



Università degli Studi di Cagliari

Dottorato di ricerca

in Biologia e Biochimica dell'uomo e dell'ambiente

Ciclo XXIII

**AGGIUSTAMENTI METABOLICI DURANTE IL RECUPERO
NELL'INTERVAL TRAINING: STUDIO IN LABORATORIO E SUL
CAMPO IN ATLETI DI MEZZOFONDO E VELOCITA'
PROLUNGATA**

Settore scientifico disciplinare di afferenza

M-EDF/02 METODI E DIDATTICHE DELLE ATTIVITÀ SPORTIVE

Presentata da:	Dott. Filippo Tocco
Coordinatore Dottorato	Prof. Angelo Cau
Relatore	Prof. Alberto Concu

Esame finale anno accademico 2009 – 2010



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

Dipartimento di Scienze Applicate ai Biosistemi

Scuola di Dottorato di Ricerca in Biologia dell'Ambiente e dell'Uomo

Filippo Tocco ha svolto la propria attività di studio e ricerca presso la Sezione di Fisiologia Umana del Dipartimento di Scienze Applicate ai Biosistemi.

Il dottorando ha sviluppato il piano di ricerca triennale in laboratorio e sul campo con atleti del mezzofondo e della velocità prolungata. Il tema di ricerca è rappresentato dallo studio delle variabili metaboliche durante il recupero in esercitazioni di "interval training". Coerentemente con gli obiettivi della ricerca, il candidato si è inizialmente dedicato all'analisi dello stato dell'arte sugli indicatori del recupero funzionale dopo attività fisica, e, successivamente, alla definizione del protocollo sperimentale. Nelle poche reviews pubblicate sull'argomento è stata recentemente sottolineata la necessità di ampliare lo studio dei vari aspetti che caratterizzano il recupero funzionale negli sportivi (Bishop et al., 2008, Barnett 2006).

Lo scopo della ricerca è stato duplice. Da un lato, si è cercato di individuare quali sono le variabili metaboliche che meglio correlano con la fatica intesa in senso metabolico. Dall'altro, si intende suggerire ai tecnici una metodologia di allenamento che sia basata sul dato scientifico.

Il recupero è stato valutato dopo esercitazioni di "interval training" (metodologia di enorme utilizzo in atletica) svolte sul campo ed in laboratorio. Le analisi sono state effettuate mediante la metabolimetria con spettrometro di massa portatile (Modello VO₂₀₀₀ MedGraphics, variabili monitorate: VO₂, VCO₂, RER, HR, VT, RR, Ve), e si tratta della tecnica di riferimento per la valutazione dello stato metabolico. La metodica è quindi caratterizzata da una bassa invasività ed elevata accuratezza. L'integrazione delle informazioni provenienti dall'apparecchio insieme ad alcune variabili derivate elaborate dal dott. Tocco (CO₂EX, Ve/VO₂, Ve/VCO₂, CE) ha permesso la definizione di un quadro comprensivo dello stato di recupero degli atleti.

Lo studio ha coinvolto un gruppo di atleti e tecnici di elevato livello nazionale e talora internazionale, e suscitato l'interesse del CONI Regionale Sardegna che ne ha in parte finanziato i costi, intravedendo possibili risvolti pratici per la metodologia di allenamento degli atleti.

L'analisi statistica dei risultati ha mostrato come utilizzando le metodiche comuni (analisi della sola HR), sia facile incorrere in errori macroscopici di valutazione circa lo stato di recupero degli atleti. Altresì, è certamente possibile definire con maggiore accuratezza lo stato degli atleti attraverso la variabile del CO₂EX introdotta dal dott. Tocco; questa pare correlare fortemente con la fatica degli atleti, e pare possibile stabilire una sua relazione con la HR al fine di rendere meno improprio l'uso di quest'ultima come indicatore di recupero.

I risultati preliminari della ricerca sono stati pubblicati come abstracts in due recenti congressi scientifici:

1. F. Tocco, A. Crisafulli, P. Sanna, N. Degortes, A. Concu (2010). Cardio-metabolic changes during an interval-training session of competitive middle-distance runners. II Congresso Nazionale SISMES Torino 30 Settembre - 2 Ottobre 2010. Abstract, pp.18-14.
2. F. Tocco, A. Crisafulli, F. Melis, P. Sanna, N. Degortes, A. Concu (2010). Risposte cardiometaboliche in atleti d'elite durante il recupero sui 300 metri dopo ripetute svolte a due differenti intensità. VII edizione della Giornata della Ricerca Scientifica in Medicina, Cagliari 18 Giugno 2010. Abstract, Clinical Science Medical, n.199, pp.197.

Il dottorando Filippo Tocco ha mostrato di possedere eccellenti capacità di ricerca, come risulta dalla originale e qualificata produzione scientifica. Ha inoltre dimostrato ottime capacità didattiche ed apprezzabili attitudini relazionali.

Il Coordinatore della Scuola di Dottorato di Ricerca

Prof. Angelo Cau



INDICE

Introduzione

- Generalità sulla velocità prolungata e sul mezzofondo pag.6
- Premessa teorica della ricerca pag.9
- Scopo dello studio pag.9

Materiali e Metodi

- Soggetti pag.11
- Misurazioni respiratorie e metaboliche pag.12
- Protocollo sperimentale pag.15
- Analisi dei dati pag.18

Risultati pag.19

Discussione pag.22

Conclusioni pag.27

Bibliografia pag.29

Figure pag.33

Tabelle pag.37

Grafici pag.40

INTRODUZIONE

GENERALITÀ SULLA VELOCITÀ PROLUNGATA E SUL MEZZOFONDO

La gara dei 400 metri, una specialità dell'atletica leggera, è classificata come prova di velocità prolungata.

Le distanze degli 800 e 1500 metri piani dell'atletica leggera sono classificate come gare di mezzofondo veloce.

Le competizioni dei 3000, 3000 siepi e 5000 metri appartengono invece alle gare di mezzofondo prolungato.

Le gare di velocità e mezzofondo si differenziano per vari aspetti: durata, intensità, tecnica di corsa, impegno metabolico richiesto, caratteristiche fisiologiche dell'atleta, attrezzature impiegate.

Dato l'impegno fisiologico di tipo massimale e la durata inferiore al minuto, i meccanismi energetici che supportano le gare dei 400 m sono prevalentemente quelli anaerobici (Dal Monte 1999), con un intervento di piccola entità del metabolismo aerobico (secondo Fox intorno al 5% dell'energia totale richiesta).

Negli atleti di velocità prolungata (VP), il fattore che condiziona maggiormente la prestazione è la capacità del sistema glicolitico. In letteratura è stata riscontrata una stretta relazione fra la quantità di lattato ematico misurata al termine della gara e il tempo ottenuto nella stessa: atleti di buon livello di qualificazione fanno registrare valori di lattato molto elevati, fino a 25 Mm (Jacobs 1986; Ohkuwa et al. 1984).

Le gare di mezzofondo rientrano, secondo la classificazione fisiologica e biomeccanica delle attività sportive, tra le attività ad impegno aerobico-anaerobico massivo (Dal Monte 1999).

Nei mezzofondisti (MF), la capacità anaerobica risulta ancora importante ai fini della prestazione nelle distanze più brevi (800-1500), mentre nelle distanze più lunghe assume un ruolo centrale il massimo consumo di ossigeno (VO_2 max) e la velocità con la quale è raggiunto lo steady state ossidativo (onset del VO_2); infatti è opinione di molti autori che quanto quest'ultimo sia raggiunto più precocemente, tanto più può durare l'esercizio; tanto maggiore è il contributo della componente iniziale anaerobica tanto meno dura l'esercizio (Cerretelli 1985; Dal Monte 1999). Nella preparazione della velocità prolungata e del mezzofondo i tecnici rivolgono molta attenzione alla metodologia delle prove ripetute o "Interval Training" (IT). Si tratta di allenamenti in cui una o più distanze sono percorse più volte ad intervalli prestabiliti. Riportiamo di seguito alcuni esempi:

1. IT volto al miglioramento della cosiddetta "*resistenza alla velocità*".
 - 60-80 m ripetuti per 4-6 volte
 - 100-150 m ripetuti per 3-5 volte
 - 200-300 m ripetuti per 2-4 volte
2. IT rivolto allo sviluppo della cosiddetta "*potenza aerobica*":
 - 500 m ripetuti fino a 20 volte
 - 1000 m ripetuti fino a 10 volte
 - 2000 m ripetuti fino a 5 volte

La velocità (intensità lavorativa) da tenere nelle varie prove ripetute è spesso stabilita empiricamente dai tecnici o, più raramente, si fa riferimento alla velocità di Soglia Anaerobica (SA).

Per SA s'intende un'intensità soglia di lavoro oltre la quale si verifica, non necessariamente per carenza di O₂, un progressivo accumulo di lattato nel sangue (che rispecchia il suo accumulo intramuscolare). Da un punto di vista funzionale questa intensità soglia rappresenta l'intensità di esercizio oltre la quale è impossibile proseguire lo stesso se non per qualche minuto; questo perché l'aumento continuo della concentrazione protonica collegato al fenomeno di accumulo del lattato inibisce la glicolisi (per inibizione della fosfofruttochinasi o PFK). In altri termini (Billat LV 1996), la SA rappresenta l'intensità immediatamente sotto la quale è possibile mantenere uno sforzo molto a lungo (ore). La SA è variabile da soggetto a soggetto dipendendo principalmente da fattori genetici (bilancio fibre bianche glicolitiche e fibre lente ossidative) e dall'allenamento, che è in grado di modificare le percentuali tra le fibre e di potenziare gli apparati centrali di supporto per lo smaltimento del lattato: cuore, fegato, reni e circolo.

Nella pratica si identifica un valore di frequenza cardiaca (HR) o di velocità corrispondente alla SA, che permette di definire le intensità di allenamento.

I metodi di misura della SA proposti dalla letteratura sono numerosi, per sintesi ricordiamo i più utilizzati:

1. Curve Lattato Velocità o Potenza (Heck 1985)
2. Metodo degli equivalenti ventilatori (Wasserman 1990)

3. Metodo della FC (Conconi 1982).

Quasi del tutto empirica è invece la scelta della durata dei tempi di recupero tra le varie prove ripetute.

PREMESSA TEORICA DELLA RICERCA

Nonostante gli atleti spendano una maggiore quantità di tempo a riposare piuttosto che ad allenarsi, poca attenzione è sempre stata riposta dalla ricerca scientifica applicata circa il recupero funzionale intra e post allenamento (Bishop et al. 2008). Un completo ripristino della integrità degli organi sollecitati dai carichi di lavoro è essenziale per una performance ottimale, e questo può essere raggiunto solo attraverso un appropriato bilanciamento tra carichi somministrati e relativi ristori. Per questi motivi, in alcune rivisitazioni scientifiche sull'argomento è stata recentemente sottolineata la necessità di ampliare lo studio dei vari aspetti che caratterizzano il recupero funzionale negli sportivi (Bishop et al. 2008; Barnett 2006). Possiamo suddividere il recupero funzionale in tre principali categorie: a) immediato ristoro dopo un allenamento; b) recupero breve tra le ripetizioni durante una sessione di IT; c) pratiche di recupero tra i periodi di carico allenanti (stretching, massaggi, sauna etc).

SCOPO DELLO STUDIO

L'attenzione della mia ricerca è rivolta al punto b della classificazione su proposta, nel tentativo di migliorare le attuali conoscenze sugli

aggiustamenti metabolici che occorrono nel breve ristoro tra le ripetute dell'IT. Infatti la gestione della durata dei tempi di recupero è spesso decisa su basi empiriche, od al massimo sul controllo di un'unica variabile: la frequenza cardiaca. Troppo spesso il tecnico, poco supportato dalla ricerca e basandosi sull'esperienza pratica pregressa, gestisce in modo approssimativo i ristori in relazione agli aggiustamenti ed adattamenti che vuole sviluppare nell'atleta; questa approssimazione può portare ad un mancato raggiungimento degli obiettivi dell'allenamento (assenza di miglioramenti) o nel peggiore dei casi ad un "overtraining" (cioè una condizione di squilibrio tra l'allenamento e il recupero, tra lo sforzo e la capacità di sopportazione dello sforzo, tra lo stress e la tolleranza allo stress), con tutte le conseguenze che esso comporta (Lehmann et al. 1992).

Pertanto nella presente ricerca saranno studiate diverse variabili metaboliche, oltre alla nota frequenza cardiaca, allo scopo di meglio definire la condizione di ripristino metabolico degli atleti durante delle tipiche sedute di IT.

MATERIALI E METODI

SOGGETTI

Hanno partecipato allo studio 25 atleti, di cui 16 di sesso maschile e 9 femminile, tutti praticanti atletica leggera a livello regionale e nazionale nelle specialità della corsa di velocità prolungata e mezzofondo. Tre atlete non hanno portato a termine il protocollo completo.

Le caratteristiche antropometriche degli atleti sono riassunte nelle tabelle 1-2.

I test sui VP sono stati condotti nella pista di atletica del Centro Universitario Sportivo (CUS) di Cagliari (Fig. 3).

Gli esperimenti sui MF si sono svolti su nastro trasportatore (Fig. 4), nel laboratorio della Scuola di Specializzazione di Medicina dello Sport dell'Università di Cagliari, situato all'interno degli impianti del CUS Cagliari.

Prima dell'esperimento gli atleti sono stati esaurientemente istruiti circa il protocollo di ricerca ed hanno fornito il loro consenso per l'esecuzione dei test.

MISURAZIONI RESPIRATORIE E METABOLICHE

I parametri fisiologici (metabolici e respiratori) sono stati misurati utilizzando uno spettrofotometro di massa portatile VO₂₀₀₀ MedGraphics con abbinata fascia toracica Polar (Fig. 1).

Lo strumento ha un peso complessivo di 700 grammi circa ed è classificato tra i metabolimetri a circuito aperto. Lo strumento è composto da un analizzatore di gas (in grado di acquisire i dati in tempo reale, respiro per respiro), un rilevatore in telemetria (sino a 900 metri), una maschera con pneumotacografo (che rileva la differenza di pressione dei gas, i valori di flusso vengono integrati in rapporto al tempo e trasformati in volume), ed un polar per il rilevamento della HR.

L'apparecchio si posiziona sul tronco dell'atleta attraverso un'imbragatura dotata di alcune cinture per assicurare la stabilità durante la corsa (Fig. 2). Nel torace dell'atleta veniva prima applicata la fascia Polar per la misurazione della HR e successivamente veniva fatta indossare l'imbragatura sopradescritta. Sul viso dell'atleta veniva quindi applicata una maschera collegata al pneumotacografo (Fig. 2); il soggetto durante tutta la durata della prova da sforzo inspira ed espira aria ambiente attraverso il pneumotacografo: tale volume d'aria "ventilato" viene misurato ed analizzato nei contenuti di O₂ e CO₂. I segnali inviati dall'analizzatore vengono elaborati da un sistema computerizzato fornendo respiro per respiro le variabili che verranno sotto elencate.

Il software permette inoltre di interfacciare i dati metabolimetrici istante per istante con la frequenza cardiaca relativa, rilevata tramite la fascia toracica Polar.

Le variabili registrate dallo strumento sono state la HR, la ventilazione (Ve), il consumo di O₂ (VO₂), la produzione di anidride carbonica (VCO₂); le variabili estrapolate dalle precedenti erano il quoziente respiratorio (RER), l'equivalente ventilatorio per l'O₂, l'equivalente ventilatorio per la CO₂, l'eccesso di CO₂ (CO₂excess), il costo energetico ossidativo (CE).

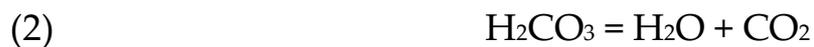
Significato dell'eccesso di CO₂. La produzione di acido lattico durante l'esercizio causa un'eccessiva produzione di anidride carbonica, (CO₂excess). È stato assunto che quando aumenta di 1 mole la produzione di acido lattico viene prodotta 1 mole di anidride carbonica in eccesso (Yano 1987). Più precisamente è stato descritto che l'eccesso di anidride carbonica è dovuto all'azione del bicarbonato (HCO₃⁻) che funziona da tampone degli acidi formatesi. Il volume di CO₂excess, che risulta in gran parte dal tamponamento dell'acido lattico (accumulato durante l'esercizio nei muscoli e nel sangue) da parte del bicarbonato, potrebbe essere stechiometricamente equivalente all'accumulo di lattato (Hiracoba et al. 1996)

Questo è dimostrato dalle reazioni (1) e (2):



Acido lattico + bicarbonato di sodio = lattato di sodio + acido carbonico

L'enzima anidraasi carbonica catalizza la dissociazione dell'acido carbonico, che porta alla produzione di acqua e anidride carbonica (che viene allontanata dal torrente circolatorio mediante la ventilazione) secondo la seguente reazione:



Il RER aumenta in modo apprezzabile quando inizia l'accumulo di lattato nel sangue; inoltre si ha una diminuzione della concentrazione di bicarbonato ematico correlata con la produzione di CO₂ "non metabolica" ossia il CO₂excess.

La Ve, quindi, è ampiamente influenzata dall'accumulo degli acidi metabolici e dalla produzione dell'eccesso di CO₂ (Anderson & Rhodes 1989).

Utilizzando il quoziente respiratorio a riposo (RERrest) si può così calcolare l'anidride carbonica "non metabolica" secondo la seguente formula:

$$\text{CO}_2\text{excess} = \text{VCO}_2 - (\text{RERrest} \cdot \text{VO}_2)$$

(Issekutz & Rodahl 1961).

PROTOCOLLO SPERIMENTALE

Inizialmente tutti gli atleti sono stati sottoposti ad un test incrementale ad esaurimento per rilevare la SA ed il VO_{2max} indispensabili per individualizzare il carico da sostenere nell'IT.

Per quanto riguarda i VP, il test prevedeva incrementi di velocità ogni 30 secondi; la velocità di partenza del test incrementale era stabilita secondo parametri atletici individuali forniti dai tecnici. Ogni atleta ha eseguito da 6 a 7 incrementi stabiliti in modo da raggiungere la sua massima velocità nell'ultimo tratto, percorrendo in tutto dai 1200 ai 1500 m sulla pista di atletica. La velocità della corsa era fornita da un operatore su una bicicletta dotata di tachimetro digitale modello SIGMA 1106 (Fig. 3).

Per quanto riguarda i MF, i test si sono svolti su un nastro trasportatore modello Tecnogym RunRace (Fig.4). Ogni atleta iniziava a correre ad una velocità di 10 km/h cui seguiva un aumento progressivo del carico di 1 km/h ogni 2 minuti. La distanza totale percorsa è stata dai 5000 ai 6000 m circa.

Mediante le curve velocità - Ve/VO_2 / Ve/VCO_2 è stata rilevata la SA per ciascun atleta secondo il metodo di Wasserman.

Tramite questo metodo si rileva la variazione dell'andamento della Ve relativamente a quello del VO_2 e VCO_2 (Grafico 1). La Ve ha, infatti, durante una prova a carichi crescenti, una relazione lineare con il VO_2 (o con il carico lavorativo) fino a un determinato punto oltre il quale essa aumenta più di quanto non aumenti il VO_2 , diventando cioè sproporzionata rispetto alle richieste organiche di ossigeno poiché

condizionata dalla necessità di allontanare il surplus di CO₂ derivante dai sistemi tampone (vedi CO₂excess).

Si determina quindi il punto di flesso nella curva del rapporto tra VE e VO₂. Tale punto può essere considerato, in valore assoluto di VO₂ o in valore percentuale del VO₂ max, la SA del soggetto.

Il test incrementale condotto nelle due modalità sopradescritte, ha permesso di costruire una sorta di identikit o fotografia metabolica dell'atleta (un esempio di report per i tecnici è riportato in tabella 3). In altre parole il test individua le caratteristiche dell'atleta aiutando concretamente il tecnico nell'indirizzarlo verso l'una o l'altra distanza di gara. I tecnici con cui ho collaborato hanno potuto cioè disporre di una *"misura quantitativa"* per impostare il programma di training; misura quindi riproducibile e confrontabile in vari momenti della stagione agonistica, con indicazioni per effettuare eventuali modifiche e migliorie alla preparazione svolta.

Di seguito le modalità di esecuzione dell'IT seguite dai due gruppi di atleti.

Velocità prolungata

1. Corsa sui 300 m al di sotto della velocità di soglia anaerobica (80% della SA). Ogni soggetto ha percorso la distanza per tre volte con un recupero di 3 minuti tra una prova e la successiva.
2. Corsa sui 300 m ad una velocità superiore alla velocità di soglia anaerobica (120% della SA). Ogni soggetto ha percorso la distanza per tre volte con un recupero di 3 minuti tra una prova e la successiva.

Mezzofondo

1. Corsa per 3 minuti all'80% della velocità di SA, eseguita per tre volte con un recupero di 3 minuti tra ogni ripetuta.
2. Corsa per 3 minuti al 120% della velocità di SA, eseguita per tre volte con un recupero di 3 minuti tra ogni ripetuta.

ANALISI DEI DATI

I valori assoluti delle variabili misurate ed estrapolate, riferiti al periodo di recupero dopo ogni ripetuta svolta, sono stati dapprima processati con l'analisi della varianza ad una via (ANOVA), seguita dal test di Tukey quando appropriato.

Quindi è stata fatta un'ulteriore analisi statistica, considerando la variazione percentuale del parametro rispetto al suo valore misurato al termine di ogni ripetuta (variazione % rispetto al termine dello sforzo). È stato così possibile confrontare le risposte nelle due tipologie di atleti. Queste ultime sono state valutate con l'ANOVA a due vie per misure ripetute, seguita dal test di Bonferroni quando appropriato.

Sono presentati i valori medi \pm DS ed è stata valutata una significatività statistica per valori di $P < 0.05$.

RISULTATI

I risultati sono presentati in dei grafici che mostrano i valori medi \pm DS delle variabili studiate, durante i ristori (rec) seguenti le tre prove ripetute nelle due diverse sessioni di allenamento (80% e 120% della SA). Nei grafici 2-3-4-5 sono rappresentate le medie \pm DS dei valori misurati nel rec nei due gruppi di atleti VP e MF. Nei grafici 2-3-4-5 bis sono invece rappresentati i risultati come variazione % del dato nel rec rispetto al valore di fine sforzo; è inoltre presentato un confronto dei dati tra i due gruppi di atleti.

HR. I risultati relativi alla frequenza cardiaca nei due gruppi di atleti ed ai due carichi lavorativi svolti (Grafico 2) mostrano un incremento progressivo della stessa nel recupero dopo le tre serie di ripetute. In dettaglio, nei MF, già durante le serie all'80% si assisteva ad un significativo incremento tra rec1 e rec3, che diventava poi ancora più evidente all'intensità soprasoglia (Grafico 2, b-d). Nei VP l'andamento era lo stesso al 120% della SA (Grafico 2, c), mentre le differenze non raggiungevano la significatività statistica nei tre recuperi dopo il lavoro sottosoglia (Grafico 2, a). Se invece si considera il dato come variazione % rispetto al fine sforzo, la frequenza appare stabile tra tre serie sia all'80% che al 120% della SA (Grafico 2 bis). Nel confronto tra gruppi, all'80% della SA, gli MF hanno mostrato valori maggiori di HR con una differenza significativa rispetto ai VP nella prima delle tre serie (Grafico 2 bis, sopra), mentre al 120% della SA, abbiamo al contrario rilevato

valori superiori nei VP con una differenza significativa rispetto agli MF nell'ultima delle tre serie (Grafico 2 bis, sotto).

VO₂. Il consumo di ossigeno, nei test svolti all'80% della SA nei due gruppi di atleti (Grafico 3, a-b), ha mostrato una tendenza al decremento che era significativa nel rec3 degli MF. Nelle prove svolte al 120% della SA invece, il VO₂ non era differente nel recupero tra le tre serie, nei due gruppi studiati (Grafico 3, c-d). Come si può osservare dal Grafico 3 bis, l'andamento del "debito di O₂" nel recupero dopo le prove svolte all'80% della SA, non presentava differenze certificate dalla statistica tra i due gruppi di atleti. Al contrario, al 120% della SA, i VP mostravano valori considerevolmente più elevati degli MF. Inoltre, mentre in questi ultimi il VO₂ si mantiene più o meno sugli stessi livelli dopo le tre serie, nei VP va progressivamente aumentando dalla prima alla terza serie (Grafico 3 bis).

CO₂excess. Anche questo parametro, considerato come valori assoluti misurati, non ha mostrato differenze significative durante il recupero post ripetuta alle due intensità lavorative nei due gruppi di atleti (Grafico 4). Al contrario, considerando la variazione % rispetto al fine sforzo, all'80% della SA nei VP (Grafico 4 bis, sopra), si evidenzia un andamento oscillante della CO₂excess, con valori più elevati dopo la seconda serie rispetto alle altre due; valori pressoché costanti erano misurati invece negli MF. All'intensità sopra SA (Grafico 4 bis, sotto), questi ultimi mostravano un trend significativo in aumento dalla prima all'ultima serie, mentre nei VP l'andamento della CO₂excess era

pressoché stabile. La CO_2 excess era significativamente più alta nei VP rispetto agli MF in entrambe le condizioni (Grafico 4 bis, sopra e sotto).

Ve. Nel recupero dopo le prove sottosoglia, sia nei VP che negli MF (Grafico 5, a-b), la ventilazione si è mantenuta stabile tra rec1 e rec3. Allo stesso modo non sono state trovate differenze significative nelle serie al 120% della AT, pur evidenziandosi però una lieve deriva incrementale soprattutto nei VP (Grafico 5, c-d). Sia all'80% della SA, sia al 120% (Grafico 5 bis), la V_e come variazione % rispetto al fine sforzo si mostrava significativamente più elevata nei VP rispetto agli MF dopo tutte e tre le serie di ripetute, mentre non si evidenziavano differenze nell'andamento della variabile intragruppi.

DISCUSSIONE

Nella gestione degli allenamenti di interval training, metodologia molto diffusa negli allenamenti dell'atletica leggera già a partire dagli anni 70 (Bodner & Rhodes 2000), la corretta gestione dei tempi di recupero in relazione all'intensità lavorativa applicata, da sempre rappresenta un elemento chiave al fine di conseguire il risultato auspicato dal tecnico: un miglioramento della performance.

Purtroppo sul campo, per ragioni talora economiche, talora di scarso tempo a disposizione, talora di comodità nell'adattare a soggetti diversi uno stesso schema di lavoro od, infine, per scarsa applicazione o difficoltà nell'aggiornamento metodologico, risulta spesso empirica la gestione dei carichi allenanti e dei relativi tempi di recupero. Questi ultimi sono spesso fissi tra le varie ripetute e, per lo più, la loro durata è stabilita con un criterio di massima che vuole un recupero lungo (dai 6 agli 8 min) dopo lavori svolti ad intensità massimali, ed un recupero più breve (2-5 min) per intensità inferiori e numero di ripetute superiore.

L'utilizzo di strumenti per la misura dell'HR è consuetudine consolidata in vari sport ed in varie situazioni di allenamento (Conconi et al. 1982; Kinnunen & Heikkila 1998; Goodie et al. 2000). Il monitoraggio della HR è infatti da molti considerato come un importante mezzo di controllo dell'intensità dell'allenamento e della energia spesa nello stesso (Achten & Jeukendrup 2003). Il nostro obiettivo è stato di indagare sull'utilizzo di altre variabili metaboliche piuttosto che la sola HR, come parametri

indicativi di determinazione dell'avvenuto recupero nelle sessioni di IT. Infatti va considerato che, se un'ampia letteratura è disponibile per ciò che concerne l'utilizzo della HR come parametro di stima dell'energia spesa e dell'intensità dell'allenamento, altrettanto non si può dire per ciò che concerne l'utilizzo della stessa per monitorare il recupero.

Ciononostante, è diffusa tra i tecnici e gli atleti l'abitudine di monitorare nell'IT il tempo di ripartenza tra una ripetuta e l'altra utilizzando come indice la HR, specchio del parziale o completo ripristino delle condizioni metaboliche di partenza.

Numerose ricerche (Ekelund 1967; Rowell 1974; Coyle 1999), in relazione all'andamento della HR durante esercizi prolungati, descrivono un fenomeno chiamato "deriva cardiaca o cardiac drift": si assiste cioè ad un graduale incremento della HR slegato dall'intensità dello sforzo e quindi dall'energia spesa. Secondo alcuni autori la deriva cardiaca sarebbe infatti particolarmente legata alla disidratazione ed all'incremento della temperatura corporea interna (Rowell 1974; Gonzales-Alonso et al. 1997).

Anche nella nostra ricerca si può osservare dal Grafico 2 come la deriva cardiaca sia presente in entrambe le condizioni lavorative (< e > SA) nei MF, e nell'intensità lavorativa > SA nei VP, e comunque la tendenza alla deriva era presente in questi ultimi anche all'80% della SA (Grafico 2, a). Ancora, concordemente alle ricerche summenzionate, la deriva cardiaca era presente indipendentemente dall'intensità dello sforzo. A sostegno di questa evidenza, il fatto che l'impegno metabolico (VO_2) è risultato

invariato nel recupero tra le tre serie, sia negli MF che nei VP, come si può osservare nelle curve del Grafico 3.

Analizzando l'andamento degli altri due parametri, CO_2 excess e V_e , non sembra esservi ugualmente relazione con la deriva cardiaca osservata. Infatti l'incremento ventilatorio, normalmente associato ad un accumulo di lattato (Wasserman et al. 1992), è stato pressoché costante nel recupero dopo i nostri test, mostrando solo una debole deriva al 120% della SA (Grafico 6, c-d). Appare interessante a questo punto sottolineare come spesso sul campo ad un recupero in HR si fa equivalere un recupero metabolico generale, mentre nel nostro caso tale equazione da campo appare improbabile. In una recente rivisitazione della letteratura sull'utilizzo del monitoraggio di quest'ultima come parametro indicativo nella gestione di allenamenti in steady state od intervallati, gli autori concludono che ci sono tuttora ampie contraddizioni sulla sua reale efficacia (Achten & Jeukendrup 2003).

Confrontando nelle due tipologie di atleti il VO_2 (parametro principe per valutare l'intensità di un carico allenante, soprattutto al di sotto della SA), ma soprattutto l'eccesso di CO_2 e la ventilazione, tali parametri sono estremamente superiori nei VP durante il recupero dopo tutte le tre serie (Grafici 3-4-5 bis). Questo ci indica probabilmente che, nonostante un'apparente facilità per questi ultimi nel correre all'80% ed al 120% della SA, con simile recupero in termini di HR, il sistema metabolico glicolitico è stato maggiormente impegnato nei VP con conseguente instaurarsi di un drive ventilatorio nel post esercizio. La spiegazione di

questo fenomeno risiede presumibilmente nel differente pattern enzimatico ossidativo dei due atleti: gli MF impiegano meno tempo ad attivare il sistema ossidativo, accumulano meno debito di O₂ e fanno meno ricorso ai sistemi tampone. Questo può essere attribuito alla differente specializzazione delle fibre muscolari indotta dall'allenamento e/o alle differenti caratteristiche antropometrico funzionali degli atleti (Di Prampero 1985; Wasserman 1980; Wasserman 1982).

È noto, infatti, che il tipo di miosina che determina l'attività funzionale delle fibre influenza gli adattamenti metabolici della fibra stessa. Gli atleti allenati al "fondo" possiedono una percentuale maggiore di miosina I (di tipo "lento"), al contrario, i velocisti sono caratterizzati da una prevalenza di miosina II (di tipo "veloce"). Le fibre ossidative possiedono un'elevata attività enzimatica mitocondriale che può essere incrementata con l'allenamento, in termini di aumento degli enzimi ossidativi e della velocità della loro utilizzazione. Il presupposto di quanto affermato deriva dal noto aumento numerico e di dimensioni dei mitocondri negli MF.

L'analisi del VO₂ rivela ancora un progressivo accumulo del debito di ossigeno dalla I alla III ripetuta significativo nell'IT 120% nei VP, mentre inferiore e stabile (nonostante l'elevato carico lavorativo somministrato) è lo stesso nei mezzofondisti. Nei mezzofondisti, questa stabilità del VO₂ nel corso del ristoro, potrebbe trovare spiegazione nel fatto che questi atleti accumulano quantità inferiori di lattato rispetto ai velocisti e quindi nella possibilità di contrarre un "debito di ossigeno lattacido" minore.

Inoltre, nei VP si assisteva ad un più elevato ricorso al contributo anaerobico con intervento dei sistemi tampone (elevato CO_2excess) ed un conseguente maggior drive ventilatorio (Grafici 4-5 bis). Diversamente negli MF il solo CO_2excess (in aumento dalla prima all'ultima ripetuta) testimoniava di un crescente contributo anaerobico lavorativo, dato che VO_2 e V_e si mostravano costanti dopo le tre prove.

E' possibile, in linea teorica, che nei mezzofondisti dopo le ripetute eseguite sopra SA la capacità ventilatoria fosse oramai spinta ai suoi massimi livelli e pertanto ad un progressivo accumulo di CO_2 non corrispondesse un aumento della V_e .

CONCLUSIONI

In un allenamento, i sistemi di organi vengono sollecitati in misura diversa a seconda del tipo, del volume, e dell'intensità del carico. Perciò, vi sono anche tempi diversi di ristabilimento per i diversi sistemi funzionali. Dunque se si vuole che l'allenamento sia efficace è indispensabile conoscere la fatica che producono le sedute di allenamento o la durata del ristabilimento. Durante le sedute di allenamento caratterizzate da grandi volumi ed elevata intensità degli stimoli, lo stretto rapporto tra carico e ristoro impone di prendere in considerazione, in modo più dettagliato, non soltanto il carico di allenamento, ma anche il recupero.

Da questo studio emerge l'importanza della gestione dei tempi di recupero monitorando più variabili metaboliche, che risultano essere più correlate con l'insorgenza della fatica metabolica rispetto alla semplice misurazione della HR.

Infatti, tale indice è influenzabile da molteplici variabili: compliance dell'atleta con la strumentazione ed il protocollo, stato dell'umore, temperatura corporea, ecc.

I parametri che rispecchiano in modo più preciso l'impegno metabolico dell'atleta dopo le varie serie di ripetute sono quindi quelli ventilatori: VO_2 , V_e , CO_2 excess.

Possiamo perciò concludere, sulla base dei dati della presente ricerca, che l'utilizzo della HR come parametro valutativo dell'avvenuto recupero è impreciso e potenzialmente fonte di errore. Quantomeno in

condizioni di IT classiche come quelle riprodotte nel nostro protocollo sperimentale.

La ricerca scientifica deve sicuramente compiere ancora numerosi progressi in termini di monitoraggio fisiologico degli allenamenti, allo scopo di fornire dei validi markers per tecnici ed atleti.

La mia ricerca, nel suo piccolo, apre nuove prospettive in questo senso, dal punto di vista dell'analisi critica dei mezzi ora utilizzati e dal punto di vista della possibilità di utilizzo di nuove variabili metaboliche nel monitoraggio degli allenamenti.

BIBLIOGRAFIA

1. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring, applications and limitations. *Sports Med* 2003; 33 (7): 517-538.
2. Anderson GS, Rhodes EC. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med*. 1989 Jul;8(1):43-55.
3. Barnett A. Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes: Does it Help? *Sports Med* 2006; 36(9):781-796.
4. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery From Training: A Brief Review. *J Strength Cond Res* 2008; 22(3):1015-24.
5. Billat LV, Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 1996; 22: 90-108.
6. Bodner M.E., Rhodes E.C.. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Med* 2000; 30 (1): 31-46.
7. Cerrettelli P. *Manuale di fisiologia dello sport e del lavoro muscolare* 1985; Universo Roma
8. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a non invasive test in runners. *J Appl Physiol* 1982; 52 (4): 869-73.
9. Coyle EF. Cardiovascular drift during prolonged exercise and the effects of dehydration. *Int J Sports Med* 1998; 19 Suppl.2: S121-4.

10. Crisafulli A, Pittau G, Lorrai L, Carcassi AM, Cominu M, Tocco F, Melis F, Concu A. *Int J Sport Med* 2006; 27:55-59.
11. Dal Monte A, Faina M. *Valutazione dell'Atleta* 1999; UTET.
12. Di Prampero PE. *La locomozione umana su terra, in acqua, in aria. Fatti e Teorie* 1985; Edi Ermes.
13. Ekelund LG. Circulatory and respiratory adaptations during prolonged exercise. *Acta Physiol Scand* 1967; 70 Suppl.68: 5-38
14. Fox E.L. *Fisiologia dello sport* 1988; Editoriale Grasso.
15. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol* 1997; 82(4):1229-36.
16. Goodie JL, Larkin KT, Schauss S. Validation of the Polar heart rate monitor for assessing heart rate during physical and mental stress. *J Physophysiol* 2000; 14 (3): 159-64.
17. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med.* 1985 Jun;6(3):117-30.
18. Hiracoba K, Maruyama A, Misaka K. Prediction of blood lactate accumulation from excess CO₂ output during constant exercise. *Appl Hum Sc* 1996;15:205-10.
19. Issekutz B Jr, Rodhal K. Respiratory quotient during exercise. *J Appl Physiol* 1961; 16:606-610.
20. Jacobs I. Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Med.* 1986 Jan-Feb;3(1):10-25.

21. Kaneko M, Fuchimoto T, Ito A, Toyooka J. Mechanical efficiency of sprinters and distance runners during constant speed running. In Biomechanics 1983 VIII-B. Ed. H Matsui, K Kobayashi. Human Kinetics Publ Inc, Champaign, III. (USA), pp. 754-761.
22. Kinnunen H, Heikkila I. The timing accuracy of the Polar Vantage NV heart rate monitor. *J Sports Sci* 1998; 16: S107-10.
23. Lehmann M, Baumgartl P, Wiesenack C, Seidel A, Baumann H, Fischer S, Spöri U, Gendrisch G, Kaminski R, Keul J. Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle- and long-distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;64(2):169-77.
24. Ohkuwa T, Mitsuru S, Miyamura M. Plasma LDH and Ck activities after 400 m sprinting by well trained sprint runners. *Eur J Appl Physiol* 1984; 52(3): 296-9.
25. Roecker K., Mayer F, Striegel H, Dickhuth H. Increase characteristics of the cumulated excess-CO₂ and the lactate concentration during exercise. *Int J Sports Med* 2000; 21: 419-423.
26. Rowell LB. Human cardiovascular adjustment to exercise and thermal stress. *Physiol Rev* 1974; 54: 75-159.
27. Wassermann K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation* 1990; 81:14-30.

28. Wassermann K., Koike A. Is the anaerobic threshold truly anaerobic? *Chest* 1992; 101:211-217.
29. Yano T. A Theoretical approach to excessive CO₂ expiration due to lactate production in exercise. *Japanese Journal of Physiology* 1987; 37, 937-940.

Fig. 1

Metabolimetro VO₂₀₀₀ MedGraphics



Fig.2

Imbragatura



Maschera con pneumotacografo



Fig. 3

Test su pista



Fig. 4

Test al nastro trasportatore



Tabella 1

Caratteristiche antropometriche e funzionali dei quattrocentisti

Soggetti	Massa (kg)	Altezza (cm)	Età (anni)	Sesso	SA (%VO₂max)	VO₂max (ml/kg/min)
NN	47	158	14	F	90	79
MA	52	165	17	F	90	44
MV	46	170	19	F	88	53
FA	52	167	21	F	90	51
Media	49,3	165,0	17,8		89,5	56,8
DS	3,2	5,1	3,0		1,0	15,3
LR	65	175	20	M	79	49
SP	71	176	28	M	83	55
SL	63	171	26	M	93	60
ZR	71	180	25	M	94	64
FD	63	175	24	M	88	50
Media	66,6	175,4	24,6		87,4	55,6
DS	4,1	3,2	3,0		6,4	6,4

Tabella 2

Caratteristiche antropometriche e funzionali dei mezzofondisti

Soggetti	Massa (kg)	Altezza (cm)	Età (anni)	Sesso	SA (%VO₂max)	VO₂max (ml/kg/min)
PS	46	160	27,0	F	77	77
IG	50	166	23,0	F	75	60
Media	48,0	163,0	25,0		76,0	68,5
DS	2,8	4,2	2,8		1,4	12,0
WM	75	173	34	M	95	57
GS	63	172	43	M	90	66
ML	60	170	37	M	86	70
CA	63	172	37	M	91	69
DS	59	178	20	M	88	65
CD	62	172	18	M	70	50
CF	58	169	26	M	94	65
TS	66	173	40	M	77	60
TF	68	173	42	M	83	61
BS	64	169	42	M	87	61
MM	64	174	27	M	83	63
Media	63,8	172,3	33,3		85,8	62,5
DS	4,7	2,5	9,1		7,4	5,7

Tabella 3

VALUTAZIONE FUNZIONALE SUL TREADMILL

Data: 19 Luglio 2010 Nome: Sesso: M Età: 26 Altezza: cm 169 Massa: kg 58

Metabolimetro Utilizzato: Med-GraphicsVO₂₀₀₀.

Speed (km/h)	Speed min/km	VO ₂ (mL/kg/min)	VO ₂ (mL/min)	VCO ₂ (mL/min)	RER	VE BTPS (L/min)	HeartRate (BPM)	CO ₂ EX (mL/min)	CE Kcal/kg/Km
12	5'37"	44	2561	1963	0,78	61	122	145	1,03
13	5'	53	3072	2190	0,71	60	134	9	1,14
14	4'37"	46	2683	2165	0,81	60	138	260	0,93
15	4'20"	50	2905	2536	0,88	68	143	473	0,94
16	4'00"	51	2954	2619	0,89	70	144	522	0,89
17	3'45"	53	3102	2906	0,94	77	151	703	0,88
18	3'32"	57	3300	3232	0,98	85	159	889	0,89
19	3'20"	60	3501	3660	1,05	97	160	1175	0,89
20	3'00"	63	3642	4026	1,11	113	163	1440	0,88
21	2'54"	63	3681	4312	1,17	132	164	1698	0,85
22	2'45"	62	3590	4326	1,21	139	173	1777	0,79
23	2'37"	63	3658	4351	1,19	137	186	1753	0,77

Tabella di riferimento per la valutazione della capacità aerobica sul treadmill

Giudizio	Sufficiente	Buona	Ottima	Elevata	Elevatissima
VO ₂ max (ml/min/kg)	40-49	50-59	60-69	70-85	>85

Tabella di riferimento per la valutazione della capacità anaerobica sul treadmill (osservazioni personali)

Giudizio	Scarsa	Sufficiente	Buona	Ottima	Elevata
CO ₂ EX (ml)	< 900	900-1299	1300-1499	1500-1800	>1800

Tabella di riferimento per la valutazione del CE sul treadmill

Giudizio	OTTIMO	BUONO	SUFFICIENTE	ELEVATO
CE (Kcal/kg/km)	<0,7	0,7-0,90	0,91-1,00	>1,00

Grafico 1

Curva per la determinazione dei valori di Soglia Anaerobica (SA)
secondo il metodo degli equivalenti di O₂ e CO₂.



Grafico 2

Andamento della HR nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) durante i recuperi nelle due sedute di Interval Training. Sono presentati i valori medi \pm DS. $*$ = $P < 0.05$ vs. rec1; ψ = $P < 0.05$ vs. rec2.

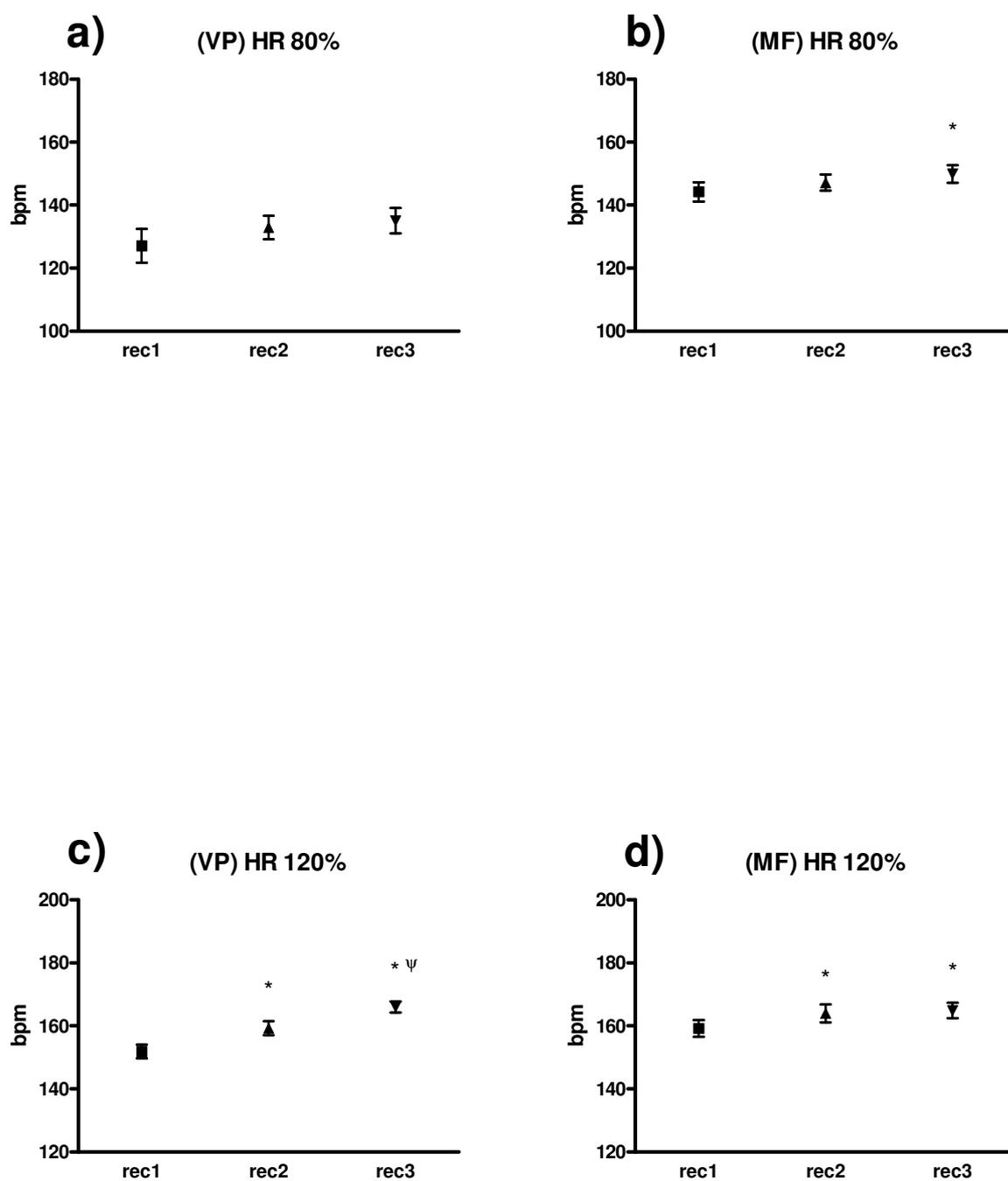


Grafico 2 bis

Andamento della HR nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) nel recupero, dopo le tre serie di ripetute all'80% ed al 120% della SA. I valori sono espressi come variazione percentuale rispetto al fine sforzo.

* $P = < 0,05$ MF vs VP

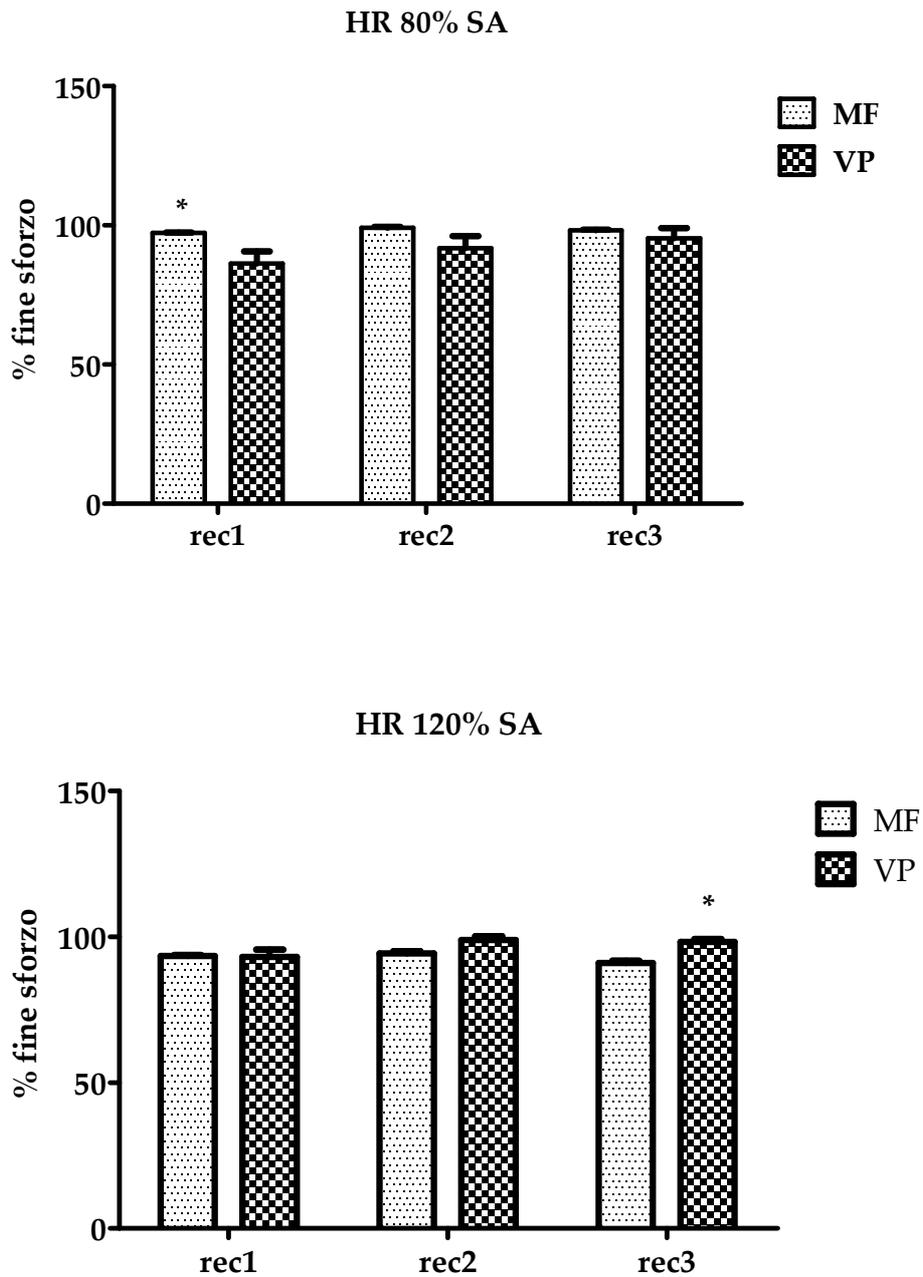


Grafico 3

Andamento del VO_2 nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) durante i recuperi nelle due sedute di Interval Training. Sono presentati i valori medi \pm DS. $*$ = $P < 0.05$ vs. rec1.

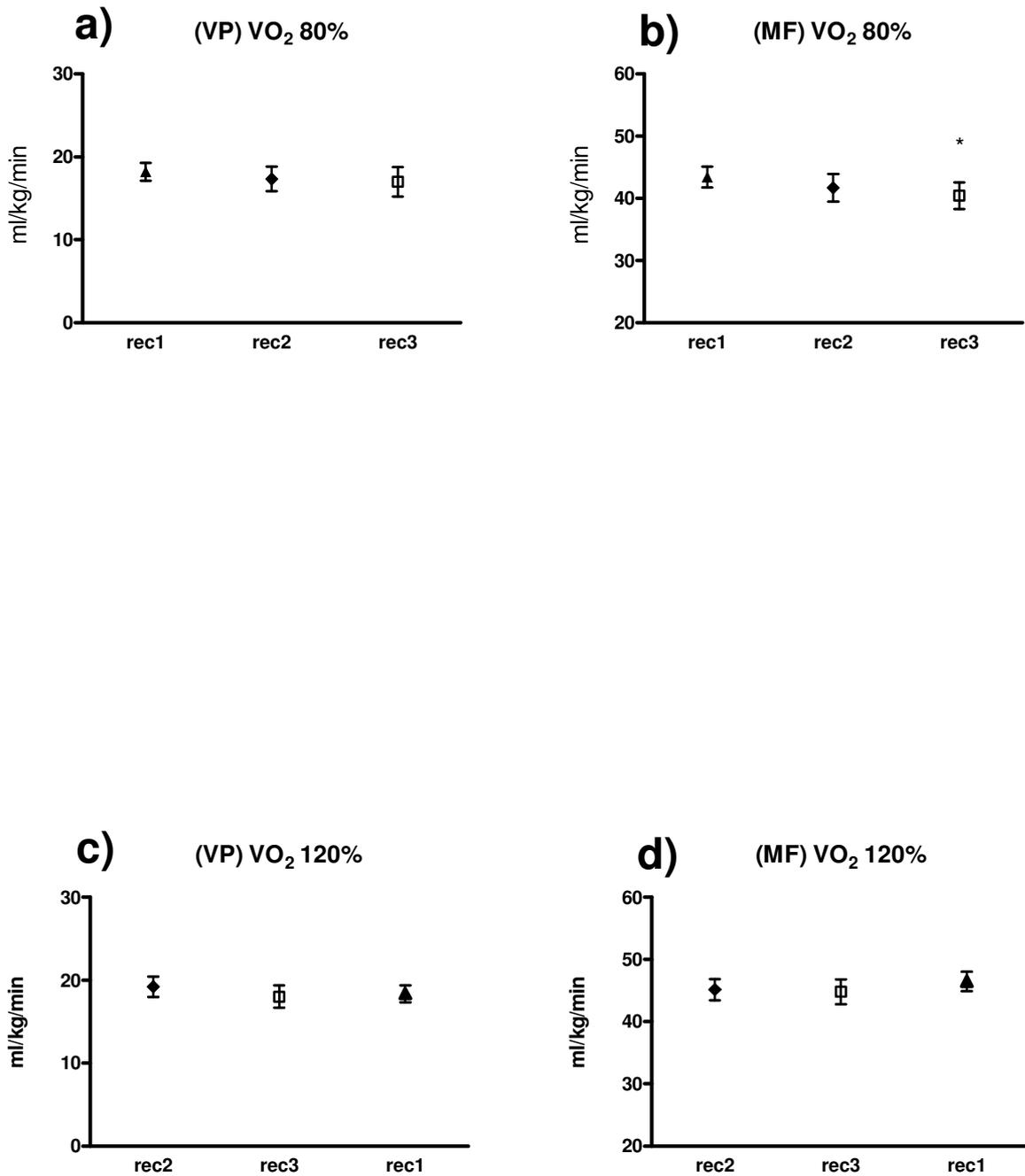


Grafico 3 bis

Andamento del VO₂ nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) nel recupero, dopo le tre serie di ripetute all'80% ed al 120% della SA. I valori sono espressi come variazione percentuale rispetto al fine sforzo.

* $P < 0,05$ MF vs VP; $\Psi = P < 0.05$ intragruppo.

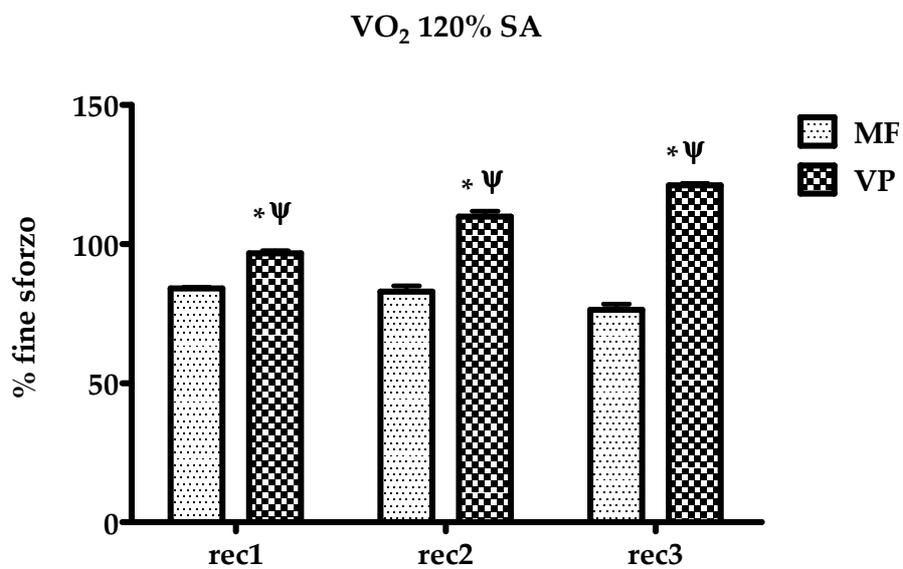
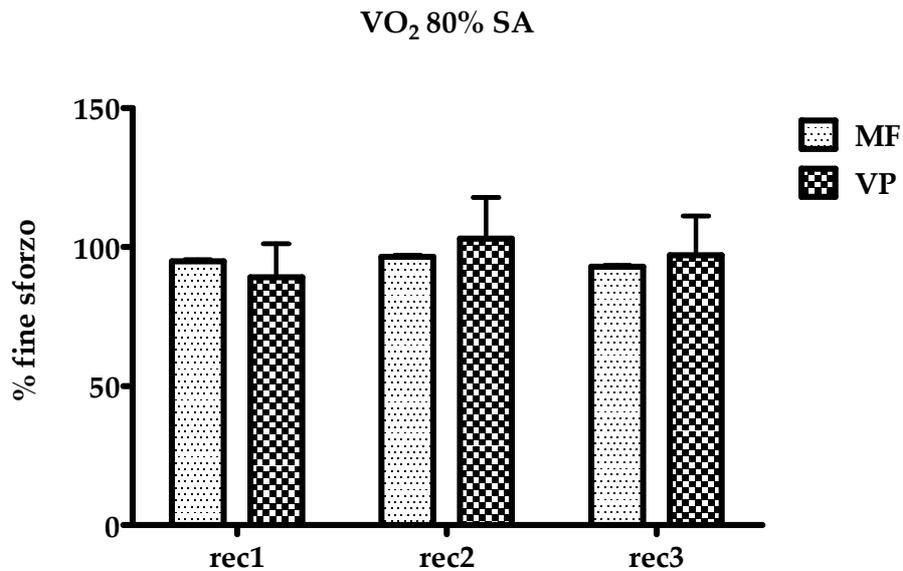


Grafico 4

Andamento della $\text{CO}_{2\text{excess}}$ nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) durante i recuperi nelle due sedute di Interval Training. Sono presentati i valori medi \pm DS.

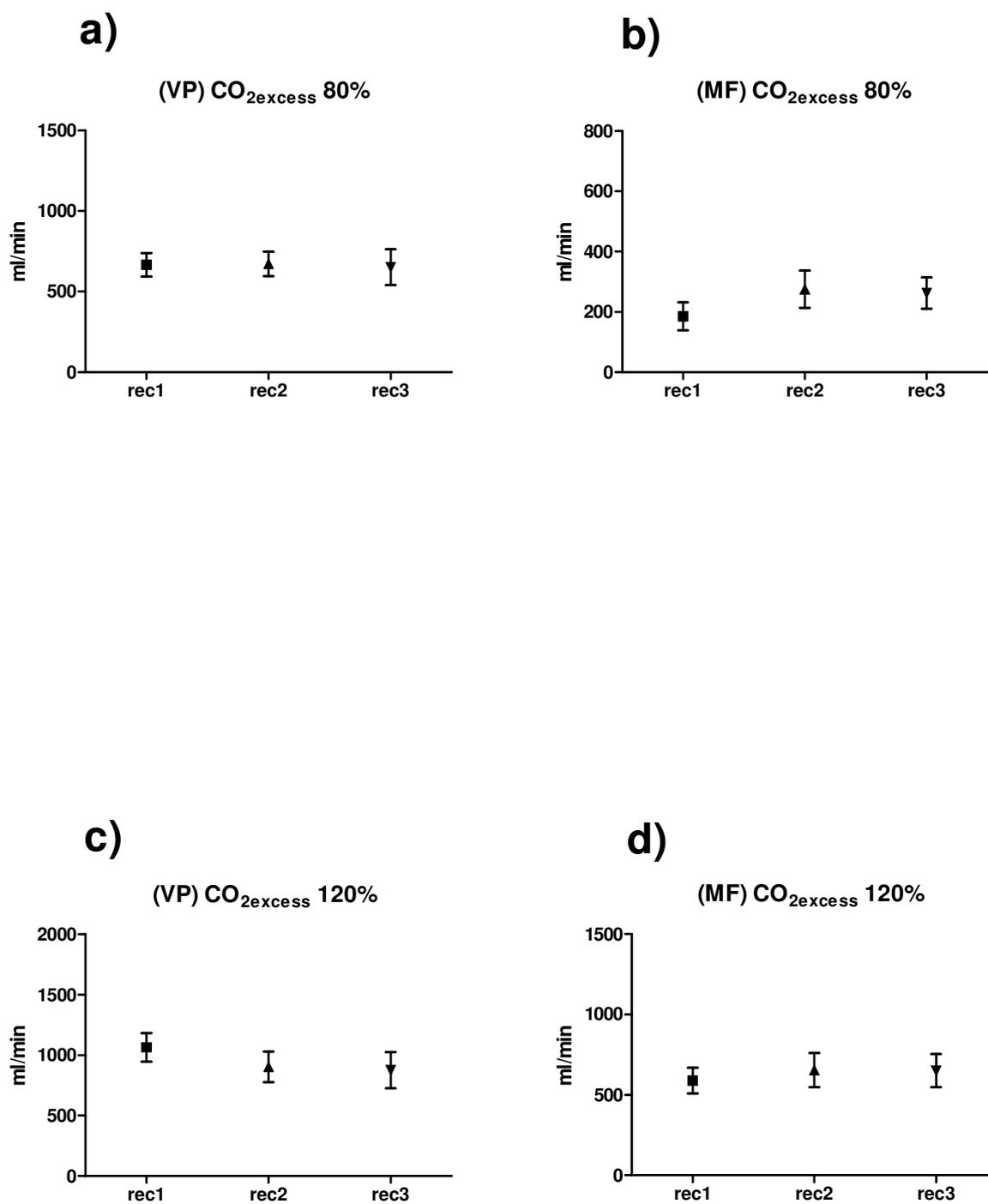


Grafico 4 bis

Andamento della $CO_{2excess}$ nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) nel recupero, dopo le tre serie di ripetute all'80% ed al 120% della SA. I valori sono espressi come variazione percentuale rispetto al fine sforzo.

* $P < 0,05$ MF vs VP; $\Psi = P < 0.05$ intragruppo.

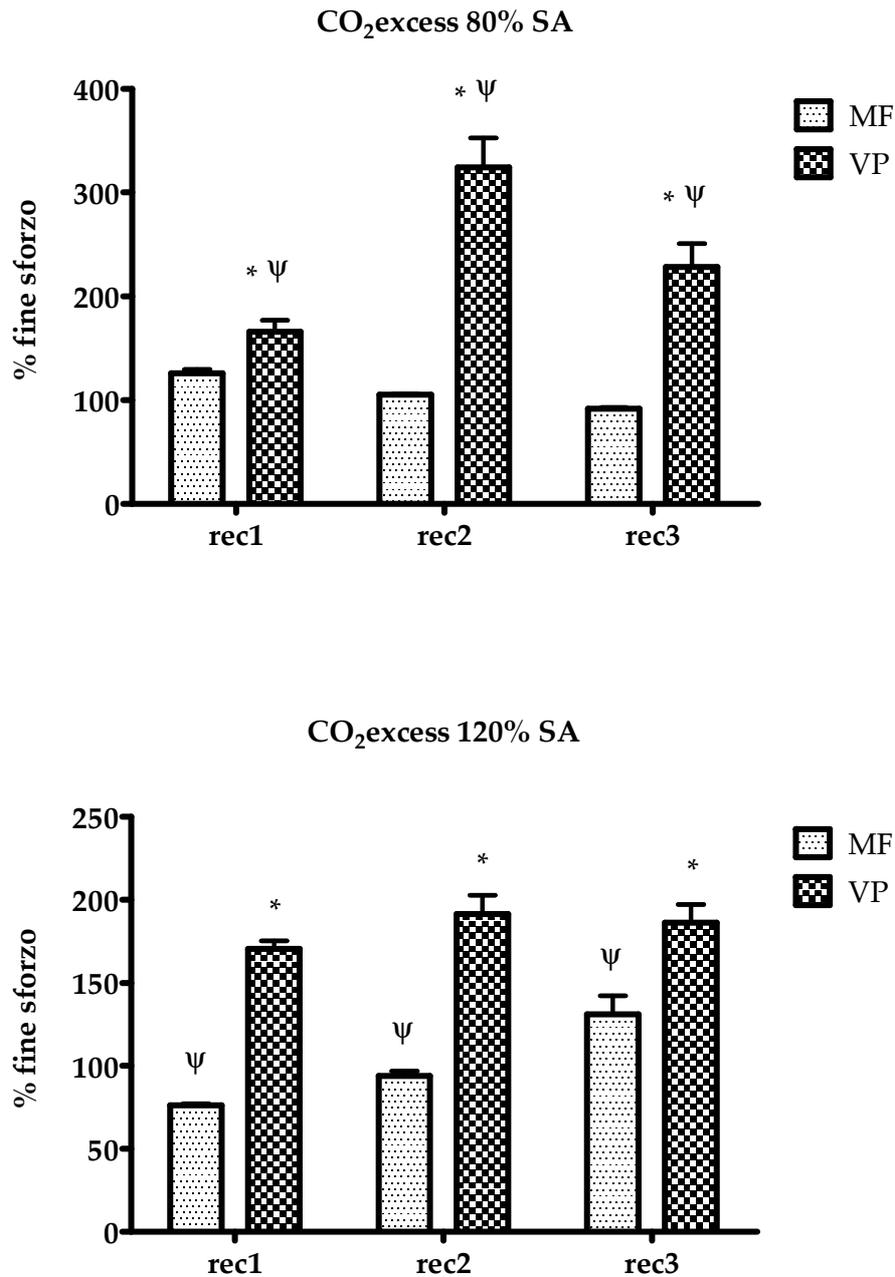


Grafico 5

Andamento della V_e nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) durante i recuperi nelle due sedute di Interval Training. Sono presentati i valori medi \pm DS.

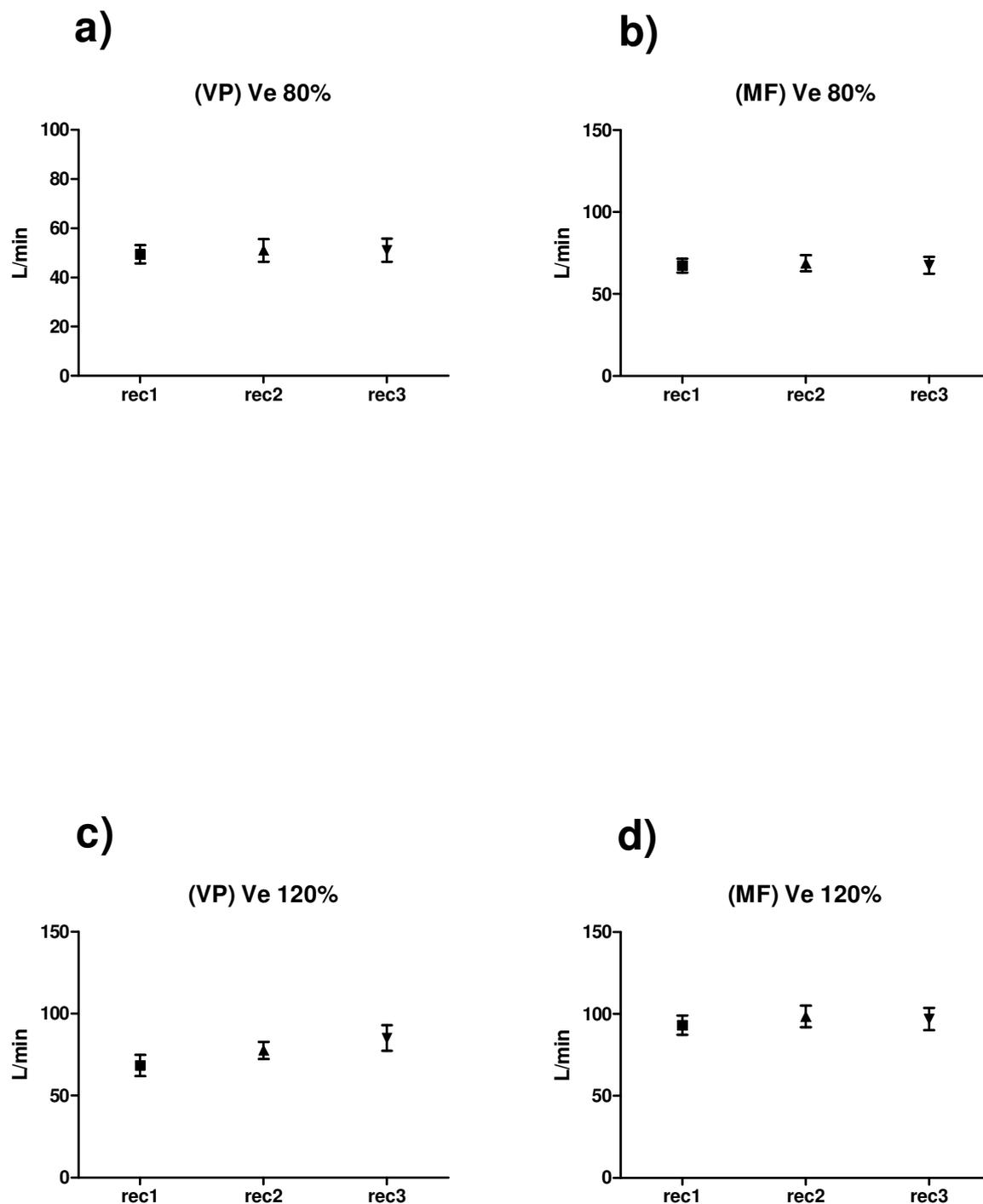


Grafico 5 bis

Andamento della V_e nei quattrocentisti (VP) e nei mezzofondisti (MF) nel recupero, dopo le tre serie di ripetute all'80% ed al 120% della SA. I valori sono espressi come variazione percentuale rispetto al fine sforzo.

* $P = < 0,05$ MF vs VP.

