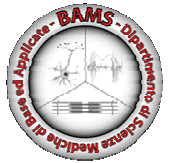




**Università degli Studi “G. D’Annunzio” Chieti-Pescara**  
**BAMS – Dipartimento di Scienze Mediche di Base e Applicate**



Facoltà di Scienze dell’Educazione Motoria  
Corso di Laurea in Scienze Motorie

# **“Aspetti Fisiologici degli Adattamenti in Alta Quota”**

Tesi di Laurea di  
Marco Catani

Matricola n. 3052624

Relatore:  
Prof. Giorgio Fanò

ANNO ACCADEMICO 2007 / 2008

# Indice

Introduzione .....	5
1. Risposta acuta all'ipossia.....	10
1.1. Iperventilazione .....	10
1.2. Aumento della gittata cardiaca .....	11
2. Problemi medici legati all'alta quota .....	12
2.1. Mal di montagna acuto .....	12
2.2. Edema polmonare da alta quota.....	14
2.3. Edema cerebrale da alta quota .....	15
2.4. Altre complicazioni.....	16
3. Adattamenti a lungo termine nell'esposizione all'alta quota.....	18
3.1. Variazioni dell'equilibrio acido-base.....	18
3.2. Riduzione della capacità di tamponamento e paradosso dei lattati .....	20
3.3. Variazioni a carico del sangue .....	21
3.4. Adattamenti cellulari.....	24
3.5. Variazioni della composizione e della massa corporea .....	26
4. Materiali e metodi .....	27
4.1. La Spedizione Interamnia 8000 – Manaslu 2008 .....	27
4.2. Soggetti .....	31
4.3. Plicometria .....	32
4.4. Forza isometrica.....	33
4.5. Massimo consumo di ossigeno .....	34
4.6. Statistica.....	35

5. Risultati .....	36
6. Discussione .....	39
7. Tabelle e grafici.....	41
7.1. Tabella 1. Dati antropometrici .....	41
7.2. Tabella 2. Massima forza isometrica in N .....	42
7.3. Tabella 3. Massima forza isometrica in % .....	43
7.4. Tabella 4. Massimo consumo di ossigeno.....	44
Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 1.....	45
Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 2.....	46
Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 3.....	47
Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 4.....	48
Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 5.....	49
Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 6.....	50
Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 7.....	51
Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 1.....	54
Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 2.....	55
Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 3.....	56
Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 4.....	57
Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 5.....	58
Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 6.....	59
Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 7.....	60
8. Bibliografia .....	61



## Introduzione

Per molti secoli, nell'immaginario popolare, le cime delle montagne hanno rappresentato qualcosa di misterioso ed irraggiungibile, regno incontrastato di "esseri spaventosi", fonte immaginifica di leggende e superstizioni profondamente radicate nelle culture locali.

Innumerevoli cronache del XVII secolo raccontavano storie spaventose di villaggi alpini, in Italia, Austria, Svizzera e Francia, cancellati con tutti i loro abitanti dall'avanzare di ghiacciai o da spaventose valanghe.

A quei tempi gli unici a spingersi in alto erano i cacciatori di camosci o i cercatori di cristalli. Era dunque inconcepibile che qualcuno potesse affrontare i rischi e i disagi di un'ascensione in montagna per il solo piacere di compierla.

In questo contesto socio-culturale prendono l'avvio contemporaneamente l'alpinismo moderno e le prime osservazioni scientifiche sulla fisiopatologia da altitudine ad opera di Horace De Saussure, il quale nel 1760 offre un premio a chi scopra una via di ascesa al M.te Bianco. L'otto agosto del 1786, dopo anni di tentativi e di esplorazioni, un medico (M. G. Paccard) e un cercatore di cristalli (J.

Balmat) raggiungono per primi la vetta innevata del Monte Bianco, segnando con questa storica data la nascita ufficiale dell'alpinismo moderno.

Oggi sorridiamo di quelle credenze, la diffusione delle attività in montagna è molto aumentata, portando più di 40 milioni di persone a vivere e lavorare a quote variabili tra i 3000 e i 5500 m sopra il livello del mare. Le popolazioni residenti ad altezze intorno a 5500 m sono perfettamente autosufficienti, ma un'esposizione acuta a una simile altezza per un soggetto non "acclimatato" potrebbe addirittura causare la morte per ipossia acuta. Tutti coloro che si recano in alta quota devono fronteggiare il problema dell'ipossia, cioè della ridotta pressione parziale di ossigeno. L'ambiente montano si caratterizza da particolari condizioni fisiche, geofisiche, climatiche e biologiche che variano prevalentemente in funzione dell'altitudine.

Lo scopo di questo lavoro di tesi è quello di valutare gli aspetti fisiologici degli adattamenti in alta quota, in particolare a carico del sistema muscolo-scheletrico e cardio-metabolico.

Da un punto di vista fisiologico si possono distinguere quattro livelli di quota:

- **bassa quota: 0-1800 m**
- **media quota: 1800-3000 m**
- **alta quota: 3000-5500 m**
- **altissima quota: 5500 m e oltre**

La concentrazione dell'ossigeno nei gas atmosferici è del 20,93%. La composizione dell'aria non si modifica per effetto dell'altitudine.

I problemi che l'uomo incontra quando soggiorna in alta o ad altissima quota sono principalmente dovuti alla ridotta pressione parziale di ossigeno ( $P_{pO_2}$ ) nell'aria che si respira, conseguente alla diminuzione della pressione barometrica che diminuisce invece con l'aumentare dell'altitudine.

Sulla cima dell'Everest , a 8848 m, la pressione atmosferica è di solo 253 mm Hg e, fino al 1978, data in cui Messner e Habeler raggiunsero la cima senza l'ausilio di ossigeno supplementare, si riteneva impossibile una tale impresa. Oltre gli 8500 m, le prestazioni fisiche e mentali decadono drammaticamente, e la progressione a queste quote estreme è stata descritta da un alpinista come "un uomo malato che cammina in un

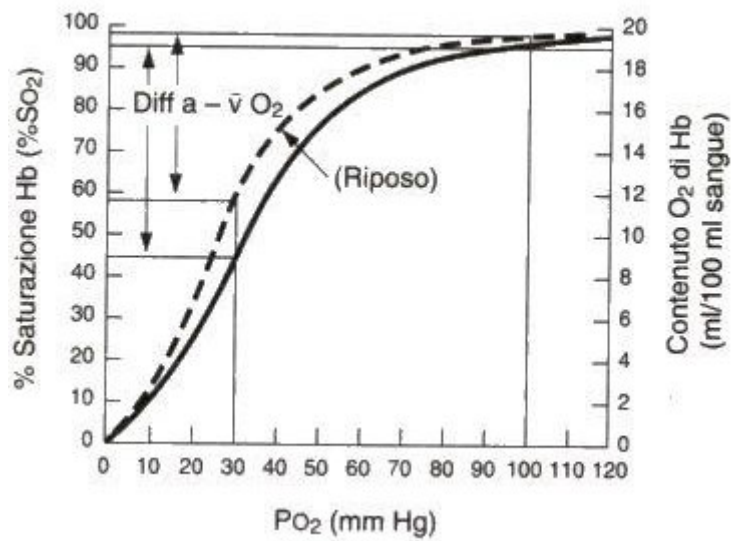
sogno". Messner stesso racconta di "aver colloquiato con i propri piedi".  
Importanti fattori limitanti la prestazione fisica in alta montagna sono: la diminuzione della temperatura, i forti venti, la secchezza dell'aria, l'aumento dell'irradiazione solare, la difficoltà ad idratarsi ed alimentarsi correttamente e la ridotta pressione parziale di ossigeno nell'aria che è il fattore limitante principale.

La riduzione della pressione parziale di ossigeno atmosferico, che si riflette ovviamente a livello alveolare scatena una serie di processi di adattamento funzionale che nel loro complesso costituiscono il processo di *acclimatazione*.

Mediante alcuni adeguamenti funzionali, l'uomo può così riuscire a svolgere anche a grandi altezze una proficua attività lavorativa. L'efficacia dei processi di acclimatazione risulta subito evidente con un esempio: un individuo esposto acutamente ad una pressione barometrica pari a quella presente in vetta all'Everest perde conoscenza nel giro di 2 minuti, in realtà noi sappiamo che nei soggetti acclimatati ciò non accade ed anzi arrivano sulla sommità delle vette Himalayane.

Sino a un'altezza di circa 3000m, la saturazione percentuale dell'emoglobina diminuisce di poco rispetto al livello del mare a causa della forma della **curva di dissociazione dell'emoglobina** stessa.





L'incremento del numero di globuli rossi va normalmente di pari passo con l'aumento del tasso di ematocrito (Hct) e della concentrazione di emoglobina (Hb). Lo stimolo dell'eritropoiesi è attivo fino a quote di almeno 6500m, altezza alla quale si riscontrano i massimi valori di RBC che nei soggetti acclimatati possono raggiungere e superare i 7 milioni per microlitro (Cerretelli 1980).

Sulla base della recente esperienza alpinistica, il mantenimento di una normale idratazione del soggetto acclimatato sembra rappresentare un elemento molto positivo ai fini della prestazione fisica ad alta quota in quanto contribuisce ad eliminare alcuni gravi inconvenienti connessi con l'aumento della viscosità del sangue e con le relative conseguenze emodinamiche senza pregiudicare l'entità del trasporto di ossigeno dai polmoni ai tessuti.

# 1. Risposta acuta all'ipossia

## 1.1. *Iperventilazione*

L'iperventilazione è la prima evidente risposta nei soggetti normalmente residenti a bassa quota esposti acutamente all'ipossia.

Lo stimolo ipossico è rilevato dalle cellule specializzate dei glomi carotidei, disposti a livello della carotide comune e a livello dell'arco aortico, in seguito a una riduzione della pressione parziale di ossigeno nel sangue arterioso.

La stimolazione di questi recettori evoca una scarica afferente che stimola a sua volta i centri respiratori bulbari che attiveranno i muscoli respiratori.

Poiché l'aria alveolare riceve continuamente l'anidride carbonica dal sangue venoso mentre l'aria ambiente ne è priva, un maggior ricambio di essa si traduce in un relativo impoverimento di anidride carbonica da parte dell'aria alveolare stessa e un suo arricchimento in ossigeno; ne deriva una maggior pressione parziale di ossigeno che si traduce in una maggior saturazione dell'emoglobina.

L'iperventilazione consente di ottenere una pressione parziale alveolare dell'ossigeno di poco superiore rispetto a quella che si avrebbe in assenza di iperventilazione; nonostante la minima differenza in termini

di mmHg questo spiega comunque l'accanimento dell'organismo nel cercare di mantenere la pressione parziale di ossigeno il più elevata possibile (Torre-Bueno et al. 1985).

Il tessuto che principalmente soffre dell'ipossia non è quello muscolare ma quello nervoso perciò la performance in quota è legata alla tolleranza all'ipossia del SNC piuttosto che dei muscoli.

### *1.2. Aumento della gittata cardiaca*

Nelle prime fasi dell'acclimatazione all'alta quota si verifica un aumento della frequenza e della gittata cardiaca per carichi submassimali del 50% rispetto al livello del mare; non vi sono invece variazioni della gittata pulsatoria (Klausen 1969; Vogel et al. 1967). A parità di potenza meccanica espressa, il costo energetico di un esercizio è uguale in quota e a livello del mare; pertanto, l'aumento della gittata cardiaca riflette la soluzione funzionale adottata dall'organismo per aumentare l'apporto di ossigeno ai tessuti. Questo vantaggio si riflette in una minor desaturazione del sangue nel passare da arterioso a venoso.

In quota si verifica anche un aumento della pressione arteriosa sistemica attribuibile a un aumento del livello delle catecolamine plasmatiche che riflette una condizione di maggior attivazione simpatica (Wolfel et al. 1994).

## **2. Problemi medici legati all'alta quota**

L'ipossia comporta il rischio di alcune complicazioni di carattere medico comuni a nativi, residenti e soggetti che si recano occasionalmente in alta quota. Alcuni di questi problemi sono di lieve entità e si risolvono spontaneamente nel corso di alcune ore o giorni e sono dipendenti dalla velocità ascensionale; altri sono invece di maggior gravità e costituiscono un serio pericolo per la vita. Vi sono tre quadri patologici:

- Mal di montagna acuto (AMS – Acute Mountain Sickness)
- Edema polmonare da alta quota (HAPE – High Altitude Pulmonary Edema)
- Edema cerebrale da alta quota (HACE – High Altitude Cerebral Edema)

### **2.1. *Mal di montagna acuto***

Malgrado la risposta acuta all'ipossia, molti soggetti lamentano una sintomatologia nei primi giorni trascorsi oltre i 3000 m. Il quadro si sviluppa più facilmente nei soggetti che salgono rapidamente in quota, così da non dar tempo allo sviluppo dei processi di acclimatazione. I sintomi, che in genere si risolvono nell'arco di pochi giorni, includono emicrania, senso di stordimento, nausea, stitichezza, vomito, riduzione della diuresi, disturbi visivi, insonnia e debolezza generale (Honigman et al. 1993; Krasney 1994). L'inizio dei sintomi si verifica in genere 4-12

ore dopo l'arrivo in quota e i sintomi scompaiono dopo pochi giorni. Nella maggioranza dei casi i sintomi vengono accusati oltre i 3000 m.

Durante una rapida ascesa oltre i 4000 m, praticamente si verifica sempre una sintomatologia di vario grado di mal di montagna (Malconian et al. 1994).

Un altro sintomo che si verifica nei primi giorni di permanenza in quota è la soppressione dell'appetito che può essere tale da comportare una riduzione dell'apporto calorico del 40%, con conseguente perdita di massa magra. In questi primi giorni in genere i soggetti adottano una dieta povera di sali e ricca di carboidrati. Il vantaggio della dieta sta nel fatto che il potere calorico dell'ossigeno è maggiore per i carboidrati rispetto ai lipidi (5 contro 4.7 kcal - L di ossigeno). Una dieta ricca di carboidrati facilita l'adattamento all'alta quota, riduce la gravità del quadro di mal di montagna acuto, contiene la riduzione di performance nella fase iniziale dell'esposizione all'alta quota.

Nei soggetti affetti da mal di montagna acuto, l'attività fisica, anche di lieve grado, può essere insostenibile.

Con l'acclimatazione, la gravità dei sintomi si riduce, contemporaneamente migliorano le capacità di lavoro e la resistenza al lavoro stesso. La miglior prevenzione del mal di montagna acuto è rappresentata dal salire lentamente, sostando sui 3000 m, e salendo

ancora più lentamente oltre questa quota. Nei primi giorni di esposizione conviene ridurre il carico di lavoro.

## ***2.2. Edema polmonare da alta quota***

Per ragioni tuttora non completamente chiarite, circa il 2% della popolazione esposta a quote superiori ai 3000 in, presenta il quadro dell'edema polmonare da alta quota. I sintomi si manifestano in genere da 12 a 96 ore dopo l'arrivo in quota con velocità di ascesa elevata. Il quadro comporta travaso di liquido dal microcircolo verso i tessuti interstiziali e, nel caso dei polmoni, negli alveoli. I sintomi iniziali non sono gravi; senso di affaticamento generale, dispnea nel corso del lavoro, tosse secca persistente con caratteristiche irritative, senza catarro e in assenza di preesistente infezione delle vie aeree, dolore toracico retrosternale, emicrania e nausea. Un sintomo patognomonico è la forte riduzione della diuresi (Honigman et al. 1993). L'auscultazione del torace rivela l'esistenza di rantoli. L'edema polmonare può colpire anche soggetti apparentemente normali e ben acclimatati al di sopra dei 5500 m, è in qualche modo correlabile all'aumento della pressione nell'arteria polmonare. Il trattamento dell'edema polmonare da alta quota consiste nel riportare rapidamente il soggetto a bassa quota, rimuovendo il quadro ipossico. La disponibilità di ossigeno aiuta a migliorare il quadro ma non

è risolutiva in quanto la scorta di ossigeno è ovviamente limitata. Risultano utili quindi le camere iperbariche pneumatiche, gonfiabili rapidamente in caso di necessità, ove il soggetto può essere collocato in attesa del miglioramento delle condizioni generali che ne consentano un successivo trasporto a valle.

### ***2.3. Edema cerebrale da alta quota***

Questo quadro, se non trattato, può essere di gravità tale da portare a coma e morte. I sintomi iniziali sono simili a quelli del mal di montagna acuto e dell'edema polmonare. ma la gravità si rivela subito maggiore. Il quadro colpisce circa l'1% dei soggetti che si recano oltre i 2700 m. Oltre al quadro di prostrazione generale, si hanno disturbi della visione, disturbi della minzione e dell'evacuazione, perdita di coordinazione neuro-muscolare, emiparesi, perdita dei riflessi, stato confusionale. La patogenesi dell'edema cerebrale è simile a quella di altri edemi, in quanto comporta un aumento della filtrazione di liquido dal microcircolo e un suo accumulo nel tessuto interstiziale. L'aumento di filtrazione riflette molto presumibilmente un aumento di permeabilità dell'endotelio capillare dovuto all'ipossia. Lo stato di edema interstiziale è rapidamente lesivo sulle cellule del tessuto nervoso centrale. La diagnosi deve essere

tempestiva e il trattamento consiste nel rapido trasporto del paziente a bassa quota.

#### **2.4. Altre complicazioni**

Oltre ai quadri di mal di montagna acuto, di edema polmonare e cerebrale, c'è anche un'altra complicazione e cioè l'emorragia retinica, che si verifica al di sopra dei 6000 m. Il soggetto presenta il tipico sintomo di vedere una "mosca" nel campo visivo. Se l'emorragia si verifica nella zona centrale della macula, ove sono principalmente presenti i recettori alla luce, il difetto visivo può essere irreversibile. Le emorragie retiniche rientrano nel quadro generale dell'alterazione degli scambi di liquido tra microcircolo e tessuti, pertanto nel quadro generale della fisiopatologia dell'edema. Si ritiene che un fattore patogenetico importante sia rappresentato dall'aumento della pressione nel microcircolo retinico, complicato dall'attività fisica (McFadden et al. 1981; Sutton 1983).

La perdita di liquidi attraverso la respirazione è elevata in quota a causa della relativa secchezza dell'aria e della bassa temperatura. L'aria inspirata viene infatti umidificata e riscaldata nel passaggio nelle vie aeree, il vapore acqueo di cui si arricchisce viene poi perso con l'aria



espirata. Aumenta anche l'evaporazione dell'acqua dalla superficie corporea; i sintomi della disidratazione si manifestano con secchezza delle labbra, delle fauci e delle prime vie aeree.

### **3. Adattamenti a lungo termine nell'esposizione all'alta quota**

Con il procedere del tempo di esposizione si svilupperanno più lentamente altri adattamenti finalizzati al miglioramento delle varie funzioni cellulari in ipossia cronica e si verificano in seguito a esposizione oltre i 3000 m.

#### ***3.1. Variazioni dell'equilibrio acido-base***

L'iperventilazione genera un aumento della pressione parziale di ossigeno a livello alveolare e una concomitante riduzione della pressione parziale di anidride carbonica. Pertanto, aumenta il gradiente di pressione che causa la diffusione dell'anidride carbonica dal sangue venoso verso gli alveoli e questo causa una maggior perdita di questo gas da parte dell'organismo. Ad esempio, a 5000 m, la pressione alveolare dell'anidride carbonica è di circa 24 mmHg, rispetto ai 40 mmHg a livello del mare.

Il pH del sangue può essere descritto nei termini del rapporto tra concentrazione dello ione bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) e di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ); questo rapporto è normalmente di 20/1. Nel caso di un aumento della diffusione di anidride carbonica a livello alveolare, a parità di

livello metabolico, si verifica una riduzione della concentrazione di questo gas nel sangue e di conseguenza un aumento del rapporto  $\text{HCO}_3/\text{CO}_2$  da cui deriva un aumento del pH plasmatico, condizione definita come alcalosi. Poiché l'alcalosi è primariamente legata a un adattamento di tipo respiratorio, l'iperventilazione appunto, si parla di alcalosi di tipo respiratorio. L'iperventilazione si mantiene per il tutto il tempo di esposizione in alta quota, pertanto l'organismo si trova a dover fronteggiare una condizione di alcalosi respiratoria cronica. L'organismo non tollera altro che minime variazioni del pH e pertanto deve mettere in atto un meccanismo atto a riportare il pH al suo valore normale (7.4). In condizioni di alcalosi respiratoria, i reni eliminano bicarbonati con le urine, il che riporta il rapporto  $\text{HCO}_3/\text{CO}_2$  al valore normale di 20/1 e questo riporta il pH a 7.4. Si noti che il rapporto di 20/1 si ottiene riducendo la disponibilità di bicarbonati, condizione definita come di acidosi metabolica. Se la pressione parziale dell'anidride carbonica a livello alveolare fosse dimezzata (come ad esempio a 5000 m), sarebbe proporzionalmente diminuita la quota di anidride carbonica presente nel plasma, pertanto, per riportare il rapporto  $\text{HCO}_3/\text{CO}_2$  al suo valore normale di 20/1 occorre dimezzare la concentrazione plasmatica dei bicarbonati. L'eliminazione dei bicarbonati da parte del rene comporta che le urine siano alcaline. normalmente esse sono acide, il processo si stabilizza in un paio di settimane. L'importante conseguenza funzionale

dell'eliminazione di bicarbonati è che in ipossia cronica l'organismo dispone di una minor capacità di tamponamento nei confronti dell'acidosi, in particolare nei confronti della produzione di acido lattico. L'equilibrio respiratorio nella fase di assestamento del pH è piuttosto perturbato. L'ipossia induce iperventilazione, ma se questa è troppo marcata causa alcalosi tale da inibire l'attività respiratoria. Il soggetto smette allora di respirare, ma questo causa dopo poco accumulo di anidride carbonica il che scatena di nuovo iperventilazione e via di questo passo, con un'alternanza di iperventilazione e sospensione della respirazione che prende il nome di respiro periodico. Il respiro periodico è particolarmente evidente nel sonno, fase nella quale già di per sé l'attività respiratoria è piuttosto irregolare.

### ***3.2. Riduzione della capacità di tamponamento e paradosso dei lattati***

In seguito alla riduzione dei bicarbonati si ha una riduzione della capacità di tamponamento del sangue. Questo comporta che, anche se la via glicolitica anaerobica è perfettamente funzionante, si ha una limitazione della capacità di produzione di acido lattico, in quanto il suo accumulo causa una maggior deviazione del pH verso l'acidosi infatti,

oltre i 4000 m si osserva una marcata riduzione della produzione di lattato durante lavoro massimale (Pugh 1967).

Il fenomeno della ridotta produzione di lattato in alta quota è stato anche definito come “paradosso del lattato”. Infatti, ci si potrebbe aspettare che in ipossia aumenti la produzione di acido lattico. In realtà in quota non si ha un aumento del rilascio di ossigeno a livello dei tessuti: quindi coesiste una condizione di ipossia e di relativa incapacità alla produzione di acido lattico. Quest’ultimo fatto è stato attribuito a una minor capacità delle catecolamine di innescare la glicolisi anaerobica. Un’altra possibilità è la riduzione dell’attivazione motoria corticale che non consente l’estrinsecazione della massima potenza (Kayser et al. 1994; Mazzeo et al. 1994).

### ***3.3. Variazioni a carico del sangue***

Un altro aspetto tipico dell’esposizione cronica all’alta quota è l’aumento della capacità di trasporto dell’ossigeno da parte del sangue. Due fattori sono alla base di questo adattamento funzionale:

a) una riduzione della massa plasmatica;

b) un aumento

delle sintesi di globuli rossi e quindi anche di emoglobina.

### *Riduzione della massa plasmatica*

Nei primi giorni di esposizione all'alta quota si verifica una variazione nella distribuzione dell'acqua tra i compartimenti liquidi dell'organismo, infatti si ha un passaggio di acqua dal compartimento plasmatico a quello interstiziale e a quello intracellulare: questo causa

un aumento dell'ematokrito (Alexander et al.1967; Hannon et al. 1969).

In un soggetto del peso medio di 70 kg vi sono circa 3 L di acqua nel plasma, 14 L nel fluido extracellulare o interstiziale e 30 L nel fluido intracellulare.

Dopo una settimana a 2300 m si verifica una riduzione dell'8% della massa plasmatica, l'ematokrito aumenta del 4% e la concentrazione dell'emoglobina del 10%.

Dopo una settimana a 4300 m, la riduzione del volume plasmatico è del 16-25%, l'aumento dell'ematokrito è del 6% e quello dell'emoglobina del 20% (Buskirk et al. 1967; Hanno net al. 1969).

La riduzione del volume plasmatico e l'aumento della concentrazione dell'emoglobina comportano un aumento della capacità di trasporto dell'ossigeno da parte del sangue. Durante il processo di acclimatazione si verifica in genere un aumento della diuresi che comporta una riduzione del volume di acqua corporea.

### *Aumento dei globuli rossi*

L'ipossia stimola una sintesi di globuli rossi da parte del midollo osseo che porta a *policitemia*. La risposta è mediata dall'ormone eritropoietina prodotto a livello renale entro 15 h dall'esposizione allo stimolo ipossico (Abbrecht et al. 1972). Nelle successive settimane il midollo osseo aumenta la produzione di globuli rossi e questa condizione si mantiene finché il soggetto rimane in alta quota (Groves et al. 1987; Reynafarje 1962).

Si riportano casi di concentrazione dei globuli rossi dell'ordine di 8 milioni  $\text{mm}^{-3}$ , rispetto ai 5 milioni  $\text{mm}^{-3}$  a livello del mare (Maniere et al. 1988). I dati della spedizione all'Everest del 1973 indicano che dopo acclimatazione a 6500 m, la concentrazione dell'emoglobina aumentava del 40% mentre l'ematocrito aumentava del 66% (Cerretelli 1976). Presumibilmente questi valori corrispondono a un processo di acclimatazione ottimale. Infatti, un ulteriore aumento della concentrazione dei globuli rossi comporterebbe due svantaggi, un eccessivo aumento della viscosità del sangue, da cui risulta una limitazione della massima gittata cardiaca, e un impacchettamento dei globuli rossi a livello capillare che finisce per ostacolare il processo della diffusione dell'ossigeno.

La policitemia comporta un aumento della capacità di trasporto dell'ossigeno da parte del sangue. In alpinisti ben acclimatati, la capacità

di trasporto è di 25-31 mL · 100 mL<sup>-1</sup> di sangue, rispetto a 19.7 mL · 100 mL<sup>-1</sup> a livello del mare (Pugh 1962; West et al. 1962).

Questo fatto comporta che, anche se l'emoglobina non è saturata al 100%, a causa dell'ipossia, la concentrazione di ossigeno nel sangue arterioso in quota è simile a quella a livello del mare, dove invece è satura al 100%.

### ***3.4. Adattamenti cellulari***

In condizioni di estrema ipossia le cellule sono in grado di sviluppare adattamenti funzionali che consentono una miglior estrazione dell'ossigeno e quindi il normale funzionamento della via ossidativa (Green et al. 1989; Hoppeler et al. 1992; Terrados et al. 1990).

Questo adattamento funzionale aumenta la superficie di diffusione dell'ossigeno a livello dei tessuti e riduce anche la distanza che l'ossigeno deve coprire per raggiungere i mitocondri. Biopsie muscolari nell'uomo rivelano un aumento della concentrazione dell'emoglobina del 16% in seguito ad acclimatazione, inoltre, è stato dimostrato un aumento del numero dei mitocondri e della concentrazione degli enzimi della via aerobica (MacDougall et al. 1991; Reynafarje 1962).



Questi adattamenti facilitano l'assunzione dell'ossigeno e la sua entrata nella catena ossidativa in condizioni di ipossia.

Nelle popolazioni native in alta quota, la curva di dissociazione dell'emoglobina è spostata verso destra, il che indica una minor affinità dell'emoglobina per l'ossigeno: questo favorisce, a parità di pressione parziale di ossigeno, il rilascio di ossigeno ai tessuti. Questo adattamento riflette l'aumento di concentrazione di 2,3-difosfolicerato (2,3- DPG) all'interno dei globuli rossi che si verifica in seguito a esposizione prolungata all'alta quota (Eaton et al. 1969; Lenfant et al. 1969).

Un aumento del 2,3-DPG insieme all'aumento della concentrazione di emoglobina realizzano una condizione ottimale per il trasporto e il rilascio dell'ossigeno nei soggetti acclimatati.

Per riassumere, tale situazione è la seguente:

- L'aumento della concentrazione di emoglobina aumenta la capacità di trasporto dell'ossigeno.
- L'aumento del 2,3-DPG diminuisce l'affinità dell'emoglobina per l'ossigeno da cui dipende una maggior liberazione di ossigeno a livello dei tessuti.

### ***3.5. Variazioni della composizione e della massa corporea***

Un'esposizione di lunga durata all'alta quota causa una riduzione marcata della massa corporea, sia per quanto riguarda la componente magra che quella grassa; l'entità delle variazioni è proporzionale alla quota di esposizione. Ad esempio i dati relativi ad uno studio effettuato su sei soggetti maschi in camera ipobarica per 40 giorni simulando l'ascesa alla vetta dell'Everest (pressione in vetta 249 mmHg), l'assunzione calorica giornaliera diminuiva del 43%, cui corrispondeva una riduzione del 7.4% della massa corporea, principalmente a carico della massa magra (Rose et al. 1988).

Oltre a una riduzione dell'introito calorico giornaliero, si osservò una riduzione della capacità di assorbimento intestinale che pertanto concorreva a spiegare la riduzione della massa corporea (Dinmore et al. 1994).

Un ulteriore fattore che causava riduzione della massa era costituito dall'aumento del metabolismo basale. Ovviamente, è possibile compensare il bilancio calorico negativo sforzandosi di alimentarsi vincendo la tipica sensazione di mancanza di appetito (Butterfield et al. 1992).

## 4. Materiali e metodi

Lo scopo del lavoro di tesi è quello di andare a studiare gli effetti dell'alta quota, sulle capacità di forza del muscolo scheletrico e sulle capacità cardio-metaboliche di 7 alpinisti che hanno partecipato alla spedizione Alpinistica-Scientifica-Culturale-Umanitaria Interamnia 8000 sul Manaslu.

### *4.1. La Spedizione Alpinistica-Scientifica-Culturale-Umanitaria Interamnia 8000 – Manaslu 2008*

Il Dipartimento di Scienze Mediche di Base ed Applicate, Direttore Prof. Giorgio Fanò, dell' Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara ha curato gli aspetti scientifici della Spedizione Alpinistica Interamnia 8000.

*Luogo della sperimentazione e itinerario della spedizione:*

La spedizione scientifica Shisha Pangma 2008 e relativo progetto di ricerca "IPOSSIA CRONICA: FERTILITÀ, METABOLISMO,

## ADATTAMENTI MUSCOLARI E PERFORMANCE PSICO-FISICA”

è stata effettuata durante un periodo di tempo compreso tra l' 8 settembre 2008 e il 22 ottobre 2008.

All' arrivo a Kathmandu il 9 settembre 2008, la Spedizione Alpinistica-Scientifica-Culturale-Umanitaria Interamnia 8000, ha trovato un repentino e brusco cambiamento di programma.

I Cinesi all' ultimo momento hanno negato il visto di entrata ai portatori Nepalesi (lo staff di supporto alla spedizione), lo Shisha Pagma si trova in Tibet.

Così i componenti della spedizione hanno dovuto cambiare meta optando per il Manaslu. La logistica completamente stravolta è stata riorganizzata dai componenti della spedizione.

Il Manaslu 8.163 m, in Nepalese “montagna dello spirito”, è l' ottavo dei 14 ottomila, posto in territorio nepalese con un trekking di avvicinamento di 247 Km su terreno impervio in una vallata remota e selvaggia, ricca di flora e fauna.

Il Campo Base, con “Casa Interamnia” è stato posto a 5.050 m e altri 3 campi dovevano essere allestiti lungo la via per l' ascensione.

La prima ascensione risale al 9 maggio 1956 da parte dei Giapponesi ed i nostri alpinisti andranno a ripercorrere gli stessi passi storici sulla via nord-est.

Il Manaslu è una montagna che per tecnica alpinistica viene posta nella Classe Difficile.

Dal Campo Base gli alpinisti hanno raggiunto quota 5.900 m ed hanno allestito in Campo Avanzato 1.

Dopo nove giorni che era stato allestito il Campo Avanzato 1, gli alpinisti hanno raggiunto il Campo Avanzato 2 posto ad una quota di 6.400 m.

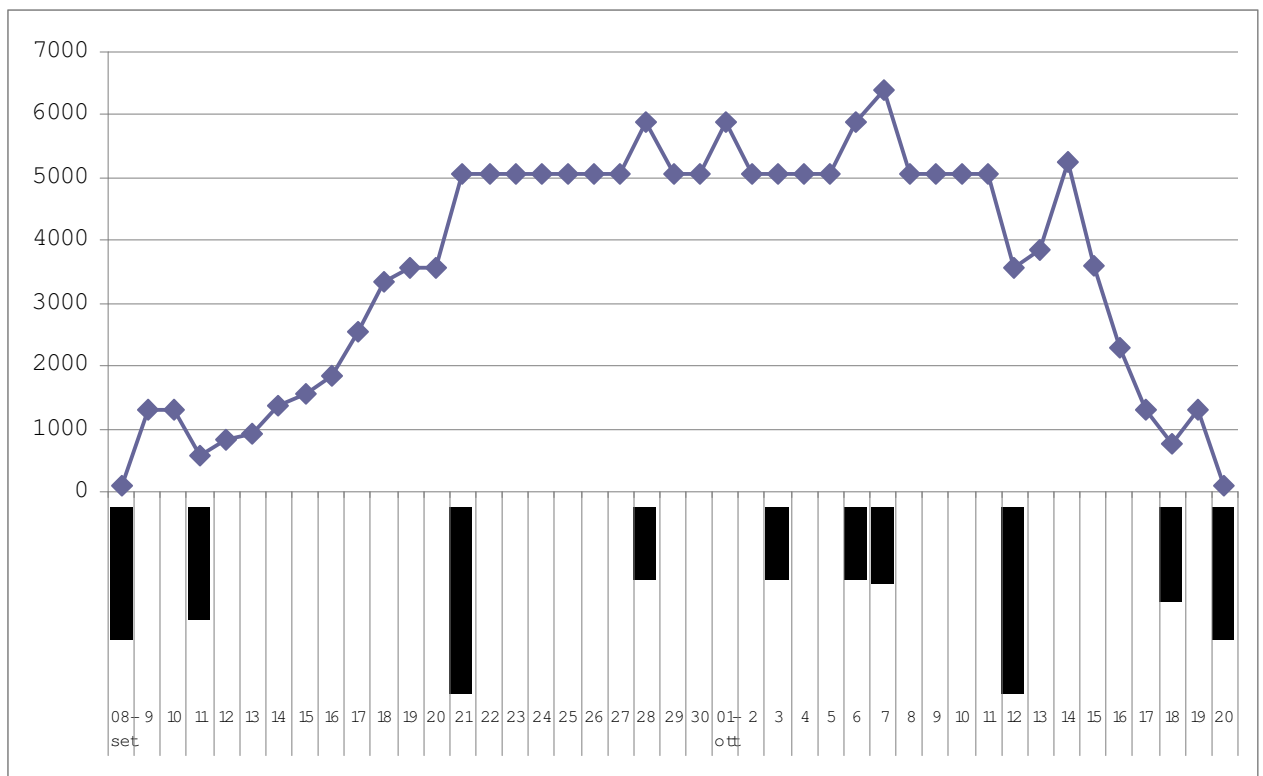
Da un punto di vista alpinistico la spedizione Alpinistica-Scientifica-Culturale-Umanitaria Interamnia 8000 – Manaslu 2008 non ha raggiunto la vetta, per le avverse condizioni meteo che ne hanno impedito il tentativo.

Da un punto di vista scientifico, la spedizione ha esposto i 7 alpinisti a vivere per ventuno giorni in ipossia a 5.050 m di altitudine.

Le valutazioni antropometriche e funzionali sugli alpinisti sono state effettuate prima della partenza e subito dopo il rientro dalla spedizione

presso i laboratori di Fisiologia e Patologia del Movimento del  
 Dipartimento di Scienze Mediche di Base ed Applicate.

*Piano altimetrico e calendario della spedizione Manuslu 2008.*



## **4.2. Soggetti**

La spedizione scientifica Manaslu 2008 era composta da 7 alpinisti di età  $39.4 \pm 14.9$  anni, altezza  $1.72 \pm 0.09$  m e peso  $79.3 \pm 15.3$  Kg. I dati antropometrici dei componenti della spedizione sono riportati in Tabella 1.

In particolare la spedizione era così composta: 1 Capospedizione, 1 Responsabile tecnico e responsabile medico della spedizione, 1 Responsabile alla logistica, 1 Responsabile ricerca scientifica e 3 alpinisti.

Tutti i componenti della spedizione erano alpinisti con un buon grado di esperienza, in particolare:

Alpinista 1: Esperienze al CB del K2 in occasione della spedizione commemorativa (50°) della prima ascensione del K2 nel 2004 (1954-2004).

Alpinista 2: con esperienze alpinistiche di numerose vie di roccia ed ascensioni sul Gran Sasso D'Italia, sulle Alpi Occidentali e Centrali, spedizioni in Pamir, in Aconcagua, partecipazione alla spedizione nazionale K2-2004, al C.B. Everest e sull' Island Peak. Volontario del CNSAS-Abruzzo;

Alpinista 3: con esperienze alpinistiche sulle Alpi Occidentali, nelle Dolomiti di Brenta e sul Gran Sasso D'Italia, spedizioni in Alaska-Mc Kinley, Khan Tengri e Pic Lenin;

Alpinista 4: con esperienze alpinistiche di numerose vie sul Gran Sasso D'Italia e sulle Alpi Apuane ed Occidentali, spedizione sull' Island Peak. Pratica scialpinismo ed è accompagnatore d'escursionismo;

Alpinista 5: esperienze sul Gran Sasso e sul Brenta, spedizioni in Alaska-Mc Kinley, Khan Tengri e Pic Lenin, pratica sci e scialpinismo;

Alpinista 6: con notevole esperienza sulle vie di roccia del Gran Sasso D'Italia e spedizione sul Khan Tengri. Pratica scialpinismo;

Alpinista 7: con esperienze di ascensioni sulla catena del Gran Sasso D'Italia, Monte Rosa-P.Gnifetti, Castore, Gran Paradiso e spedizione sull' Island Peak.

### ***4.3. Plicometria***

La percentuale di grasso è stata stimata tramite plicometria, utilizzando quattro pliche (bicipitale, tricipitale, sottoscapolare e sovrailiaca), in accordo con le formule Durnin e Womersley (1974).

Di ogni plica sono state effettuate tre misurazioni e si è fatta la media dei tre valori.



#### ***4.4. Forza isometrica***

La misurazione della massima forza isometrica è stata effettuata sul muscolo quadricipite.

Le misure sono state effettuate su una macchina isotonica Leg-extension (Panatta Sport) equipaggiata con una cella di carico (Globus).

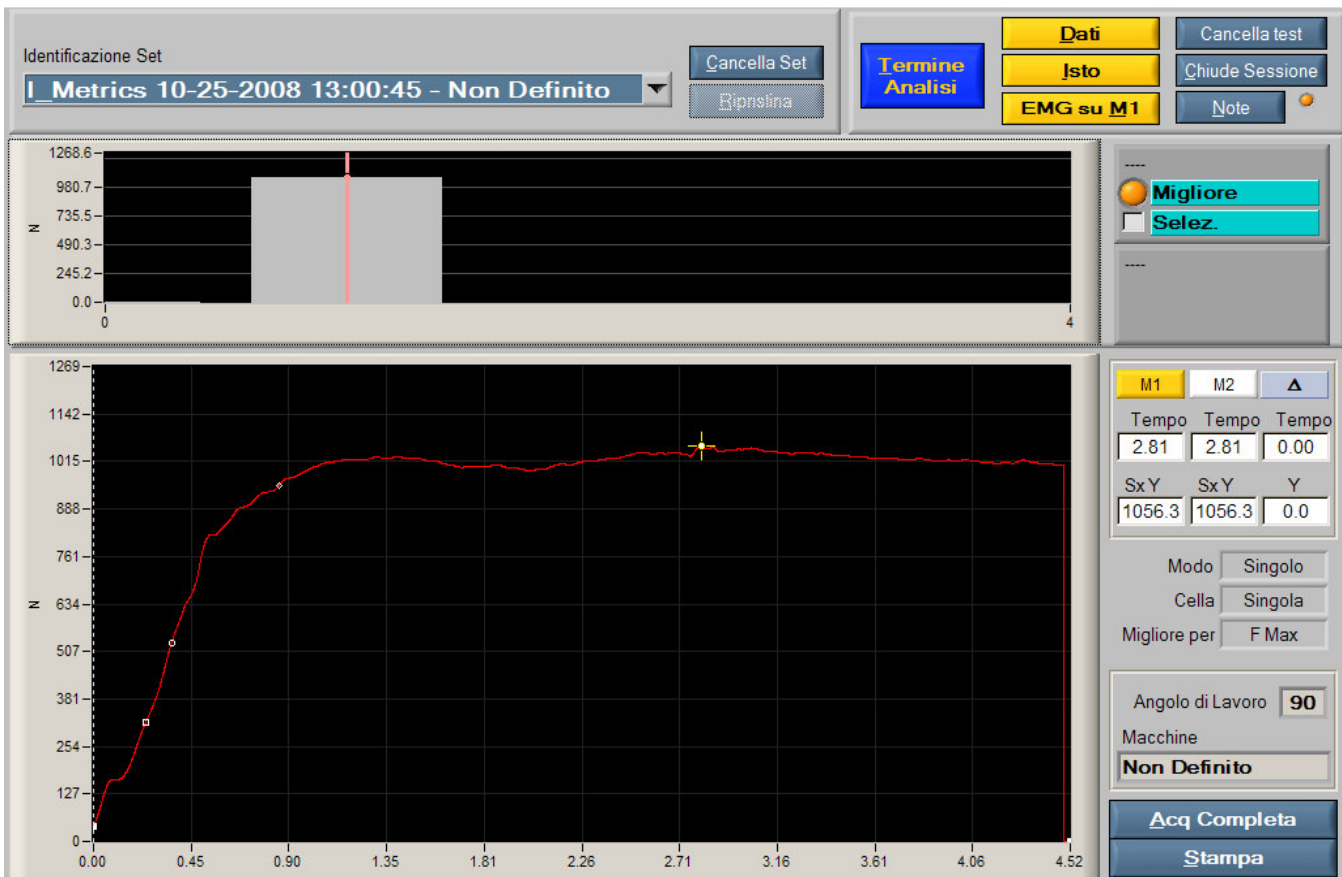
Prima di eseguire il test i soggetti hanno effettuato un riscaldamento pedalando al cicloergometro per 5 minuti. Successivamente hanno effettuato degli esercizi di stretching per la muscolatura degli arti inferiori.

Il soggetto veniva posizionato sulla macchina con un angolo al ginocchio di 90°. Il test consisteva nella misurazione della massima forza isometrica (MFI) durante una contrazione massimale della durata di 5 secondi.

Il test è stato effettuato per 3 volte con un recupero di un minuto tra ogni ripetizione. La misurazione è stata effettuata sulla gamba sinistra, sulla gamba destra e bilateralmente con entrambi le gambe. Il valore di forza più elevato è stato preso come massima forza isometrica (MFI).

In Figura 1 si riporta un esempio di un test isometrico.

**Figura 1. Test isometrico**



*Esempio di test isometrico bilaterale. La croce gialla indica il valore di massima forza isometrica, che in questo caso è di 1.056,3 N.*

#### **4.5. Massimo consumo di ossigeno**

La determinazione del massimo consumo di ossigeno è stata effettuata mediante test incrementale massimale su cicloergometro a freno elettromagnetico (Lode).

I parametri cardio-metabolici sono stati misurati mediante metabolimetro Quark b<sup>2</sup> (Cosmed).

Prima di ogni test il metabolimetro è stato calibrato con aria ambiente, con una miscela al 16% di O<sub>2</sub> e 5% di CO<sub>2</sub>, con una siringa di 3 litri di volume.

I soggetti indossata la maschera, sono stati monitorizzati per due minuti in condizioni di riposo.

Il protocollo del test utilizzato per la determinazione del massimo consumo di ossigeno è stato di tipo incrementale massimale fino ad esaurimento.

Dopo un primo step di tre minuti a 40 watt, il carico è stato progressivamente aumentato di 20 watt ogni minuto, fino al raggiungimento del massimo consumo di ossigeno.

#### **4.6. Statistica**

L'analisi e la veste grafica dei dati sono stati elaborati mediante *t<sub>test</sub>* (software Prism5 – GraphPad).

## 5. Risultati

Confrontando i dati antropometrici riportati in Tabella 1, si nota che i sette alpinisti hanno avuto una lieve riduzione ponderale, non statisticamente significativa:  $79.3 \pm 15.29$  Kg prima della spedizione e  $76.00 \pm 12.18$  Kg dopo la spedizione.

Di conseguenza anche i valori del Body Mass Index sono risultati lievemente diminuiti, ma non in maniera significativa, passando da  $26.65 \pm 3.34$  a  $25.60 \pm 2.60$ .

La percentuale di grasso corporeo, stimata con la metodica della plicometria, evidenzia una riduzione del tessuto adiposo, ma non in maniera significativa, passando dal  $26.33 \pm 4.57$  % prima della spedizione al  $23.25 \pm 4.13$  % al rientro dalla spedizione.

I risultati della massima forza isometrica negli arti inferiori dei sette alpinisti sono riportati in Tabella 2 espressi in Newton ed in Tabella 3 espressi in percentuale rispetto alla misurazione effettuata prima della spedizione.

Nell' arto sinistro la massima forza isometrica è lievemente diminuita passando da  $496.0 \pm 115.0$  (N) a  $462.4 \pm 71.6$  (N), ossia dopo la

spedizione la forza risulta essere il  $95.3 \pm 14.4 \%$  della forza che gli alpinisti avevano prima della spedizione.

Anche nell' arto destro la massima forza isometrica risulta essere lievemente diminuita, passando da  $496.4 \pm 95.5$  (N) a  $463,9 \pm 53.0$  (N), ossia dopo la spedizione la forza risulta essere il  $95.1 \pm 12.4 \%$  della forza che gli alpinisti avevano prima della spedizione.

La valutazione della massima forza isometrica in maniera bilaterale, con entrambi gli arti, è anch' essa diminuita, passando da  $1100.2 \pm 183.9$  (N) a  $1027.8 \pm 231.0$  (N), una riduzione che risulta essere il  $93.5 \pm 16.1 \%$  della forza che gli alpinisti avevano prima della spedizione.

Le differenze di forza che si sono riscontrate nell' arto sinistro, nell' arto destro e bilateralmente, non sono statisticamente significative.

I valori del massimo consumo di ossigeno sono riportati nella Tabella 4.

Il massimo consumo di ossigeno dei sette alpinisti non presenta variazioni significative tra prima e dopo la spedizione.

Espresso in valore assoluto esso è stato di  $3164 \pm 650$  ml min<sup>-1</sup> prima della spedizione e di  $3058 \pm 549$  ml min<sup>-1</sup> dopo la spedizione.

Espresso in relazione al peso corporeo esso è stato di  $40.4 \pm 7.4$  ml Kg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> prima della spedizione e di  $40.7 \pm 6.3$  ml Kg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> dopo la spedizione.

La massima potenza raggiunta durante il test incrementale al cicloergometro risulta di  $245 \pm 41.9$  (W) prima della spedizione e di  $249 \pm 39.8$  (W) dopo la spedizione, la differenza non è statisticamente significativa.

La frequenza cardiaca massima raggiunta durante il test è di  $171 \pm 18$  (bpm) prima della spedizione e  $174 \pm 16$  (bpm) dopo la spedizione, tale differenza risulta non essere statisticamente significativa.

## 6. Discussione

Dall' analisi statistica di tutti i dati, sia antropometrici, sia di forza muscolare, sia del massimo consumo di ossigeno si osserva che non ci sono state variazioni statisticamente significative tra le valutazioni effettuate prima della spedizione e le valutazioni effettuate dopo la spedizione.

La lieve riduzione ponderale osservata nei nostri alpinisti, risulta essere del 4.2 % , valore inferiore a quello di 7.4 % riscontrato nello studio di Rose et. al 1988, dove però vi era un' esposizione di 40 giorni in camera ipobarica ad una pressione di 249 mmHg che simulava la vetta dell' Everest.

I nostri alpinisti hanno avuto un' esposizione di 21 giorni ad una quota di 5.050 m, e con una buona organizzazione logistica, sono riusciti a mantenere durante tutta la spedizione un ottimo introito calorico.

La lievissima riduzione di forza muscolare del 4.7, 4.9 e 6.5 % rispettivamente nell' arto inferiore sinistro, destro e bilateralmente, indica come in questa spedizione scientifica sia diversa da tutte le altre.

Infatti a causa dell' improvviso cambio di destinazione, i nostri alpinisti hanno dovuto raggiungere il Campo Base posto a quota 5050 m con un

trekking di 10 giorni e per ripartire, di nuovo hanno dovuto affrontare un trekking in discesa di 7 giorni, per un totale di circa 450 Km.

Probabilmente quest' ultimo proprio per l' elevata componente eccentrica del cammino in discesa, ha contribuito ad allenare e quindi a preservare la forza muscolare che solitamente viene persa in seguito ad esposizione prolungata ad ipossia.

Il massimo consumo di ossigeno in questo lavoro di tesi è stato misurato praticamente a livello del mare sia prima che dopo la spedizione.

Ciò ha comportato che esso è rimasto praticamente invariato, in seguito ad una esposizione di 21 giorni ad una quota di 5.050 m, come precedentemente visto in atleti praticanti la corsa da Buskirk nel 1967.



## 7. Tabelle e grafici

7.1. *Tabella 1. Dati antropometrici*

Soggetto	Età (anni)	PRE				POST		
		Altezza (m)	Peso (Kg)	B.M.I.	% MG	Peso (Kg)	B.M.I.	% MG
A1	37	1,83	103,0	30,8	31,9	92,8	27,7	26,4
A2	51	1,62	70,9	27,0	28,4	67,6	25,8	23,8
A3	51	1,79	82,0	25,6	23,8	80,4	25,1	21,0
A4	60	1,60	73,0	28,5	30,1	71,9	28,1	28,8
A5	23	1,80	96,5	29,8	28,3	90,9	28,1	25,7
A6	32	1,73	67,0	22,4	19,3	64,5	21,6	16,8
A7	22	1,67	62,7	22,5	22,5	63,9	22,9	20,3
<b>Media</b>	39,43	1,72	79,30	26,65	26,33	76,00	25,60	23,25
<b>DS</b>	14,86	0,09	15,29	3,34	4,57	12,18	2,60	4,13

*B.M.I., Body Mass Index; %MG, percentuale massa grassa; PRE, misurazioni prima della spedizione; POST, misurazioni dopo la spedizione.*

7.2. *Tabella 2. Massima forza isometrica in N*

	SX		DX		BILATERALE	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)
A1	677,6	501,5	617,6	514,8	1213,1	1245,1
A2	549,1	498,4	575,6	482,0	1271,2	998,0
A3	455,0	396,8	447,5	418,5	976,7	888,1
A4	362,1	375,6	450,4	413,2	940,0	656,4
A5	598,7	559,3	585,1	550,5	1381,4	1346,5
A6	423,3	509,4	363,1	436,5	933,5	1110,5
A7	406,3	395,6	435,8	431,7	985,4	949,9
<b>Media</b>	496,0	462,4	496,4	463,9	1100,2	1027,8
<b>DS</b>	115,0	71,6	95,5	53,0	183,9	231,0

*SX, gamba sinistra; DX, gamba destra; BILATERALE, entrambi le gambe; i valori di forza sono espressi in Newton (N).*

7.3. *Tabella 3. Massima forza isometrica in %*

	SX		DX		BILATERALE	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
A1	100	74,0	100	83,4	100	102,6
A2	100	90,8	100	83,7	100	78,5
A3	100	87,2	100	93,5	100	90,9
A4	100	103,7	100	91,7	100	69,8
A5	100	93,4	100	94,1	100	97,5
A6	100	120,3	100	120,2	100	119,0
A7	100	97,4	100	99,1	100	96,4
<b>Media</b>	100,0	95,3	100,0	95,1	100,0	93,5
<b>DS</b>	0,0	14,4	0,0	12,4	0,0	16,1

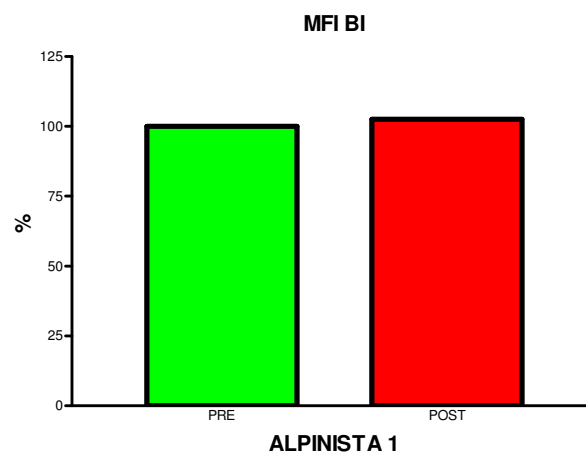
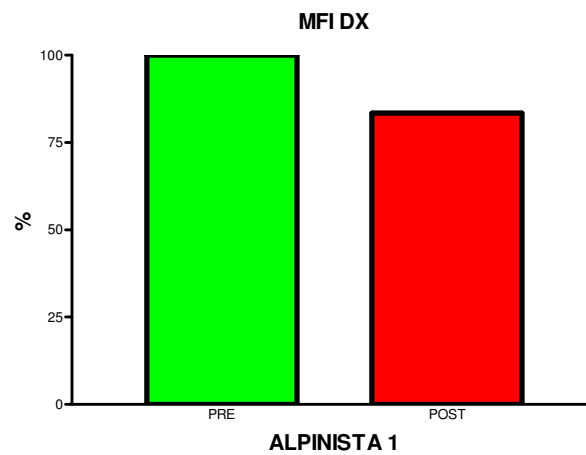
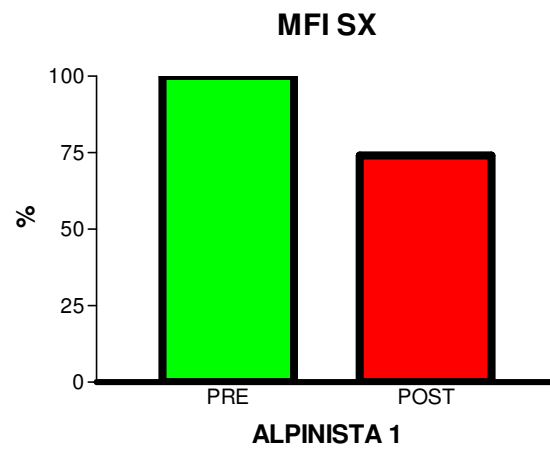
*SX, gamba sinistra; DX, gamba destra; BILATERALE, entrambi le gambe; i valori di forza sono espressi in % rispetto alla determinazione pre-spedizione.*

7.4. *Tabella 4. Massimo consumo di ossigeno*

Soggetto	PRE				POST			
	VO <sub>2</sub> max (ml min <sup>-1</sup> )	VO <sub>2</sub> max (ml Kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	Potenza (watt)	Fc max (bpm)	VO <sub>2</sub> max (ml min <sup>-1</sup> )	VO <sub>2</sub> max (ml Kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	Potenza (watt)	Fc max (bpm)
A1	3090	30,0	226	169	3073	33,1	260	165
A2	2968	41,8	200	170	2862	42,3	220	175
A3	3034	37,0	260	164	2966	37,1	260	170
A4	2438	33,4	200	137	2651	37,9	200	144
A5	4468	46,3	320	176	4100	45,1	320	185
A6	3417	51,0	260	185	3353	52,0	260	185
A7	2734	43,4	250	193	2404	37,7	220	191
<b>Media</b>	3164	40,4	245	171	3058	40,7	249	174
<b>DS</b>	650,2	7,4	41,9	17,9	549,7	6,3	39,8	16,0

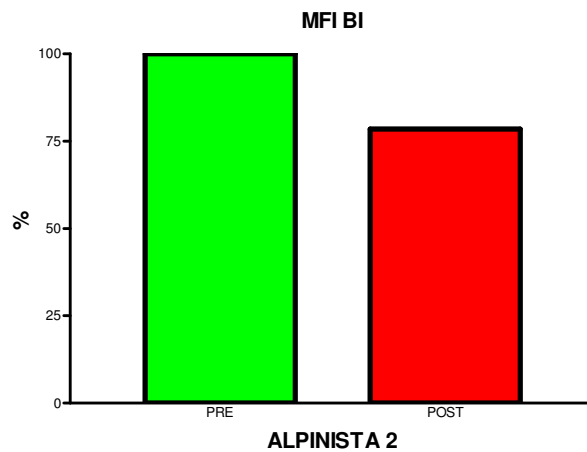
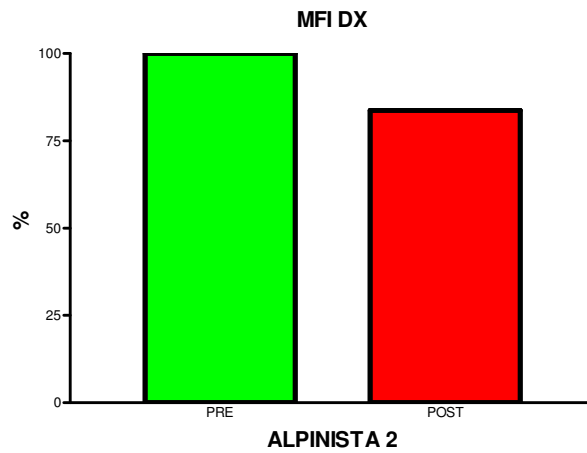
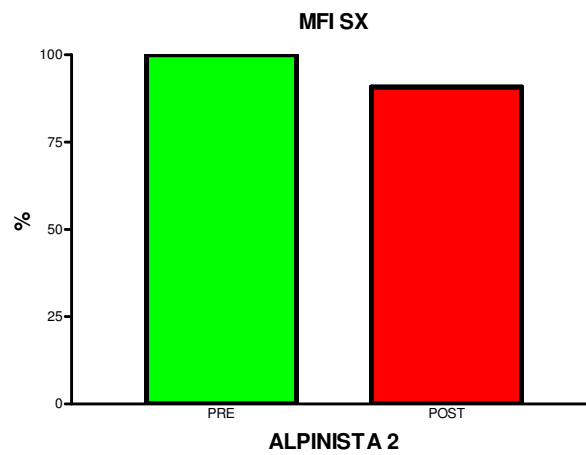
*Il massimo consumo di ossigeno è espresso in valore assoluto: (ml min<sup>-1</sup>), ed in relazione al peso corporeo: (ml Kg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>); Potenza, valore di massima potenza raggiunto durante test incrementale; Fc max, massima frequenza cardiaca raggiunta.*

## Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 1.



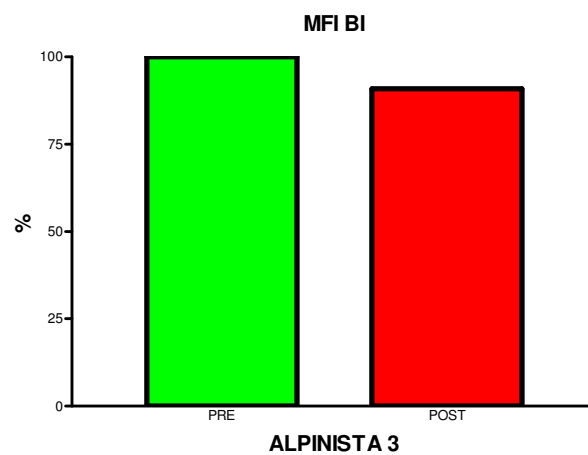
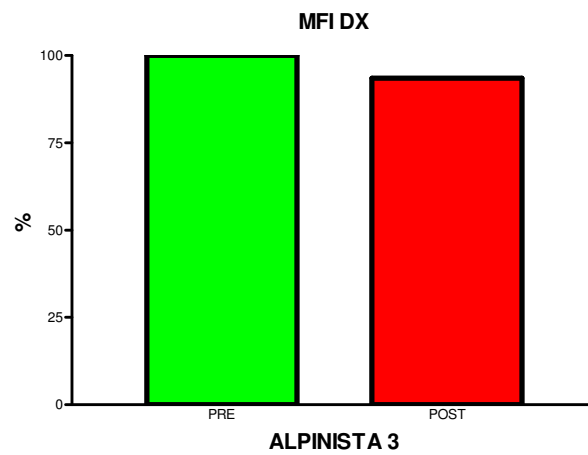
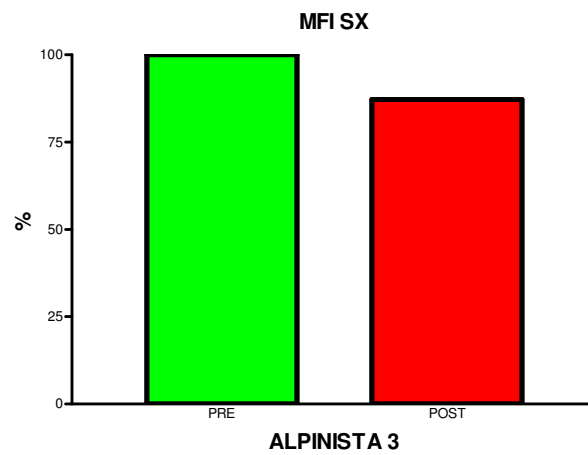
*In alto si riporta il grafico dell'andamento della massima forza isometrica nell'arto sinistro, al centro dell'arto destro e in basso in entrambi gli arti.*

## Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 2.



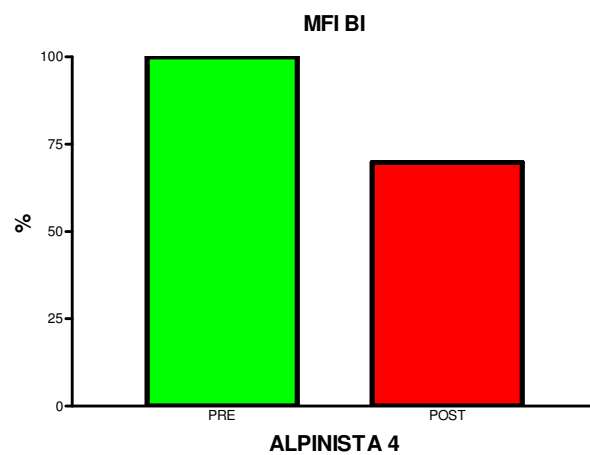
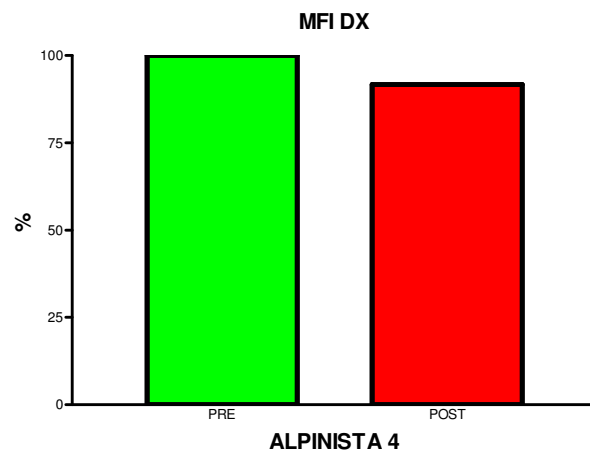
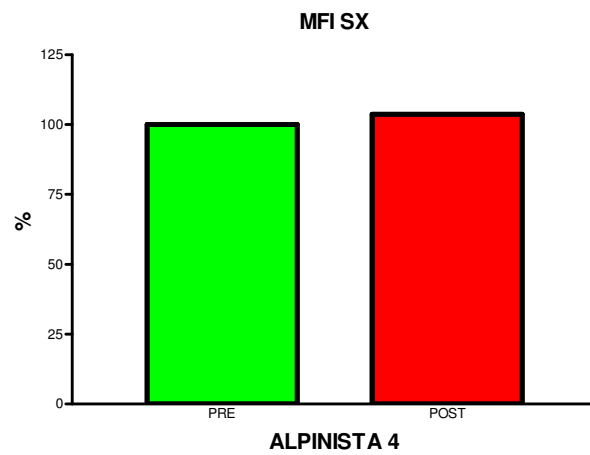
*In alto si riporta il grafico dell'andamento della massima forza isometrica nell'arto sinistro, al centro dell'arto destro e in basso in entrambi gli arti.*

### Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 3.



*In alto si riporta il grafico dell'andamento della massima forza isometrica nell'arto sinistro, al centro dell'arto destro e in basso in entrambi gli arti.*

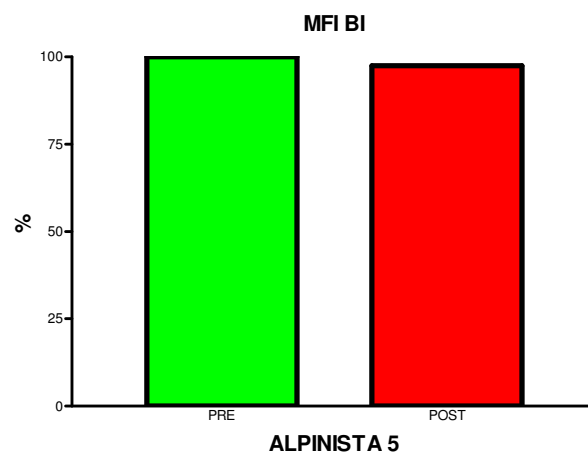
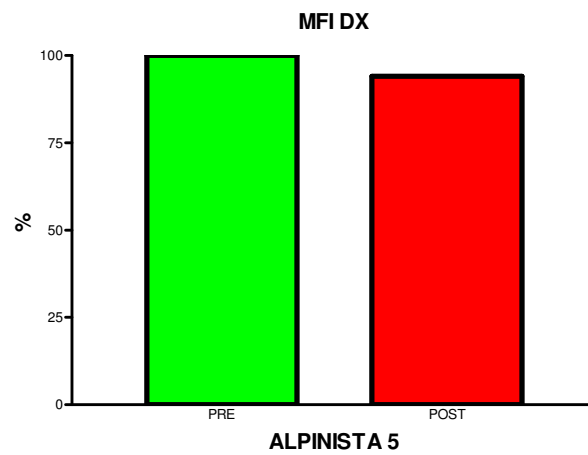
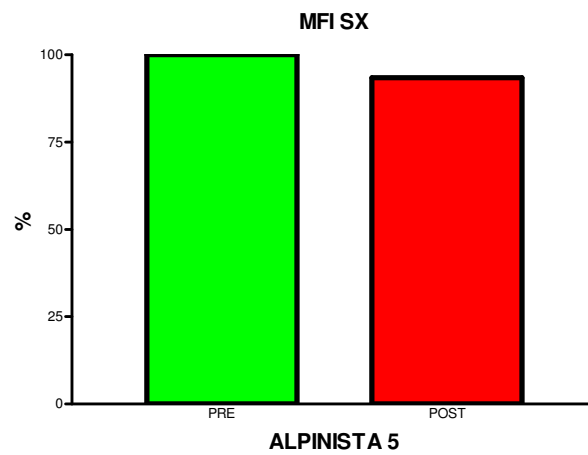
## Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 4.



*In alto si riporta il grafico dell'andamento della massima forza isometrica nell'arto sinistro, al centro dell'arto destro e in basso in entrambi gli arti.*

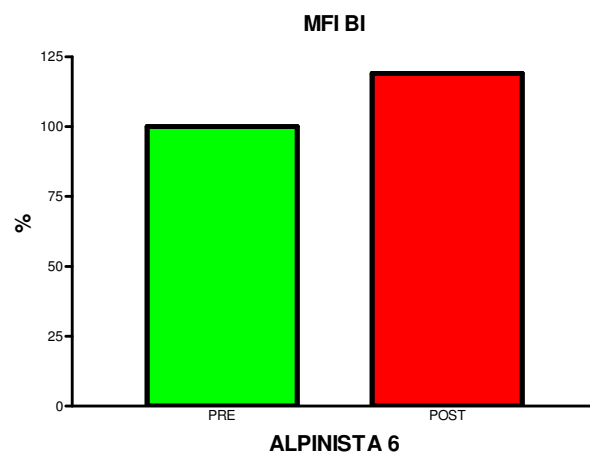
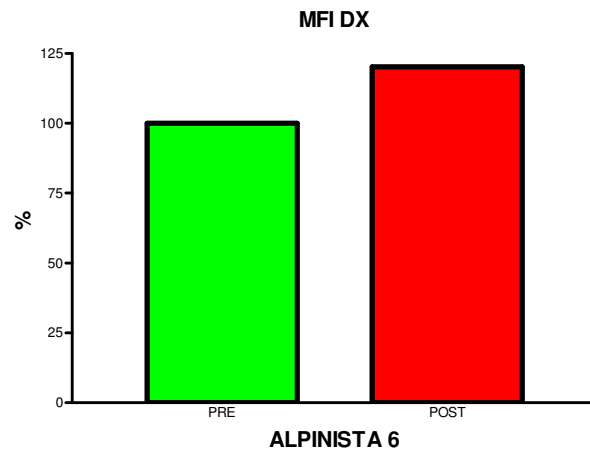
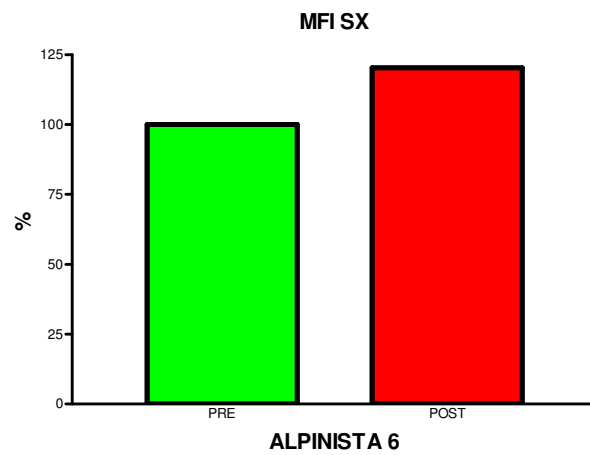


## Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 5.



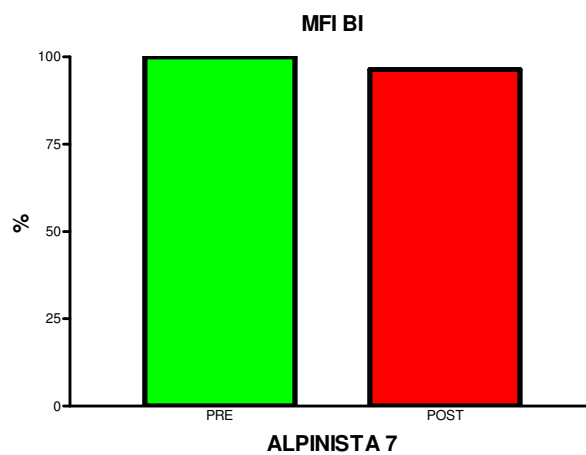
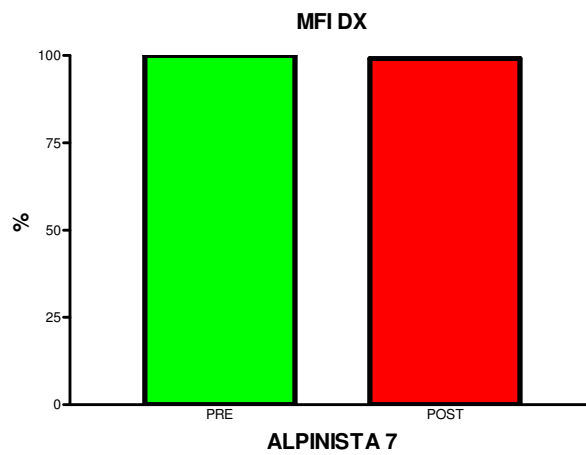
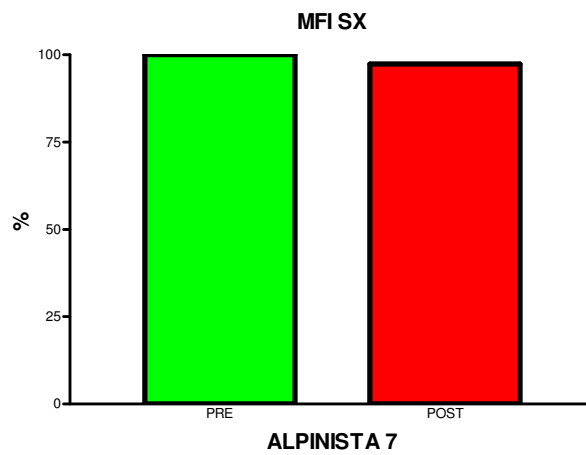
*In alto si riporta il grafico dell'andamento della massima forza isometrica nell'arto sinistro, al centro dell'arto destro e in basso in entrambi gli arti.*

## Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 6.



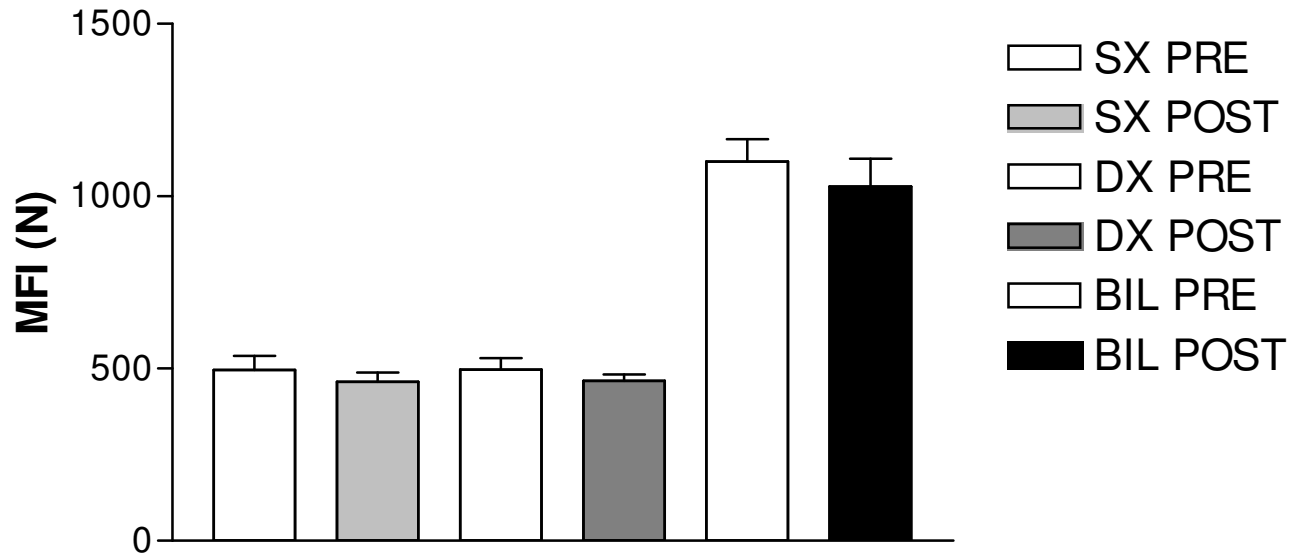
*In alto si riporta il grafico dell'andamento della massima forza isometrica nell'arto sinistro, al centro dell'arto destro e in basso in entrambi gli arti.*

## Grafici massima forza isometrica dell' alpinista 7.



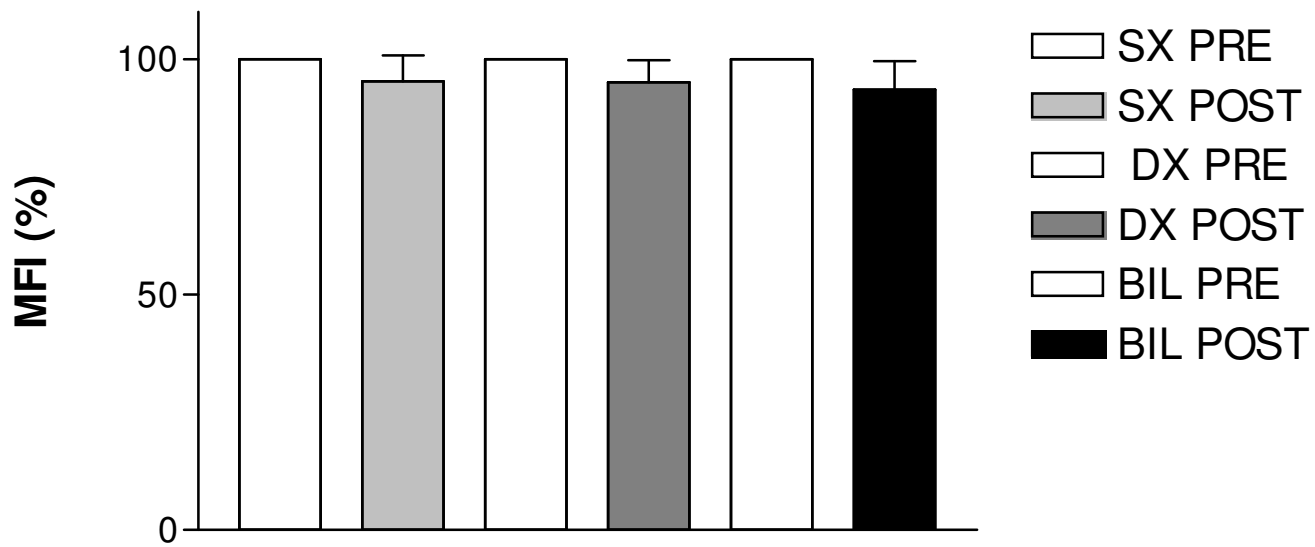
*In alto si riporta il grafico dell'andamento della massima forza isometrica nell'arto sinistro, al centro dell'arto destro e in basso in entrambi gli arti.*

## Massima Forza Isometrica



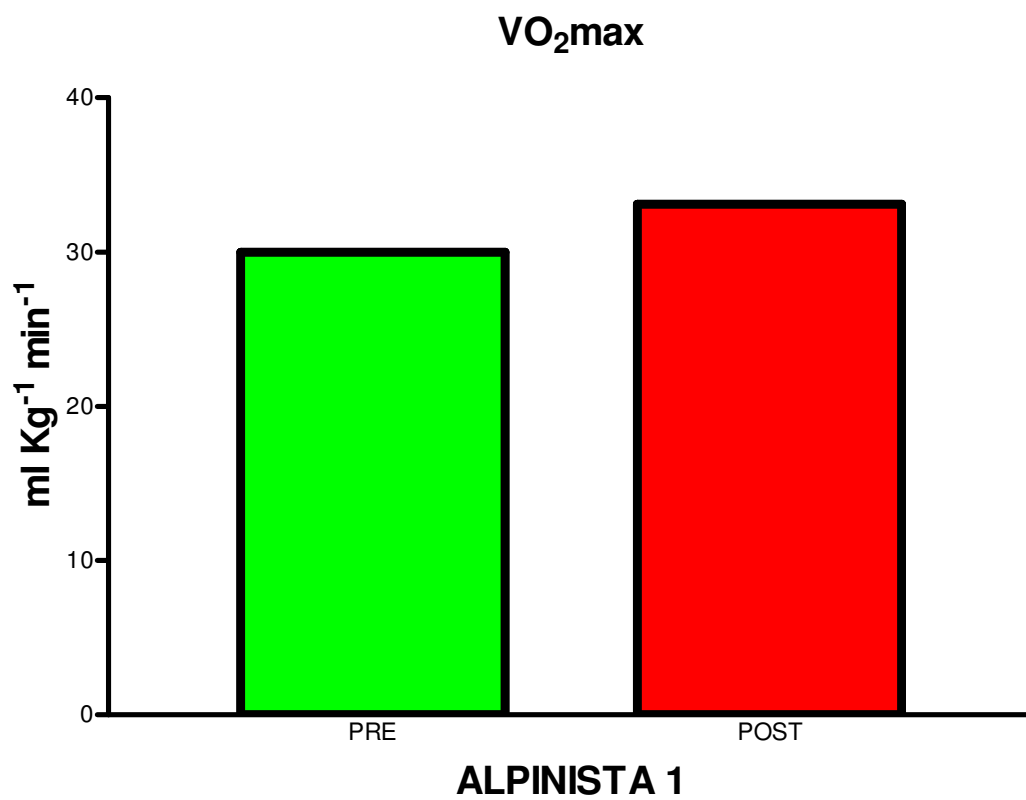
*Andamento della massima forza isometrica (MFI) dei 7 alpinisti,  
espressa in Newton.*

## Massima Forza Isometrica

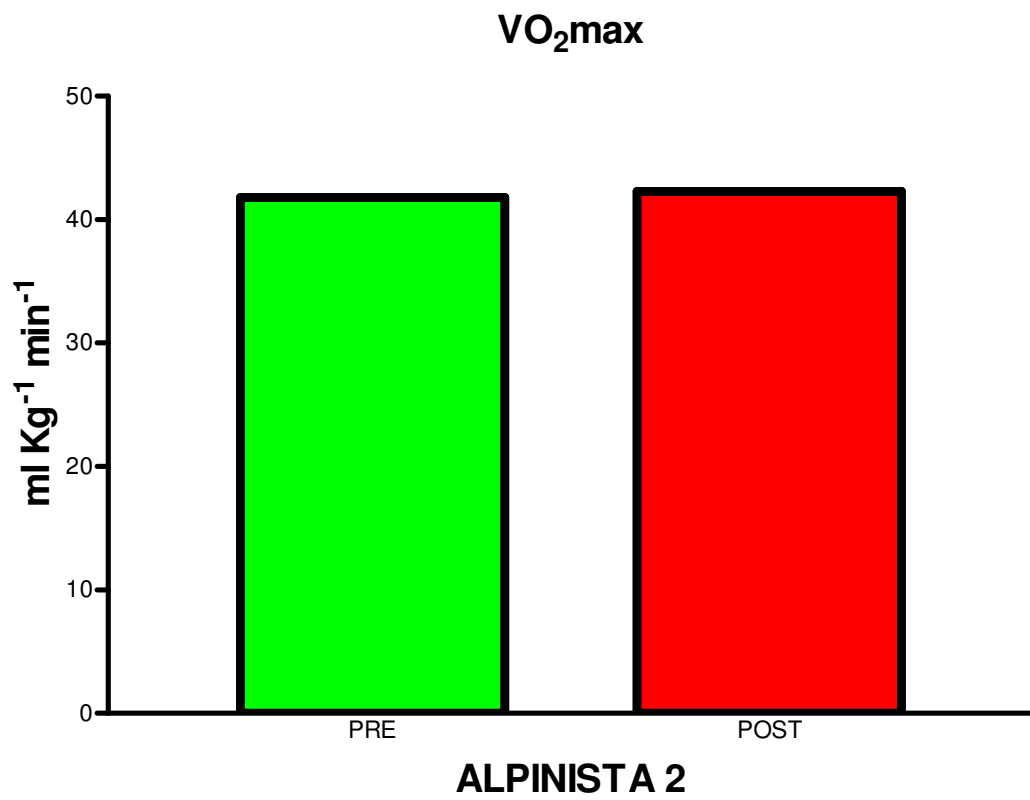


*Andamento della massima forza isometrica (MFI) dei 7 alpinisti,  
espressa in % rispetto alla determinazione pre-spedizione..*

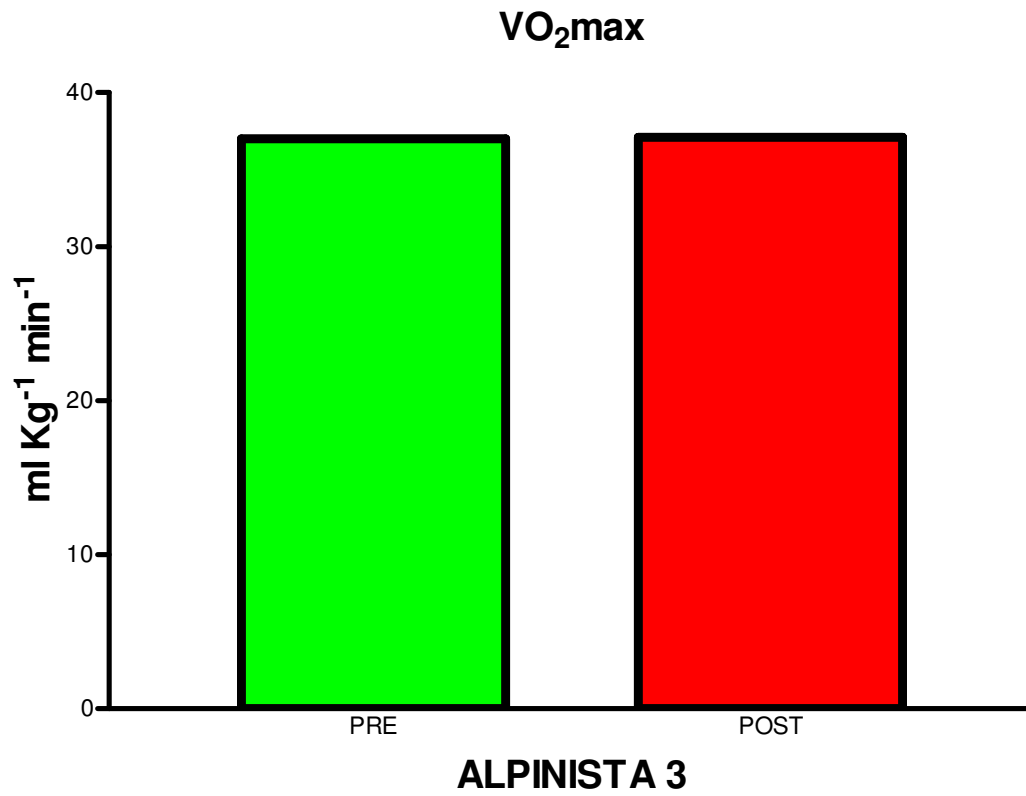
## Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 1.



## Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 2.

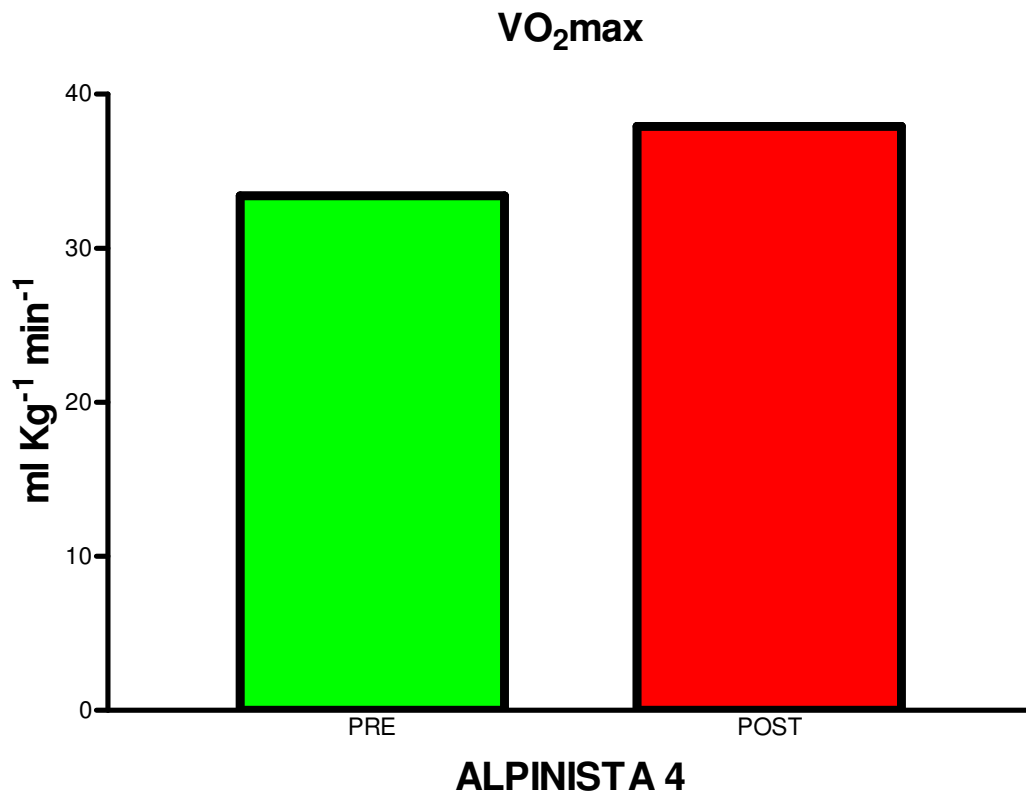


### Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 3.

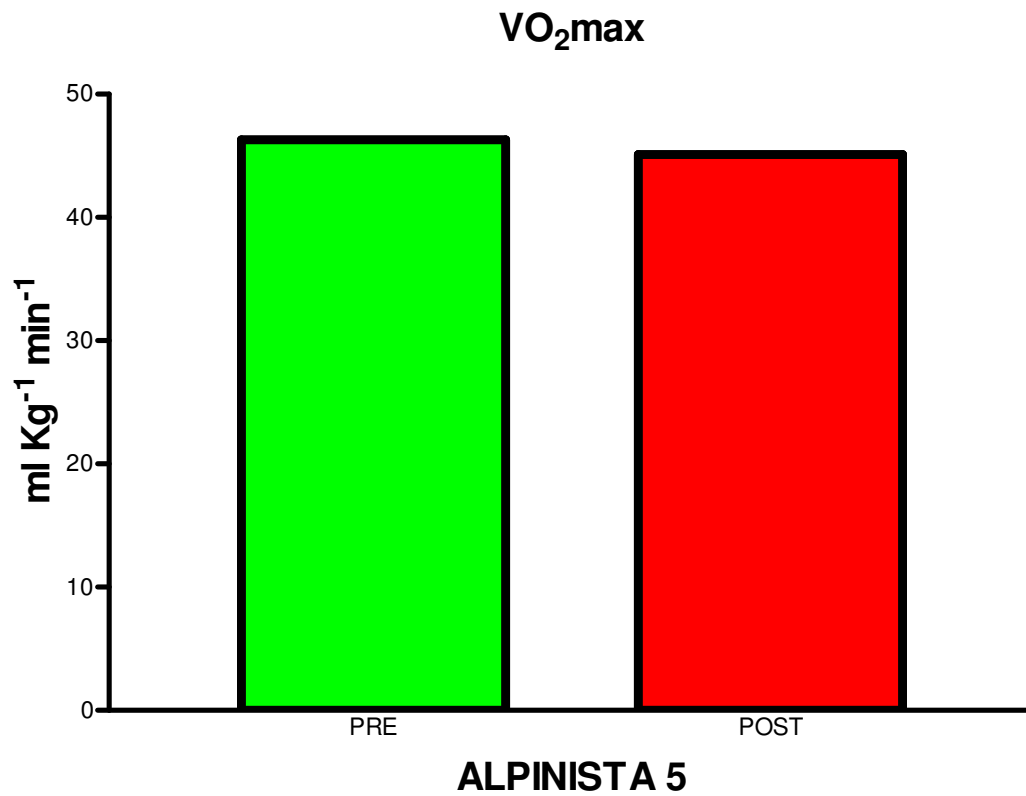




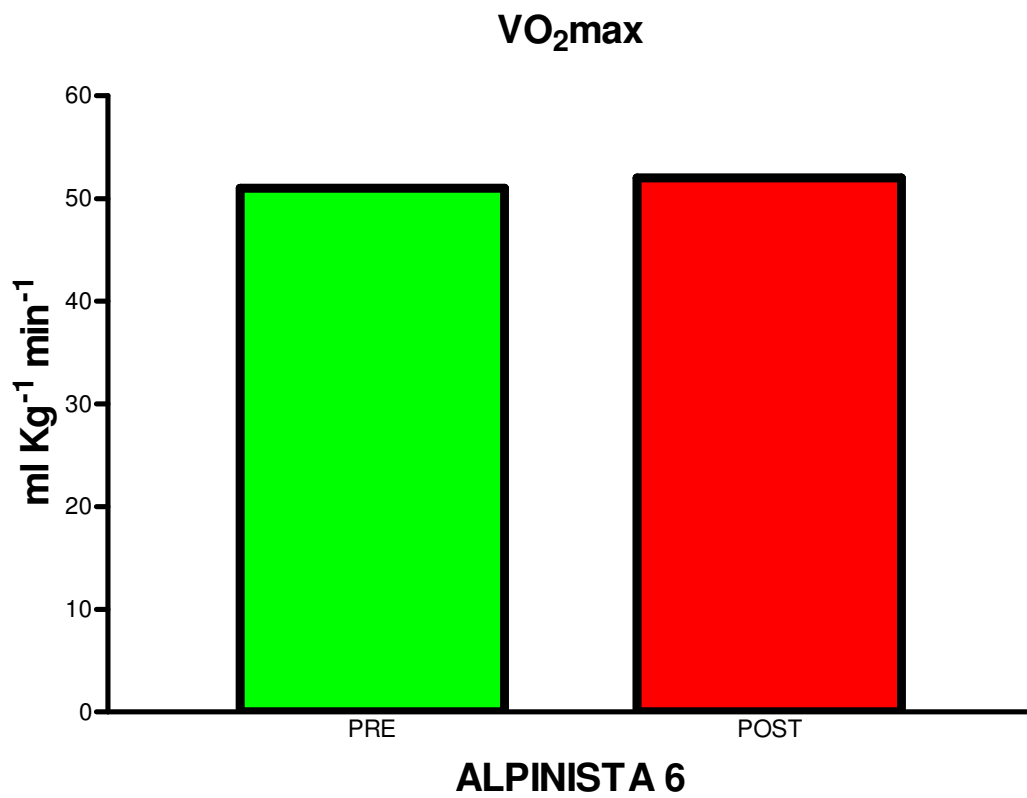
**Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 4.**



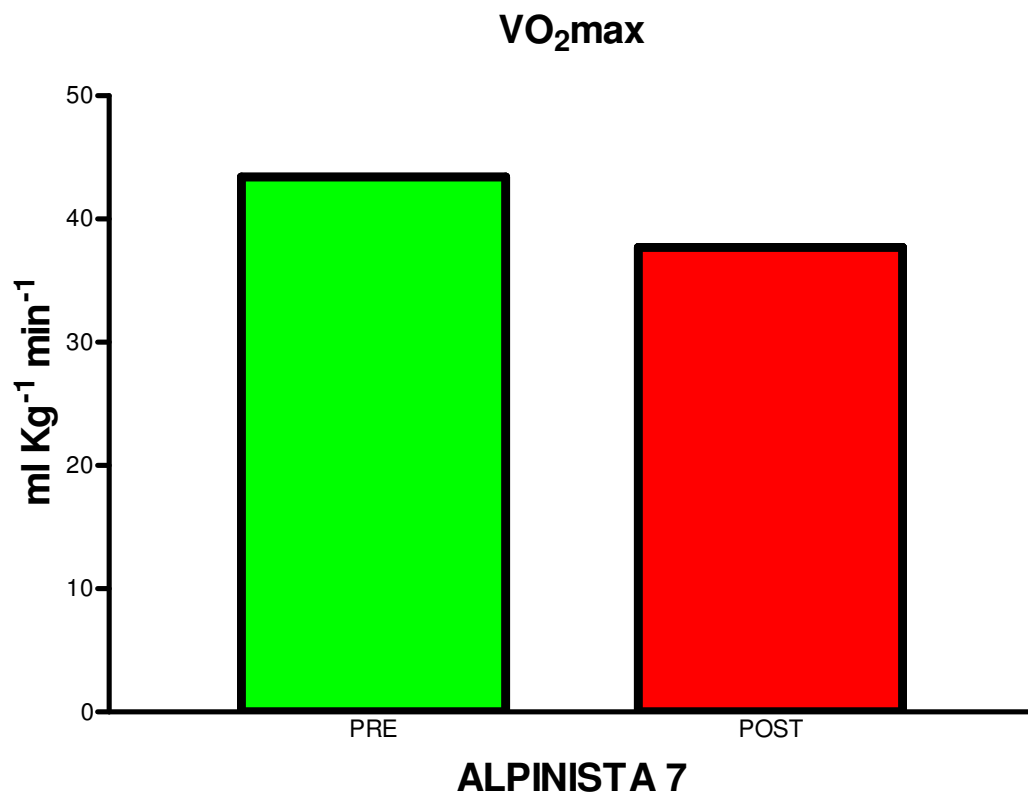
## Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 5.



**Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 6.**



## Grafico massimo consumo di ossigeno dell' alpinista 7.



## 8. Bibliografia

- Cerretelli P.: *Gas Exchange at high altitude*. In “Pulmonary gas exchange”. J.B. West (Ed.), II vol., Academic Press, NY, pp. 97-147, 1980.
- Honigman, B., et al: Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitude. *Ann, Intern. Med.*, 118:587, 1993.
- Krasney, ( J.A.: Brief review: a neurogenic basis for acute altitude sickness. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26:195,1994.
- Malconian. M.K., and Rock, P33.: Medical problems related to altitude. In *Human Performance Physiology end Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*. Edited by K. Pandolf. et al. Carmel, IN, Cooper Publishing Group, 1994.
- MeFaddan, D.M., et al.: High altitude retinopathy JAMA, 245:581, 1981.
- Sutton, JR.: High altitude retinal hemorrhage. *Sem Resp. Med.*, 5:159, 1983.

- Torre-Bueno, J.R.. et al.: Diffusion limitation in normal humans during exercise at sea-level and simulated altitude. *J. Appl. Physiol.* 58:989, 1985.
- Klausen K. Cardiac output in man in rest and work during and after acclimatization to 3800 m. *J. Appl. Physiol* , 21:609, 1969.
- Vogel, J.A., et al.: Cardiovascular responses in man during exhaustive work at sea-level and high altitude. *J. Appl. Physiol.* 23:531, 1967.
- Wolfel, E.E., et al.: Systemic hypertension at 4300 m is related to sympathoadrenal activity *J. Appl Physiol.* 76:1643, 1994.
- Pugh, L.C.G.E.: Athletes at altitude. *J. Physiol. (Lond.)*, 192:619, 1967.
- Kayser E. et al.: Fatigue and exhaustion in chronic hypobaric hypoxya: influence of exercising muscle mass. *J. Appl. Physiol*, 76:634, 1994.
- Mazzeo, R. et al.:  $\beta$ -Adrenergic blockade does not prevent the lactate response to exercise after acclimatization to high altitude. *J. Appl. Physiol.* 76:610, 1994.

- Alexander, J.K., et al: Reduction of stroke volume during exercise in man following ascent to 3100 m altitude. *J. Appl. Physiol.* 23:849, 1967.
- Buskirk, E.R. et al: Physiology and performance of track athletes at various altitudes in the United States and Perù. In *The International Symposium on the Effects of Altitude on Physical Performance*. Edited by R.F. Goddard. Chicago, The Athletic Institute, 1967.
- Hannon, J.P., et al.: Effects of altitude acclimatization on blood composition of women. *J. Appl. Physiol.* 26:540, 1969.
- Abbrecht, P.H., and Littell, J.K.: Plasma erythropoietin in men and mice during accimatization in different altitudes. *J. Appl. Physiol.*, 32:54, 1972.
- Groves, B.M. et al: Operation Everest II: elevated high-altitude pulmonary resistance unresponsive to oxygen. *J. Appl. Physiol.* 63:521, 1987.
- Reynafarje, C.: Hematologic changes during rest and phvsical activity in man at high altitude. In *The Physiological Effects of High Altitude*. Edited by W.H. Weihe. New York, Macmillan, 1964.

- Manier, G. et al.: Pulmonary gas exchange in Andean natives with excessive polycythemia-effect of hemodilution. *J. Appl. Physiol.* 65:2107, 1988.
- Cerretelli, P.: Limiting factors to oxygen transport on Mount Everest. *J. Appl. Physiol.* 40:658, 1976.
- Pugh, L.C.G.E.: Physiological and medical aspects of the Himalayan Scientific and Mountaineering Expedition, 1960-61. *BMJ.* 2:621, 1962.
- West, J.B., et al.: Arterial oxygen saturation during exercise at high altitude. *J. Appl. Physiol.* 17:617, 1962.
- Green, H.J., et al.: Operation Everest II: adaptations in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 66:2454, 1983.
- Hoppeler, H., and Desplanches, D.: Muscle structural modifications in hypoxia. *Int. J. Sports Med.* 13:S166, 1992.
- Terrados, N. et al.: Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? *J. Appl. Physiol.* 68:2369, 1990.



- MacDougall, J.D. et al.: Operation Everest II: Structural adaptations in skeletal muscle in response to extreme simulated altitude. *Acta Physiol. Scand.*, 142:421, 1991.
- Reynafarje, C.: Myoglobin content and enzymatic activity of muscle and altitude adaptation. *J. Appl. Physiol.* 17:301, 1962.
- Eaton, J.W, et al.: Role of red cell 2,3-diphosphoglycerate (DPG) in adaptation of men to altitude. *J. Lab. Clin. Med.* 73:603, 1969.
- Lenfant C.P. et al.: Effect of chronic hypoxic hypoxia on the O<sub>2</sub>-Hb dissociation curve and respiratory gas transport in man. *Respir Physiol.* 7:7, 1969.
- Rose, M.S. et al.: Operation Everest II: nutrition and body composition. *J. Appl. Physiol.* 65:2-545, 1988.
- Dinmore, A.J. et al.: Intestinal carbohydrate absorption and permeability at high altitude (5730 m). *J. Appl. Physiol.* 76:1903, 1994.
- Durnin J.VGA, Womersley J., Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutrition.* 1974; 32: 77-97.

- Butterfield, G.E., et al.: Increased energy intake minimizes weight loss in men at altitude. *J. Appl. Physiol.* 72:1741, 1992.
- Buskirk, E.R. et al.: Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners. *J. Appl. Physiol.* 23:259, 1967.