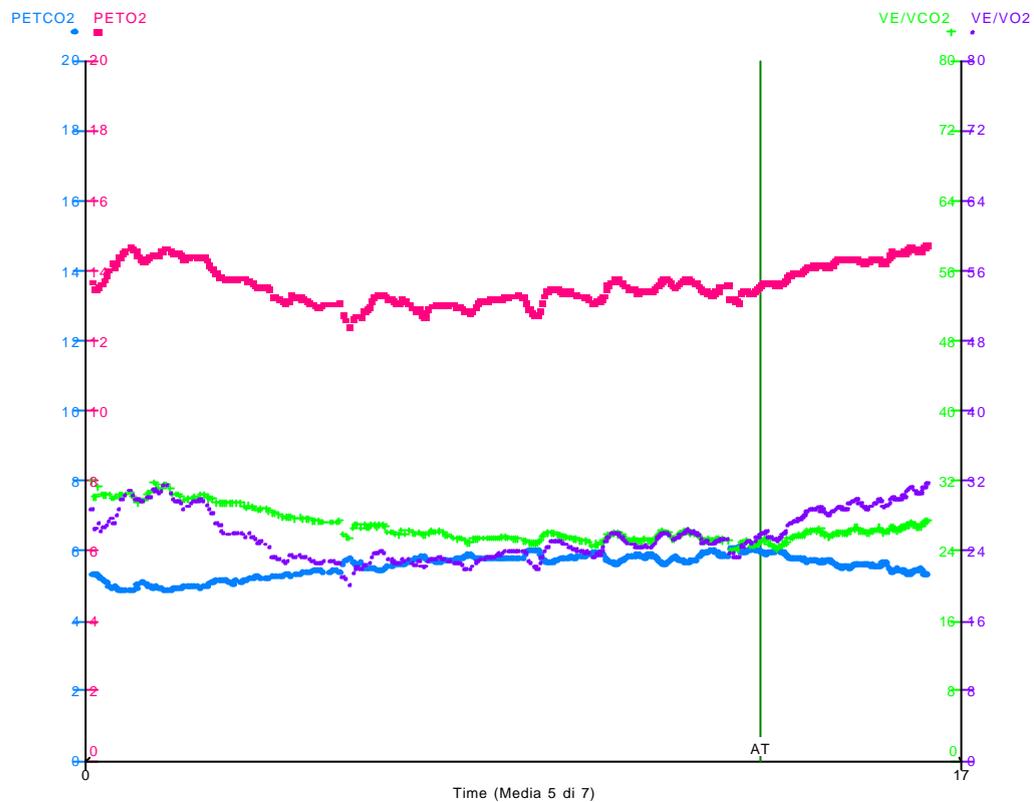


Figura 4: soglia anaerobica

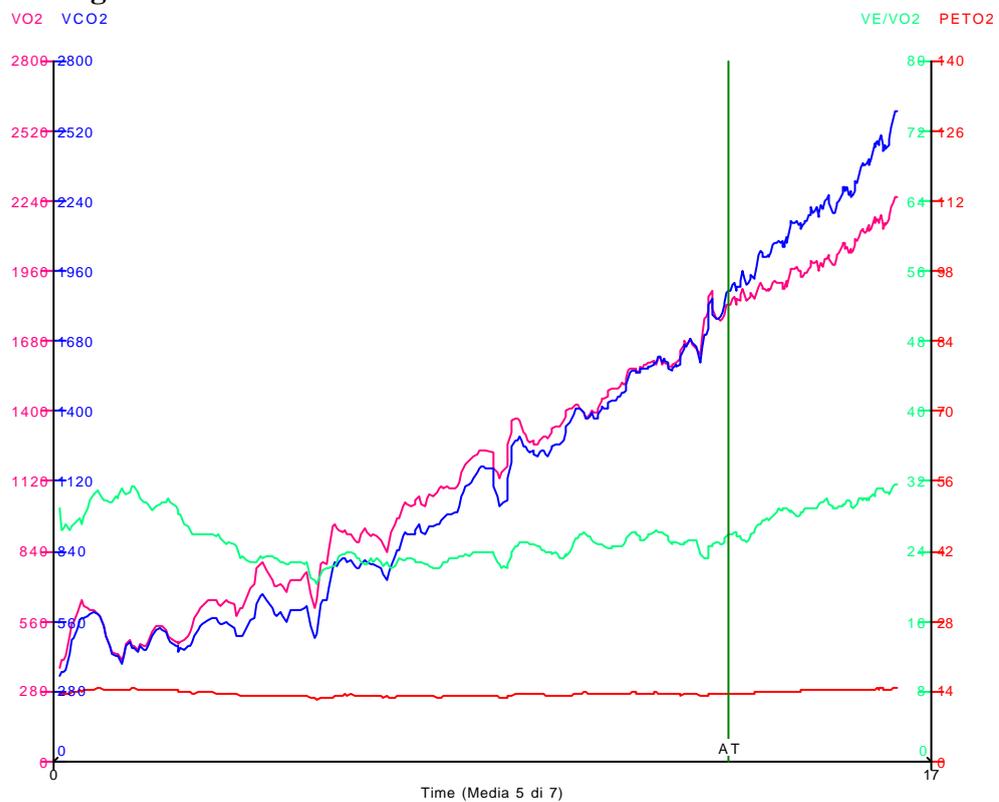


Figura 5: soglia anaerobica

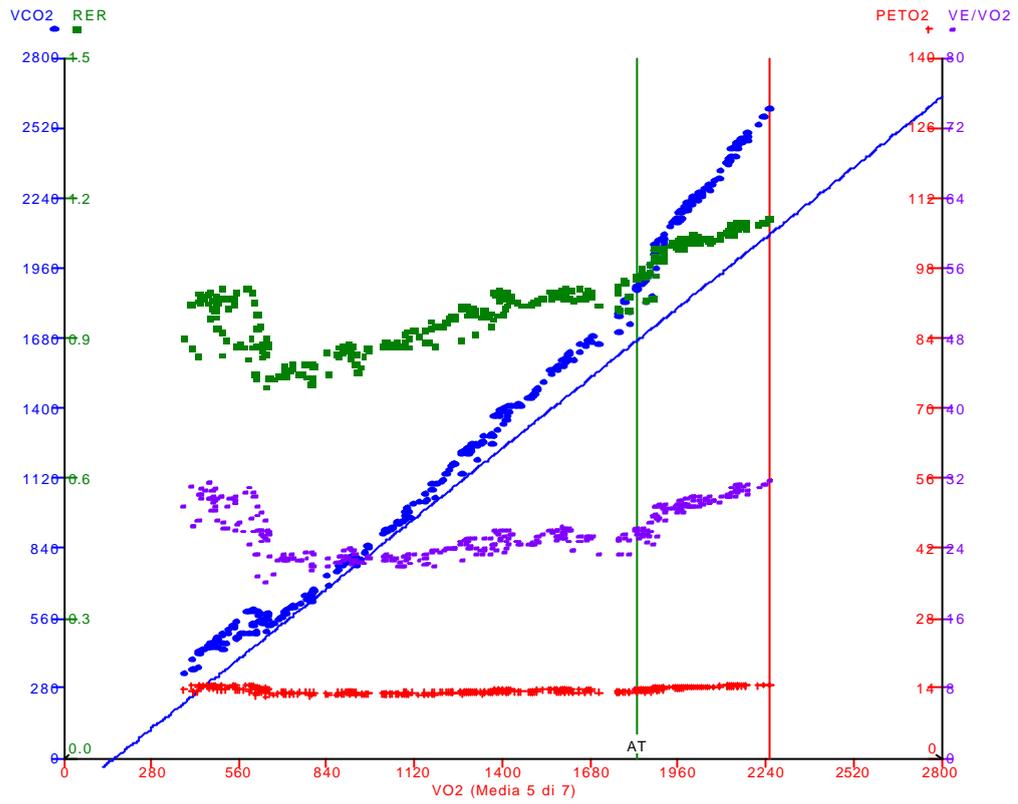


Figura 6: soglia anaerobica

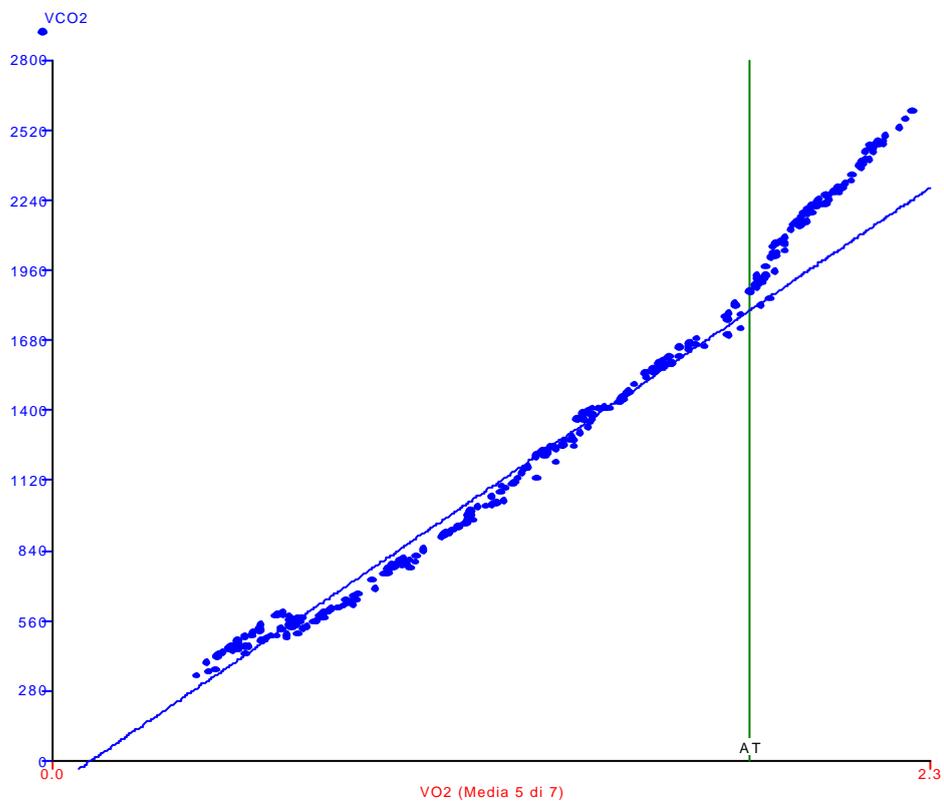


Figura 7: soglia anaerobica V-Slope

- **Test TOP**

Il test, eseguito su RHC400 UPRIGHT BIKE di Air Machine, prevedeva una fase iniziale della durata di 2 minuti in cui il soggetto restava fermo e iniziava il rilevamento della FC tramite software dedicato CardioLab di Air Machine (FASE 1). Al termine della FASE 1 iniziava il primo step (FASE 2): 3 minuti di pedalata a carico costante (a 60 RPM) pari a 40 watt per i soggetti anziani e 60 watt per i soggetti giovani. Terminati i tre minuti di lavoro, iniziava una fase di recupero di 5 minuti durante i quali il soggetto rimaneva fermo. La terza ed ultima fase (FASE 3) prevedeva uno step di 3 minuti di pedalata a carico costante (a 60 RPM) pari a 60 watt per i soggetti anziani e 80 watt per i soggetti giovani. Quindi 5 minuti finali di recupero. (fig. 8 e fig.9)

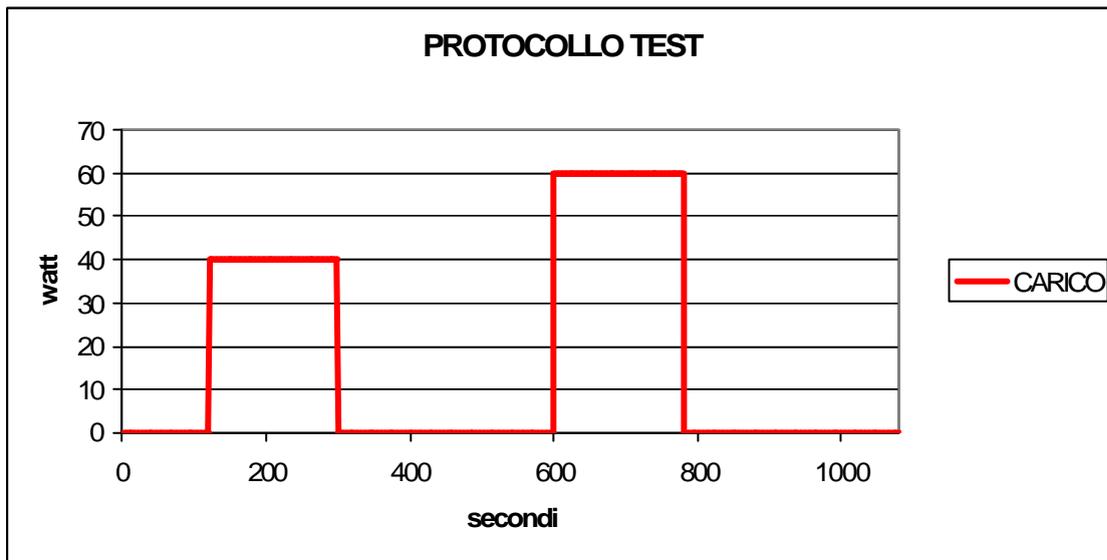


Figura 8: andamento del carico nel TOP

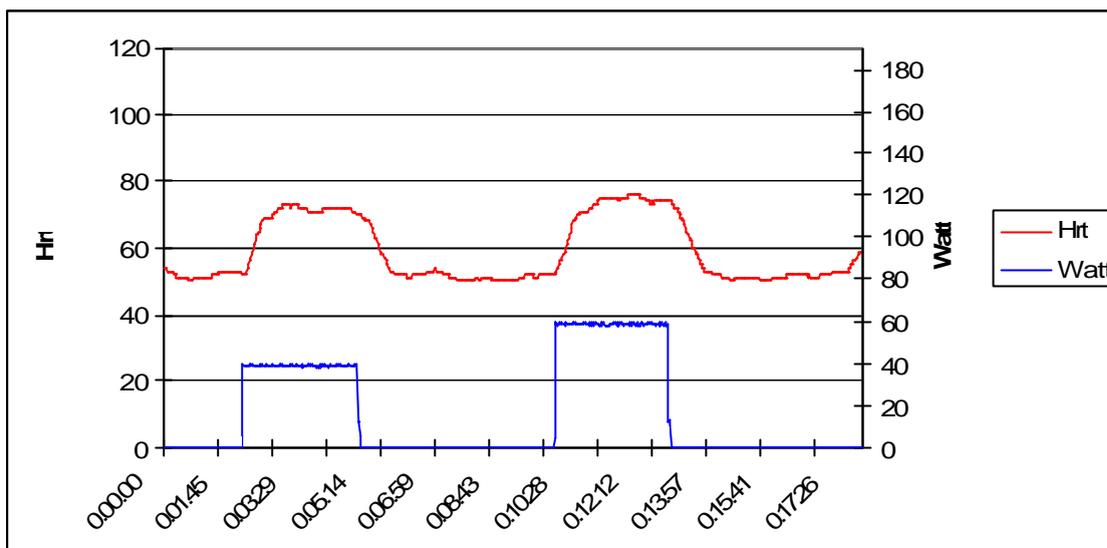


Figura 9: Curve test TOP

- **Raccolta dei dati**

I dati dei due test sono stati raccolti nelle seguenti tabelle (tab.1 e tab.2) per essere successivamente analizzati.

TEST CPX										
NOME	SED/ATT	ETA'	VALORI ALLA SOGLIA				VALORI DI PICCO			
			WATT	Fc	VCO2(ml/min)	VO2 (mL/kg/min)	Fc	WATT	VO2	VCO2
1	SED	71	90	101	1373	15,2	153	170	28,4	2775
2	SED	73	170	157	2169	30,5	157	170	33,4	2469
3	SED	72	130	131	1829	21,6	147	140	26,7	2404
4	SED	70	110	105	1466	18,3	138	170	28,5	2635
5	SED	72	150	140	1973	25,5	154	190	29,8	2467
6	SED	73	130	98	1653	19,3	122	170	23,7	2156
7	SED	72	120	106	1721	22,9	133	160	30,9	2431
8	SED	71	100	125	1377	19,6	144	140	27,7	2267
9	SED	75	100	121	1147	16,5	150	130	24,1	1929
10	SED	70	90	138	1271	19	161	130	27,1	2003
11	SED	70	130	153	1850	21,3	157	140	23,2	2009
12	SED	72	70	92	978	12,8	120	130	22,6	2141
13	SED	71	140	145	2162	26,8	148	140	29,3	2442
14	SED	68	90	80	1231	14,4	136	160	23,6	2504
15	SED	73	110	98	1571	18,6	112	140	25	2346
16	SED	75	130	122	1878	22,3	147	160	27,5	2599
17	SED	68	110	103	1665	21,8	120	140	27,5	2198
18	SED	72	140	121	1996	26,4	147	170	29,7	2432
19	SED	71	70	104	1100	13,9	140	130	22,2	2015
20	SED	69	130	121	1850	20,9	134	150	25,5	2402
21	SED	69	140	121	1932	22	140	160	26,2	2452
22	SED	69	130	150	2208	31,2	150	130	31,2	2208
23	SED	72	170	140	2299	24,4	147	170	27,1	2605
24	SED	75	60	118	972	13,5	133	80	17,2	1434
25	SED	70	80	118	1111	20,3	120	90	24,1	1463
26	SED	70	110	132	1372	16,3	147	130	20,4	1882
27	SED	69	90	117	1419	19,6	135	120	23,4	1810
28	SED	69	90	119	1241	15,6	150	120	22	2113
29	SED	73	70	141	1114	15,4	149	80	20,9	1566
30	SED	71	90	100	1407	17,1	122	120	22,4	1954
31	SED	68	80	122	1228	17,1	132	90	18,5	1467
32	SED	75	60	125	1037	14,3	136	70	16,9	1300
33	SED	70	80	121	1177	17,1	140	110	23,3	1749

34	SED	77	60	107	903	13,2	124	90	17,5	1437
35	SED	73	60	126	902	12,4	136	70	15,5	1210
36	SED	74	90	128	1160	17,6	140	110	21,4	1538
37	SED	68	110	137	1756	20,9	153	130	23,5	2086
38	SED	69	110	133	1513	17,5	144	120	22,7	2117
39	ATT	71	100	92	1256	14,8	150	131	25,1	2211
40	ATT	73	180	153	2396	33,4	190	153	34,5	2521
41	ATT	72	130	142	1981	25	150	154	29	2371
42	ATT	70	150	114	1858	23,2	180	133	30,7	2528
43	ATT	72	170	143	2026	25,8	180	148	28	2236
44	ATT	73	170	126	2099	24,8	190	135	29,5	2555
45	ATT	72	120	104	1711	25,5	150	122	31	2289
46	ATT	71	110	131	1560	21,9	140	143	27,5	2074
47	ATT	75	140	147	1693	23,4	130	145	24,4	1618
48	ATT	70	110	142	1401	22,2	130	156	28,2	1985
49	ATT	70	160	154	2036	25,8	160	153	27,2	2097
50	ATT	72	110	113	1578	21,7	130	121	24,8	2022
51	ATT	71	160	137	2257	28,3	160	147	31,8	2652
52	ATT	68	120	112	1860	20,6	160	136	25,1	2354
53	ATT	73	120	92	1569	18,8	140	96	21,9	1850
54	ATT	75	140	130	1874	24,2	170	147	30,9	2708
55	ATT	68	150	111	2068	26,7	150	111	27,6	2142
56	ATT	72	160	132	2003	28,3	180	151	33	2455
57	ATT	71	100	112	1417	18,3	130	138	22,5	1954
58	ATT	69	150	132	2138	25,2	150	133	27,2	2312
59	ATT	69	120	104	1803	20	130	104	20,5	1852
60	ATT	69	160	142	2279	2,5	160	142	35,6	2379
61	ATT	72	150	121	1825	20,9	170	132	26,2	2383
62	ATT	75	80	119	1177	17,2	90	133	20,1	1533
63	ATT	70	80	113	1288	21,8	90	120	23,4	1443
64	ATT	70	110	138	1593	19,6	130	146	23,7	2042
65	ATT	69	80	102	1140	16,7	110	115	20,5	1552
66	ATT	69	110	123	1513	19,5	130	142	23,5	1983
67	ATT	73	80	141	1075	16	80	135	18,6	1398
68	ATT	71	130	129	1871	23,7	130	131	24,3	1986
69	ATT	68	90	125	1408	20,2	110	148	24	1822
70	ATT	75	70	104	1045	15,1	70	107	16,9	1211
71	ATT	70	90	77	1150	18	80	130	20,2	1290
72	ATT	77	80	122	1111	16,1	80	128	18,2	1303
73	ATT	73	70	128	1205	15,5	70	129	16,9	1312
74	ATT	74	90	125	1251	18,3	110	107	22,1	1530
75	ATT	68	120	131	1774	22,9	130	145	26,2	2221
76	ATT	69	130	140	1919	24,6	130	145	25,5	2088
77	ATT	20	120	161	1215	26,1	176	160	35,7	2046
78	ATT	21	120	137	1445	25,2	180	180	41,5	3132
79	ATT	22	200	153	2358	35,8	163	200	41,5	2837
80	ATT	20	160	156	2241	31,3	178	200	40,7	3527
81	ATT	23	200	156	2651	34,2	176	260	46,5	4175
82	ATT	27	220	172	3079	51,9	182	260	54,7	3941
83	ATT	19	240	170	3581	43,5	178	260	46,4	4527
84	ATT	20	180	174	1886	31,4	180	200	41,3	3150
85	ATT	20	180	180	1907	40,8	187	200	49,9	2976
86	ATT	20	200	150	1825	27,4	163	240	45,3	4038
87	ATT	22	140	166	1522	28,1	191	180	40	2731
88	ATT	21	140	150	1619	32,5	164	160	42,2	2335
89	ATT	20	200	144	2644	37,4	163	240	47,2	3645
90	ATT	20	220	163	2748	36,7	180	240	46	4111
91	ATT	20	240	156	3278	48,4	170	300	64,1	4454
92	ATT	19	200	142	2780	39,5	154	220	44,5	3365
93	ATT	20	220	163	3191	42,3	168	240	46,4	3885
94	ATT	21	120	133	1270	24,2	169	180	35,8	2301
95	ATT	23	260	171	3625	49,3	170	260	50,6	3526

Tabella 1: Dati test CPX

TOP STEP 60 WATT								
NOME	SED/ATT	ETA'	t-salita (sec)	t-discesa (sec)	fcmax	FcRec1'	%Rec	FcRis'
1	SED	71	89	74	89	79	80,9	70,3
2	SED	73						
3	SED	72	109	69	93	84	53,7	65,7
4	SED	70	49	55	83	66	110,6	77,0
5	SED	72	40	56	101	81	103,8	57,7
6	SED	73		90	116	90	85,2	42,0
7	SED	72	76	74	114	74	98,7	44,7
8	SED	71			81	66	156,7	78,3
9	SED	75	85	77	100	86	72,8	56,7
10	SED	70	76	69	75	59	106,3	85,0
11	SED	70	102	113	99	81	67,0	61,0
12	SED	72	74	59	109	84	99,9	49,7
13	SED	71	114	92	109	94	88,4	50,3
14	SED	68	78	128	147	114	60,0	14,3
15	SED	73	129	120	85	64	87,8	73,0
16	SED	75	180	36	98	77	102,6	58,7
17	SED	68		96	119	80	88,6	42,3
18	SED	72	101	53	111	92	97,1	47,7
19	SED	71	87	74	106	87	89,0	53,3
20	SED	69	113	128	92	78	84,2	68,7
21	SED	69	83	72	94	80	132,8	66,7
22	SED	69		143	108	89	61,4	52,7
23	SED	72	90	57	116	91	102,0	42,7
24	SED	75	79	92	105	92	88,9	51,7
25	SED	70		152	113	90	67,7	47,0
26	SED	70		204	138	108	87,2	22,0
27	SED	69	136	97	112	77	87,0	48,7
28	SED	69	63	97	78	67	77,3	82,7
29	SED	73	94	116	90	74	84,3	68,0
30	SED	71	129	211	112	97	56,8	47,3
31	SED	68	77	153	75	67	70,0	86,3
32	SED	75	50	74	82	64	132,8	74,7
33	SED	70	79	66	95	83	131,2	65,0
34	SED	77			91	77	187,4	64,3
35	SED	73	72	160	80	62	98,7	78,0
36	SED	74	132	125	87	66	85,3	70,3
37	SED	68	121	149	106	88	77,8	55,3
38	SED	69	66	99	82	63	88,0	78,7
39	ATT	71	52	63	85	72	65,0	74,3
40	ATT	73	37	57	92	69	117,1	66,0
41	ATT	72						
42	ATT	70	32	80	81	57	108,1	79,0
43	ATT	72						
44	ATT	73						
45	ATT	72	65	31	107	81	114,8	51,7
46	ATT	71	30	58	79	59	126,9	80,3
47	ATT	75						
48	ATT	70	29	56	91	69	89,8	69,0
49	ATT	70	84	86	93	74	71,9	67,0
50	ATT	72	75	91	104	85	108,4	54,7
51	ATT	71	51	35	99	84	73,3	60,3
52	ATT	68	85		141	105	65,3	20,3
53	ATT	73	73	91	80	68	80,9	78,0
54	ATT	75	43	42	87	65	127,9	69,7
55	ATT	68	76	75	106	69	102,2	55,3
56	ATT	72	37	78	103	93	60,5	55,7
57	ATT	71	30	39	106	88	93,3	53,3
58	ATT	69						
59	ATT	69						
60	ATT	69	119,8	83	108	88	68,7	52,7
61	ATT	72	83	86	114	88	86,9	44,7
62	ATT	75	70	56	87	71	99,7	69,7
63	ATT	70						
64	ATT	70						
65	ATT	69	73	41	98	69	108,9	62,7
66	ATT	69	48	76	73	65	109,3	87,7
67	ATT	73	39	44	95	75	91,5	63,0
68	ATT	71	61	90	97	80	88,7	62,3

69	ATT	68	34	59	75	64	124,9	86,3
70	ATT	75	37	46	78	59	107,8	78,7
71	ATT	70	97	57	101	84	107,4	59,0
72	ATT	77						
73	ATT	73	51	78	81	65	93,5	77,0
74	ATT	74	84	66	83	63	89,0	74,3
75	ATT	68	46	85	94	78	79,3	67,3
76	ATT	69	71	78	76	53	96,0	84,7
77	ATT	20	27	57	126	96	93,9	67,5
78	ATT	21	61	59	113	82	105,4	79,8
79	ATT	22	33	45	93	57	113,8	99,2
80	ATT	20	30	58	109	72	144,2	84,5
81	ATT	23	27	117	93	82	71,9	98,5
82	ATT	27	23	62	98	68	106,6	90,8
83	ATT	19	27	59	93	75	118,5	101,2
84	ATT	20	35	63	128	101	109,5	65,5
85	ATT	20	35	63	114	87	103,9	79,5
86	ATT	20	29	57	91	61	127,6	102,5
87	ATT	22	29	44	122	83	111,7	70,2
88	ATT	21	21	59	118	94	114,1	74,8
89	ATT	20	36	69	91	69	122,8	102,5
90	ATT	20	27	41	105	83	127,3	88,5
91	ATT	20	32	51	89	73	105,3	104,5
92	ATT	19	32	47	87	64	104,1	107,2
93	ATT	20	24	54	97	71	94,1	96,5
94	ATT	21	26	59	111	86	111,1	81,8
95	ATT	23	32	49	87	64	136,2	104,5

Tabella 2: Dati test TOP

4. ANALISI DEI DATI

Seguendo la cronologia illustrata nel capitolo 3 “materiali e metodi”, la prima analisi dei dati svolta ha avuto come obiettivo la verifica dell’efficacia del TOP nel discriminare i miglioramenti indotti dall’esercizio fisico nello stesso soggetto.

Per questo scopo, per prima cosa abbiamo verificato i risultati ottenuti da tutti i soggetti nel test CPX (valori di soglia), prima e dopo l’allenamento. I dati riportati nelle tabelle (tab.3) mostrano un miglioramento significativo dei valori di soglia, evidenziando e confermando, quindi, gli effetti benefici dell’allenamento sullo stato di forma fisica di un soggetto.

SEDENTARI				
	VALORI ALLA SOGLIA			
	WATT	Fc	VO2 (mL/kg/min)	VCO2(ml/min)
media	105,00	121,47	19,29	1500,29
st.dev	30,11	17,72	4,69	401,44
min	60	80	12,4	902
max	170	157	31,2	2299

ATTIVI				
	VALORI ALLA SOGLIA			
	WATT	Fc	VO2 (mL/kg/min)	VCO2(ml/min)
media	120,79	123,76	22,07	1663,37
st.dev	31,48	17,71	4,71	380,89
min	70	77	14,8	1045
max	180	154	34,7	2396

p	4,17895E-07	0,349028325	1,94492E-07	0,000113294
----------	--------------------	-------------	--------------------	--------------------

Tabella 3: valori alla soglia prima e dopo l’allenamento e relativi indici di significatività

La stessa cosa è stata fatta con i parametri del TOP i cui dati sono riportati nella seguente tabella (tab.4).

SEDENTARI												
	TOP STEP 1 (40W)						TOP STEP 2 (60W)					
	t-salita	t-discesa	Fcmax	FcRec1'	%Rec	Fcris'	t-salita	t-discesa	Fcmax	FcRec1'	%Rec	Fcris'
media	76,47	78,45	94,05	78,65	97,45	65,11	92,43	100,86	99,76	80,3	93,24	59,41
st.dev	31,11	25,94	13,97	12	48,48	14,24	30,09	42,23	16,61	12,8	27,27	16,41

ATTIVI												
	TOP STEP 1 (40W)						TOP STEP 2 (60W)					
	t-salita	t-discesa	Fcmax	FcRec1'	%Rec	Fcris'	t-salita	t-discesa	Fcmax	FcRec1'	%Rec	Fcris'
media	63,38	61,31	90,27	72,54	104,7	68,88	60,93	65,25	93,59	73,79	95,07	65,67
st.dev	22,03	22,42	13,2	11,82	30,96	13,12	29,77	18,81	14,63	12,14	19,19	14,33

p	0,087834	0,035774	0,80524	0,00336	0,649	0,0108	0,0000255	0,000242	0,00157	0,00219	0,5547	0,0007
----------	----------	-----------------	---------	----------------	-------	---------------	------------------	-----------------	----------------	----------------	--------	---------------

Tabella 4: valori TOP prima e dopo l'allenamento

Anche da questi dati emerge una differenza significativa tra i due gruppi, evidente soprattutto nei dati relativi al secondo step del TOP.

Su questa evidenza si è quindi deciso di continuare le successive analisi sui dati relativi allo step di 60 watt.

Considerato, quindi, che entrambi i test mostravano differenze significative tra il gruppo dei sedentari e il gruppo degli attivi, si è proseguito nell'analisi cercando di capire se entrambi i test fornivano o meno la stessa indicazione. Per fare ciò sono stati attribuiti dei punteggi, indicativi della variazione di ogni parametro tra il primo e il secondo test, considerando +1 in caso di miglioramento e -1 in caso di peggioramento. È stata anche considerata una combinazione lineare dei punteggi dei vari parametri, "PS", costituito dalla somma algebrica di tutti i punteggi delle singole variabili; un'altra combinazione lineare ha visto, invece, l'individuazione di "Por", come somma logica di tutte le variabili. Questo sistema è stato utilizzato su entrambi i test, sia CPX che TOP. (tab.5). A questo punto sono

stati confrontati i punteggi dei due test (tab.6) e utilizzando un test di McNemar è stato possibile paragonare i risultati ottenuti dalle due diverse metodiche. In tabella sono riportati come esemplificazione i risultati relativi alla sola variabile VO2 (tab.7).

Soggetto	Punteggio WATT soglia	Punteggio VO2 soglia	Punteggio VCO2 soglia	Punteggio S	Punteggio OR
1	1	-1	-1	-1	1
2	1	1	1	3	1
3	-1	1	1	1	1
4	1	1	1	3	1
5	1	1	1	3	1
6	1	1	1	3	1
7	-1	1	1	1	1
8	1	1	1	3	1

Tabella 5: punteggi CPX

Soggetto	CONCORDANZA CON ? FCmax PER OGNI GRADINO											
	? FCmax 1 step	? FCmax 2 step	? FCmax 1 step con PW	? FCmax 1 step con PVO2	? FCmax 1 step con PVC02	? FCmax 1 step con P S	? FCmax 1 step con Por	? FCmax 2 step con Pw	? FCmax 2 step con PVO2	? FCmax 2 step con PVC02	? FCmax 2 step con P S	? FCmax 2 step con Por
1	-5	-7	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1
2	-37	-36	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
3	-8	-5	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
4	-4	-7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
5	-10	-13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	-1	-7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
7	-4	-6	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
8	-10	-8	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tabella 6: confronto punteggi CPX-TOP

		Pvo2	
		<0	>0
? Fcmax 1	<0	1	6
	>0	3	28

p 0,505
sensibilità 82%
specificità 25%

		Pvo2	
		<0	>0
? Fcmax 2	<0	1	4
	>0	3	30

p 1
sensibilità 88%
specificità 25%

		Pvo2			
		<0	>0		
? Tsal 1	<0	3	15	p	0,001
	>0	1	19	sensibilità	56%
				specificità	75%

		Pvo2			
		<0	>0		
? Tsal 2	<0	1	11	p	0,061
	>0	3	23	sensibilità	68%
				specificità	25%

		Pvo2			
		<0	>0		
? Tdisc 1	<0	1	9	p	0,149
	>0	3	25	sensibilità	74%
				specificità	25%

		Pvo2			
		<0	>0		
? Tdisc 2	<0	0	8	p	0,386
	>0	4	26	sensibilità	76%
				specificità	0%

		Pvo2			
		<0	>0		
? FcRis ' 2	<0	1	16	p	0,006
	>0	3	18	sensibilità	53%
				specificità	25%

Tabella 7: test McNemar

Accanto ad ogni tabella sono riportati i valori di sensibilità e specificità che confermano come sia il CPX che il TOP, con buona precisione, forniscono le medesime indicazioni sullo stato di forma fisica di un soggetto.

La sensibilità è la capacità di identificare correttamente i soggetti che sono realmente migliorati. In termini di probabilità, la sensibilità indica che un soggetto migliorato viene evidenziato dal test; si può anche dire che essa è la proporzione dei soggetti realmente migliorati che risultano migliorati al test.

Ad un esame superficiale, potrebbe sembrare che la sensibilità sia l'unica qualità desiderabile in un test: infatti, sembrerebbe un eccellente risultato il poter identificare correttamente tutti i soggetti migliorati impiegando un test con una sensibilità del 100%. Tuttavia, esaminando meglio la questione, si giunge alla conclusione che la suddetta qualità non è sufficiente. Infatti, è necessario anche un altro requisito: il test deve identificare come migliorati soltanto i soggetti realmente migliorati; cioè, è

necessario che fra i soggetti che il test evidenzia come migliorati non siano inclusi anche soggetti che in realtà sono peggiorati. Da questa osservazione discende il concetto di specificità.

La specificità è la capacità di identificare correttamente i soggetti peggiorati. In termini di probabilità, la specificità indica che un soggetto peggiorato viene evidenziato dal test come realmente peggiorato; si può anche dire che essa è la proporzione dei soggetti realmente peggiorati che risultano peggiorati al test.

Infine, per sottolineare nuovamente i risvolti pratici legati alle caratteristiche di sensibilità ed alla specificità di un test, si può ricordare che ad un test molto sensibile raramente sfuggono i soggetti realmente migliorati e un test molto specifico raramente classifica come migliorato un soggetto peggiorato.

Nel nostro campione di soggetti, non sono presenti peggioramenti, se non poche unità. Pertanto i risultati di bassa specificità del test possono essere ricondotti a questo.

La fase successiva, è stata quella di verificare l'efficacia del TOP nel determinare la condizione fisica di un soggetto mediante l'individuazione di un indice di forma fisica.

I dati sono, quindi, stati analizzati mediante regressione mediana perchè non c'erano i presupposti per l'utilizzo della regressione lineare (normalità distributiva dei residui e delle variabili considerate, omoschedasticità, non correlazione delle variabili).

Inoltre questo tipo di regressione non è sensibile ai valori estremi delle covariate.

È stata utilizzata una selezione di tipo backward per identificare le sole variabili significative, tutto ciò per individuare quali variabili erano

correlate con quella che di volta in volta era la variabile considerata dipendente (tempo discesa, tempo salita, Fc riserva, ecc)

La significatività è stata considerata ad un livello di alfa = 0.05 (quindi probabilità di errore del 5%).

I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti (tab.8 e tab.9)

Variabili analizzate:

- attivo
- sesso
- età
- watt soglia (s) e picco (p)
- fc soglia (s) e picco (p)
- vco2 soglia (s) e picco (p)
- vo2 soglia (s) e picco (p)

t_salita	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
attivo	-32,572	5,381502	-6,05	0,00000	-43,2949	-21,8491
vo2_s	-2,40056	0,498438	-4,82	0,00000	-3,39372	-1,4074
vco2_s	0,02611	0,007203	3,62	0,00100	0,011757	0,040463

t_discesa	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
attivo	-18,8213	4,809698	-3,91	0,00000	-28,4006	-9,24194
sesso	-11,5794	5,205885	-2,22	0,02900	-21,9478	-1,21099
fc_p	0,211527	0,09689	2,18	0,03200	0,018554	0,4045
vco2_s	0,019725	0,006397	3,08	0,00300	0,006984	0,032467
watt_p	-0,42386	0,080691	-5,25	0,00000	-0,58457	-0,26315

Fcmax	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	

FcRec1'	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
attivo	-10,0149	4,034483	-2,48	0,01500	-18,0422	-1,98749
vco2_s	-0,02333	0,00878	-2,66	0,00900	-0,0408	-0,00586
watt_s	0,348887	0,118966	2,93	0,00400	0,112181	0,585592

%Rec	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
età	-0,41854	0,102812	-4,07	0,00000	-0,62302	-0,21405

FcRis'	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
fc_p	-0,28617	0,119541	-2,39	0,01900	-0,52402	-0,04833
vco2_p	0,011071	0,005011	2,21	0,03000	0,001101	0,02104
età	-0,4245	0,169265	-2,51	0,01400	-0,76128	-0,08771

Tabella 8: regressione mediana su tutte le variabili

Variabili analizzate:

- attivo
- sesso
- età
- watt soglia (s)
- fc soglia (s)
- vco2 soglia (s)
- vo2 soglia (s)

t_salita	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
attivo	-35	4,460461	-7,85	0,00000	-43,8857	-26,1143
età	0,45098	0,099497	4,53	0,00000	0,252772	0,649189

t_discesa	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
attivo	-33	3,818716	-8,64	0,00000	-40,5995	-25,4005

Fcmax	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	

FcRec1'	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
attivo	-10,0149	4,034483	-2,48	0,01500	-18,0422	-1,98749
vco2_s	-0,02333	0,00878	-2,66	0,00900	-0,0408	-0,00586
watt_s	0,348887	0,118966	2,93	0,00400	0,112181	0,585592

%Rec	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
attivo	9,35746	4,4904	2,08	0,04000	0,422971	18,29195
vco2_s	-0,01307	0,005151	-2,54	0,01300	-0,02332	-0,00282
vo2_s	1,133474	0,330128	3,43	0,00100	0,476623	1,790325

FcRis'	Coef.	Std.Err.	t	P> t	95% Conf. Interval	
età	-0,60023	0,126596	-4,74	0,00000	-0,85203	-0,34844

Tabella 9: regressione mediana sulle variabili di soglia

La regressione mediana non ha evidenziato risultati significativi, pertanto si è proceduto con una successiva analisi, questa volta utilizzando una cluster analysis per ottenere n gruppi omogenei sulla base delle variabili considerate come sesso, età, attivo ecc.

È stata quindi effettuata una suddivisione in tre gruppi, di cui sono riportate nelle tabelle di seguito le descrittive dei risultati. Sono riportate in tabella le divisioni fatte con tutti i parametri (tab.10), con solo i parametri relativi al

test CPX (tab.11) e, per ultimo, con solo quelli del test TOP (tab.12). Per ogni divisione troviamo prima i gruppi peggiori (non attivi, donne, anziani) poi quelli migliori (maschi, attivi, giovani)

La tabella in fondo (tab.13) rappresenta la concordanza tra i test che risulta, peraltro, dell'83,23%.

Si tratta di una concordanza "pesata" nel senso che un soggetto classificato 1 dalla prima suddivisione e 3 dalla seconda risulta NON CONCORDE. Se entrambe le classificazioni sono 1, risulta CONCORDE.

Mentre se la prima dà 1 e la seconda 2 viene fornita una concordanza molto piccola perchè comunque i due gruppi sono vicini.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	47	46,8%	0,5043749	0	1
Sesso (M)	47	40,4%	0,4960529	0	1
età	47	66,08511	15,88249	20	77
watt_s	47	96,17021	21,52382	60	140
fc_s	47	119,383	18,55609	77	166
vco2_s	47	1,331128	238,6246	902	1774
vo2_s	47	18,89787	4,207265	12,4	32,5
Fcmax	47	95,57447	15,0546	73	126
FcRec1'	47	75,70213	10,99983	59	97
%Rec	47	98,64801	23,42355	56,81324	187,3846
FcRis'	47	67,04851	13,15664	41,99	87,67

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	30	66,6%	0,4794633	0	1
Sesso (M)	30	86,6%	0,3457459	0	1
età	30	55,83333	23,62652	19	75
watt_s	30	160	27,03765	130	220
fc_s	30	140,8333	17,00727	111	180
vco2_s	30	2,113433	294,1292	1825	2780
vo2_s	30	27,28333	7,448864	2,5	40,8
Fcmax	30	99,6	11,32772	76	128
FcRec1'	30	78,1	12,27936	53	101
%Rec	30	97,31264	23,91557	53,7037	144,1558
FcRis'	30	69,89167	18,55381	42,66	107,17

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	5	100%	0	1	1
Sesso (M)	5	100%	0	1	1
Età	5	21,8	3,271085	19	27
watt_s	5	236	16,7332	220	260
fc_s	5	166,4	6,80441	156	172
vco2_s	5	3,3508	241,2928	3079	3625
vo2_s	5	47,08	4,048704	42,3	51,9
Fcmax	5	92,8	4,816638	87	98
FcRec1'	5	70,2	4,32435	64	75
%Rec	5	112,1535	15,9976	94,09318	136,2151
FcRis'	5	99,494	5,856726	90,81	104,5

Tabella 10: cluster analysis su tutte le variabili

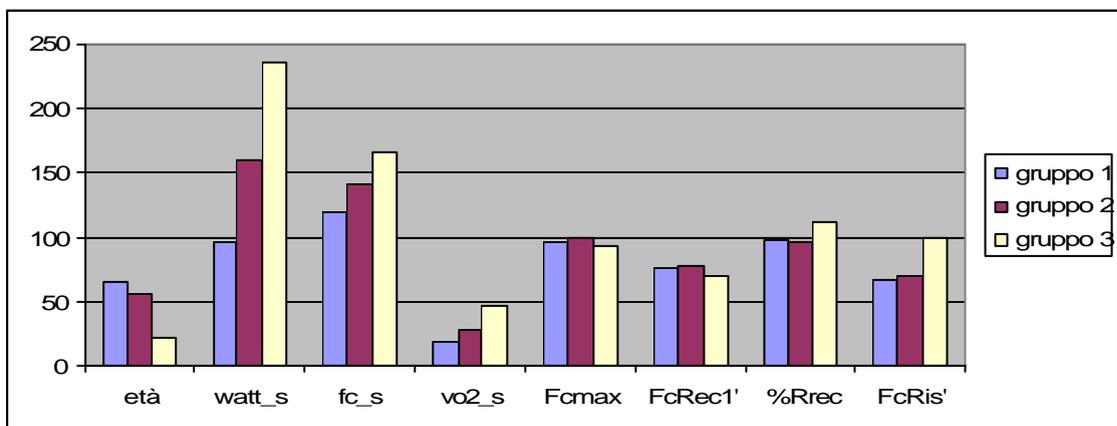


Figura 10: andamento delle variabili nei 3 gruppi

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	47	46,8%	0,504375	0	1
Sesso (M)	47	40,4%	0,496053	0	1
età	47	66,08511	15,88249	20	77
watt_s	47	96,17021	21,52382	60	140
fc_s	47	119,383	18,55609	77	166
vco2_s	47	1331,128	238,6246	902	1774
vo2_s	47	18,89787	4,207265	12,4	32,5

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	30	66,6%	0,479463	0	1
Sesso (M)	30	86,6%	0,345746	0	1
età	30	55,83333	23,62652	19	75
watt_s	30	160	27,03765	130	220
fc_s	30	140,8333	17,00727	111	180
vco2_s	30	2113,433	294,1292	1825	2780
vo2_s	30	27,28333	7,448864	2,5	40,8

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	5	100%	0	1	1
Sesso (M)	5	100%	0	1	1
età	5	21,8	3,271085	19	27
watt_s	5	236	16,7332	220	260
fc_s	5	166,4	6,80441	156	172
vco2_s	5	3350,8	241,2928	3079	3625
vo2_s	5	47,08	4,048704	42,3	51,9

Tabella 11: cluster analysis sulle variabili di soglia (CPX)

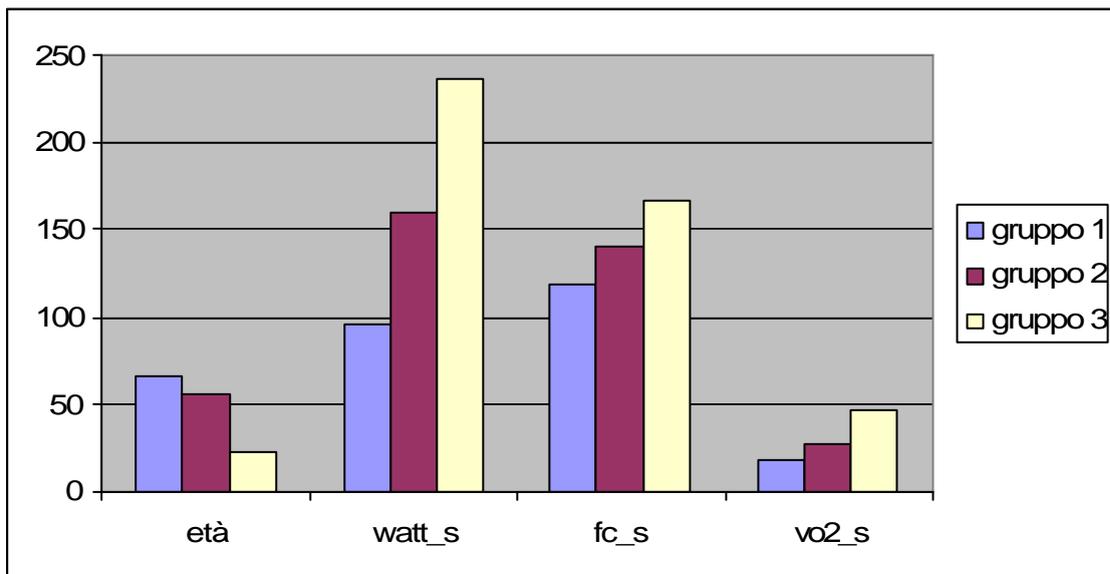


Figura 11: andamento delle variabili di soglia (CPX) nei 3 gruppi

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	50	44%	0,501427	0	1
Sesso (M)	50	60%	0,494872	0	1
età	50	71,24	2,036002	68	75
Fcmax	50	98,1	11,99702	75	119
FcRec1'	50	78,4	10,32927	53	97
%Rec	50	86,63618	15,06873	53,7037	117,086
FcRis'	50	61,0692	11,95803	41,99	86,34

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	17	58,8%	0,5073	0	1
Sesso (M)	17	64,7%	0,492592	0	1
età	17	59,58824	22,35805	20	77
Fcmax	17	86,23529	10,26237	73	109
FcRec1'	17	67,29412	8,549596	57	83
%Rec	17	129,2999	20,37512	106,3407	187,3846
FcRis'	17	80,74059	11,4906	64,31	104,49

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
attivo	15	100%	0	1	1
Sesso (M)	15	60%	0,507093	0	1
età	15	21	2	19	27
Fcmax	15	104,8667	14,46605	87	128
FcRec1'	15	79,2	12,50828	57	101
%Rec	15	105,7797	12,23716	71,90083	122,771
FcRis'	15	87,96333	14,47518	65,5	107,17

Tabella 12: cluster analysis sulle variabili TOP

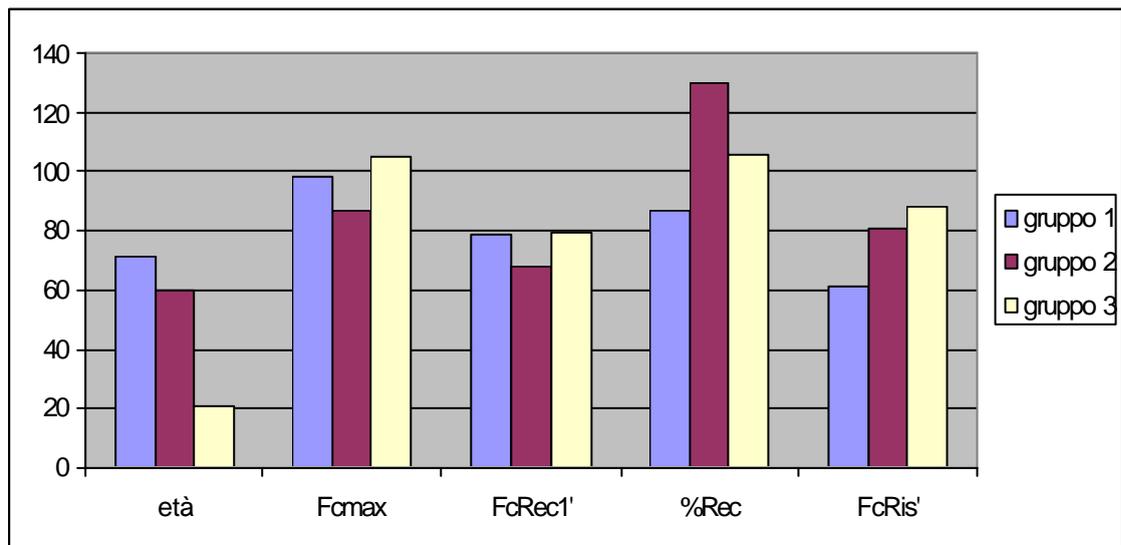


Figura 12: andamento delle variabili TOP nei 3 gruppi

TEST K		Test 2			
		1	2	3	Totale
Test 1	1	32	10	5	47
	2	18	6	6	30
	3	0	1	4	5
	Totale	50	17	15	82

Tabella 13: Concordanza tra CPX e TOP

Considerato il numero ancora esiguo di soggetti per potere ottenere significatività dalla regressione statistica tentata inizialmente, si è proceduto con una combinazione lineare delle variabili, cercando di evidenziare un possibile indice.

Sono state tentate varie combinazioni, includendo od escludendo, di volta in volta, le variabili ritenute più rilevanti. Di seguito sono riportate le due formule che si sono ritenute più indicative ed efficaci nel distinguere i soggetti dei tre gruppi individuati dalla cluster analysis e, nelle successive tabelle si trovano i rispettivi punteggi e giudizi (tab.14 e tab.15).

$$I = 10 \times (1 - \text{SESSO}) + 10 \times (1 - \text{ATTIVO}) + \text{Fcris}'$$

$$I_2 = 10 \times (1 - \text{ATTIVO}) + 10 \times \text{Fcris}' + \% \text{Rec}$$

In entrambe le formule la variabile “SESSO” assumeva il valore 1 in caso di soggetto maschile e il valore 0 in caso di soggetto femminile mentre la variabile “ATTIVO” assumeva il valore 1 in caso di soggetto attivo e il valore 0 in caso di soggetto sedentario.

	I	I₂	
Media	71	707	Gruppo 1
Dev.st	15	118	
Media	88	941	Gruppo 2
Dev.st	9	108	
Media	92	985	Gruppo 3
Dev.st	10	145	

Tabella 14: definizione dei punteggi

I	GIUDIZIO	I₂	GIUDIZIO
fino a 80	<i>SCARSO</i>	fino a 800	<i>SCARSO</i>
da 81 a 90	<i>BUONO</i>	da 801 a 1000	<i>BUONO</i>
oltre 90	<i>OTTIMO</i>	oltre 1000	<i>OTTIMO</i>

Tabella 15: giudizi in base ai punteggi ottenuti con le 2 formule

5. CONSIDERAZIONI FINALI E CONCLUSIONI

Il TOP si è dimostrato, allo stato attuale, un test valido nell'evidenziare i miglioramenti indotti dall'esercizio fisico in soggetti di età e condizioni fisiche diverse anche se, come già evidenziato, con una bassa specificità dovuta alla quasi totale assenza di soggetti peggiorati dopo il periodo di allenamento.

Il dato più rilevante è che con questo test sottomassimale siamo già in grado di discriminare con buona accuratezza (>83%) soggetti con condizione fisica differente (cluster analysis). Per la definizione di un punteggio significativo occorre valutare un campione molto più esteso di soggetti, diversi per età e condizione fisica, ma appare supportata l'ipotesi che vede significativo l'utilizzo sia della FcRis' che della percentuale di recupero dopo lo sforzo. Tale obiettivo potrà essere raggiunto mediante un lavoro multicentrico, in grado di consentire l'acquisizione di un numero esteso di dati in un tempo relativamente breve, cosa non possibile, se non in molti anni di lavoro, da un unico centro di acquisizione.

In seguito all'acquisizione di ulteriori dati sarà inevitabile una evoluzione della distribuzione dei gruppi ottenuti con la cluster analysis e non è da escludere una nuova e meglio definita divisione in più di tre gruppi omogenei. Occorre quindi estendere la valutazione, in primo luogo, alle fasce di età ancora escluse dalla ricerca e successivamente acquisire più dati possibile in modo da perfezionare l'individuazione di una formula in grado di definire un indice basato sulle variabili statisticamente più significative.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Zannoli R, Maietta PL, Zannoli S, Corazza I, Tentoni C. Proposta di una nuova metodica per la valutazione della forma fisica del soggetto. *Medicina dello Sport* 2004; **57**(2): 175.
2. Tentoni C, Maietta PL, Foschi E. Il “Test of Performance” (TOP) nell’esame tecnologico dei sistemi d’azione (EST). *Chinesiologia* 2005; **3**: 6-9.
3. Astrand PO, Rodhal K. *Fisiologia: sport, lavoro, esercizio muscolare, antropometria*. Edi-Ermes, 1984.
4. Wilmore JH, Stanforth PR, Gagnon J, Rice T, Mandel S, Leon AS *et al.* Heart rate and blood pressure changes with endurance training: the HERITAGE Family Study. *Medicine and science in sports and exercise* 2001; **33**(1): 107-116.
5. Weltman A, Weltman J, Rutt R, Seip R, Levine S, Snead D *et al.* Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve, and VO₂peak for determining endurance training intensity in sedentary women. *International journal of sports medicine* 1989; **10**(3): 212-216.
6. Weltman A, Snead D, Seip R, Schurrer R, Weltman J, Rutt R *et al.* Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO₂max for determining endurance training intensity in male runners. *International journal of sports medicine* 1990; **11**(3): 218-222.
7. Meyer T, Gabriel HH, Kindermann W. Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or HRmax adequate? *Medicine and science in sports and exercise* 1999; **31**(9): 1342-1345.
8. Hofmann P, Von Duvillard SP, Seibert FJ, Pokan R, Wonisch M, Lemura LM *et al.* %HRmax target heart rate is dependent on heart rate performance curve deflection. *Medicine and science in sports and exercise* 2001; **33**(10): 1726-1731.
9. Gilman MB, Wells CL. The use of heart rates to monitor exercise intensity in relation to metabolic variables. *International journal of sports medicine* 1993; **14**(6): 339-344.
10. Wilmore JH, Costill DL. *Fisiologia dell'esercizio fisico e dello sport*. Calzetti-Mariucci Editori, 2005.
11. Javorka M, Zila I, Balharek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas / Sociedade Brasileira de Biofisica [et al* 2002; **35**(8): 991-1000.
12. Pagani M. [Sympathetic-vagal equilibrium and physical exercise]. *Cardiologia (Rome, Italy)* 1997; **42**(7): 669-680.

13. Rowell LB, O'Leary DS. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 1990; **69**(2): 407-418.
14. Shephard RJ. *Exercise Physiology*. B.C.Decker Inc., PA, USA, 1987.
15. Carter R, 3rd, Watenpaugh DE, Wasmund WL, Wasmund SL, Smith ML. Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *J Appl Physiol* 1999; **87**(4): 1463-1469.
16. Nishime EO, Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Lauer MS. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *Jama* 2000; **284**(11): 1392-1398.
17. Savin WM, Davidson DM, Haskell WL. Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans. *J Appl Physiol* 1982; **53**(6): 1572-1575.
18. Darr KC, Bassett DR, Morgan BJ, Thomas DP. Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *The American journal of physiology* 1988; **254**(2 Pt 2): H340-343.
19. Dixon EM, Kamath MV, McCartney N, Fallen EL. Neural regulation of heart rate variability in endurance athletes and sedentary controls. *Cardiovascular research* 1992; **26**(7): 713-719.
20. Furlan R, Pagani M, Malliani A. Effects of exercise and training on control of heart rate. *Cardiovascular research* 1993; **27**(12): 2286-2287.
21. Furlan R, Piazza S, Dell'Orto S, Gentile E, Cerutti S, Pagani M *et al.* Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate. *Cardiovascular research* 1993; **27**(3): 482-488.
22. Hagberg JM, Hickson RC, Ehsani AA, Holloszy JO. Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state. *J Appl Physiol* 1980; **48**(2): 218-224.
23. Bowen WP. Changes in heart rate, blood pressure and duration of systole resulting from bicycling. *The American journal of physiology* 1904; **11**: 59.
24. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 2001; **31**(1): 1-11.
25. Williams RE, Horvath SM. Recovery from dynamic exercise. *The American journal of physiology* 1995; **268**(6 Pt 2): H2311-2320.
26. Blair SN, Kampert JB, Kohl HW, 3rd, Barlow CE, Macera CA, Paffenbarger RS, Jr. *et al.* Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *Jama* 1996; **276**(3): 205-210.

27. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *The New England journal of medicine* 1999; **341**(18): 1351-1357.
28. Cole CR, Foody JM, Blackstone EH, Lauer MS. Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort. *Annals of internal medicine* 2000; **132**(7): 552-555.
29. Erikssen G, Liestol K, Bjornholt J, Thaulow E, Sandvik L, Erikssen J. Changes in physical fitness and changes in mortality. *Lancet* 1998; **352**(9130): 759-762.
30. Kurl S, Laukkanen JA, Rauramaa R, Lakka TA, Sivenius J, Salonen JT. Cardiorespiratory fitness and the risk for stroke in men. *Archives of internal medicine* 2003; **163**(14): 1682-1688.
31. Laukkanen JA, Lakka TA, Rauramaa R, Kuhanen R, Venalainen JM, Salonen R *et al.* Cardiovascular fitness as a predictor of mortality in men. *Archives of internal medicine* 2001; **161**(6): 825-831.
32. Wei M, Kampert JB, Barlow CE, Nichaman MZ, Gibbons LW, Paffenbarger RS, Jr. *et al.* Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men. *Jama* 1999; **282**(16): 1547-1553.
33. Pierpont GL, Stolpman DR, Gornick CC. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *Journal of the autonomic nervous system* 2000; **80**(3): 169-174.
34. Cerretelli P. *Fisiologia dell'esercizio*. SEU: Roma, 2001.
35. Baraldi E, Cooper DM, Zanconato S, Armon Y. Heart rate recovery from 1 minute of exercise in children and adults. *Pediatric research* 1991; **29**(6): 575-579.
36. Ohuchi H, Suzuki H, Yasuda K, Arakaki Y, Echigo S, Kamiya T. Heart rate recovery after exercise and cardiac autonomic nervous activity in children. *Pediatric research* 2000; **47**(3): 329-335.
37. Pels AE, 3rd, Gilliam TB, Freedson PS, Geenen DL, MacConnie SE. Heart rate response to bicycle ergometer exercise in children ages 6-7 years. *Medicine and science in sports and exercise* 1981; **13**(5): 299-302.
38. Mahon AD, Anderson CS, Hipp MJ, Hunt KA. Heart rate recovery from submaximal exercise in boys and girls. *Medicine and science in sports and exercise* 2003; **35**(12): 2093-2097.
39. Wasserman K. *Principles of exercise testing and interpretation*, 4 edn. Lippincott Williams and Wilkins: Philadelphia, 2005.

40. Clausen JP. Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiological reviews* 1977; **57**(4): 779-815.
41. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Medicine and science in sports and exercise* 2007; **39**(5): 822-829.
42. Londeree BR, Moeschberger ML. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Q Exerc Sport* 1982; **53**: 297-304.
43. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology* 2001; **37**(1): 153-156.
44. Pina IL, Karalis DG. Comparison of four exercise protocols using anaerobic threshold measurement of functional capacity in congestive heart failure. *The American journal of cardiology* 1990; **65**(18): 1269-1271.
45. Matsumura N, Nishijima H, Kojima S, Hashimoto F, Minami M, Yasuda H. Determination of anaerobic threshold for assessment of functional state in patients with chronic heart failure. *Circulation* 1983; **68**(2): 360-367.
46. Hollenberg M, Tager IB. Oxygen uptake efficiency slope: an index of exercise performance and cardiopulmonary reserve requiring only submaximal exercise. *Journal of the American College of Cardiology* 2000; **36**(1): 194-201.
47. Marchetti M, DeVito G, Proja G. La soglia anaerobica nell'anziano. *Med Sport* 1991; **44**: 1-7.
48. Faina M, Sardella F, Marini C. La soglia anaerobica. *Progressi in medicina dello sport* 1988; **7**: 37-59.
49. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation* 1990; **81**(1 Suppl): II14-30.
50. Weisman IM, Zeballos RJ. An integrated approach to the interpretation of cardiopulmonary exercise testing. *Clinics in chest medicine* 1994; **15**(2): 421-445.
51. Corra U, Pistono M, Mezzani A, Braghiroli A, Giordano A, Lanfranchi P *et al.* Sleep and exertional periodic breathing in chronic heart failure: prognostic importance and interdependence. *Circulation* 2006; **113**(1): 44-50.
52. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986; **60**(6): 2020-2027.
53. Sue DY, Wasserman K, Moricca RB, Casaburi R. Metabolic acidosis during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Use of the V-slope method for anaerobic threshold determination. *Chest* 1988; **94**(5): 931-938.

54. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 1983; **55**(5): 1558-1564.
55. Yeh MP, Gardner RM, Adams TD, Yanowitz FG, Crapo RO. "Anaerobic threshold": problems of determination and validation. *J Appl Physiol* 1983; **55**(4): 1178-1186.
56. Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wasserman K. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol* 1979; **46**(6): 1039-1046.
57. Simonton CA, Higginbotham MB, Cobb FR. The ventilatory threshold: quantitative analysis of reproducibility and relation to arterial lactate concentration in normal subjects and in patients with chronic congestive heart failure. *The American journal of cardiology* 1988; **62**(1): 100-107.