

# **Università degli Studi di Verona**

## **Corso di Laurea in Scienze delle Attività Motorie e Sportive**

*Tesi di Laurea*

Cinetiche di adattamento cardiorespiratorio all'esercizio fisico, prima e dopo allenamento, in soggetti anziani

Relatore  
Prof. Antonio Cevese

Correlatore  
Dott. Paolo Terziotti

Laureando  
**Giacomo Giannella**

*Anno accademico 2001-2002*

*A mio nonno ed a Giovanni Martari,  
esempi sempre vivi di uomini e maestri .....*

<b>1. Presentazione</b>	<b>5</b>
<b>2. Adattamenti cardiovascolari all'esercizio</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Fisiologia dell'apparato respiratorio nel lavoro muscolare</i>	7
2.2 <i>Fisiologia dell'apparato cardiocircolatorio nel lavoro muscolare</i>	8
2.2.1 <i>Adattamenti centrali</i>	8
2.2.2 <i>Adattamenti periferici</i>	8
<b>3. Riduzione della prestazione fisica nel soggetto anziano</b>	<b>10</b>
3.1 <i>Apparato osteo-articolare</i>	10
3.2 <i>Sistema muscolare</i>	10
3.3 <i>Sistema cardiocircolatorio</i>	10
3.4 <i>Sistema respiratorio</i>	11
3.5 <i>Sistema nervoso</i>	11
<b>4. Effetti dell'allenamento</b>	<b>12</b>
4.1 <i>Adattamenti muscolari</i>	12
4.2 <i>Adattamenti cardiocircolatori</i>	13
4.3 <i>Adattamenti respiratori</i>	13
4.4 <i>Adattamenti del sistema nervoso</i>	14
4.5 <i>Adattamenti nel soggetto anziano</i>	14
<b>5. Cinetiche del consumo d'ossigeno</b>	<b>16</b>
5.1 <i>Cinetiche del consumo d'ossigeno in base all'intensità dell'esercizio</i>	16
5.1.1 <i>Esercizio moderato</i>	16
5.1.1a <i>Fase I</i>	17
5.1.1b <i>Fase II</i>	17
5.1.1c <i>Fase III</i>	18
5.1.2 <i>Esercizio intenso</i>	18
5.1.3 <i>Esercizio massimale</i>	19
5.2 <i>Meccanismi che regolano le cinetiche del VO<sub>2</sub></i>	20
5.2.1 <i>Meccanismi centrali</i>	20
5.2.2 <i>Meccanismi periferici</i>	21
5.3 <i>Cinetiche del consumo d'ossigeno nel soggetto anziano</i>	21
5.4 <i>Effetti dell'allenamento sulla cinetica del VO<sub>2</sub></i>	21
<b>6. Strumenti per la realizzazione dei test</b>	<b>23</b>
6.1 <i>Attrezzi</i>	23
6.1.1 <i>Cicloergometro</i>	23
6.1.2 <i>Armoergometro</i>	24
6.2 <i>Strumenti di acquisizione</i>	24
6.2.1 <i>Cardiofrequenzimetro Polar Vantage nv</i>	24
6.2.2 <i>Metabolimetro</i>	25

6.2.3 Software	26
<b>7. Materiali e metodi</b>	<b>28</b>
7.1 Soggetti	28
7.2 Protocollo sperimentale	29
7.3 Elaborazione dei dati	31
7.4 Allenamento	38
7.4.1 Riscaldamento	39
7.4.2 Ergometro	39
7.4.3 Defaticamento	40
7.4.3 Defaticamento	41
7.4.4 Test finali	41
<b>8. Risultati</b>	<b>42</b>
<b>9. Discussione</b>	<b>53</b>
<b>10. Ringraziamenti</b>	<b>58</b>
<b>11. Bibliografia</b>	<b>59</b>

# 1. Presentazione

Già dall'antichità la cura del corpo e del fisico si dimostra importante. Per Platone: *“La ginnastica si occupa di ciò che nasce e muore: essa presiede infatti allo sviluppo e al deperimento del corpo”* (De Republica)<sup>[1]</sup>. L'attività fisica deve essere praticata dall'infanzia fino alla maturità in quanto ha il compito di promuovere lo sviluppo, di conservare il corpo e renderlo obbediente all'anima. L'invecchiamento è un fatto fisiologico che comporta una perdita funzionale e strutturale di cellule e tessuti. Questo processo può essere attenuato dall'esecuzione di una regolare attività fisica; individui opportunamente stimolati conservano anche in età avanzata una notevole capacità funzionale<sup>[12]</sup>.

L'insufficienza di attività fisica è probabilmente all'origine di un gran numero di mutamenti legati all'età. In uno studio eseguito nel 1968 per conto della American Administration on aging dal dottor H.A. De Vries, un gruppo di settantenni fu sottoposto per un anno a un calibrato programma di attività fisica. Tutti si ritrovarono con le reazioni di uomini di trent'anni più giovani<sup>[11]</sup>.

Affinchè questo non avvenga in modo casuale è opportuno studiare ed analizzare gli adattamenti cardiovascolari all'esercizio fisico. Questa tesi presenta alcuni risultati di una più ampia ed articolata ricerca, condotta presso il laboratorio di fisiologia dell'esercizio del corso di laurea in Scienze dell'Attività Motoria e Sportiva di Verona in collaborazione con il CEBISM di Rovereto e il CNR di Milano. Lo scopo della tesi è di indagare le modificazioni delle cinetiche d'adattamento del consumo d'ossigeno in soggetti anziani dopo un periodo di allenamento effettuato con le gambe o con le braccia; il tutto con l'intento finale di analizzare se gli eventuali adattamenti possono attribuirsi ad effetti centrali o periferici. L'allenamento della durata di tre mesi prevedeva l'utilizzo delle gambe o delle braccia ed ogni singola seduta prevedeva intensità di lavoro alternate; 90%, 100% e 110% della soglia ventilatoria individuale (VT). I soggetti, dopo i test iniziali, sono stati divisi in due gruppi che hanno seguito due diversi programmi di allenamento, rispettivamente con le braccia e con le gambe. I test iniziali e finali sono stati eseguiti utilizzando entrambi gli ergometri da parte di tutti i soggetti. Tutto ciò con l'intento di valutare e confrontare gli effetti del

training ottenuti nel test con l'attrezzo di allenamento, e quelli ottenuti con l'attrezzo non utilizzato durante l'allenamento.

## 2. Adattamenti cardiovascolari all'esercizio

Gli effetti dell'esercizio fisico su di un soggetto sono in rapporto ad una serie di modifiche a carico di tutti gli organi e apparati deputati al trasporto di O<sub>2</sub> dall'ambiente esterno fino ai tessuti e di CO<sub>2</sub> in senso opposto.

### 2.1 Fisiologia dell'apparato respiratorio nel lavoro muscolare

Nelle fasi iniziali del lavoro muscolare si ha un immediato aumento della ventilazione, sia per quanto riguarda la frequenza, che la profondità degli atti respiratori. Aumentano parallelamente, rispetto alle condizioni di riposo, il consumo d'ossigeno e l'eliminazione di anidride carbonica.

Nei primi 30-40 secondi d'esercizio, le modificazioni chimiche del sangue non hanno ancora avuto il tempo di influenzare i centri regolatori del respiro, e quindi gli adattamenti della ventilazione polmonare sono determinati da riflessi nervosi. L'abbassamento dei valori dell'equivalente ventilatorio, indice che rappresenta il rapporto tra il volume di aria ventilata e il consumo di ossigeno, indica che il consumo di O<sub>2</sub> aumenta più di quanto non aumenti la ventilazione, il che può essere determinato solamente da un reclutamento di capillari polmonari. Con il proseguire del lavoro muscolare, la ventilazione aumenta in funzione del consumo di ossigeno seguendo un andamento lineare finché il lavoro è effettuato in condizioni aerobiche. Sopra i livelli metabolici, corrispondenti alla "soglia anaerobica", la ventilazione aumenta più del consumo di ossigeno. Ciò è probabilmente dovuto alla liberazione di CO<sub>2</sub> dai bicarbonati presenti nei liquidi organici, allo scopo di tamponare l'abbassamento del pH, dovuto all'aumento della produzione di acido lattico. L'aumento della ventilazione avviene in genere quasi esclusivamente grazie all'aumento della frequenza respiratoria, che può raggiungere un massimo di 70-80 atti al minuto; l'aumento della profondità del respiro riveste un ruolo più importante per esercizi di moderata intensità metabolica e può raggiungere valori differenti a seconda di vari fattori, quali l'età e lo sport praticato.

## 2.2 Fisiologia dell'apparato cardiocircolatorio nel lavoro muscolare

L'apparato cardiocircolatorio fa fronte alle necessità metaboliche indotte dall'esercizio fisico con una serie di adattamenti a livello sia del cuore sia della circolazione periferica.

### 2.2.1 Adattamenti centrali

Gli adattamenti cardiaci, comunemente indicati come centrali, consistono nell'aumento della gittata cardiaca, realizzato sia per accelerazione della frequenza sia per aumento della gittata sistolica.

La frequenza cardiaca massima dipende dall'età: in media, il suo valore, in battiti al minuto, è circa uguale a 220 meno l'età in anni. La frequenza massima da lavoro non dovrebbe dipendere dal grado d'allenamento: infatti, oltre una certa frequenza, la fase diastolica diventa così breve da non permettere un sufficiente riempimento ventricolare, e questo compromette la dinamica cardiaca. La frequenza di riposo invece è molto variabile e dipende da vari fattori quali la condizione atletica, l'allenamento, il tono vagale etc..

La gittata sistolica può aumentare durante il lavoro muscolare di circa due volte e mezzo a causa di molteplici meccanismi. Secondo la concezione classica il valore della gittata sistolica è proporzionale solamente al riempimento diastolico. La legge di Starling afferma che il lavoro compiuto da ogni contrazione del cuore è proporzionale alla lunghezza delle fibre miocardiche prima della contrazione: pertanto, un maggiore riempimento diastolico provocherà una maggiore distensione del ventricolo, che permetterà alle miofibrille di compiere una contrazione più energica. Anche altri fattori più numerosi e complessi determinano l'aumento della gittata sistolica, in particolare la stimolazione del simpatico e della midollare del surrene.

### 2.2.2 Adattamenti periferici

Gli adattamenti della circolazione periferica sono rappresentati da una redistribuzione della gittata cardiaca e da un aumento d'estrazione d'ossigeno, da parte dei muscoli in attività.



Il primo adattamento si ottiene attraverso meccanismi vasomotori che riducono la portata circolatoria in alcuni distretti corporei, specialmente nel distretto splacnico, mentre un'accentuata vasodilatazione favorisce il flusso sanguigno nei muscoli in attività.

L'aumento dell'estrazione d'ossigeno dal sangue, a livello del muscolo in attività, è determinato anche dalla riduzione del pH (causata dai metaboliti acidi prodotti dalla contrazione muscolare), dall'aumento della temperatura e della  $PCO_2$ : tutti questi fattori provocano una diminuzione dell'affinità dell'emoglobina per l'ossigeno (effetto Bohr).

### **3. Riduzione della prestazione fisica nel soggetto anziano**

Con l'avanzare dell'età si verificano delle modificazioni strutturali e funzionali che caratterizzano e sono la causa principale della riduzione della prestazione fisica. Questi cambiamenti riguardano diversi apparati: osteo-articolare, muscolare, cardiocircolatorio, respiratorio e nervoso.

#### **3.1 Apparato osteo-articolare**

Il movimento innanzitutto è fondamentale alla nutrizione e alla lubrificazione delle cartilagini articolari che con gli anni tendono a divenire ruvide e discontinue, causando dolore. Legamenti, tendini e muscoli perdono la capacità di distendersi e riducono la mobilità articolare; questo si accompagna ad una diminuzione della stabilità. I dischi intervertebrali si appiattiscono e si riduce la componente elastica. Modificazioni funzionali delle cellule preposte al nutrimento e al ricambio del tessuto osseo e cartilagineo sono i fattori determinanti per il manifestarsi di osteoartrosi e osteoporosi.

#### **3.2 Sistema muscolare**

Si verifica una riduzione della forza e della resistenza dell'apparato muscolare in funzione dell'età a causa di una riduzione delle fibre muscolari (ipotrofia). Ne consegue una diminuzione di massa, volume e peso con un aumento della componente adiposa e connettiva. Riaccompano alle modificazioni strutturali del muscolo anche modificazioni funzionali che riguardano l'alterata reattività della placca motrice e altri fattori quali estensibilità, elasticità, contrattilità e tono muscolare.

#### **3.3 Sistema cardiocircolatorio**

In seguito all'invecchiamento si verificano modificazioni quali la diminuzione della massima frequenza cardiaca nel lavoro intenso e una progressiva riduzione della quantità di sangue espulsa ad ogni contrazione (gittata sistolica). Un aumento delle resistenze periferiche, per riduzione del lume delle arterie, causa un aumento della pressione arteriosa ed una riduzione del trasporto dei nutrienti. La degenerazione del tessuto connettivo delle valvole cardiache provoca lassità e distensione delle stesse.

### 3.4 Sistema respiratorio

E' ridotta la funzionalità respiratoria a causa di una minore capacità della gabbia toracica dovuto ad una diminuzione degli spazi intervertebrali, all'alterata contrattilità dei muscoli del torace con la conseguente accentuazione della cifosi dorsale. La capacità vitale diminuisce, l'irrorazione degli alveoli non è uniforme ed anche lo scambio di gas a livello alveolo-capillare è alterato. Tutto ciò provoca una riduzione del trasporto d'ossigeno da parte del sangue, che contribuisce ad abbassare il massimo consumo d'ossigeno.

### 3.5 Sistema nervoso

L'invecchiamento del sistema nervoso comporta una diminuzione del numero e della funzionalità delle cellule. A livello fisiologico si riscontrano alterazioni del citoplasma, dell'RNA e delle fibre nervose, con cambiamenti non solo del metabolismo cerebrale ma anche del circolo capillare. Una notevole importanza riveste inoltre la minor funzionalità di tutti gli organi di senso quali vista e udito che hanno conseguenze anche nei confronti di attenzione, vuoti di memoria, creatività e agilità mentale.

## 4. Effetti dell'allenamento

Per allenamento s'intende la pratica regolare d'esercizio muscolare che comporta due conseguenze positive:

1. Aumento della potenza dell'organismo
2. Miglioramento dell'efficienza psicofisica dell'individuo

Gli adattamenti riguardano quindi non solo il funzionamento del sistema energetico ma anche quello del sistema neuromuscolare. Per comprendere meglio le modificazioni indotte dall'esercizio è opportuno distinguere tra attività in cui prevale l'impegno cardiocircolatorio ed attività di forza. Le prime utilizzano a scopo energetico prevalentemente il metabolismo aerobico, mentre le seconde utilizzano reazioni anaerobiche ed impegnano il sistema cardiocircolatorio soprattutto nella fase di ristoro. L'adattamento che si verifica dopo un training specifico è quantitativamente e qualitativamente legato al tipo di esercizio proposto in vista delle finalità atletiche che si intendono raggiungere e riguarda principalmente gli apparati muscolare, cardiocircolatorio, respiratorio e nervoso.

### 4.1 Adattamenti muscolari

L'allenamento agli esercizi di forza determina soprattutto ipertrofia del muscolo e di conseguenza un aumento della sua sezione trasversa. Nell'allenamento di resistenza si hanno modificazioni che riguardano in primo luogo la capillarizzazione. Aumenta il numero dei vasi e delle anastomosi capillari, per permettere un maggiore apporto d'ossigeno e consentire al muscolo di lavorare in aerobiosi, a livelli energetici superiori, senza l'intervento di meccanismi anaerobici. A livello biochimico si ha un aumento della capacità ossidativa della muscolatura scheletrica indotto da una proliferazione dei mitocondri e dall'aumento della concentrazione del glicogeno, dell'ATP e della creatina. Questi cambiamenti normalmente si verificano in associazione e comportano un incremento della forza e della performance in generale del muscolo sollecitato.

## 4.2 Adattamenti cardiocircolatori

Lo sforzo muscolare è sopportato dal cuore dell'individuo allenato in maniera assai più efficiente che nel soggetto sedentario. In primo luogo è possibile notare un aumento della massima gittata cardiaca: l'allenamento abbassa la frequenza cardiaca a riposo, aumentando quindi la gittata sistolica; perciò è aumentata la riserva funzionale del cuore. La massima frequenza cardiaca non sembra invece essere influenzata dall'attività fisica. La concentrazione arteriosa di emoglobina e l'ematocrito non cambiano a livello del mare, ma la differenza artero-venosa del contenuto di ossigeno può aumentare con l'allenamento. Questo è da riferirsi probabilmente sia agli effetti del pH, della  $PCO_2$ , e della temperatura locale nei muscoli sotto sforzo, sia all'aumentata capacità da parte dei muscoli di utilizzare l'ossigeno <sup>[19]</sup>. Il volume cardiaco sotto sforzo si riduce, mentre la pressione arteriosa sistolica aumenta fino ad oltre 200 mmHg; la pressione diastolica è immutata o addirittura diminuisce. I tempi di ripristino delle condizioni basali sono sensibilmente inferiori a quelli riscontrabili in un soggetto non allenato, sia per quanto riguarda la frequenza cardiaca, sia per quanto concerne la pressione arteriosa.

## 4.3 Adattamenti respiratori

L'apparato respiratorio modifica la sua funzionalità anche se non in misura rilevante; ciò accade soprattutto negli sport che utilizzano una sorgente energetica muscolare aerobica. Nonostante la massima prestazione aerobica sia limitata da fattori extra-polmonari, soprattutto dalla funzione cardiocircolatoria, e non dall'ampiezza delle cavità respiratorie, è possibile notare incrementi funzionali. Quest'ultimi dipendono, nei soggetti allenati, da un aumento dell'elasticità toraco-polmonare che determina una frequenza respiratoria a riposo più bassa rispetto a soggetti sedentari. La ventilazione polmonare necessaria per sostenere un determinato livello metabolico subisce una cospicua riduzione per una diminuzione della frequenza respiratoria con il risultato che il lavoro respiratorio ed il dispendio energetico diminuiscono nel soggetto dedicato all'esercizio fisico. Tutto questo permette ai muscoli, che compiono l'esercizio, di disporre di una maggiore energia ossidativa <sup>[7]</sup>: aumenta la profondità degli atti respiratori con una crescita del rendimento respiratorio a causa di una migliore diffusione dell' $O_2$  e dell'aumento del letto capillare polmonare. La ventilazione massima e quella a riposo non subiscono variazioni nonostante l'evidenziata diminuzione della

ventilazione a carichi submassimali. Restano invariate anche la capacità polmonare totale e la capacità vitale.

#### 4.4 Adattamenti del sistema nervoso

L'allenamento produce un miglioramento della coordinazione muscolare con la conseguenza di riuscire a svolgere il massimo lavoro con il minor dispendio energetico. Il sistema nervoso, infatti, agisce non soltanto migliorando la sincronia delle diverse masse muscolari, attivando i muscoli agonisti e disattivando i muscoli antagonisti coinvolti, ma anche attraverso il reclutamento di un numero sempre maggiore di fibre. Il miglioramento di queste funzioni permette un notevole incremento nel rendimento del gesto dovuto solamente ad una migliore coordinazione motoria. Inoltre, migliora il controllo sulla dilatazione vasale da parte delle fibre neurovegetative ed il controllo dei neuroni deputati a fornire le indicazioni sull'equilibrio e sulla posizione del corpo nello spazio.

#### 4.5 Adattamenti nel soggetto anziano

In soggetti anziani è possibile riscontrare adattamenti che riguardano ognuno dei sistemi trattati fino ad ora. Tali cambiamenti si esprimono in:

1. Miglioramenti muscolari e osteo-articolari: l'allenamento rallenta i normali processi che porterebbero l'apparato muscolare ad una progressiva degenerazione e ne migliora la tonicità. Aumenta la massa muscolare, come conseguenza di un'ipertrofia delle fibre, il che permette di disporre di una maggiore forza ed elasticità. Si ha inoltre una riduzione del grasso ed un controllo dell'obesità. Per quanto concerne le articolazioni ed il tessuto osseo, un utilizzo maggiore di tutti i componenti di questi sistemi favorisce sia il mantenimento sia lo sviluppo armonioso e costante di tutti i componenti. Migliora il contenuto minerale delle ossa il che permette di prevenire e limitare malattie come l'osteoporosi e l'osteoartrosi.
2. Miglioramenti cardiocircolatori: in soggetti anziani che svolgono attività fisica è possibile riscontrare un miglioramento della funzione cardiaca dovuto ad ipertrofia delle fibre miocardiche. Aumenta il riempimento diastolico ma soprattutto la

gittata sistolica per fare fronte alle aumentate richieste dei tessuti. Anche la circolazione risente positivamente dell'esercizio in quanto aumenta l'afflusso del sangue sia nel distretto polmonare sia in quello muscolare a causa di una migliore elasticità delle arteriole e ad un aumento del letto capillare.

3. Miglioramenti respiratori: aumenta l'apertura alveolare con un aumento dei volumi toracici contrastando la naturale tendenza a collassare. Negli anziani, a differenza dei soggetti più giovani, aumenta la capacità vitale e di conseguenza diminuiscono gli atti respiratori necessari a sostenere lo sforzo a causa di un miglioramento dell'elasticità degli elementi contrattili polmonari e della migliore circolazione nei distretti respiratori.
4. Miglioramenti nervosi: maggiore è l'attività svolta maggiore è il numero delle cellule nervose che si mantiene in vita. È, infatti, l'inattività il vero nemico del tessuto nervoso che si mantiene vitale anche grazie alle stimolazioni ricevute dall'apparato motorio. Quindi l'attività fisica non solo ne modifica la funzionalità favorendo un miglior controllo, ma preserva il cervello dalla naturale perdita di trofismo. Importanti sono anche i benefici sullo stato d'animo del soggetto e sul suo benessere mentale.

## 5. Cinetiche del consumo d'ossigeno

L'attività fisica è un efficace stimolo per aumentare l'attività dei muscoli scheletrici e del sistema cardiovascolare. All'inizio dell'esercizio lo scambio di ossigeno dall'atmosfera ai tessuti aumenta in risposta all'incremento del consumo e della produzione di ATP nei tessuti. Quando non è soddisfatto il fabbisogno di  $O_2$  l'ATP deve essere ricostituito mediante la glicolisi anaerobica, che ha come risultato la formazione di acido lattico. Contemporaneamente all'aumento dei livelli lattacidi del sangue, aumenta anche la fatica e si riduce la tolleranza al lavoro. Gli scambi gassosi che avvengono durante i primi minuti d'esercizio possono fornire interessanti informazioni riguardo alla regolazione del metabolismo ossidativo dei muscoli scheletrici. Infatti, un più veloce adeguamento metabolico diminuisce la necessità di utilizzare l'energia prodotta dal sistema lattacido, il che si riflette positivamente sulla tolleranza all'esercizio. La rapidità, con la quale il meccanismo aerobico si adegua ad una variazione dell'energia richiesta, è quindi un fattore non trascurabile ai fini del miglioramento e dell'ottimizzazione della prestazione fisica.

### 5.1 Cinetiche del consumo d'ossigeno in base all'intensità dell'esercizio

La risposta del  $VO_2$  all'esercizio è in stretta relazione con l'intensità e si può esprimere con una funzione esponenziale; Gaesser <sup>[13]</sup> e Whipp <sup>[28]</sup> dividono le modalità di svolgimento del lavoro muscolare in rapporto con il consumo d'ossigeno in tre tipologie.

#### 5.1.1. Esercizio moderato

Nel primo tipo, che viene definito **esercizio moderato**, il lavoro non induce un significativo aumento del lattato nel sangue ed ha come limite la soglia lattacida individuale (LT) o soglia anaerobica (AT). Il  $VO_2$  aumenta in maniera monoesponenziale con un andamento caratteristico che presenta un primo aggiustamento rapido definito fase I, seguito da una seconda (fase II), che costituisce il vero e proprio inizio della risposta allo sforzo definito *onset del  $VO_2$* , e porta ad un livello stabile (steady state) che rappresenta la terza ed ultima fase della cinetica.



### 5.1.1a Fase I

La fase I è determinata da un veloce aumento del  $\text{VO}_2$ , che si completa in un lasso di tempo variabile da 15 a 25 secondi d'esercizio. Questa risposta iniziale è più evidente quando l'esercizio comincia dallo stato di riposo assoluto, mentre è meno evidente per test che prevedano un lavoro iniziale a carico nullo (free wheeling) <sup>[28]</sup>. Tale adeguamento è dovuto all'improvviso incremento del flusso sanguigno nei polmoni <sup>[20]</sup> che deriva a sua volta da un aumento della frequenza cardiaca: questo si verifica immediatamente all'inizio del lavoro muscolare. In questo lasso di tempo il sangue che giunge ai polmoni, non risente ancora del metabolismo cellulare e quindi la sua composizione rispecchia ancora quella del sangue in condizioni di riposo.

### 5.1.1b Fase II

La risposta che si riscontra nella fase II riflette l'influenza delle modificazioni metaboliche dei muscoli sulla cinetica del  $\text{VO}_2$ . Il volume d'ossigeno aumenta esponenzialmente seguendo il piccolo ritardo della fase I verso la fase di steady state. Questo periodo comincia dopo circa 15-20 secondi dall'inizio dell'esercizio e dura fino al terzo minuto; il suo andamento può essere rappresentato con una curva monoesponenziale:

$$\text{VO}_2(t) = (\text{VO}_2 \text{ base} + A) * (1 - e^{-(t-TD)/\tau})$$

Dove:

$\text{VO}_2(t) = \text{VO}_2$  al tempo  $t$ ;

$\text{VO}_2 \text{ base} = \text{VO}_2$  all'inizio del test;

$A =$  ampiezza della variazione, la differenza tra il  $\text{VO}_2$  allo stato stazionario e il  $\text{VO}_2$  basale;

$TD =$  time delay o ritardo, il momento in cui inizia la curva esponenziale;

$\tau =$  costante di tempo, il tempo necessario perché il  $\text{VO}_2$  raggiunga il 63% del  $\text{VO}_2$  allo stato stazionario.

La fase II è la più importante perché ci permette di ottenere le maggiori informazioni sul metabolismo ossidativo del soggetto. Essa riflette il periodo di maggior incremento della respirazione cellulare ed è in questa fase che si determina il deficit d'ossigeno. L'incremento degli scambi gassosi è dovuto sia ad un aumento della gittata cardiaca, sia alla maggiore differenza nel contenuto di ossigeno ed anidride carbonica nel sangue venoso rispetto alla concentrazione alveolare.

### 5.1.1c Fase III

Nella fase III, che si raggiunge dopo 3 minuti di esercizio, il livello di  $\text{VO}_2$  è stabile [2,13,28]. Il livello di  $\text{VO}_2$  raggiunto, è una funzione lineare del lavoro pari a 9-11  $\text{mlO}_2/\text{Watt}/\text{min}$  nell'esercizio moderato [4,13,28,29].

### 5.1.2 Esercizio intenso

Nell'esercizio intenso il lavoro muscolare è sopra alla soglia LT individuale e la produzione del lattato supera il suo smaltimento. Si ha così, un progressivo incremento della lattacidemia, che rende più complessa la cinetica del  $\text{VO}_2$ . In questa fase non viene mai raggiunto uno stato stabile del lattato (MLSS, massimo stato stabile del lattato). La caratteristica più importante è rappresentata da un aumento esponenziale del fabbisogno d'ossigeno in fase III, che è denominato **componente lenta**. Il significato di questo aumento progressivo di  $\text{VO}_2$ , per cui non viene raggiunto lo stato stazionario, è ancora irrisolto. I valori di  $\text{VO}_2$  nello steady state durante l'esercizio intenso sono sempre più grandi di quelli prevedibili in base alla relazione tra lavoro e  $\text{VO}_2$  nell'esercizio moderato. La comparsa della componente lenta è di solito associata con l'inizio dell'accumulo di lattato nel sangue. Essa si quantifica misurando di quanto è aumentato il  $\text{VO}_2$  rispetto al valore atteso allo steady state. Dato che lo stato stazionario si dovrebbe raggiungere entro i 3 minuti dall'inizio del lavoro, la componente lenta può essere determinata calcolando la differenza tra il  $\text{VO}_2$  al 6° minuto e il  $\text{VO}_2$  al 3° minuto. Come possibili cause della componente lenta sono state ipotizzate:

1. Aumento dei livelli di lattato nel sangue
2. Aumento dei livelli di catecolamine (adrenalina)
3. Aumento del lavoro ventilatorio
4. Aumento della temperatura corporea
5. Reclutamento delle fibre di tipo II
6. Aumento di cataboliti

Analizzando i possibili fattori sia centrali che periferici è possibile riscontrare che non esiste una relazione tra aumento della ventilazione e crescita del  $\text{VO}_2$  [24,26] né tra

temperatura corporea e aumento delle richieste di ossigeno <sup>[18]</sup>. La componente lenta sembra invece essere molto legata alla concentrazione del lattato nel sangue, in quanto è possibile riscontrare questa variazione solo in esercizi che provocano una sostenuta acidosi <sup>[31]</sup>. Anche l'ampiezza della componente lenta è legata al grado di acidosi nel sangue <sup>[25]</sup> e lo stesso si può affermare per il profilo temporale in esercizi sopra AT <sup>[3,24]</sup>. Secondo Brooks, <sup>[6]</sup> oltre il 70% del lattato prodotto durante un esercizio intenso è ossidato all'interno degli stessi muscoli in lavoro, mentre la parte rimanente è rimossa attraverso la gluconeogenesi epatica o in altro modo. Il processo biochimico dell'ossidazione del lattato determinerebbe un lento incremento di VO<sub>2</sub> durante l'esercizio. Secondo Poole, <sup>[23]</sup> la componente lenta sarebbe associata a fattori interni al muscolo stesso. Un aumento del reclutamento delle fibre di tipo IIb, che hanno un potenziale ossidativo molto minore degli altri tipi di fibre, sarebbe, infatti, la causa dell'aumento del consumo di ossigeno con effetto favorente la componente lenta.

### 5.1.3 Esercizio massimale

Durante un esercizio di grande intensità, il lavoro è effettuato al di sopra della soglia MLSS, il che impedisce la stabilizzazione del VO<sub>2</sub>: il risultato è un progressivo e sistematico aumento del lattato nel sangue, che continua ad aumentare fino al punto di massima fatica. Si giunge così al VO<sub>2MAX</sub> ossia al massimo consumo possibile, da parte del soggetto, grazie ad un aumento rapido della componente lenta, che è molto maggiore rispetto all'esercizio intenso. Grandezza e velocità di tale adeguamento dipendono dall'intensità dell'esercizio, dall'età e dal grado d'allenamento.

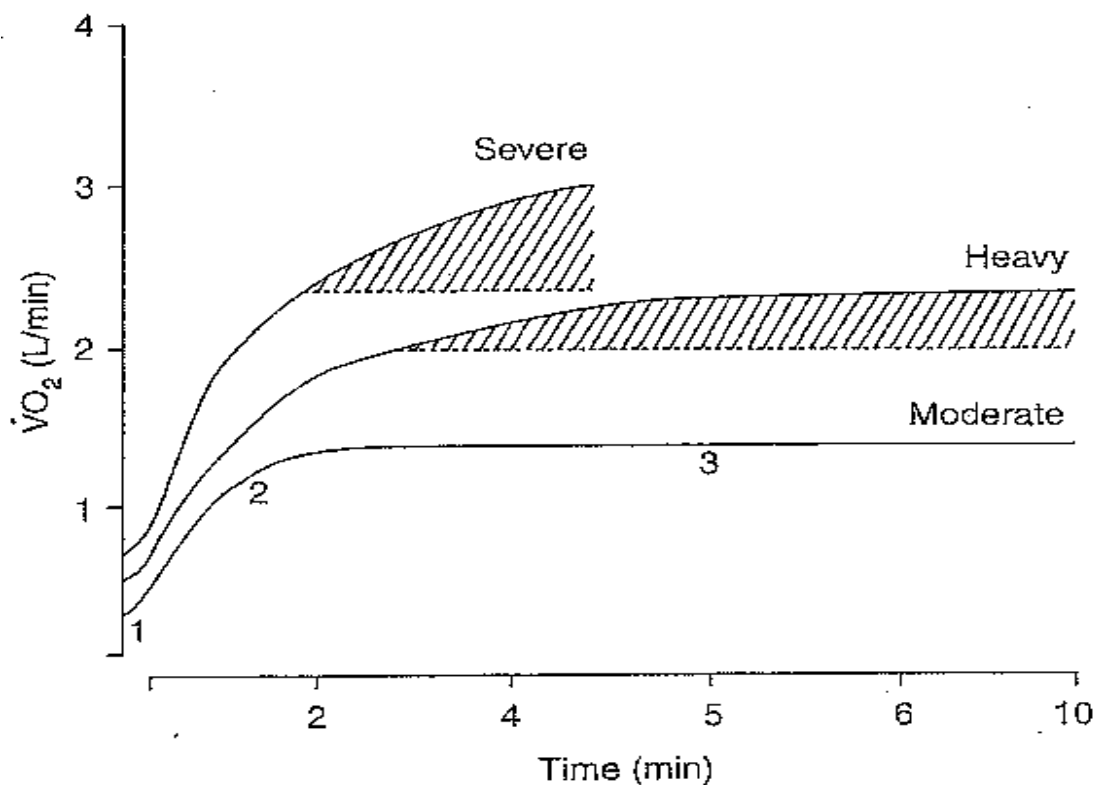


Fig. 1: risposta del  $\dot{V}O_2$  per esercizi costanti a diverse intensità. I numeri 1,2,3, indicano le tre fasi di risposta del  $\dot{V}O_2$ . L'area evidenziata rappresenta la componente lenta del  $\dot{V}O_2$ .

## 5.2 Meccanismi che regolano le cinetiche del $\dot{V}O_2$

La distinzione che si è soliti fare quando si discute dei meccanismi che permettono l'adeguamento del consumo d'ossigeno alle richieste metaboliche è tra meccanismi centrali e meccanismi periferici.

### 5.2.1 Meccanismi centrali

La crescita della gittata cardiaca è più veloce della cinetica della  $\dot{V}O_2$  on cioè dei primi minuti di esercizio <sup>[9,22]</sup>. Tale scoperta può fare luce sul fatto che il trasporto d'ossigeno non è il fattore limitante la cinetica del  $\dot{V}O_2$ . In contrasto altri studi indicano che, in particolari condizioni, come il lavoro supino, i fattori circolatori possono diventare responsabili del ritardato adeguamento <sup>[17,27]</sup>. E' comunque da evidenziare che la cinetica di adeguamento del flusso sanguigno nei muscoli impegnati nell'esercizio è molto più rapida del  $\dot{V}O_2$  quindi a livello muscolare il flusso sanguigno è in molti casi adeguato.

### 5.2.2 Meccanismi periferici

Un altro fattore limitante il consumo d'ossigeno è l'ingresso di questo gas nei mitocondri, che avviene per diffusione. Alcuni studi su soggetti sottoposti a respirazione di una miscela iperossica, hanno portato alla conclusione che, per carichi di lavoro al di sotto della soglia AT, neppure fattori periferici sarebbero i primi responsabili della lentezza degli adeguamenti al consumo d'ossigeno nelle prime fasi di esercizio. Il ritardo, per circa il 70%, è determinato da un'intrinseca inerzia del metabolismo ossidativo<sup>[14,15]</sup> dovuto ad alcuni controlli metabolici e all'attivazione di determinati enzimi.

### 5.3 Cinetiche del consumo d'ossigeno nel soggetto anziano

Con il declino delle funzionalità cardiorespiratorie, e delle capacità metaboliche ossidative dei muscoli<sup>[21]</sup>, si hanno delle variazioni nelle cinetiche del  $\text{VO}_2$  durante l'esercizio moderato. La fase II, all'inizio di un esercizio al cicloergometro, è rallentata<sup>[1]</sup>, così come più lenta è la risposta d'adattamento della frequenza cardiaca per una diminuzione delle funzioni circolatorie e cardiache<sup>[10]</sup>. Lo stesso non si può dire per esercizi condotti con muscoli utilizzati durante la vita di tutti i giorni, il cui potenziale ossidativo rimane invariato negli anni. Molte variabili della velocità di adattamento delle cinetiche del  $\text{VO}_2$  possono essere dovute al livello di allenamento dell'individuo. Il cambio dello stile di vita, e soprattutto la riduzione dell'attività fisica, possono essere la causa del declino del livello di prestazione, anche se ancora poco si sa sulla componente lenta riscontrabile in un training di resistenza.

### 5.4 Effetti dell'allenamento sulla cinetica del $\text{VO}_2$

La cinetica del  $\text{VO}_2$  si dimostra più sensibile all'allenamento, nella fase iniziale dell'esercizio, rispetto alla massima potenza aerobica ( $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ ) e quindi può essere utilizzata come indice per valutare la condizione aerobica nei vari soggetti. Individui allenati riducono sensibilmente il tempo d'adattamento ai diversi livelli di lavoro<sup>[16]</sup> e, tale differenza, aumenta con l'aumentare dell'intensità dell'esercizio stesso. L'allenamento influenza quindi positivamente le cinetiche del consumo d'ossigeno, riducendo l'accumulo di lattato<sup>[8]</sup>, con benefici effetti anche sulla contrazione del debito d'ossigeno. In soggetti allenati la disponibilità d'ossigeno copre più velocemente la domanda dei muscoli rispetto ai soggetti non allenati. Il meccanismo, responsabile

di tale fenomeno, sembra essere un aumento della gittata cardiaca e del flusso sanguigno nei muscoli durante i primi minuti d'esercizio, accoppiato all'aumento degli enzimi ossidativi muscolari. La variazione della cinetica del  $\text{VO}_2$  riguarda solamente la fase II in quanto la fase I non sembra essere influenzata dall'allenamento; questo perché la prima fase dipende da fattori fisici che restano costanti e non mutano con il training.

## 6. Strumenti per la realizzazione dei test

### 6.1 Attrezzi

#### 6.1.1 Cicloergometro

Il cicloergometro, se opportunamente adattato, è l'ergometro specifico per il ciclismo. Conformemente al sistema con cui è realizzato il programma di lavoro esistono tre tipi di cicloergometri:

- A resistenza fissa (potenza dipendente dalla frequenza di pedalata o RPM);
- A potenza fissa (resistenza variabile al variare della RPM)
- A resistenza e potenza variabili (esponenzialmente con il variare della RPM)

La scelta dell'ergometro da utilizzare dipende dalla tipologia di test che si vuole effettuare. Gli ergometri a resistenza fissa sono validi quando si deve misurare la potenza meccanica espressa dal soggetto; quelli a potenza costante sono indicati quando il carico viene stabilito dal ricercatore e i parametri da misurare sono quelli metabolici. Nel secondo caso si può utilizzare anche un ergometro a resistenza fissa, purchè venga mantenuta dal soggetto una frequenza di pedalata costante. Gli ergometri a resistenza e potenza variabili sono teoricamente utilizzabili in entrambi i casi.



### 6.1.2 Armoergometro

L'armoergometro è simile, in linea di principio, al cicloergometro, ma l'esercizio viene svolto con le braccia. L'esercizio all'armoergometro, previsto nei test da noi svolti, si esegue stando seduti ed agendo su di una coppia di leve che ruotano intorno ad un perno, con una resistenza regolabile. Utilizzando il Top vengono reclutati tutti i principali muscoli delle spalle, delle braccia e del tronco (muscolatura del cingolo scapolo-omerale, tricipite brachiale, bicipite brachiale, deltoide, trapezio, dorsali).



## 6.2 Strumenti di acquisizione

### 6.2.1 Cardiosfrequenzimetro Polar Vantage nv

Durante l'esecuzione dei test è stato utilizzato il Polar Vantage NV. Tale strumento è in grado di registrare continuamente l'intervallo R-R, ovvero l'intervallo che intercorre fra un ciclo cardiaco e il successivo. In modalità RR la memoria è limitata a 4000 cicli cardiaci, mentre se si registra il battito ogni 60 secondi, l'autonomia della memoria è di 134 ore.

Abbinandolo all'interfaccia Polar Advantage, ed al software Precision Performance, è possibile trasferire i dati di una registrazione su un computer per una successiva dettagliata analisi dei medesimi.



Il cardiofrequenzimetro è costituito da:

- Un fascia-trasmittitore, in grado di codificare il segnale in modo da escludere interferenze da parte di un vicino trasmettitore
- Un ricevitore da polso.

Il Polar Vantage NV, ad ogni registrazione, crea un file che viene archiviato nella memoria del ricevitore. A registrazione conclusa, grazie all'interfaccia e al software di analisi in dotazione, è possibile scaricare su un computer con sistema operativo Windows, la serie temporale degli R-R.



### 6.2.2 Metabolimetro

Il metabolimetro è una fra le principali apparecchiature finalizzate alla valutazione funzionale dell'atleta. Esso trova la sua indicazione più specifica nelle discipline con componente aerobica, permettendo di misurare la ventilazione polmonare ( $V_e$ ), il consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ ), la produzione di anidride carbonica ( $\dot{V}CO_2$ ) e tutti gli indici correlati a queste tre misure fondamentali, durante l'esecuzione di un test da sforzo, in laboratorio o sul campo.

Il metabolimetro da noi utilizzato, il Vmax29C della SensorMedics, è basato su un flussimetro, che misura la quantità d'aria inspirata ad ogni atto respiratorio e sugli analizzatori d' $O_2$  e  $CO_2$ , che calcolano la concentrazione dei due gas nell'aria espirata.

Il soggetto, con mascherina e boccaglio muniti di sistema valvolare in/espilatorio, in-  
 spira aria ambiente ed espira attraverso il flussimetro; un campione di tale aria viene  
 inviata agli analizzatori, il cui risultato appare subito, in forma grafica, sul monitor  
 del computer, grazie ad un programma elaborato dalla Sensematics stessa.

I dati, respiro per respiro, vengono inoltre memorizzati in un file, al quale è possibile  
 accedere successivamente, per ulteriori elaborazioni.

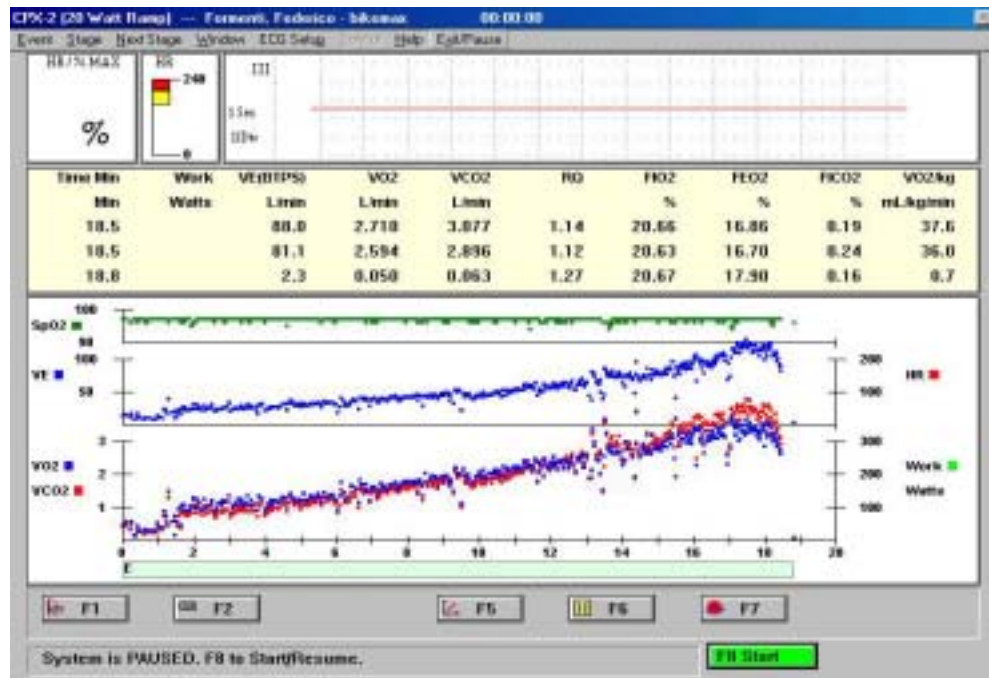


Fig. 2: schermata del Vmax29C durante un test incrementale.

### 6.2.3 Software

Il software Wellness Trainer 4.0 prevede: programmi d'allenamento con proposte di  
 lavoro preinserite o personalizzate secondo le necessità del soggetto; test di valuta-  
 zione funzionale, al fine di rendere più veloce ed agevole lo svolgimento dei test per  
 il calcolo della potenza aerobica, della forza massima e della composizione corpo-  
 rea.

Questo programma interagisce con: chiave TGS, Wellness Export, Trainer Point, at-  
 trezzi dotati di dispositivo di lettura TGS.

- Chiave TGS: Supporto magnetico nel quale sono memorizzati dati relativi a schede di allenamento o a singoli esercizi. Il dispositivo di lettura di tale strumento è posizionato sull'attrezzo stesso (dispositivo di lettura TGS)
- Trainer point: collegato al PC su cui è installato il programma Wellness Trainer, è dotato di dispositivo di lettura TGS per l'interazione tra PC e chiave. Permette di costruire allenamenti e test personalizzati e di scaricare i risultati degli esercizi dalla chiave stessa.



## 7. Materiali e metodi

### 7.1 Soggetti

Gli esperimenti sono stati condotti su 17 soggetti volontari (12 maschi e 5 femmine) di età compresa tra i 58 e i 76 anni. Tutti erano informati sulle modalità di svolgimento dell'esperimento e avevano accordato il loro consenso per iscritto. Il reclutamento dei soggetti è stato eseguito escludendo chi praticava regolarmente attività sportiva con impegno superiore a cinque ore settimanali e dopo aver appurato, con un'accurata visita medica, lo stato di buona salute e l'idoneità all'esercizio fisico.

	<b>SOGGETTO</b>	<b>ETÀ</b>	<b>PESO</b>	<b>ALTEZZA</b>	<b>SESSO</b>
<b>TOP</b>	<i>D_P</i>	68	63	171	M
	<i>L_M</i>	69	72	173	M
	<i>P_V</i>	64	78.5	175	M
	<i>P_F</i>	66	78	167	M
	<i>G_M</i>	71	65.8	161	F
	<i>D_A</i>	76	66.4	171	F
	<i>B_F</i>	60	71	161.5	F
	<i>M_C</i>	67	74.6	170	M
	<i>Z_P</i>	62	83.2	179	M
<b>BIKE</b>	<i>C_I</i>	66	61.7	151.7	F
	<i>R_F</i>	65	98.6	175	M
	<i>S_R</i>	66	76.5	164	M
	<i>T_F</i>	58	68	168.5	M
	<i>C_D</i>	66	72.5	177.5	M
	<i>P_A</i>	67	77	164	M
	<i>P_S</i>	62	72.7	174	F
	<i>P_R</i>	73	63.9	163	M
<b>MEDIA</b>		<b>66.24</b>	<b>73.14</b>	<b>168.60</b>	
<b>DEV. ST</b>		<b>4.37</b>	<b>8.68</b>	<b>6.87</b>	

Tab. 1: valori individuali d'età, peso e altezza dei 17 soggetti. Medie e deviazioni standard nelle ultime due righe.

I soggetti sono stati sottoposti ad alcuni test d'ingresso. Tutti i test sono stati ripetuti alla fine del periodo d'allenamento. I test (spiegati in dettaglio successivamente) sono serviti per valutare le modificazioni indotte dall'allenamento. I test sono stati eseguiti presso il laboratorio di Fisiologia dell'Esercizio del Corso di Laurea in Scienze Motorie dell'Università di Verona, in un locale spazioso, ben areato ed illuminato, tra le 09:00 e le 17:00. I soggetti venivano preparati per la registrazione dei parametri respiratori e per la registrazione della frequenza cardiaca collegandoli alle varie apparecchiature, come di seguito descritto.

## 7.2 Protocollo sperimentale

### 7.2.1 Test cardiologico e familiarizzazione

Il primo giorno in cui il soggetto visitava il laboratorio veniva eseguito un test cardiologico sul cicloergometro che aveva il doppio scopo di verificare lo stato di salute del soggetto e di farlo familiarizzare con il laboratorio e gli apparecchi di misura.

Il test cardiologico consisteva in un test incrementale al cicloergometro con incrementi di 15W al minuto. Durante il test era registrato un elettrocardiogramma ed erano misurati gli scambi gassosi alla bocca con il metabolimetro.

Successivamente il soggetto eseguiva due esercizi di 3 minuti ciascuno all'ermoergometro (con carichi rispettivamente di 50 e 60 Watt) per acquisire dimestichezza con l'attrezzo e con il movimento poco usuale.

### 7.2.2 Test incrementali

Si sono effettuati 2 test incrementali per determinare le soglie anaerobiche individuali. In questo tipo di approccio il carico di lavoro è incrementato a gradini senza pause di riposo. La durata dei singoli incrementi e l'entità si differenziano in base ai diversi protocolli sperimentali.

Ogni soggetto ha eseguito un test a carichi incrementali al cicloergometro (Bikerace Technogym) ed uno all'ergometro a braccia (Top-XT Technogym).

## *Preparazione*

Dopo un iniziale periodo d'ambientamento, in cui erano spiegate ai soggetti le modalità di esecuzione dei test, essi si sedevano sull'apposito ergometro che era regolato adattandolo all'altezza di ciascuno. A questo punto si applicava il fascia-trasmittitore del cardiofrequenzimetro (Polar Vantage NV) ed il boccaglio collegato al metabolimetro (Sensormedics).

Dopo mezz'ora dall'accensione, il metabolimetro era calibrato sia per il flusso d'aria, facendo passare nel flussometro una quantità d'aria nota (3 litri), sia per l'analisi dei gas ( $O_2$  e  $CO_2$ ) grazie a due bombole a concentrazione nota (rispettivamente al 12% di  $O_2$ , 5% di  $CO_2$  e al 26% di  $O_2$ , 0% di  $CO_2$ ). La calibrazione veniva controllata dopo dieci minuti, se l'errore di misura era maggiore del 3% si ripeteva la calibrazione. La verifica della calibrazione era ripetuta dopo ogni test; anche in questo caso, se l'errore eccedeva il 3%, si procedeva a ricalibrare lo strumento.

### ***Esecuzione***

Tutti i soggetti eseguivano prima il test con le braccia e poi quello con le gambe. Prima di ogni test erano invitati a dare il massimo e durante i carichi più intensi erano continuamente incitati dall'operatore a resistere alla fatica. I due test erano separati l'uno dall'altro da almeno 30 minuti di riposo.

### ***Ergometro a braccia***

Esecuzione di un esercizio a carico incrementale con aumenti di carico di 5 Watt ogni 60 secondi fino ad esaurimento (carico iniziale 40 Watt).

### ***Cicloergometro***

Esecuzione di un esercizio a carico incrementale con aumenti di carico di 10 Watt ogni 60 secondi fino ad esaurimento (carico iniziale 50 Watt).

## **7.2.3 Test ad onda quadra**

Ogni soggetto ha eseguito un test sul cicloergometro e un test all'armoergometro in giorni diversi. Il test, che può definirsi anche a carico costante, consiste in un esercizio nel quale il livello di lavoro non varia dall'inizio alla fine d'ogni periodo di lavoro stabilito.

### ***Preparazione***

La preparazione è stata la stessa utilizzata nei test incrementali.

### ***Esecuzione***

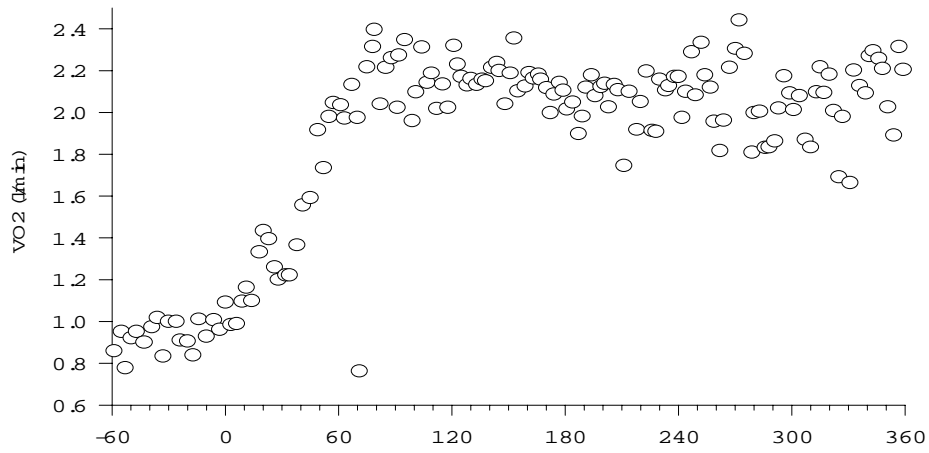
Ogni test era suddiviso in due serie di esercizi, ciascuno ripetuto due volte. Nel primo esercizio si lavorava per tre minuti senza carico e per i successivi sei minuti con un carico pari all'80% della soglia; nel secondo esercizio si lavorava per tre minuti senza carico e per i successivi sei minuti con un carico pari al 110% della soglia. Il riposo tra le ripetizioni era di almeno 10 minuti per l'esercizio all'80% e 15 minuti per l'esercizio al 110%. In ogni caso, l'esercizio successivo non iniziava prima che i parametri misurati fossero ritornati ai livelli di riposo.

### **7.3 Elaborazione dei dati**

I dati acquisiti dal *Sensormedics Vmax 29* erano esportati creando un file di testo. Usando *Excel (Microsoft inc.)* e *Sigma Plot (Jandel Scientific inc.)*, si è provveduto dapprima all'interpolazione lineare dei dati a un secondo. Dato che il file originale fornisce una serie di valori per ogni atto respiratorio, si devono stimare i valori, secondo per secondo, fra un atto respiratorio ed il successivo.

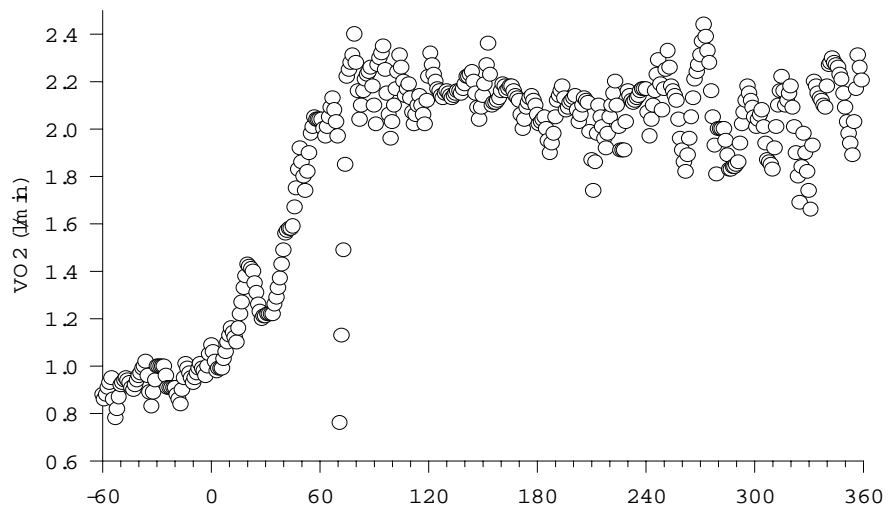
Nelle Figg. 5 e 6 è stato isolato un arco di tempo molto inferiore, di soli 16 secondi (dal sec. 41 al sec. 57) per potere meglio apprezzare l'effetto dell'interpolazione: nel primo caso (Fig. 5) i dati a disposizione per costruire il grafico sono solamente 6, tanti quanti sono stati gli atti respiratori in quell'arco di tempo, e sono quelli evidenziati dai quadrati disegnati sulla linea blu.

*Z.P. bike VT+*



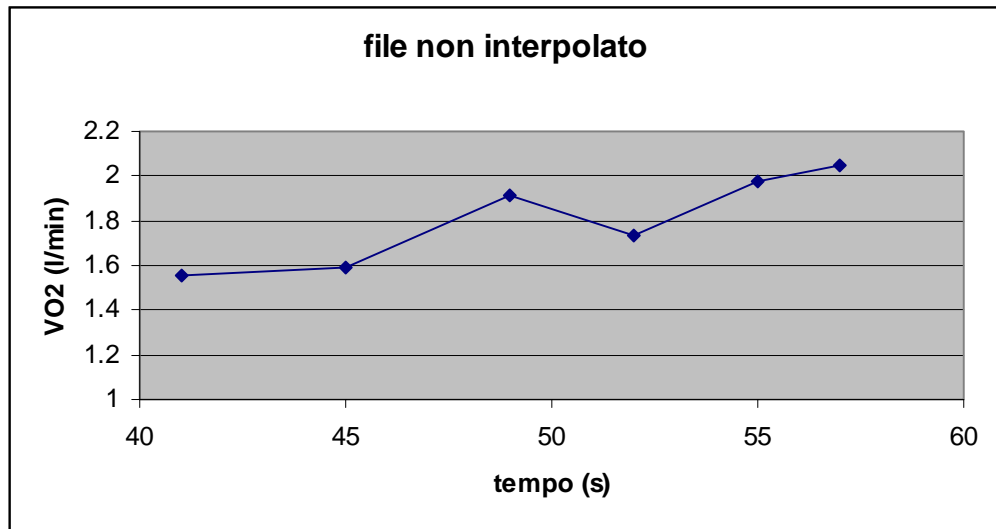
**Fig. 3:**  $VO_2$  durante un esercizio al cicloergometro. Nelle ascisse è indicato il tempo (s). Sono stati utilizzati i dati ottenuti dall'analisi respiro per respiro (dati grezzi).

*Z.P. bike VT+*



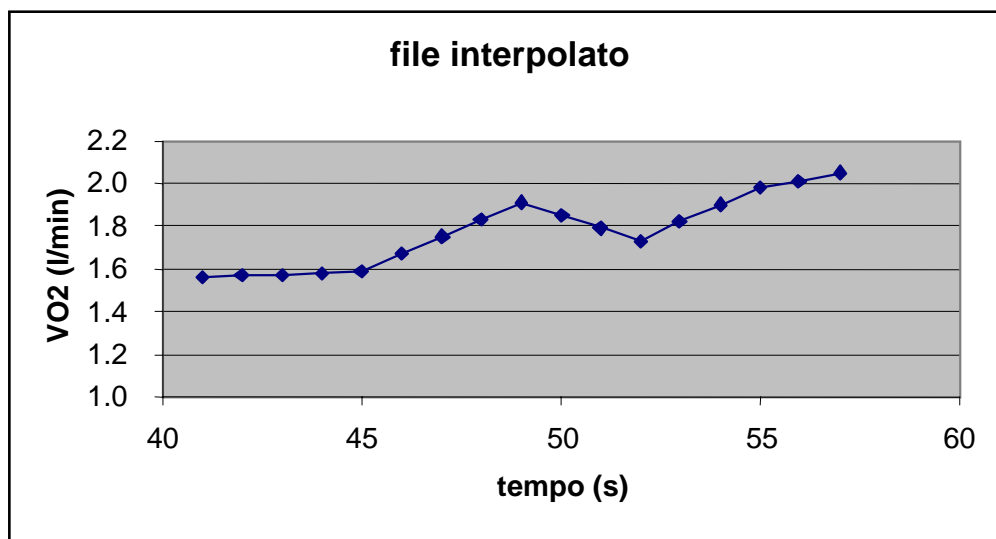
**Fig. 4:** lo stesso esercizio della figura 3 dopo interpolazione lineare ad un secondo.





**Fig. 5:** VO<sub>2</sub> durante l'esercizio in un arco di tempo di 16 secondi prima dell'interpolazione.

Dopo l'interpolazione (Fig. 6), abbiamo a disposizione molti più numeri, uno per ogni secondo, ma la linea che li congiunge è identica a quella costruita prima dell'interpolazione.



**Fig. 6:** VO<sub>2</sub> durante l'esercizio nello stesso arco di tempo dopo l'interpolazione.

Successivamente abbiamo mediato i dati unendo i due files (Figg. 7 e 8) ottenuti dalle due ripetizioni eseguite dai soggetti per ciascun esercizio. Tali files, opportunamente sovrapposti in modo che l'inizio del lavoro (momento 0) coincidesse perfettamente,

davano origine ad un unico file di dati che aveva il vantaggio di avere una minore dispersione (Fig. 9), come suggerito da Whipp<sup>[30]</sup>.

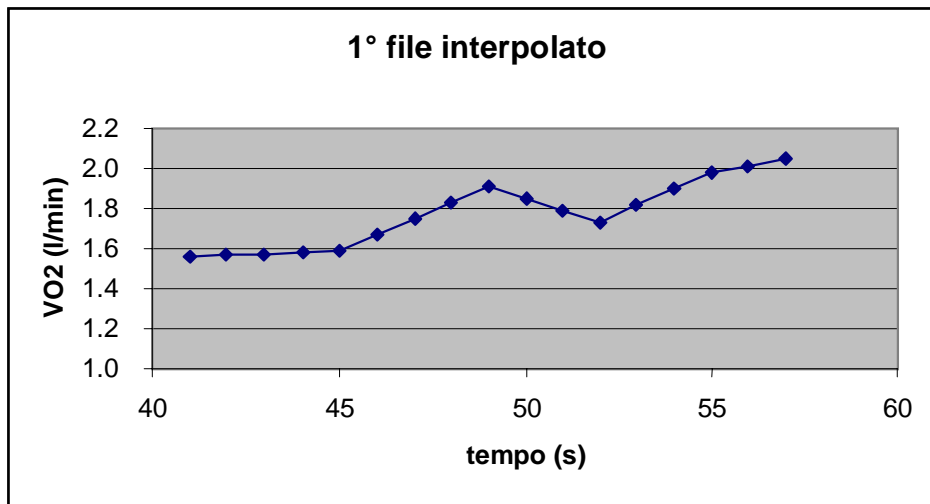


Fig. 7: 1° file interpolato.

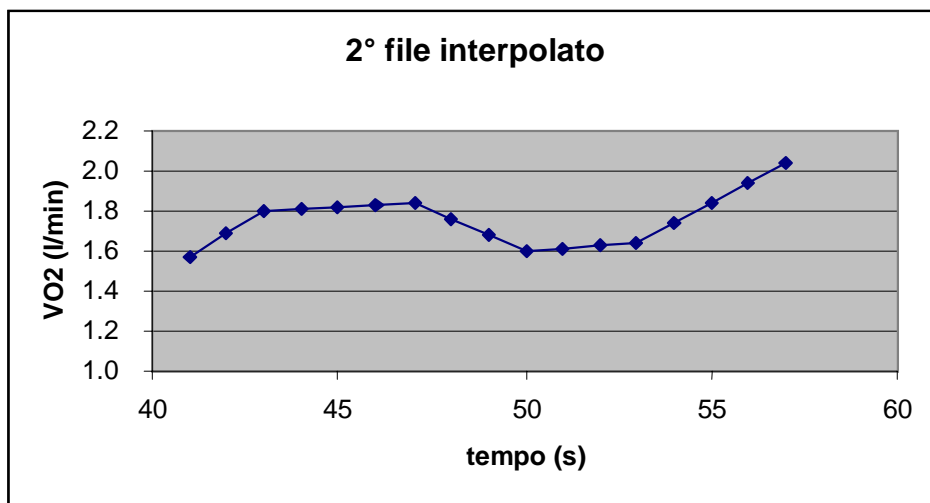
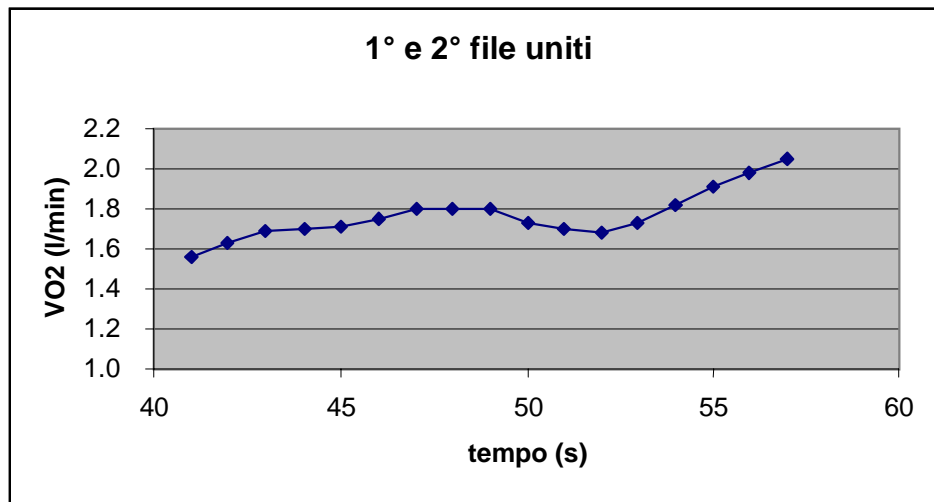


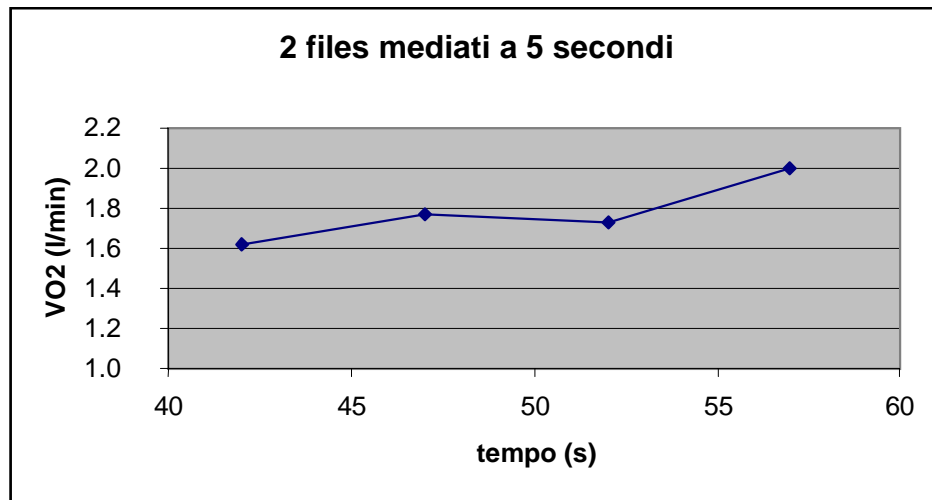
Fig. 8: 2° file interpolato.

La dispersione dei dati è maggiore nei soggetti non abituati a lavorare in laboratorio, collegati al metabolimetro mediante un boccaglio: questo influenza la respirazione rendendola irregolare. In particolare, in esercizi eseguiti con piccoli gruppi muscolari, come quelli degli arti superiori, l'ampia dispersione dei dati si combina alla scarsa ampiezza della variazione del  $VO_2$ , rendendo ancora più opportuna la mediazione di più esercizi uguali.



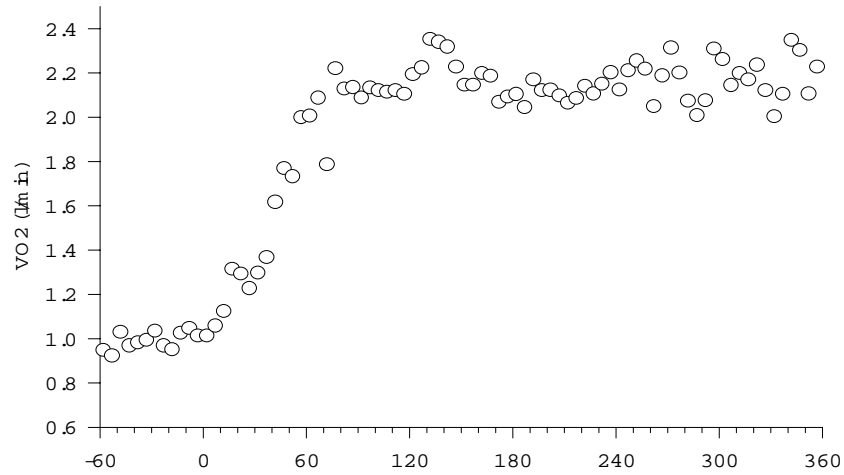
**Fig. 9:** i due files sono stati uniti per ottenere un file con minore dispersione.

Per ridurre ulteriormente la dispersione, i valori venivano mediati a 5 secondi, rendendo più omogenea la successione (Fig. 10).



**Fig. 10:** il file di figura 9 mediato a 5 secondi.

## Z.P. bike VT+



**Fig. 11: l'esercizio di figura 3 dopo essere stato unito con il file della seconda ripetizione mediato a 5 secondi.**

La curva, diminuendo la dispersione dei dati, diventa più omogenea.

Ai dati ottenuti era quindi applicata la seguente funzione monoesponenziale:

$$VO_{2t} = (VO_2 \text{ base} + A) * (1 - e^{-(t-TD)/\tau})$$

Dove:

$VO_{2t}$  =  $VO_2$  al tempo  $t$ ;

$VO_2 \text{ base}$  =  $VO_2$  durante free whelling

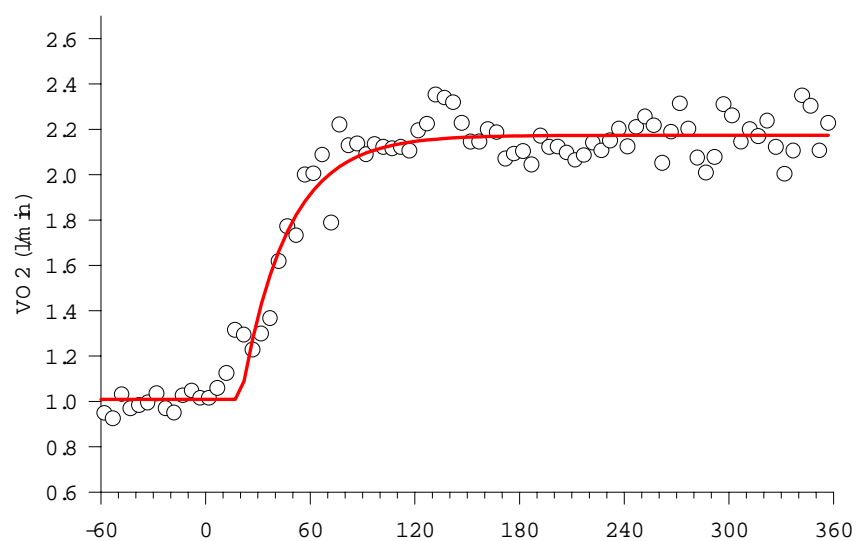
$A$  = ampiezza della curva, cioè differenza tra il  $VO_2$  allo stato stazionario e  $VO_2$  basale;

$TD$  = time delay o ritardo, che identifica il momento in cui comincia la curva esponenziale;

$\tau$  = costante di tempo; identifica il tempo necessario perché il  $VO_2$  raggiunga il 63% del  $VO_{2ss}$  ( $VO_2$  di stato stazionario).

Il software calcolava i valori di Tau, ampiezza, time delay (TD) e  $VO_2$  basale utilizzando il miglior algoritmo per stimare i dati sperimentali. Nella descrizione della fase *–on* della cinetica del  $VO_2$  abbiamo utilizzato il *modello 1* <sup>[30]</sup>.

## Z.P. bike VT+



**Fig. 12:** applicazione ai dati dell'equazione secondo il *modello 1*. La condizione imposta è  $TD > 0$ : in questo caso il computer ha calcolato un ritardo di 9.7 secondi, un'ampiezza di 2.26 e una costante di tempo (Tau) di 40.2 sec..

Dai parametri ricavati, erano quindi disegnate le curve. Il *modello 1* (Fig. 12) prevede come condizione imposta  $TD > 0$ : in tal modo il programma individua dove, dal momento 0 (inizio del carico di lavoro), il  $VO_2$  comincia a crescere. In quel punto inizia ad adattare ai dati i tre parametri della funzione esponenziale, precedentemente descritta, ricavando l'equazione della curva che meglio descrive i dati sperimentali.

## 7.4 Allenamento

*I soggetti svolgevano tre sedute d'allenamento settimanali per un periodo di tre mesi. Ogni sessione durava circa cinquanta minuti, di cui 5-10 minuti di riscaldamento a corpo libero, 30 minuti all'ergometro e 5-10 minuti di defaticamento. I 30 minuti di esercizio erano divisi in 5 periodi in cui il soggetto lavorava ad intensità diverse:*

1°-7° minuto:	90% VT
7°-17° minuto:	100% VT
17°-20° minuto:	90% VT
20°-25° minuto:	110% VT
25°-30° minuto:	90% VT

(VT = soglia ventilatoria individuale, determinata ai test incrementali)

L'allenamento è durato complessivamente 12 settimane con una frequenza di 3 sedute settimanali. Valutando tempi e risorse disponibili abbiamo ritenuto che 8-10 soggetti fossero il numero ideale per permetterci di procedere di pari passo con l'acquisizione e l'analisi dei dati. Un primo gruppo di 10 soggetti ha iniziato il training il 19 novembre 2001 e lo ha terminato il 15 febbraio 2002 mentre un secondo gruppo di 10 soggetti ha cominciato il 4 marzo 2002 ed ha finito il 24 maggio 2002. Complessivamente hanno terminato l'allenamento ed i test 17 soggetti. I giorni dedicati all'allenamento erano il lunedì, mercoledì e venerdì. Ogni soggetto sceglieva l'orario che preferiva. L'unico limite era che ogni seduta non poteva prevedere più di 4 persone (avevamo a disposizione solo due cicloergometri e due ergometri a braccia). Abbiamo predisposto 3 turni al mattino e uno al pomeriggio. Nel caso d'impedimenti i soggetti potevano recuperare la seduta anche in orari e giornate diverse da quelli prestabiliti. L'assistenza all'ergometro e il monitoraggio dell'allenamento erano garantiti dal responsabile del laboratorio o da altri studenti.

#### 7.4.1 Riscaldamento

Venivano eseguiti esercizi di intonizzazione generale, rivolti anche ai gruppi muscolari non direttamente coinvolti durante il lavoro specifico all'attrezzo.

Per cercare di rendere meno monotone le sedute d'allenamento, gli esercizi proposti variavano ogni volta. Lo spazio limitato di cui disponevamo ci consentiva di svolgere solo esercizi a corpo libero sul posto o distesi a terra su appositi materassini. Il numero di persone per ogni seduta variava da due a quattro.

#### 7.4.2 Ergometro

I soggetti venivano fatti accomodare all'ergometro stabilito (lo stesso per tutto il periodo di allenamento), regolato in base alle misure antropometriche del soggetto. Il numero di rivoluzioni per minuto (RPM) era costante per tutta la durata dell'allenamento (tra 60 e 70 RPM). Durante ogni seduta era registrata la frequenza cardiaca con un cardiofrequenzimetro.

La seduta di allenamento durava 30 minuti divisi in 5 step di 7, 10, 3, 5 e 5 minuti. I carichi del primo, del terzo e del quinto step erano al 90% della soglia ventilatoria (VT) individuale, quelli del secondo al 100% di VT e quelli del quarto al 110% VT. Gli step di ogni soggetto rimanevano uguali per due settimane alla fine delle quali si procedeva al ricalcolo dei carichi di lavoro. Un grafico riportava per ogni seduta d'allenamento, per ogni carico (90-100-110%) e per ogni soggetto i Watt eseguiti e la frequenza cardiaca raggiunta. Con il progredire dell'allenamento era necessario un adeguamento dei carichi in quanto, a parità d'intensità dell'esercizio, si ha una riduzione della frequenza cardiaca; pertanto, per ottenere la frequenza prestabilita bisognava adeguare i carichi. Quindi, per ogni individuo venivano mediate le due prestazioni migliori e, dopo aver rappresentato graficamente il risultato delle medie (FC) e il corrispondente carico di lavoro (Watt), su di esse si calcolava la regressione lineare utilizzando le frequenze raggiunte negli ultimi 30 secondi del primo, del secondo e del quarto step.

La funzione di regressione ottenuta serviva per calcolare i carichi che il soggetto doveva sostenere per raggiungere le frequenze di riferimento.

Intensità	Prestazioni migliori		MEDIA	Target hr	nuovi W	Media Watt	Media HR
90%	129	116	122.5	130	120	116	125.6
	<b>116</b>	<b>116</b>	<b>116</b>	141	131	128	139
100%	140	131	135.5	150	139	138	148.2
	<b>128</b>	<b>128</b>	<b>128</b>				
90%	138	132	135				
	<b>116</b>	<b>116</b>	<b>116</b>				
110%	150	142	146				
	<b>138</b>	<b>138</b>	<b>138</b>				
90%	139	138	138.5				
	<b>116</b>	<b>116</b>	<b>116</b>				

Tab. 2: tabella per il calcolo dei nuovi Watt da applicare ai soggetti.

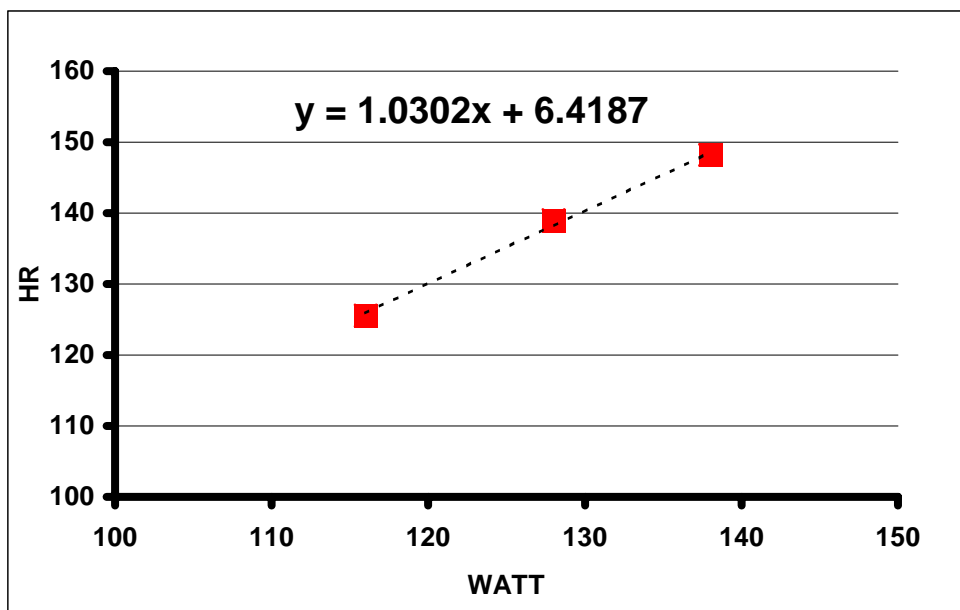


Fig. 13: grafico che mostra la regressione lineare utilizzata per il calcolo dei Watt. Sull'asse delle X i, su quello delle Y la FC. Risolvendo la funzione per X (Watt) ponendo per y (FC) i valori delle frequenze target, per ogni frequenza target si ottengono i valori per adeguare il carico delle sedute d'allenamento.



### 7.4.3 Defaticamento

Al termine della seduta all'ergometro i soggetti svolgevano dieci minuti di stretching.

I muscoli interessati erano principalmente quelli utilizzati nell'allenamento.

Gli esercizi erano mirati all'allungamento muscolare, a migliorare la flessibilità del cingolo scapolo-omerale e dell'articolazione coxo-femorale, e alla mobilità del rachide. Lo scopo era quello di rallentare gradualmente i battiti cardiaci e rilassare la muscolatura.

### 7.4.4 Test finali

Al termine del periodo d'allenamento, di tre mesi, erano svolti nuovamente dei test. Sono stati ripetuti i test preliminari con le stesse modalità di preparazione ed esecuzione, ossia test incrementali su armoergometro e cicloergometro e test ad onda quadra.

I carichi utilizzati per i test ad onda quadra al 80% e al 110% avevano la stessa intensità relativa, ossia i Watt erano calcolati sulla base del test incrementale finale.

Questi test vedevano i soggetti impegnati per altre tre giornate.

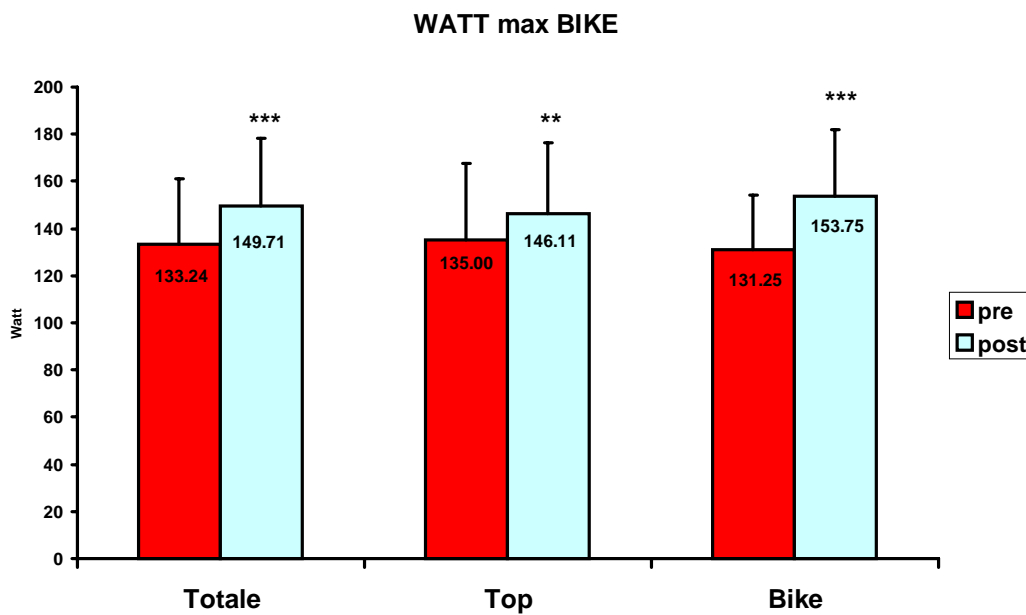
## 8. Risultati

I seguenti grafici mostrano i dati relativi ai test svolti.

Sono riportati i dati dei test iniziali (PRE) e finali (POST). Ogni grafico si riferisce ad un determinato parametro analizzato (WATT, HR, VO2) sullo specifico attrezzo.

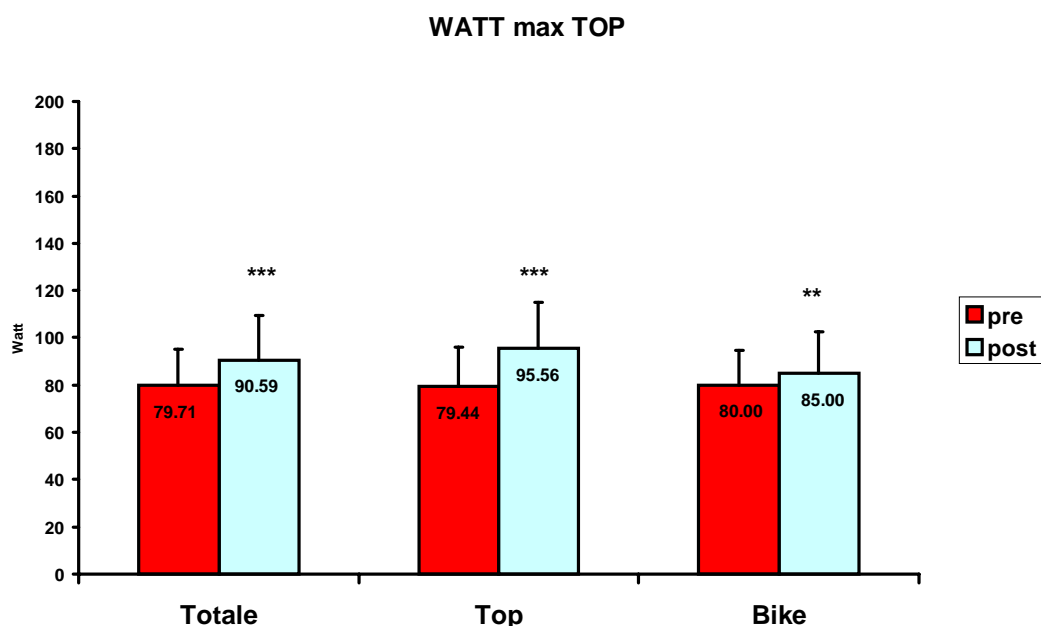
Nel test incrementale sul cicloergometro i soggetti hanno avuto un incremento della massima potenza del 12,36% (149.71W vs.133.24W). L'incremento è stato doppio (17.14% vs. 8.25%) nei soggetti che hanno fatto l'allenamento alla bike rispetto a quelli che si sono allenati sul top (Fig.14).

Nei test finali, nella bike c'è stato un maggior aumento relativo rispetto al top.



**Fig. 14:** valori medi e relative deviazioni standard dei Watt massimi raggiunti durante il test incrementale al cicloergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001

Nel test sull'ergometro a braccia l'incremento totale è stato del 13.65%. Questo aumento è determinato soprattutto dai soggetti che si sono allenati con le braccia (+ 20.28W) rispetto a quelli che si sono allenati con le gambe (+ 6.25W). Da questi dati, e da quelli del grafico precedente, possiamo rilevare che l'incremento della potenza è maggiore quando il test è svolto sullo stesso ergometro utilizzato nell'allenamento. Inoltre, l'allenamento con le braccia ha dato variazioni percentuali più ampie rispetto all'allenamento con le gambe.



**Fig. 15:** valori medi e relative deviazioni standard dei Watt massimi raggiunti durante il test incrementale all'ermoergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001

Osservando i carichi durante la soglia notiamo un incremento generale sia nel test al cicloergometro (102.06vs92.94W; +9.81%) (Fig.16), sia nel test all'ermoergometro (63.59vs57.65W; +10.31%) (Fig.17).

Analizzando i due gruppi separatamente si nota che l'incremento dei Watt in soglia è significativo solo rispetto all'ergometro specifico di allenamento. L'incremento è del 16.67% (105W vs. 90W), nei soggetti che si sono allenati con il cicloergometro, e del 15.00% (63.89W vs. 55.56W) per i soggetti che si sono allenati con le braccia.

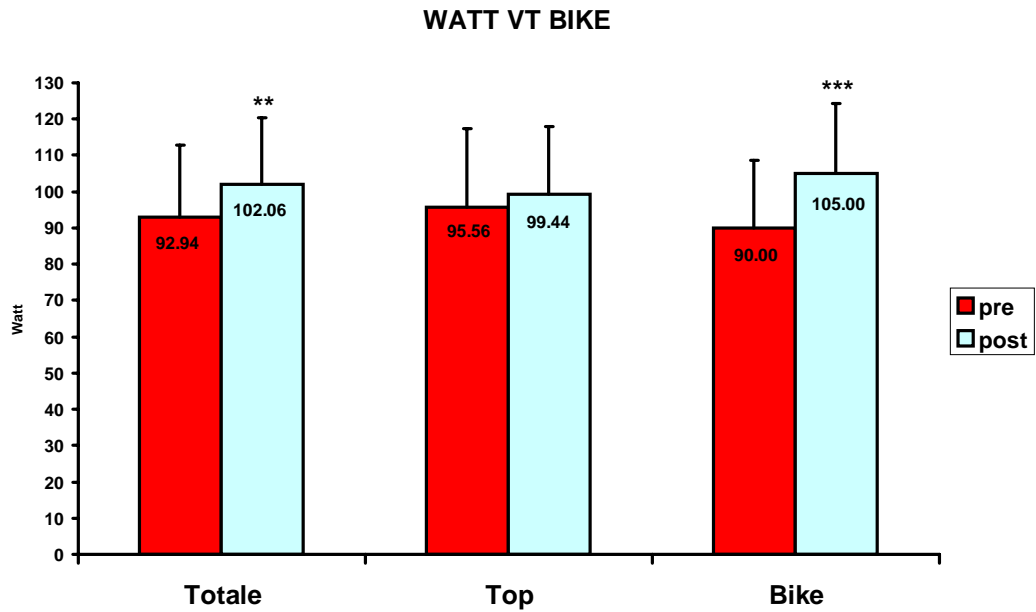


Fig. 16: valori medi e relative deviazioni standard dei Watt relativi alla soglia raggiunti durante il test incrementale al cicloergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001

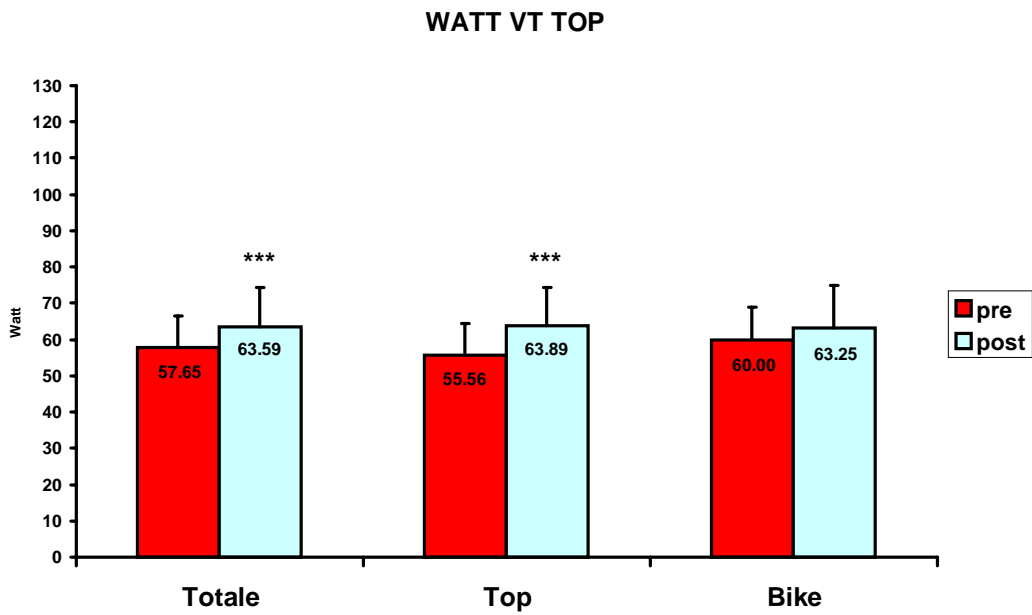
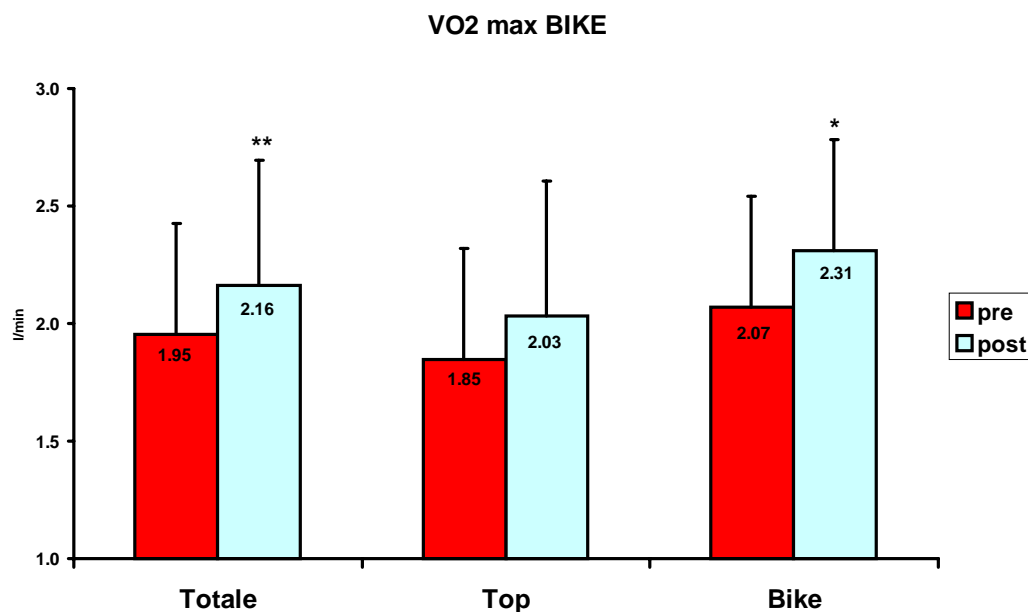
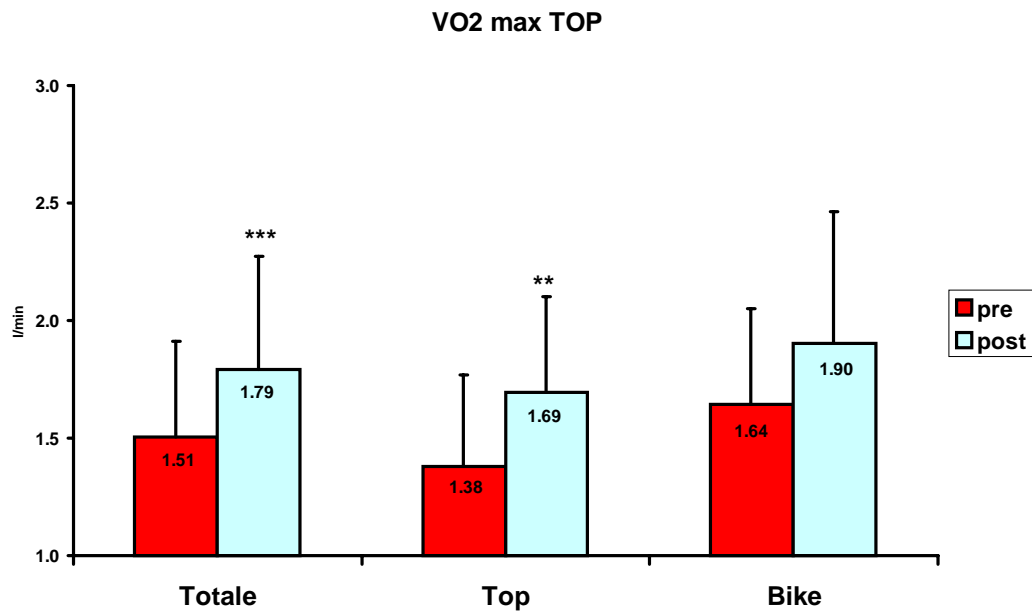


Fig. 17: valori medi e relative deviazioni standard dei Watt relativi alla soglia raggiunti durante il test incrementale all'armergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001



**Fig. 18:** valori medi e deviazione standard del massimo consumo di O<sub>2</sub> durante il test incrementale al cicloergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001

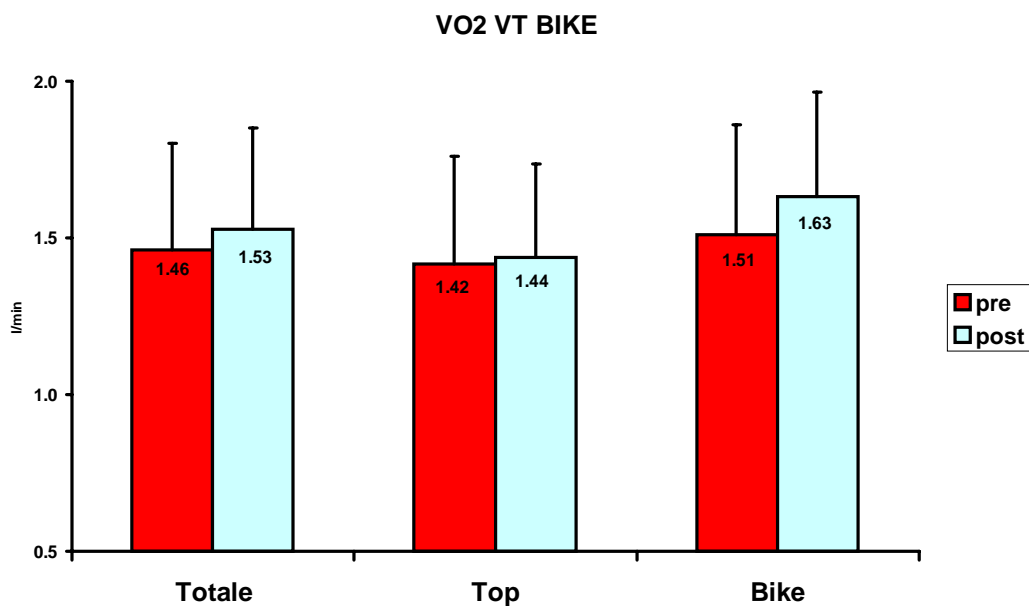
Il massimo consumo d'ossigeno al cicloergometro (Fig.18) è aumentato del 10.83% (2.16 l/min vs 1.95 l/min). L'incremento è leggermente maggiore nei soggetti che si sono allenati con la bike (+ 11.76%) rispetto a quelli allenati sul top (+ 9.90%). Quest'ultimo dato però non raggiunge significatività statistica, sia a causa della dispersione dei dati sia a causa dell'esigua numerosità del campione.



**Fig. 19:** valori medi e deviazione standard del massimo consumo di O<sub>2</sub> durante il test incrementale all'archoergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001

Il consumo massimo di ossigeno nel test al top (Fig.19) mostra un notevole incremento nel test post training (+ 18.96%). Il gruppo top ha aumentato il VO<sub>2MAX</sub> del 22.42%, il gruppo bike del 15.64%.

Notiamo che il VO<sub>2MAX</sub> al top è aumentato quasi del doppio rispetto alla bike (18.96% vs. 10.83%). Il risultato migliore, ottenuto nel test al top, è quello dei soggetti che si sono allenati al top.

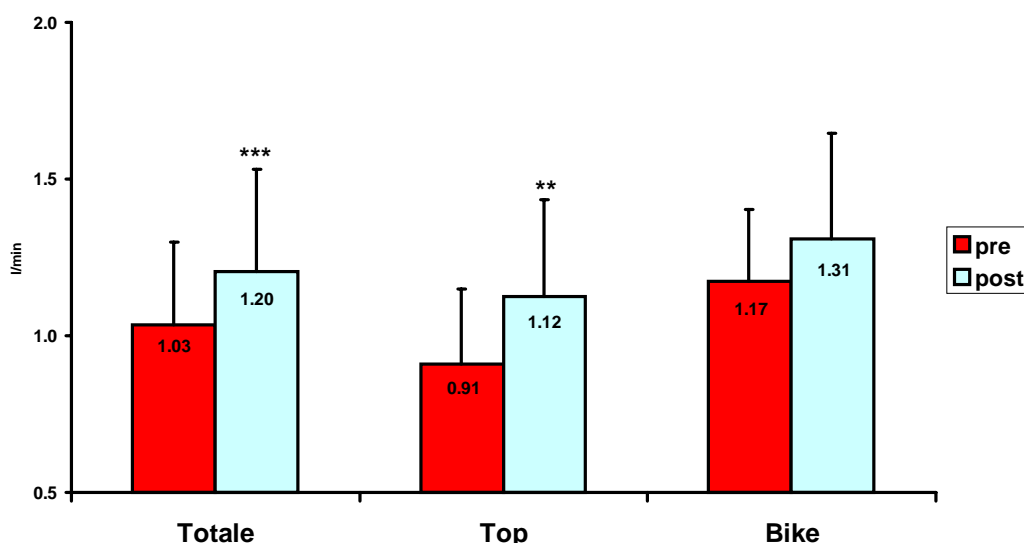


**Fig. 20:** valori medi e deviazione standard del consumo di O<sub>2</sub> relativo alla soglia durante il test incrementale al cicloergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001

Il consumo di ossigeno durante la soglia nel test al cicloergometro non mostra differenze significative nel confronto post/pre allenamento (Fig.20).

Si nota una tendenza all'aumento nei soggetti che si sono allenati con la bike (1.63 l/min vs. 1.51 l/min) ma questo incremento non raggiunge la significatività statistica.

### VO2 VT TOP



**Fig. 21:** valori medi e deviazione standard del consumo di O<sub>2</sub> relativo alla soglia durante il test incrementale all'ermoergometro. In rosso i test prima dell'allenamento (PRE), in azzurro i test dopo l'allenamento (POST). \*=P<0.05; \*\*=P<0.01; \*\*\*=P<0.001

Il confronto post/pre training durante i test all'ergometro a braccia (Fig. 21) indica un aumento del VO<sub>2</sub> di soglia totale del 16.51%.

Questo aumento è in buona parte dovuto all'incremento del consumo di ossigeno dei soggetti che si sono allenati con il top (+ 23.52%) mentre l'aumento del gruppo bike (11.48%) non è significativo.



I seguenti grafici mostrano i dati ottenuti dopo i test ad onda quadra; il confronto pre/post avviene anche tenendo conto delle diverse modalità di allenamento in quanto, come già spiegato, 9 soggetti hanno svolto un training con le braccia (TOP) mentre 8 soggetti hanno svolto un training con le gambe (BIKE).

Nella Fig. 22 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard del consumo di ossigeno durante i test ad onda quadra. Possiamo notare che non sono avvenute variazioni significative dopo l'allenamento.

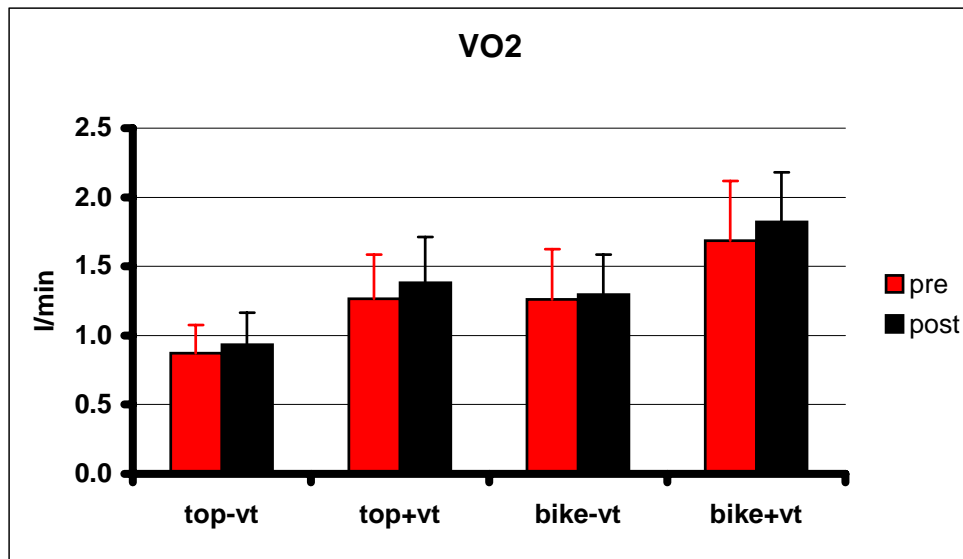


Fig. 22: valori medi e relative deviazioni standard del consumo di ossigeno durante i test ad onda quadra nelle 4 situazioni sperimentali (top-vt, top+vt, bike-vt, bike+vt. In rosso test prima in nero quelli dopo l'allenamento.

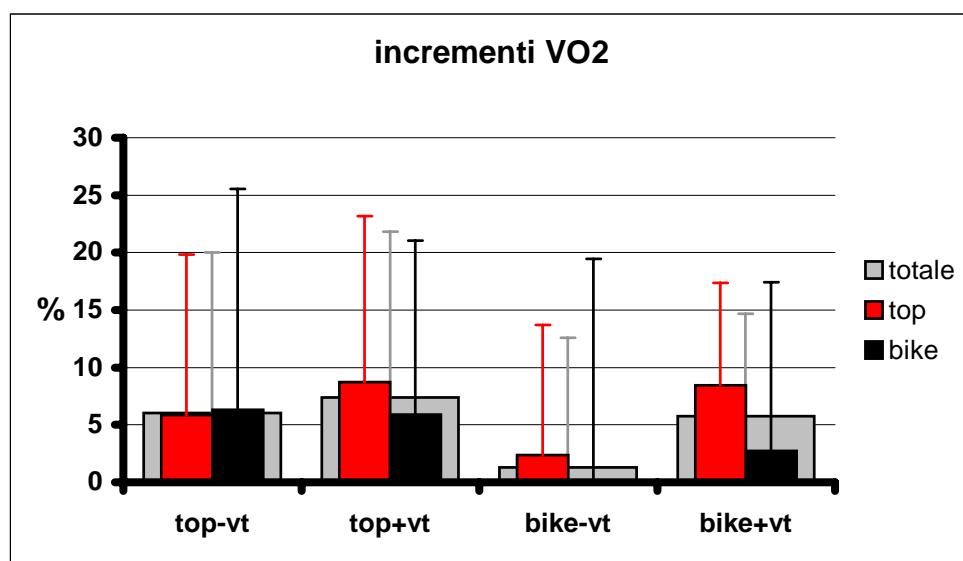


Fig. 23: valori medi e relative deviazioni standard delle variazioni percentuali nel consumo di ossigeno durante i test ad onda quadra nelle 4 situazioni sperimentali (top-vt, top+vt, bike-vt, bike+vt. In rosso il gruppo allenato con il TOP in nero il gruppo allenato con la BIKE in grigio il Totale.

La Fig. 23 mostra le differenze percentuali nel consumo di ossigeno tra i test pre e i test post. In grigio il totale dei due gruppi, in rosso il gruppo allenato con il TOP, in nero il gruppo allenato con la BIKE. Possiamo notare la notevole dispersione dei dati e la mancanza di significative variazioni tra il gruppo allenato con le braccia e quello allenato con le gambe.

La potenza della soglia ventilatoria nei test dopo l'allenamento è stata superiore in tutti i soggetti determinando un aumento significativo dei Watt durante i test ad onda quadra (Fig. 24).

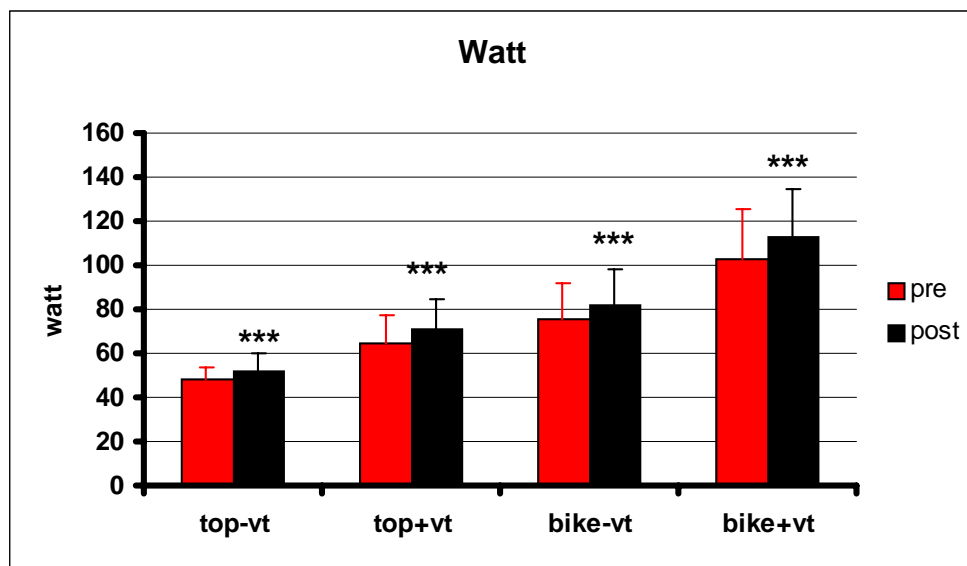


Fig. 24: valori medi e relative deviazioni standard della potenza (Watt) durante i test ad onda quadra nelle 4 situazioni sperimentali (top-vt, top+vt, bike-vt, bike+vt. In rosso i test prima in nero quelli dopo l'allenamento. \*\*\*= $P < 0.001$  pre vs. post

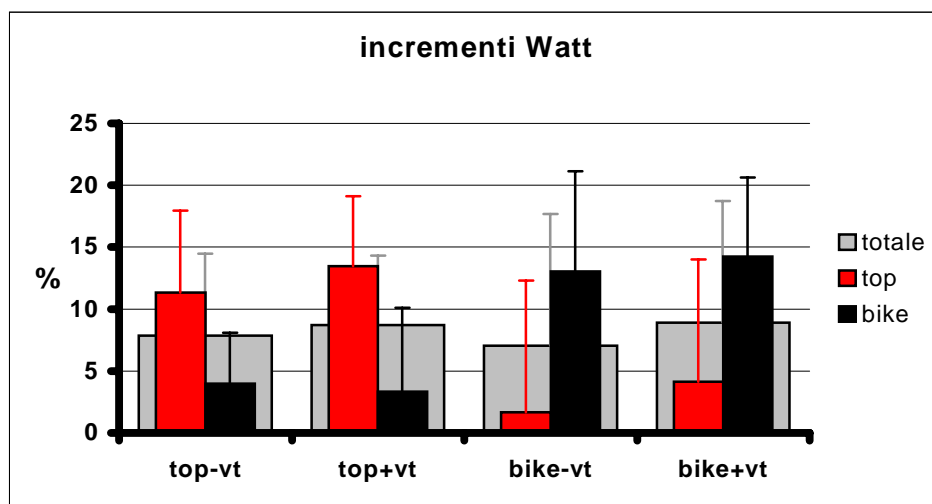


Fig. 25: valori medi e relative deviazioni standard delle variazioni della potenza (Watt) durante i test ad onda quadra nelle 4 situazioni sperimentali (top-vt, top+vt, bike-vt, bike+vt. In rosso il gruppo allenato con il TOP in nero il gruppo allenato con la BIKE in grigio il Totale.

Le differenze percentuali nella potenza prima e dopo l'allenamento (Fig. 25), al contrario del consumo di ossigeno, sono maggiori nei test specifici. Ovvero i soggetti che si sono allenati con il TOP sono migliorati soprattutto nel TOP (+11.33% top-VT; +13.48% top+VT) e, analogamente, i soggetti allenatisi con la BIKE sono migliorati nei test alla BIKE (+13.06% bike-vt; 14.25% bike+vt).

La Fig.26 mostra i dati medi della costante di tempo (Tau) calcolata durante i test ad onda quadra. Nonostante la stessa intensità di lavoro relativa possiamo notare una diminuzione della Tau nei test specifici (stesso ergometro di allenamento) sia sotto che sopra soglia.

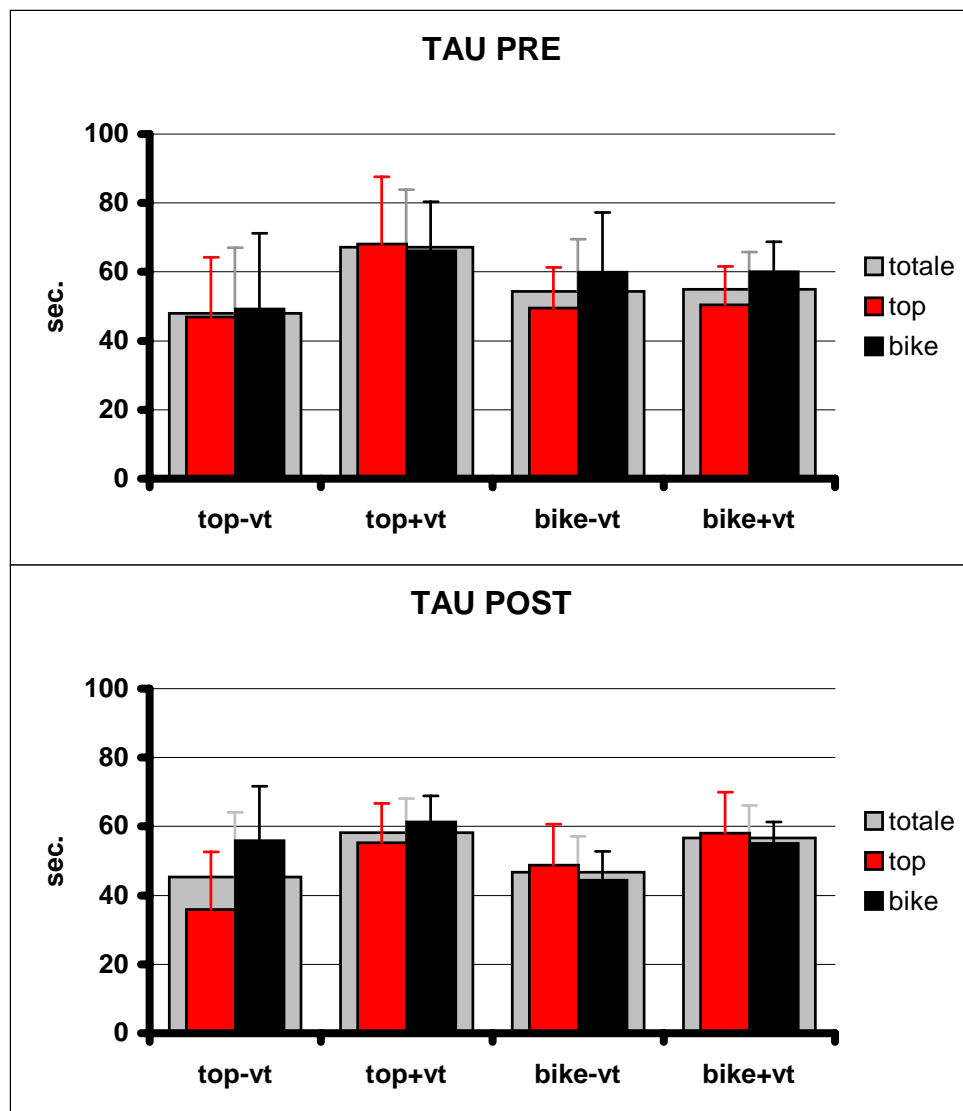


Fig. 26: valori medi e relative deviazioni standard della Tau durante i test ad onda quadra nelle 4 situazioni sperimentali (top-vt, top+vt, bike-vt, bike+vt. In alto i valori prima dell'allenamento, in basso i valori dopo l'allenamento. In rosso il gruppo allenato con il TOP in nero il gruppo allenato con la BIKE in grigio il Totale.

La diminuzione della Tau nei test specifici è descritta meglio nella figura 27 dove sono indicate le differenze percentuali prima e dopo l'allenamento. Possiamo notare che la diminuzione maggiore è stata ottenuta nei test sottosoglia all'ergometro specifico (gruppo TOP test top-vt -30.4%  $P<0.05$ ); gruppo BIKE test bike-vt -34.9%  $p<0.05$ ). Anche nei test sopra soglia specifici si sono ottenute delle diminuzioni della Tau, ma solo nel test top+vt il valore è significativo (-23%  $P<0.05$ )

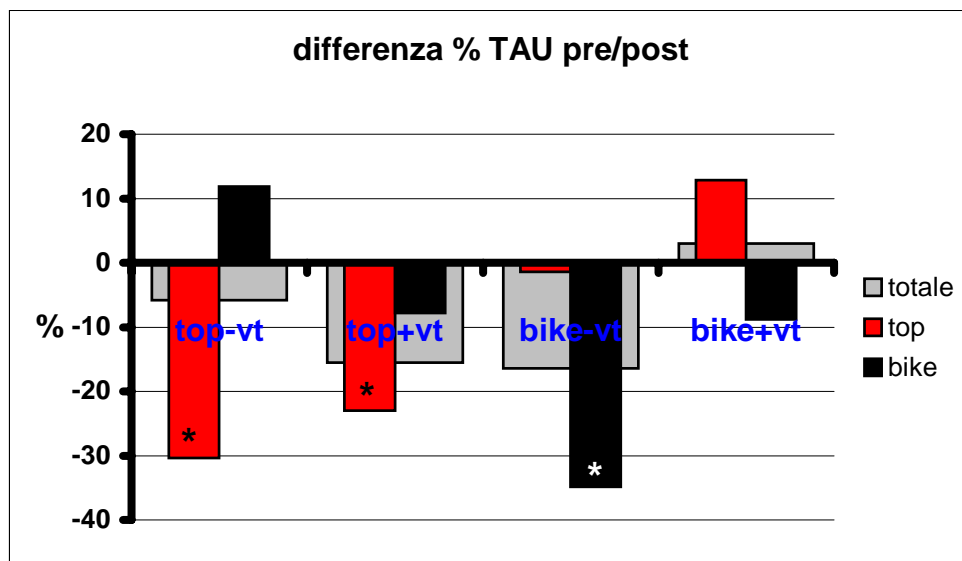


Fig. 27: valori medi e relative deviazioni standard delle variazioni della costante di tempo (Tau) durante i test ad onda quadra nelle 4 situazioni sperimentali (top-vt, top+vt, bike-vt, bike+vt). In rosso il gruppo allenato con il TOP in nero il gruppo allenato con la BIKE in grigio il Totale.\*= $P<0.05$  pre vs. post

## 9. DISCUSSIONE

Abbiamo visto che, gli anziani, sono il segmento della popolazione che sta aumentando più rapidamente di numero e che l'invecchiamento è associato ad un progressivo deterioramento delle funzioni vitali. I fattori che influenzano l'invecchiamento sono molti (stile di vita, predisposizione genetica, malattie) e interagiscono tra loro. Quindi, di fronte al progressivo allungamento della vita, l'incremento degli anni passati in buona salute e la parallela riduzione degli anni passati in condizioni di disabilità e dipendenza sono obiettivi di fondamentale importanza; è perciò necessario individuare il maggior numero di parametri suscettibili di essere modificati positivamente. Negli anni passati la scienza ha dato molta rilevanza alla diagnosi e alla cura delle patologie ottenendo risultati di grande significato; nel futuro forse un ruolo cruciale sarà attribuito all'assetto genetico individuale, ma al momento attuale sembra necessario agire in primo luogo sugli stili di vita, in particolare incrementando l'attività fisica.

Dalla letteratura emerge come l'esercizio fisico sia fondamentale per soggetti non più giovani, sia per il miglioramento della qualità di vita, sia per la prevenzione di malattie cardiovascolari e disturbi fisici più generali causati dall'invecchiamento. Naturalmente non è sufficiente affermare che l'esercizio fisico migliora la qualità della vita, ma è necessario determinarne i meccanismi e quantificarne i benefici.

I dati presentati in questa tesi riguardano i risultati di un programma d'allenamento di tre mesi svolto su soggetti anziani sani. I soggetti sono stati divisi in due gruppi: un gruppo si allenava con gli arti superiori sull'ergometro a braccia, l'altro con gli arti inferiori sul cicloergometro. I carichi svolti erano proporzionalmente uguali (90%, 100%, 110% VT) per tutti i soggetti e l'impegno è stato di 3 mesi per 3 giorni alla settimana per un totale di 36 sedute di allenamento di 30 minuti ciascuna. I tempi e le intensità di allenamento erano scelti in base alle direttive dell'American College of Sports Medicine valutando quale fosse la durata ideale per garantire da un lato un sufficiente adattamento cardiocircolatorio e per non proporre dall'altro un allenamento troppo noioso ai soggetti. Anche per l'intensità dei carichi di lavoro, si è cercato un compromesso tra la necessità di ottenere un effetto allenante e quella di non intimorire i soggetti con sforzi troppo intensi per la loro percezione della fatica.

Come spiegato nei metodi, i programmi delle sedute di allenamento venivano aggiornati ogni due settimane, allo scopo di adeguare i carichi di lavoro ai miglioramenti progressivamente raggiunti da ciascun soggetto. Ciò si è reso necessario perché, per effetto dell'allenamento, la frequenza cardiaca, impiegata come riferimento durante l'esecuzione degli esercizi, si riduce progressivamente. Per mantenere costante la frequenza di riferimento bisogna perciò aumentare proporzionalmente il carico di lavoro. Quest'intervento non altera il progetto di proporre protocolli d'allenamento basati sui carichi costanti; anzi, garantisce che i carichi rimangano proporzionali alle capacità massimali di ciascun soggetto.

Analizzando i risultati dell'allenamento, possiamo affermare che tutti i soggetti hanno risposto positivamente al training, incrementando la potenza erogata a parità di frequenza cardiaca. L'incremento medio è stato del 15% per il carico al 90%VT, del 13% per il carico al 100%VT e dell'11% per il carico al 110%VT. L'incremento maggiore si è avuto nel carico inferiore e l'incremento minore nel carico più intenso. Separando i risultati per le due modalità di allenamento, si nota una certa corrispondenza nei miglioramenti al carico inferiore, mentre nei carichi più intensi il miglioramento maggiore si è ottenuto con l'allenamento al top (14.5% vs 11.5% al 100%: 12.5% vs. 9.3% al 110%).

Ricordiamo che, mentre i due gruppi hanno seguito due diversi programmi di allenamento, rispettivamente con le braccia e con le gambe, i test iniziali e finali sono stati eseguiti utilizzando entrambi gli ergometri da parte di tutti i soggetti. In questo maniera è stato possibile valutare separatamente e confrontare gli effetti dell'allenamento "diretti", ottenuti nel test specifico, e quelli "incrociati", ottenuti nel test aspecifico\*.

Il confronto dei risultati dei test incrementali eseguiti prima e dopo l'allenamento, conferma in primo luogo la tendenza all'aumento differenziato della potenza erogata descritto precedentemente. L'incremento del massimo carico meccanico è stato del 17% al cicloergometro per i soggetti che si sono allenati con le gambe. Il gruppo allenato con le braccia nello stesso test ha avuto un incremento dell'8.2%. Lo stesso confronto nel test all'ergometro a braccia ha evidenziato un notevole aumento nel gruppo allenatosi con lo stesso ergometro (+20.3%) rispetto al gruppo che si era allenato con le gambe (+6.25%). Se analizziamo i valori dei Watt alla soglia, prima e dopo

---

\* Per test specifico e aspecifico s'intende rispettivamente il test eseguito con lo stesso ergometro dell'allenamento, oppure con l'altro.

l'allenamento, notiamo che l'incremento è significativo solo rispetto all'ergometro specifico per ciascun allenamento. L'incremento è del 16.7% nel gruppo TOP e del 15% nel gruppo BIKE.

I dati del consumo di ossigeno mostrano un'alta dispersione, come accade regolarmente nella popolazione anziana; data la numerosità non elevata del campione sperimentale, i test statistici hanno evidenziato differenze significative solo in alcune circostanze. I dati di  $VO_{2MAX}$  mostrano un aumento significativo sia nei test al cicloergometro (+10.8%) sia in quelli all'ergometro a braccia (+18.96%). Il miglioramento maggiore è stato ottenuto dai soggetti che si sono allenati con le braccia nel test al TOP (+22.4%). I dati del consumo di ossigeno a livello di VT (soglia anaerobica ventilatoria) sono piuttosto sorprendenti. Infatti, il test al cicloergometro nel confronto pre/post non ha prodotto differenze significative. Si nota solamente una tendenza all'aumento nel gruppo BIKE, che però non raggiunge significatività statistica. Lo stesso confronto nel test all'armoergometro mostra un aumento totale (gruppo BIKE + gruppo TOP) del 16.51%. Separando le due componenti, si rileva che l'aumento è in larga parte dovuto al gruppo TOP (+23.5) piuttosto che al gruppo BIKE (+11.48, n.s.). Notiamo, quindi, che il gruppo TOP è migliorato nel test sulla BIKE in misura maggiore rispetto al gruppo BIKE nel test al TOP.

Prima e dopo l'allenamento, tutti i soggetti hanno eseguito anche i test ad onda quadra, che abbiamo utilizzato per valutare la cinetica del consumo di ossigeno. Entrambi i gruppi hanno svolto la stessa sequenza di test: due ripetizioni sottosoglia (80% VT) e due ripetizioni soprastoglia (110% VT) al cicloergometro e all'armoergometro. Naturalmente, dopo l'allenamento i carichi sono risultati maggiori dato che erano calcolati come percentuale della soglia. L'incremento medio del carico è stato simile tra braccia e gambe (7.9, 8.7, 7.0 e 8.9% rispettivamente per TOP VT-, TOP VT+, BIKE VT-, BIKE VT+), ma era maggiore nei test specifici (Fig. 25). All'aumento della potenza erogata non corrispondeva un concomitante incremento significativo del consumo di ossigeno, che peraltro non risultava diverso nemmeno tra i due gruppi di allenamento. Questa considerazione suggerisce la possibilità che l'incremento della potenza riscontrato nei test specifici derivi principalmente da un maggiore rendimento energetico della contrazione muscolare. Migliorare il rendimento significa disporre di una macchina che funziona meglio, e questo è uno degli scopi specifici dell'allenamento. È necessario studiare questo aspetto, con apposite indagini biochi-

miche, per confermarne la validità ma l'indicazione che emerge dai presenti risultati è di sicuro interesse.

Ulteriori informazioni si ricavano dallo studio delle cinetiche del consumo d'ossigeno, rappresentate dal ritardo di risposta (time delay) e dalla costante di tempo (Tau). Queste due variabili (assieme alla base ed all'ampiezza) sono i parametri assegnati dal programma che calcola la migliore stima (best fitting) della curva mono-esponenziale che simula i dati sperimentali. La prima variabile, che potrebbe essere utilizzata per valutare la prima fase dell'adeguamento respiratorio all'aumentato metabolismo muscolare, soffre purtroppo di una discreta imprecisione. Infatti, il metabolometro esegue le sue misure e fornisce i relativi risultati alla fine d'ogni atto respiratorio, mentre ovviamente le variazioni del metabolismo sono continue. Le operazioni d'interpolazione e di mediazione descritte nei metodi servono a ridurre gli inconvenienti derivanti dalla sottocampionatura, ma non possono risolvere il problema quando la variabile da misurare è di breve durata. Il time delay è normalmente dell'ordine di qualche secondo ed è pertanto compreso fra 1 e 3 atti respiratori: troppo pochi per una stima accurata. Non prendiamo pertanto ulteriormente in considerazione il ritardo, in questa discussione.

La costante Tau ha un intrinseco significato fisiologico: se l'adeguamento cardiocircolatorio al lavoro muscolare fosse istantaneo, non si accumulerebbe alcun debito d'ossigeno e la Tau sarebbe zero; poiché invece l'adattamento avviene in tempo reale con un andamento tipicamente esponenziale che si completa in 30-60 secondi, la Tau è un indice della velocità d'adeguamento.

Il confronto tra l'andamento complessivo della costante di tempo prima e dopo l'allenamento non ha rivelato differenze significative. Nel valore medio di ogni test sono compresi i valori sia dei test specifici, sia dei test aspecifici. Dividendo invece i test specifici da quelli aspecifici si evidenziano alcune differenze significative. Infatti, la Tau è ridotta, nei soggetti che si sono allenati con le braccia, nei test specifici sia sopra-soglia (-30.4%) sia sotto-soglia (-23.0%). I soggetti che si sono allenati con le gambe non hanno invece presentato variazioni significative nei test al TOP. Un miglioramento significativo si è ottenuto anche nei soggetti allenati con le gambe nel test specifico sotto-soglia (-34.9%), ma non in quello sopra-soglia (-8.8%).

I carichi di lavoro delle cinetiche erano calcolati come percentuale della soglia. In questa maniera i soggetti nei test prima e dopo l'allenamento eseguivano lo stesso ca-



rico relativo (inteso come stessa percentuale rispetto alla propria capacità) a fronte di variazioni del carico assoluto (potenza in Watt). La diminuzione della Tau dopo l'allenamento è quindi da attribuire ad una migliore utilizzazione dell'ossigeno, non al minor carico relativo eseguito dai soggetti.

Tutti i dati analizzati mettono in risalto il fatto che i miglioramenti nei test dopo l'allenamento riguardano prevalentemente i test specifici, ma sono presenti anche in quelli aspecifici. Se ne deduce che l'adattamento distrettuale dei muscoli impegnati nell'allenamento prevale sul miglioramento funzionale dei fattori centrali.

Va peraltro sottolineato che i miglioramenti nel gruppo TOP erano quasi sempre maggiori rispetto a quelli del gruppo BIKE.

Possiamo quindi concludere che, l'allenamento con le braccia, causa un miglioramento della funzione cardiovascolare (trasporto dell'ossigeno) almeno paragonabile a quello ottenuto con l'esercizio con gli arti inferiori. Inoltre, sembra che allenare masse muscolari piccole, in un esercizio non usuale, induca un notevole adattamento periferico, che si manifesta con una migliore estrazione dell'ossigeno trasportato dal sangue.

Osserviamo di conseguenza che, nell'anziano, il fattore limitante che maggiormente ritarda l'utilizzazione dell'ossigeno sembra essere la componente periferica; allo stesso tempo questa componente risponde meglio allo stimolo allenante.

Benché il nostro protocollo non comprendesse un'indagine di tipo psicologico e motivazionale, ci pare comunque interessante riportare in questa sede le testimonianze dei partecipanti alla ricerca. Gli anziani hanno affermato unanimemente di aver trovato giovamento fisico e mentale dall'attività fisica svolta. La loro elasticità di movimenti e flessibilità ne è risultata migliorata, la loro vitalità aumentata. Nello svolgere le loro faccende domestiche hanno provato un minor senso di affaticamento ed una migliorata efficienza.

In conclusione possiamo affermare che i risultati ottenuti in questa ricerca dimostrano l'utilità di promuovere l'attività fisica nelle persone anziane. Il programma di allenamento da noi utilizzato ha portato a ottimi miglioramenti della prestazione e quindi potrebbe essere proposto su vasta scala. In particolare abbiamo dimostrato che anche lavorando solo con gli arti superiori si possono ottenere miglioramenti paragonabili a quelli con gli arti inferiori.

## 10. Ringraziamenti

Alcuni ringraziamenti a chi ha permesso la realizzazione di questo lavoro:

- Technogym srl. per le attrezzature
- CNR di Milano
- CeBiSM di Rovereto
- Antonio Cevese: Professore di Fisiologia presso il Corso di Laurea in Scienze delle Attività Motorie e Sportive di Verona
- Filippo Balestreri: Ricercatore presso il CeBiSM di Rovereto
- Paolo Terziotti: Responsabile del Laboratorio di Fisiologia dell'Esercizio del Corso di Laurea in Scienze delle Attività Motorie e Sportive di Verona
- Federico Schena: Direttore del CeBiSM di Rovereto
- Silvia Pogliaghi: Dottoranda presso il CNR di Milano

Un ringraziamento anche a tutti i soggetti che, con pazienza e volontà, hanno partecipato allo studio.

Rivolgo inoltre sentiti ringraziamenti a coloro i quali hanno supportato, più o meno direttamente, il sottoscritto durante il suo percorso universitario, contribuendo al conseguimento di questo obiettivo.

Grazie quindi: ai miei genitori, a mio fratello Giuseppe a Gabriele Tampellini, Elena Martini, Gabriele Pegoraro, Licia Begnoni, Francesca Basevi, Giuliana Cerutti.

## 11. Bibliografia

1. **Babcock, M.A., D.H. Paterson, D.A. Cunningham, and J.R. Dickinson.** Exercise on transient gas exchange kinetics are slowed as a function of age. *Med.Sci.Sports Exerc.* 26: 440-446, 1994.
2. **Barstow, T.J.** Characterization of  $VO_2$  kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc* 26: 1327-1334, 1994.
3. **Barstow, T.J., S. Buchthal, S. Zanconato, and D.M. Cooper.** Muscle energetics and pulmonary oxygen uptake kinetics during moderate exercise. *J Appl Physiol* 77: 1742-1749, 1994.
4. **Barstow, T.J., R. Casaburi, and K. Wasserman.**  $O_2$  uptake kinetics and the  $O_2$  deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *J Appl Physiol* 75: 755-762, 1993.
5. **Bernabeo, R.A. and B.R. D'Este.** *Dal gesto naturale alle Scienze Motorie.* Bologna: Esculapio, 1998.
6. **Brooks, G.A.** The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 18: 360-368, 1986.
7. **Cerretelli, P.** *Manuale di Fisiologia dello Sport e del lavoro muscolare.* Roma: Soc.Ed.Universo, 1985.
8. **Cerretelli, P., D. Pendergast, W.C. Paganelli, and D.W. Rennie.** Effects of specific muscle training on  $VO_2$  on-response and early blood lactate. *J Appl Physiol* 47: 761-769, 1979.
9. **Cerretelli, P., R. Sikand, and L.E. Farhi.** Readjustments in cardiac output and gas exchange during onset of exercise and recovery. *J Appl Physiol* 21: 1345-1350, 1966.
10. **Chilibeck, P.D., D.H. Paterson, W.D. Smith, and D.A. Cunningham.** Cardio-respiratory kinetics during exercise of different muscle groups and mass in old and young. *J Appl Physiol* 81: 1388-1394, 1996.
11. **Confort, A.** *Buongiorno vecchiaia.* Torino: EDT, 1991.
12. **Dal Monte, A.** *Fisiologia e Medicina dello Sport.* Firenze: Sansoni, 1977.
13. **Gaesser, G.A. and D.C. Poole.** The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 24: 35-71, 1996.
14. **Grassi, B., L.B. Gladden, M. Samaja, C.M. Stary, and M.C. Hogan.** Faster adjustment of  $O_2$  delivery does not affect  $V(O_2)$  on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *J Appl Physiol* 85: 1394-1403, 1998.

15. **Grassi, B., L.B. Gladden, C.M. Stary, P.D. Wagner, and M.C. Hogan.** Peripheral O<sub>2</sub> diffusion does not affect V(O<sub>2</sub>)on-kinetics in isolated insitu canine muscle. *J Appl Physiol* 85: 1404-1412, 1998.
16. **Hickson, R.C., H.A. Bomze, and J.O. Hollozy.** Faster adjustment of O<sub>2</sub> uptake to the energy requirement of exercise in the trained state. *J Appl Physiol* 44: 877-881, 1978.
17. **Hughson, R.L. and M. Morrissey.** Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise. *J Appl Physiol* 52: 921-929, 1982.
18. **Koga, S., T. Shiojiri, N. Kondo, and T.J. Barstow.** Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol* 83: 1333-1338, 1997.
19. **Levitzky, M.G.** *Fisiologia polmonare.* Milano: MacGraw-Hill, 1993.
20. **Linnarsson, D.** Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiol.Scand.* S415: 1-68, 1974.
21. **Paterson, D.H.** Effects of ageing on the cardiorespiratory system. *Can J Sport Sci* 17: 171-177, 1992.
22. **Pendergast, D., P. Cerretelli, and D.W. Rennie.** Aerobic and glycolytic metabolism in arm exercise. *J Appl Physiol* 47: 754-760, 1979.
23. **Poole, D.C., W. Schaffartzik, D.R. Knight, T. Derion, B. Kennedy, H.J. Guy, R. Prediletto, and P.D. Wagner.** Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *J Appl Physiol* 71: 1245-1260, 1991.
24. **Poole, D.C., S.A. Ward, G.W. Gardner, and B.J. Whipp.** Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 31: 1265-1279, 1988.
25. **Roston, W.L., B.J. Whipp, J.A. Davis, D.A. Cunningham, R.M. Effros, and K. Wasserman.** Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis* 135: 1080-1084, 1987.
26. **Rowell, L.B., G.L. Brengelmann, J.M. Detry, and C. Wyss.** Venomotor responses to rapid changes in skin temperature in exercising man. *J Appl Physiol* 30: 64-71, 1971.
27. **Tschakovsky, M.E. and R.L. Hughson.** Interaction of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J.Appl.Physiol.* 86: 1101-1113, 1999.
28. **Whipp, B.J.** Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation* 76: VI18-VI281987.
29. **Whipp, B.J. and S.A. Ward.** Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22: 62-71, 1990.

30. **Whipp, B.J., S.A. Ward, N. Lamarra, J.A. Davis, and K. Wasserman.** Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol* 52: 1506-1513, 1982.
31. **Whipp, B.J. and K. Wasserman.** Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol* 33: 351-356, 1972.