

**2**

## **I Giochi Olimpici invernali di Salt Lake City e le tendenze internazionali di sviluppo degli sport invernali**

Arndt Pfützner, Manfred Reiss, Klaus Rost  
*Analisi dei Giochi olimpici invernali di Salt Lake City 2002, tendenze di sviluppo nazionali ed internazionali e conseguenze che se ne possono ricavare per nuovi orientamenti del sistema di allenamento e di gara negli sport invernali per il ciclo olimpico 2002-2006*

**13**

## **Il contributo della scienza all'allenamento sportivo**

Véronique Billat  
*L'esempio della corsa di fondo (seconda parte)*

**20**

## **Alcuni aspetti della preparazione alla gara**

Peter Tschieni  
*La preparazione alla gara secondo un approccio basato sulla teoria dei sistemi*

**28**

## **La fatica: aspetti centrali e periferici**

Gian Nicola Bisciotti, Pier Paolo Iodice, Raffaele Massarelli, Marcel Sagnol  
*Il punto sullo stato attuale delle conoscenze sui fattori che provocano la fatica*

**42**

## **Trainer's Digest**

A cura di Olga Iourtchenko, Mario Gulinelli

**45**

## **La preparazione fisica negli sport di squadra**

Gilles Cometti  
*L'utilizzazione di alcuni esercizi della pesistica per la preparazione fisica negli sport di squadra: l'esempio della pallacanestro e della pallavolo*



**54**

## **Il recupero nell'allenamento con sovraccarichi**

Rinaldo D'Isep, Massimiliano Gollin  
*L'importanza della durata delle pause di recupero tra le serie nell'allenamento con sovraccarichi*

**59**

## **Sci alpino e massa corporea**

Mirko Colombo, Cristian Osnach, Giulio Sergio Roi  
*Perché l'elevata massa corporea può favorire gli atleti delle discipline veloci*

**64**

## **Summaries**

## I Giochi olimpici invernali di Salt Lake City e le tendenze internazionali di sviluppo degli sport invernali

2

Analisi dei Giochi olimpici invernali di Salt Lake City 2002, tendenze di sviluppo nazionali ed internazionali e conseguenze che se ne possono ricavare per nuovi orientamenti del sistema di allenamento e di gara negli sport invernali per il ciclo olimpico 2002-2006

Viene compiuto un bilancio degli ultimi Giochi olimpici invernali di Salt Lake City, cercando di analizzare quali siano le tendenze che si rilevano nell'evoluzione degli sport invernali a livello internazionale. A tale scopo, vengono analizzati lo sviluppo del livello dei risultati in campo internazionale e le caratteristiche strutturali che li determinano. Queste vengono individuate, essenzialmente, nell'efficacia dei sistemi di allenamento; nei progressi tecnologici e nell'organizzazione della prestazione di gara; nella professionalizzazione dei sistemi di preparazione e di allenamento e nell'assistenza scientifica all'allenamento stesso. Le cause principali dei progressi nelle prestazioni a livello nazionale vengono invece individuate, oltre che nel miglioramento dell'efficacia dell'allenamento, nella riuscita del passaggio di atleti ed atlete dall'allenamento di transizione all'alto livello a quello di alto livello, come anche nel miglioramento del controllo dell'allenamento basato su un sistema allenatore-consulenti scientifici. Dall'insieme delle considerazioni e delle analisi vengono ricavate alcune conseguenze che riguardano il ciclo olimpico appena iniziato.



Foto Bruno

Questo articolo ha per oggetto un'analisi dei risultati dei Giochi olimpici invernali di Salt Lake City e le conseguenze che se ne possono ricavare per nuovi orientamenti del sistema di allenamento e di gara negli sport invernali, per il prossimo ciclo olimpico 2002-2006, che, come è noto, si concluderà con i Giochi olimpici invernali di Torino. Come in un precedente articolo, pubblicato sul n. 51 di questa rivista (A. Pfützner, M. Reiss, K. Rost, H. Tünemann, I Giochi olimpici di Sydney e le tendenze di sviluppo nello sport olimpico, Sds-Scuola dello sport, XX, 2001, 51, 2-11), dedicato ai Giochi olimpici di Sydney, l'analisi è stata realizzata da un gruppo di studio dell'Istituto per la scienza applicata all'allenamento di Lipsia e, per questa ragione, contiene alcuni riferimenti alla realtà ed ai notevoli risultati ottenuti dalla squadra nazionale tedesca. Però, per i suoi contenuti, l'articolo offre numerosi spunti di interesse di carattere più generale, iniziando dal tentativo, che viene fatto nel 2. paragrafo (Tendenze internazionali di sviluppo delle prestazioni di gara e dei sistemi di preparazione ed allenamento) di offrire una valutazione di quali siano le tendenze internazionali attuali per quanto riguarda il futuro sviluppo dei risultati e dei sistemi di preparazione ed allenamento e gli aspetti che li caratterizzeranno. Tra i quali vogliamo citare l'aumento dell'efficacia dei sistemi di allenamento, i progressi nelle tecnologie e nell'organizzazione della prestazione di gara, la crescente professionalizzazione degli atleti e l'assistenza scientifica all'allenamento. Però, a questo proposito va fatto rilevare come gli Autori dell'articolo, pur ricordando gli sviluppi in questa direzione che si stanno realizzando in alcuni Paesi, mettano in risalto come il fattore determinante resti sempre la qualità dell'allenamento. Nel paragrafo successivo (Tendenze di sviluppo nazionale e cause principali dei progressi nelle prestazioni), anche se gli Autori partono dai risultati degli atleti tedeschi, sono contenute una serie di osservazioni, in particolare sulle caratteristiche e gli approcci che sono stati decisivi per ottenere prestazioni di livello internazionale, come anche sulle cause dei regressi, o delle stasi dei risultati in taluni sport, che ci appaiono pertinenti ed applicabili anche ad altre realtà nazionali. Tra i fattori che vengono citati (si vedano gli esempi del biathlon, dello sci di fondo e del salto con gli sci) vanno ricordati aspetti che, proprio in prospettiva di Torino 2006, sono importanti anche per il nostro Paese, quali l'aumento dell'efficacia dell'allenamento, che è legata alla creazioni di condizioni ottimali per la sua realizzazione; la riuscita nel passaggio

dall'allenamento giovanile di alto livello all'allenamento di altissimo livello seniors (cioè il successo nella soluzione del problema della formazione di nuovi atleti in grado di ottenere successi olimpici); il controllo dell'allenamento basato su un sistema di collaborazione allenatore-consulenti scientifici, ecc. Il 4. paragrafo (Orientamenti strategici per il ciclo olimpico fino al 2006), nella sua parte iniziale mette a fuoco quali sono gli approcci che, secondo gli Autori, sono necessari se si vogliono raggiungere risultati di livello internazionale, non solo di valore assoluto, ma addirittura di livello medio. Ciò, ancora una volta, è strettamente legato con l'efficacia dell'allenamento, cioè con un allenamento che, sia per metodo e contenuti, sia assolutamente all'avanguardia. Per realizzarlo è necessaria una ricerca che ponga al suo centro, specificamente, il processo di allenamento, come è nei programmi dell'Istituto di scienze applicate all'allenamento di Lipsia.

### 1. Introduzione

Dal 9 al 24 febbraio del 2002 si sono svolte a Salt Lake City (Utah, Usa) i XIX Giochi olimpici invernali. Si è trattato della quarta volta che i Giochi olimpici invernali si svolgono negli Stati Uniti (dopo Lake Placid 1932, Squaw Valley 1960, di nuovo Lake Placid 1980). Come già era avvenuto per i Giochi olimpici di Sydney, anche le Olimpiadi invernali di Salt Lake City hanno confermato sia l'interesse suscitato nel grande pubblico dalle grandi manifestazioni sportive, sia la dinamica di sviluppo dei Giochi olimpici, in questo caso di quelli invernali che, dalla loro istituzione (Chamonix 1924) ad oggi, hanno conosciuto una crescita continua, sia nel numero di atleti e nazioni partecipanti sia nel numero delle gare (cfr. figure 1-2). La partecipazione di 77 Comitati olimpici e di 2532 partecipanti (918 donne, 1614 uomini) è una chiara prova dello sforzo che viene fatto in molti Paesi per parteci-

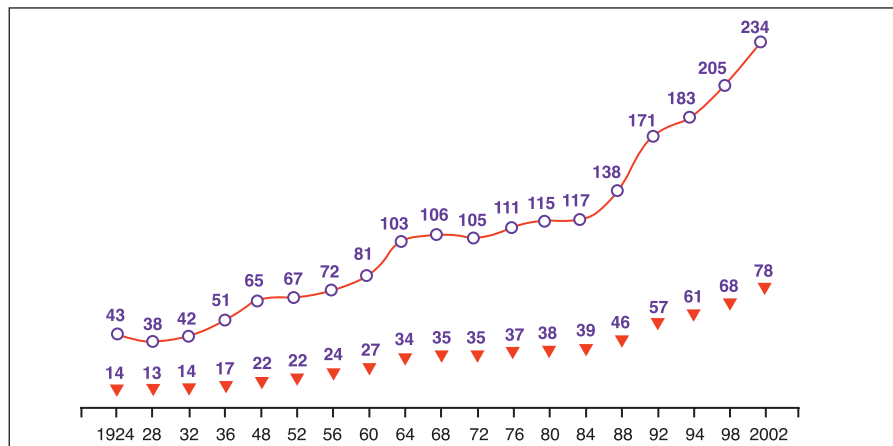


Figura 1 – Sviluppo del numero delle medaglie assegnate delle gare nel periodo intercorrente tra i Giochi olimpici invernali di Chamonix 1924 e di Salt Lake City 2002

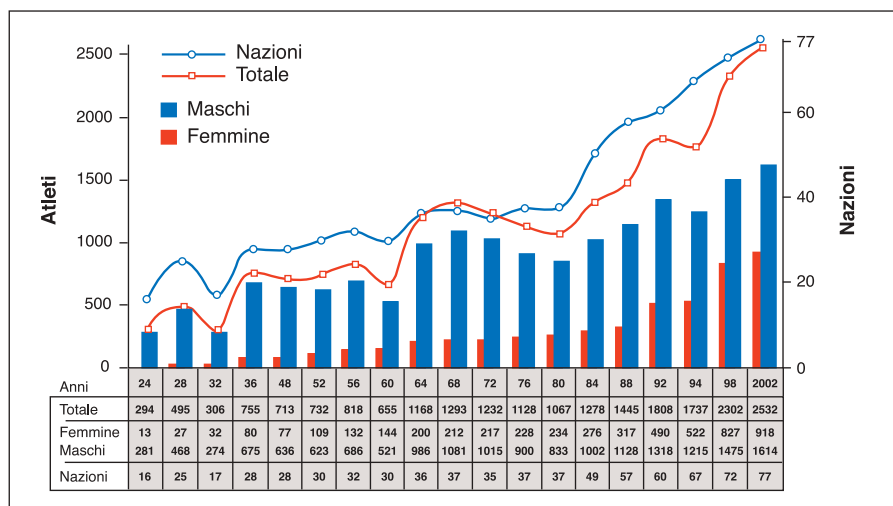


Figura 2 – Sviluppo del numero degli atleti, delle atlete e delle nazioni partecipanti ai Giochi olimpici invernali, da quelli di Chamonix del 1924 a quelli di Salt Lake City 2002

**Tabella 1 – Numero, somma delle medaglie e dei piazzamenti delle prime quindici nazioni (totale). Nella tabella vengono riportati, in totale, il numero e la somma delle medaglie e dei piazzamenti (dal 1° al 15°), delle prime quindici Nazioni dei Giochi olimpici invernali di Salt Lake City. Successivamente, nelle tabelle 2, 3, seguono gli stessi dati, divisi tra donne e uomini, mentre nella tabella 4 vengono riportati i dati per le gare miste**

| Totale |            | Numero dei piazzamenti in finale |          |          |          |          |          |          |          |          |          | Somma dei piazzamenti |           |           |
|--------|------------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| Cl.    | Nazione    | Oro                              | Argento  | Bronzo   | 4°       | 5°       | 6°       | 7°       | 8°       | 9°       | 10°      | 1-3°                  | 4-10°     | 1-10°     |
| 1°     | GER        | 12                               | 16       | 7        | 10       | 8        | 9        | 6        | 4        | 4        | 4        | 35                    | 45        | 80        |
| 2°     | NOR        | 11                               | 7        | 6        | 7        | 4        | 6        | 4        | 8        | 3        | 4        | 24                    | 36        | 60        |
| 3°     | USA        | 10                               | 13       | 11       | 9        | 11       | 9        | 8        | 4        | 7        | 1        | 34                    | 49        | 83        |
| 4°     | RUS        | 6                                | 6        | 4        | 7        | 6        | 10       | 8        | 6        | 5        | 8        | 16                    | 50        | 66        |
| 5°     | CAN        | 6                                | 3        | 8        | 7        | 4        | 6        | 4        | 8        | 5        | 7        | 17                    | 41        | 58        |
| 6°     | FRA        | 4                                | 5        | 2        | 1        | 4        | 3        | 3        | 2        | 4        | 8        | 11                    | 25        | 36        |
| 7°     | <b>ITA</b> | <b>4</b>                         | <b>4</b> | <b>4</b> | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>2</b> | <b>8</b> | <b>5</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>12</b>             | <b>33</b> | <b>45</b> |
| 8°     | FIN        | 4                                | 2        | 1        | 3        | 5        | 1        | 3        | 4        | 3        | 2        | 7                     | 21        | 28        |
| 9°     | OLA        | 3                                | 5        | -        | 3        | 3        | 2        | 3        | 3        | 2        | 2        | 8                     | 18        | 26        |
| 10°    | SVI        | 3                                | 2        | 6        | 3        | 3        | 4        | 3        | 3        | 4        | 5        | 11                    | 25        | 36        |
| 11°    | CRO        | 3                                | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | 4                     | 1         | 5         |
| 12°    | AUT        | 2                                | 4        | 11       | 10       | 7        | 7        | 5        | 4        | 3        | 5        | 17                    | 41        | 58        |
| 13°    | CHN        | 2                                | 2        | 4        | 2        | 1        | -        | 2        | 1        | 2        | 2        | 8                     | 10        | 18        |
| 14°    | COR        | 2                                | 2        | -        | 1        | 2        | 2        | 1        | 4        | 1        | -        | 4                     | 11        | 15        |
| 15°    | AUS        | 2                                | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | 1        | 1        | 2        | 2                     | 5         | 7         |

**Tabella 2 – Numero, somma delle medaglie e dei piazzamenti delle prime quindici nazioni (donne)**

| Totale |            | Numero dei piazzamenti in finale |          |          |          |          |          |          |          |          |          | Somma dei piazzamenti |           |           |
|--------|------------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| Cl.    | Nazione    | Oro                              | Argento  | Bronzo   | 4°       | 5°       | 6°       | 7°       | 8°       | 9°       | 10°      | 1-3°                  | 4-10°     | 1-10°     |
| 1°     | GER        | 8                                | 8        | 4        | 4        | 5        | 6        | 3        | 2        | 1        | 2        | 20                    | 23        | 43        |
| 2°     | USA        | 5                                | 3        | 3        | 2        | 6        | 2        | 3        | 3        | 1        | 1        | 11                    | 18        | 29        |
| 3°     | RUS        | 3                                | 4        | 2        | 4        | 3        | 4        | 5        | 3        | 3        | 5        | 9                     | 27        | 36        |
| 4°     | <b>ITA</b> | <b>3</b>                         | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>5</b> | <b>7</b>              | <b>16</b> | <b>23</b> |
| 5°     | CRO        | 3                                | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 4                     | -         | 4         |
| 6°     | NOR        | 2                                | 3        | 2        | 4        | -        | 1        | 1        | 3        | -        | 1        | 7                     | 10        | 17        |
| 7°     | FRA        | 2                                | 3        | -        | -        | 1        | 1        | 3        | 1        | 3        | 1        | 5                     | 10        | 15        |
| 8°     | COR        | 2                                | 2        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | 1        | -        | 4                     | 3         | 7         |
| 9°     | CAN        | 2                                | 1        | 6        | 5        | 2        | 4        | 2        | 5        | 3        | 5        | 9                     | 26        | 35        |
| 10°    | CHN        | 2                                | 1        | 2        | 1        | 1        | -        | 1        | -        | -        | -        | 5                     | 3         | 8         |
| 11°    | GBR        | 1                                | -1       | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | 2                     | 2         | 4         |
| 12°    | AUS        | 1                                | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 1        | 1        | -        | 1                     | 2         | 3         |
| 13°    | OLA        | -                                | 2        | -        | 2        | 1        | 1        | 2        | 2        | -        | 1        | 2                     | 9         | 11        |
| 14°    | SVE        | -                                | 1        | 4        | 1        | -        | 2        | 1        | -        | 1        | 1        | 5                     | 6         | 11        |
| 15°    | SVI        | -                                | 1        | 3        | 2        | 2        | -        | 1        | 1        | 1        | 1        | 4                     | 8         | 12        |

**Tabella 3 – Numero delle medaglie e dei piazzamenti delle prime quindici nazioni (uomini)**

| Totale |            | Numero dei piazzamenti in finale |          |          |          |          |          |          |          |          |          | Somma dei piazzamenti |           |           |
|--------|------------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| Cl.    | Nazione    | Oro                              | Argento  | Bronzo   | 4°       | 5°       | 6°       | 7°       | 8°       | 9°       | 10°      | 1-3°                  | 4-10°     | 1-10°     |
| 1°     | NOR        | 9                                | 4        | 4        | 3        | 4        | 5        | 3        | 5        | 3        | 3        | 17                    | 26        | 43        |
| 2°     | USA        | 5                                | 10       | 8        | 7        | 4        | 7        | 5        | 1        | 6        | -        | 23                    | 30        | 53        |
| 3°     | GER        | 4                                | 8        | 3        | 6        | 3        | 3        | 3        | 1        | 3        | 2        | 15                    | 21        | 36        |
| 4°     | FIN        | 4                                | 2        | 1        | 2        | 4        | 1        | 2        | 3        | 1        | 2        | 7                     | 15        | 22        |
| 5°     | OLA        | 3                                | 3        | -        | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 6                     | 9         | 15        |
| 6°     | CAN        | 3                                | 2        | 2        | 1        | 2        | 2        | 2        | 3        | 2        | 1        | 7                     | 13        | 20        |
| 7°     | SVI        | 3                                | 1        | 3        | 1        | 1        | 4        | 2        | 3        | 3        | 4        | 7                     | 17        | 24        |
| 8°     | AUT        | 2                                | 3        | 10       | 7        | 4        | 5        | 3        | -        | 1        | 4        | 15                    | 27        | 42        |
| 9°     | RUS        | 2                                | 1        | 2        | 2        | 3        | 5        | 3        | 5        | 2        | 2        | 5                     | 20        | 25        |
| 10°    | ESP        | 2                                | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 2                     | -         | 2         |
| 11°    | FRA        | 1                                | 2        | 2        | 1        | 3        | 2        | -        | 1        | 1        | 7        | 5                     | 15        | 20        |
| 12°    | <b>ITA</b> | <b>1</b>                         | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>5</b> | <b>3</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>4</b>              | <b>17</b> | <b>21</b> |
| 13°    | EST        | 1                                | 1        | 1        | -        | -        | -        | -        | -        | 2        | -        | 3                     | 2         | 5         |
| 14°    | CEC        | 1                                | -        | -        | -        | 2        | -        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1                     | 8         | 9         |
| 15°    | AUS        | 1                                | -        | -        | -        | -        | 1        | -        | -        | -        | 2        | 1                     | 3         | 4         |

**Tabella 4 – Numero delle medaglie e dei piazzamenti (dal 1° al 10°) delle prime tredici nazioni (gare miste, pattinaggio di figura: coppie e danza)**

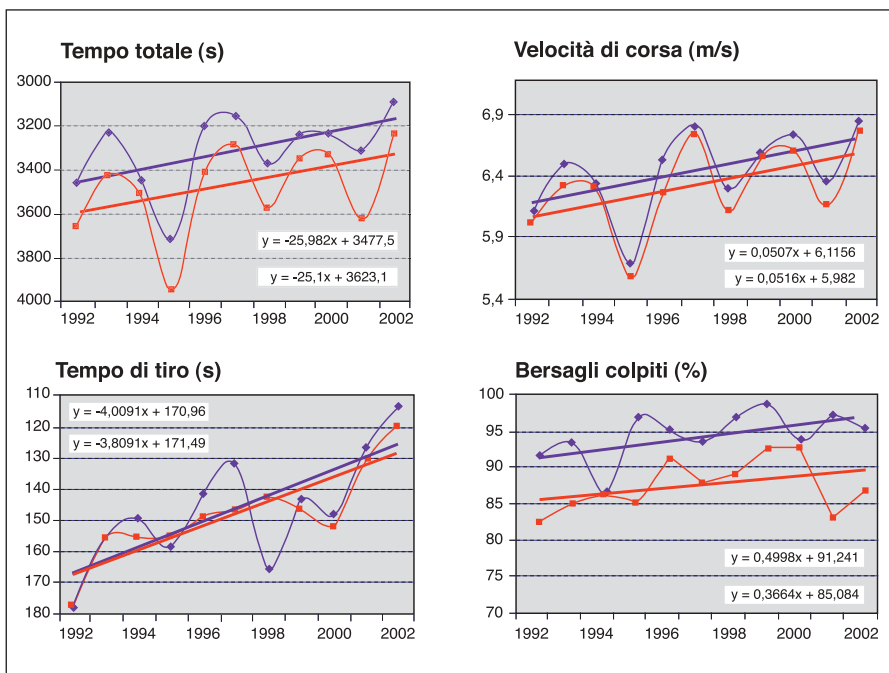
| Totale |         | Numero dei piazzamenti in finale |         |        |    |    |    |    |    |    |     | Somma dei piazzamenti |       |       |
|--------|---------|----------------------------------|---------|--------|----|----|----|----|----|----|-----|-----------------------|-------|-------|
| Cl.    | Nazione | Oro                              | Argento | Bronzo | 4° | 5° | 6° | 7° | 8° | 9° | 10° | 1-3°                  | 4-10° | 1-10° |
| 1°     | RUS     | 1                                | 1       | -      | 1  | -  | 1  | -  | -  | -  | 1   | 2                     | 3     | 5     |
| 2°     | CAN     | 1                                | -       | -      | 1  | -  | -  | -  | -  | -  | 1   | 1                     | 2     | 3     |
| 3°     | FRA     | 1                                | -       | -      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | 1                     | -     | -     |
| 4°     | CHN     | -                                | -       | 1      | -  | -  | -  | -  | -  | 1  | -   | 1                     | 1     | 2     |
| 5°     | ITA     | -                                | -       | 1      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | 1                     | -     | -     |
| 6°     | LTU     | -                                | -       | -      | -  | 1  | -  | -  | -  | -  | -   | -                     | 1     | 1     |
| 7°     | USA     | -                                | -       | -      | -  | 1  | -  | -  | -  | -  | -   | -                     | 1     | 1     |
| 8°     | ISR     | -                                | -       | -      | -  | -  | 1  | -  | -  | -  | -   | -                     | 1     | 1     |
| 9°     | BUL     | -                                | -       | -      | -  | -  | -  | 1  | -  | -  | -   | -                     | 1     | 1     |
| 10°    | POL     | -                                | -       | -      | -  | -  | -  | 1  | -  | -  | -   | -                     | 1     | 1     |
| 11°    | CEC     | -                                | -       | -      | -  | -  | -  | -  | 1  | -  | -   | -                     | 1     | 1     |
| 12°    | GER     | -                                | -       | -      | -  | -  | -  | -  | 1  | -  | -   | -                     | 1     | 1     |
| 13°    | UKR     | -                                | -       | -      | -  | -  | -  | -  | -  | 1  | -   | -                     | 1     | 1     |
| Totale |         | 3                                | 1       | 2      | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 6                     | 14    | 20    |

pare a questo grande avvenimento. Nelle tabelle 1, 2, 3, 4 viene fornito un riepilogo generale e distinto per atleti, atlete e gare miste, del numero delle medaglie e della somma dei piazzamenti in finale delle prime quindici Nazioni.

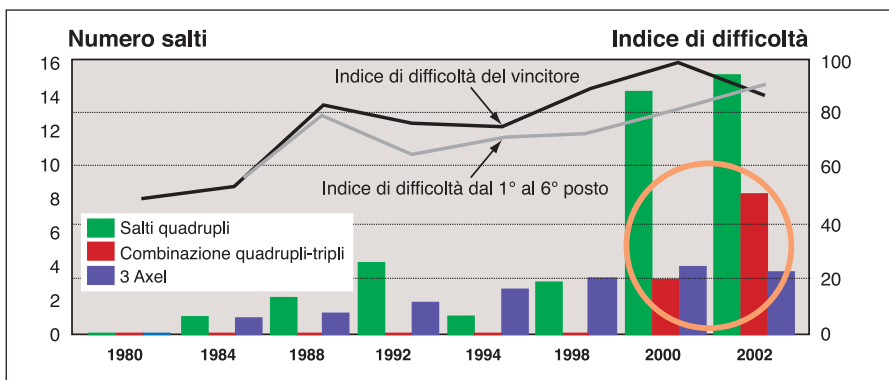
**2. Tendenze internazionali di sviluppo delle prestazioni di gara e dei sistemi di preparazione ed allenamento**

**Lo sviluppo del livello dei risultati**

La prima constatazione che occorre fare analizzando i risultati di Salt Lake City 2000 è che, in campo internazionale, il livello dei risultati continua ad aumentare. Ad esempio, anche nei Giochi olimpici di Salt Lake City, si è confermato il trend, quasi lineare, di sviluppo dei risultati nella maggior parte degli sport di resistenza, che dura ormai da alcuni anni. Inoltre, debbono essere ricordati sia lo sviluppo, quasi repentino, dei risultati nel pattinaggio di velocità - dovuto ai nuovi attrezzi di gara ed agli opportuni adattamenti della tecnica, alle condizioni specifiche del ghiaccio ed alla posizione in altitudine di Salt Lake City - espresso da otto nuovi record mondiali, come anche l'entrata in nuove zone di velocità dello sci di fondo, dovuta all'introduzione delle gare di sprint. Tutto ciò sottolinea, ancora una volta, che non si possono prevedere quali saranno i limiti delle prestazioni nei vari sport. Come messo in particolare evidenza dall'esempio dello sviluppo delle prestazioni nel biathlon, dove si è assistito ad un miglioramento sia della prestazione globale, sia di quelle parziali (velocità di corsa, tempo impiegato nel tiro, numero di bersagli colpiti, figura 3).



**Figura 3 – Le tendenze di sviluppo nel biathlon . Linea blu = dal 1° al 3° posto; linea rossa = atleti tedeschi**



**Figura 4 – Pattinaggio di figura uomini: sviluppo delle difficoltà e della densità dei risultati**

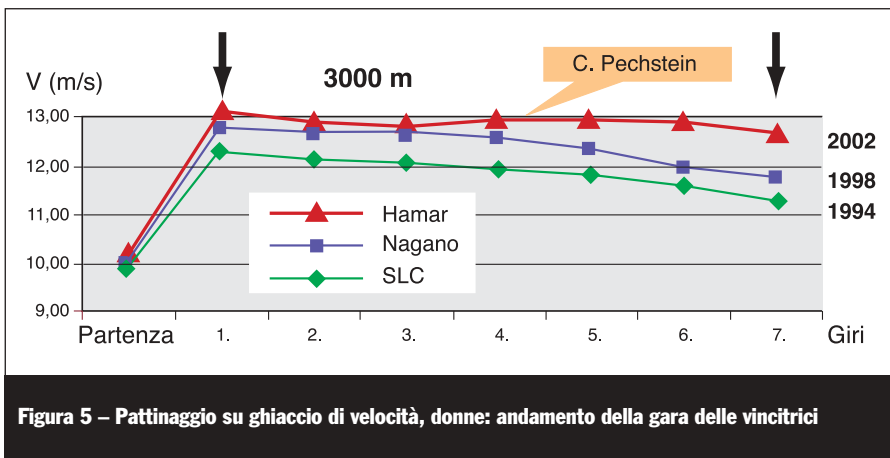


Figura 5 – Pattinaggio su ghiaccio di velocità, donne: andamento della gara delle vincitrici

Anche nelle discipline sportive dove predominano la forza e la tecnica si può affermare che vi sia stato un incremento delle prestazioni. Nel salto con gli sci, le analisi, realizzate a livello internazionale, sia nel settore *seniores*, sia in quello *juniores*, permettono di provare che si rilevano sviluppi sia nella velocità di stacco, sia nei processi di movimento nella fase di passaggio allo stacco, più favorevoli dal punto di vista aerodinamico. Nel pattinaggio di figura, un criterio per misurare la prestazione è rappresentato dallo sviluppo dell'indice di difficoltà. Un parametro nel quale si possono riscontrare notevoli evoluzioni, sia nei pattinatori che nelle pattinatrici. Tali evoluzioni riguardano sia la difficoltà dei salti, sia la stabilità dell'esecuzione in gara. Se si analizzano le prestazioni va messo in evidenza che, per quanto riguarda i pattinatori, il numero dei salti quadrupli e delle combinazioni quadrupli/tripli è quasi raddoppiato rispetto al 1998 (figura 4). La seconda constatazione è il notevole aumento della concorrenza che si riscontra in quasi tutti gli sport invernali. La lotta per la vittoria e per le medaglie è diventata più serrata. Di conseguenza, la preparazione è diventata sempre più complessa ed impegnativa, sotto tutti i punti di vista. Perciò, nei Giochi olimpici inver-

nali (come del resto in quelli estivi), è impossibile ottenere successo senza una preparazione globale a livello professionale ed una preparazione immediata alla gara molto efficace.

#### Le caratteristiche strutturali che determinano lo sviluppo delle prestazioni

Come si era già potuto constatare nell'ultimo ciclo olimpico, a livello mondiale lo sviluppo del prestazioni di vertice è determinato, soprattutto, da alcune caratteristiche, che, ad esempio negli *sport di resistenza*, sono:

- l'aumento della forza di spinta in ogni ciclo di movimento, che, in parte, è accompagnato da un aumento nella frequenza dei movimenti;
- la maggiore stabilità e variabilità del rendimento dei movimenti su tutta la distanza di gara, anche in condizioni di affaticamento;
- un *range* di regolazione della frequenza dei movimenti che tiene conto dell'andamento della gara e che viene sfruttato al massimo nei tratti iniziali, nelle accelerazioni durante la gara e nei finali (figura 5).

L'esempio dello sci di fondo, che rappresenta la specialità fondamentale anche per il biathlon e per la combinata nordica, permette di porre in risalto alcuni aspetti nuovi, che riguardano la struttura della prestazione e le relative conseguenze per la metodologia dell'allenamento:

- se si tiene conto dei cambiamenti che vi sono stati nella struttura delle gare dovuti all'introduzione della partenza in gruppo, delle gare ad inseguimento e delle gare di sprint, che pongono richieste molto elevate dal punto di vista tecnico-motorio e tattico, dovute al contatto diretto con l'avversario, nel settore dell'alto livello sarà necessario un sempre maggiore livello di specializzazione, che, come è naturale, si rifletterà anche in programmi diversi di allenamento.
- Negli atleti che si trovano ai vertici mondiali, oltre ad un ulteriore sviluppo di un'elevata velocità specifica sulla distanza, si rileva anche un incremento della capacità di realizzare notevoli aumenti di ritmo rispetto alla velocità media, nelle partenze, nelle fasi intermedie e nelle fasi finali della gara. Se ne ricava che i contenuti dell'allenamento dovranno tenere conto sia della necessità di essere in grado di cambiare velocità, sia delle elevate richieste tecniche implicate in questa necessità.
- Per quanto riguarda la tecnica sull'intera distanza di gara, si possono rilevare tendenze ad un aumento della frequenza dei movimenti. Ciò presuppone che, nelle strutture dell'allenamento, lo sviluppo della resistenza vada di pari passo con notevoli componenti di velocità dei movimenti (cfr. figura 6).
- Le analisi delle gare confermano che, se si vogliono ottenere prestazioni vincenti nello sci di fondo, il rendimento in salita continua a svolgere una funzione fondamentale. L'aumento sia della qualità che della quantità delle salite nell'intera distanza di gara (oltre il 50% del tempo di gara viene impiegato nel loro supera-

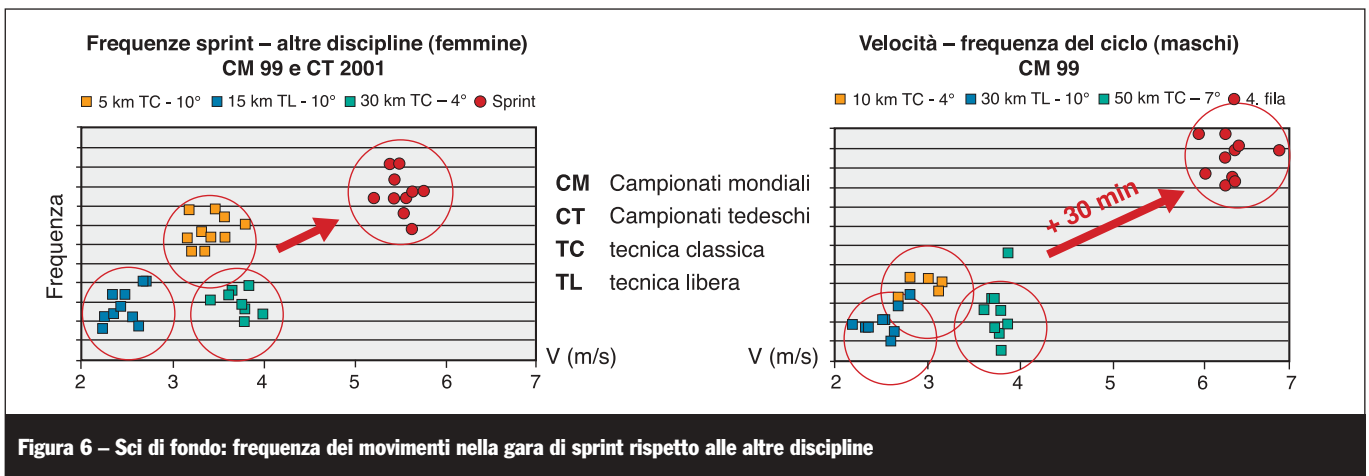


Figura 6 – Sci di fondo: frequenza dei movimenti nella gara di sprint rispetto alle altre discipline

mento) significa che si devono garantire:

- un maggiore rendimento della spinta in ogni ciclo di movimento, grazie ad un'impostazione potente del movimento delle braccia e delle gambe;
- la massima variabilità della tecnica, della frequenza dei passi e della lunghezza del ciclo di movimento.

Sempre i risultati dell'analisi delle gare mostrano chiaramente la posizione elevata che assumono le capacità di resistenza di base e di resistenza alla forza. Perciò, l'aumento dell'efficacia dell'allenamento della resistenza alla forza, diventa il problema principale della metodologia dell'allenamento.

Come era già stato evidente nei precedenti Giochi olimpici invernali, anche lo sviluppo di prestazioni di livello mondiale nelle discipline *tecniche* è determinato da una serie di caratteristiche:

- nel salto con gli sci, negli ultimi decenni, la struttura delle prestazioni si è modificata, soprattutto, grazie ai cambiamenti nella tecnica, nelle regole e nell'adattamento del materiale di gara.

L'ultimo ciclo olimpico è stato particolarmente caratterizzato dallo sviluppo della velocità di stacco e della tecnica dei movimenti. L'ulteriore sviluppo della tecnica si esprime in processi di movimento più efficaci dal punto di vista aerodinamico, con una limitazione dell'impegno della parte superiore del corpo nella fase di passaggio allo stacco. Questi processi motori sono stati stabilizzati insieme ad una crescente velocità di stacco.

- Nel pattinaggio di figura, in primo piano troviamo, da un lato, l'aumento delle difficoltà tecniche e, dall'altro, la stabilizzazione di sequenze di salti con difficoltà massime, anche in condizioni di affaticamento. Perciò, oltre allo sviluppo dei presupposti tecnici e di forza che permettono di eseguire queste sequenze, aumenta l'importanza della resistenza. Altre caratteristiche strutturali decisive della prestazione di alto livello sono uno spiccato spirito agonistico ed un'elevata disponibilità ad assumere rischi.

**Una causa dell'incremento dei risultati: l'efficacia dei sistemi di allenamento**

Se si analizza l'allenamento degli atleti internazionali di maggior successo, si può dimostrare che l'elemento chiave che ha determinato il miglioramento delle loro prestazioni è rappresentato dall'efficacia dell'allenamento, diretta ad un migliore sfruttamento delle riserve individuali di adattamento, i cui contenuti possono essere così caratterizzati:

- impegno nell'incremento di un livello specifico delle capacità di resistenza di

base, resistenza alla forza, resistenza alla rapidità ed alla forza rapida;

- garanzia che, all'inizio del periodo di gara e della preparazione immediata alla gara principale, vi sia un livello elevato di formazione della capacità specifiche (resistenza di base, resistenza alla forza, ecc.);

- utilizzazione mirata della doppia funzione svolta dalle gare e dall'allenamento tra le gare;

- maggiore dinamismo del carico di allenamento, unito ad una rigenerazione efficace;

- miglioramento dell'allenamento in altitudine e completo sfruttamento delle possibilità che offre;

- rinnovamento periodico della capacità globale di carico di tutto l'organismo.

Prima dei Giochi di Salt Lake City, in tutti i Paesi guida dello sport mondiale, è stata dedicata grande attenzione ai problemi dell'altitudine, mettendo a punto i relativi programmi di ricerca e di assistenza scientifica.

Per cui sono notevolmente aumentate le conoscenze sull'allenamento in altitudine e sulla sua collocazione nella preparazione immediata alla gara.

**I progressi delle tecnologie e dell'organizzazione della prestazione di gara**

Attualmente, è impossibile pensare ad uno sviluppo delle prestazioni di vertice senza un livello tecnologicamente elevato nell'utilizzazione degli attrezzi, degli impianti, delle attrezzature e dell'abbigliamento di gara. Se si vogliono sfruttare efficacemente questi fattori, per ottenere prestazioni superiori agli altri, è d'importanza fondamentale o essere all'avanguardia dal punto di vista tecnologico, od essere in grado di cambiare rapidamente ed adattarsi alle evoluzioni che si manifestano a livello internazionale.

Anche il sostegno agli atleti ed alle squadre durante le gare, per il quale si ricorre ad *équipes* numerose di specialisti che collaborano tra loro, ricorrendo ai più moderni sistemi di oggettivazione ed ai più moderni metodi di preparazione, è diventato un elemento standard.

Le novità possono essere classificate in novità che riguardano i materiali di gara, la tecnica sportiva ed i regolamenti o le forme di gara. Oltre alle novità nei materiali nello sci di fondo, nel biathlon e nella combinata nordica, deve essere citato il pattinaggio di velocità con lo sviluppo e l'evoluzione dei pattini con lame mobili. Per quanto riguarda le gare, deve essere citata la notevole evoluzione dei contenuti delle gare che vi è stata nello sci di fondo,

mentre non è stata ancora realizzata una riforma dei sistemi di gara nel pattinaggio su ghiaccio di velocità.

**La professionalizzazione del sistema di preparazione**

Gli atleti e le atlete che ottengono prestazioni di livello mondiale, o si preparano a raggiungerle, rappresentano una tipologia di partecipanti alle gare che presenta esigenze elevate, che fanno valere sia in allenamento sia in competizione. Sono professionisti in senso lato che, in questo modo, si garantiscono tutte le condizioni necessarie per allenarsi efficacemente, comprese condizioni esterne di allenamento stabili per tutto l'anno.

Tutto ciò garantisce un allenamento qualitativamente elevato ed una organizzazione delle gare orientata sul risultato. Essi si battono per un allenamento di livello elevato e per i migliori risultati possibili nelle gare.

*Solo atleti ed atlete che si allenano e vivono come professionisti sono anche in grado di realizzare nuovi criteri nel carico e nella strutturazione dell'allenamento.*

**L'influenza della commercializzazione**

L'evoluzione dei risultati a livello internazionale, soprattutto negli sport più interessanti per i *mass media*, è sempre più costantemente influenzata e portata a nuove dimensioni, da una commercializzazione ed una professionalizzazione crescenti. Le grandi possibilità di guadagno e di promozione sociale, legate alle vittorie, alle medaglie, ai record ed alle grandi prestazioni, rappresentano uno stimolo molto potente a raggiungere grandi risultati, soprattutto per gli atleti e le atlete dei Paesi dell'Europa orientale.

Ma così aumentano anche l'agonismo e la disponibilità a rischiare, a superare i limiti attuali del carico, sia in allenamento sia in gara. Questa disponibilità a rischiare riguarda anche il settore degli arbitri e delle giurie.

**La lotta al doping**

L'incremento, talvolta enorme, dei risultati ottenuti dagli atleti e dalle atlete si realizza sullo sfondo di un'utilizzazione del doping e di controlli anti-doping che presentano un'efficacia molto diversa. Soprattutto per quanto riguarda i metodi di controllo che vengono applicati per stabilire l'uso di EPO negli sport di resistenza. Perciò, la quantità e la qualità delle misure che vengono messe in atto per combattere

il doping, che riguardano il numero degli atleti coinvolti nei controlli, la quantità ed il momento dei controlli durante l'anno, soprattutto i controlli a sorpresa, diventano un fattore importante per garantire pari opportunità agli atleti ed alle atlete che partecipano alle gare olimpiche.

Nei Giochi olimpici di Salt Lake City sono stati ottenuti alcuni primi successi. Prima di tutto, una diminuzione della certezza di non essere trovati positivi, come è stato provato da alcune rinunce spontanee a partecipare alle gare e, soprattutto, la squalifica di una serie di atlete e di atleti, che hanno permesso che, specie nello sci di fondo, si ottenesse un quadro più credibile dei valori esistenti. Comunque, per quanto riguarda la parità di opportunità, anche in futuro questa sarà impossibile, in quanto sul mercato appaiono continuamente nuove sostanze dopanti.

### L'assistenza scientifica all'allenamento

Se si analizzano i sistemi di preparazione delle Nazioni che hanno ottenuto i maggiori successi si può affermare che, rispetto al 1998, vi è stato un incremento sia della ricerca scientifica sull'allenamento, sia dell'assistenza scientifica ad esso. Per questi scopi, nella maggior parte dei Paesi, sono stati istituiti, ulteriormente sviluppati ed utilizzati, Istituti centrali di ricerca e si tende a creare sinergie tra più sport o gruppi di sport.

Queste sono le direzioni principali verso le quali lavorano questi Istituti;

- prestazioni di carattere scientifico al servizio del miglioramento dei risultati sportivi di alto livello;
- attività di insegnamento e formazione, attraverso la trasmissione di conoscenze scientifiche a responsabili federali, allenatori, atleti;
- un proprio lavoro di ricerca scientifica.

Il modello di una ricerca specifica, finalizzata e concentrata sullo sport di alto livello, dell'*Australian Institute of sport (AIS)* viene considerato un esempio anche da altri Paesi. Malgrado il sostegno scientifico e tecnologico, fornito nei campi più diversi, nelle Nazioni ai vertici negli sport invernali, viene continuamente sottolineato che il presupposto decisivo di ogni successo resta un allenamento regolare e di valore qualitativamente elevato, come affermato più volte da Angela Smith, un'alta dirigente dello sport statunitense, secondo la quale: "alla base di ogni miglioramento delle prestazioni ci sono un *coaching* ed un allenamento di qualità elevata". Dal canto suo, il norvegese Saetersdal, responsabile per la scienza dell'allenamento dell'*Olympiatoppen*, l'organo centrale di controllo per la promozione dello sport di

alto livello della Norvegia, afferma che: "ciò che decide se sei o no un grande sciatore di fondo non è una camera ipobarica...ma quanto ti alleni e se ti alleni bene..." ed aggiunge: "nel nostro Paese esiste la tendenza, a smettere di considerare importante ciò che invece resta più importante. Si dimentica che alla base di ogni successo sportivo troviamo un solido allenamento."

Nella loro preparazione ai Giochi di Salt Lake, gli Stati Uniti hanno realizzato una serie di misure al cui centro erano:

- lo scambio di informazioni tra gli allenatori sulle condizioni particolari della località nella quale si svolgevano i Giochi, comprese le possibilità di sfruttamento del vantaggio di gareggiare in casa;
- misure per l'impostazione dell'allenamento in altitudine;
- misure per l'organizzazione della prestazione di gara.

Anche in Giappone sono stati compiuti sforzi in questa direzione. Così nel 2001 sono stati definiti i compiti dell'*Istituto giapponese di scienza dello sport*, dal quale ci si aspetta un contributo efficace all'aumento delle prestazioni dello sport giapponese, che, già a medio termine, si dovrebbe esprimere, in un numero maggiore di medaglie e piazzamenti di eccellenza.

Nella prospettiva dei Giochi olimpici invernali di Torino del 2006, gli Stati Uniti hanno già formulato il loro obiettivo: superare tutti gli altri Paesi nel numero di medaglie.

Tutti questi esempi dimostrano che ogni tentativo di cercare di restare tra le prime Nazioni al mondo e di mantenersi all'avanguardia nell'assistenza scientifica, sia allo sport giovanile sia allo sport di alto livello, deve affrontare una grande concorrenza internazionale ed è difficile conservare qualsiasi posizione di vertice raggiunta.

### 3. Tendenze di sviluppo nazionale e cause principali dei progressi nelle prestazioni

Se si esamina dettagliatamente lo sviluppo delle prestazioni e l'allenamento di degli atleti di quegli sport che hanno migliorato i loro risultati si possono individuare queste cause:

1. atleti ed allenatori hanno seguito criteri di allenamento e di prestazione diretti a raggiungere i vertici mondiali;
2. sono stati realizzati e perfezionati piani di allenamento molto efficaci, nei quali l'utilizzazione di carichi elevati è stata accompagnata da adeguate misure di rigenerazione;

3. il processo di allenamento è stato realizzato da allenatori che lavorano da molti anni e con lunga esperienza nel campo dello sport di alto livello;

4. si è riusciti ad inserire, con continuità, nuove forze nel settore dell'alto livello;

5. vi è stata la capacità di individuare, immediatamente, quali sono le tendenze di sviluppo a livello internazionale e di integrarle nelle strutture dell'allenamento;

6. si è riusciti a sintonizzare periodizzazione, applicazione dei principi dell'allenamento e sistema di gara;

7. sono stati applicati piani di allenamento nei quali si è riusciti ad integrare allenamento svolto nella normale località di residenza e d'allenamento degli atleti e raduni di allenamento. Inoltre, si è riusciti a stabilire una collaborazione fruttuosa tra allenatore personale dell'atleta ed allenatori federali;

8. è stato realizzato un adeguato controllo dell'allenamento, sulla base di un sistema di collaborazione allenatore-consulenti;

9. è stato creato un sistema nazionale di gare, volutamente diretto a preparare la gara principale dell'anno e sempre sintonizzato con le gare che interessano individualmente l'atleta;

10. uno stile di vita da atleta che vuole ottenere risultati di alto livello.

Se invece si analizza dettagliatamente l'andamento delle prestazioni di quegli atleti e di quelle atlete che non sono riusciti a superare momenti di ristagno, o di peggioramento delle loro prestazioni, si possono mettere in evidenza fenomeni di una graduale diminuzione dei criteri di allenamento e di gara; strutture di allenamento scarsamente orientate a raggiungere grandi risultati; mancato rispetto di alcuni principi dell'allenamento ed una organizzazione scarsamente professionale dell'allenamento e dell'ambiente in cui veniva realizzato.

Dall'elenco delle cause che hanno permesso che fosse raggiunta una elevata capacità di prestazione negli sport invernali, vanno enucleati tre aspetti principali che discuteremo, rapportandoli con i dati di analisi specifiche dei risultati, considerandoli come riserve di prestazione.

### Aumento dell'efficacia dell'allenamento

Attraverso alcuni esempi, illustreremo come lo sviluppo positivo delle capacità di prestazione e dei risultati, sia stato prodotto da un incremento pluriennale del carico nei settori principali dell'allenamento.

Negli ultimi quarant'anni, un tema costante nelle discussioni sulla metodologia dell'allenamento degli sport di resistenza, è stato rappresentato dall'impostazione del volume e dell'intensità del carico, soprat-



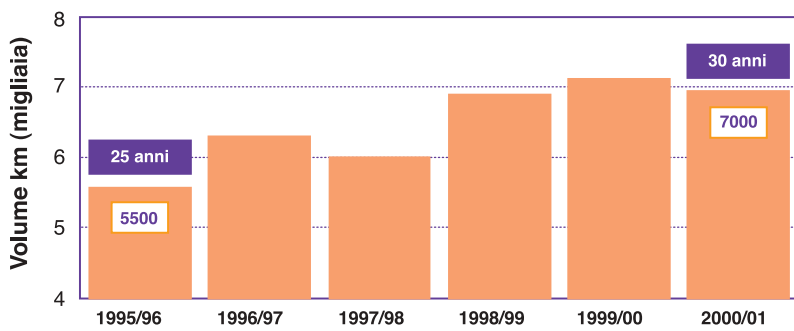


Figura 7 – Sviluppo del volume di allenamento di un biatleta di altissimo livello

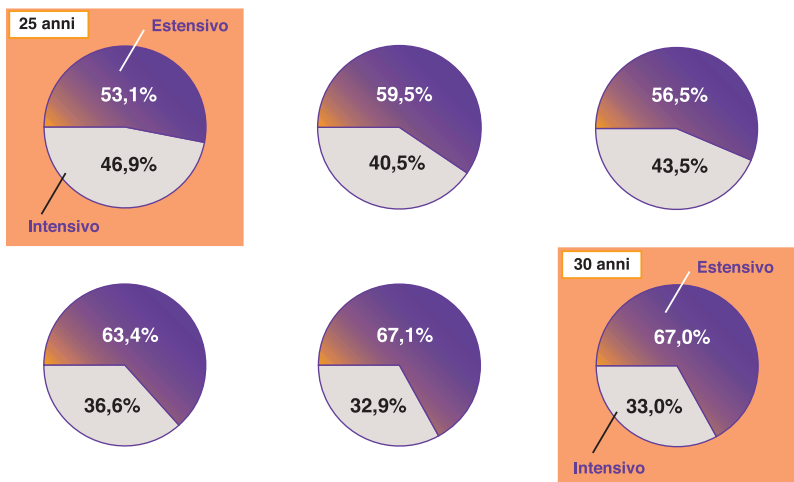


Figura 8 – Distribuzione dell'intensità di allenamento di un biatleta di altissimo livello nella costruzione pluriennale della prestazione

allenamento di un atleta di alto livello del biathlon, vengono illustrati quali siano stati gli sviluppi nel volume e nei settori di allenamento, nei quali si possono rilevare, molto concretamente, quali sono i rapporti tra volume ed intensità del carico. Questi dati sull'analisi dell'allenamento rappresentano presupposti importanti per la presa di decisioni sull'ulteriore incremento degli stimoli/carichi di allenamento e lo sfruttamento delle riserve di prestazione.

#### L'esempio dello sci di fondo

Le analisi delle competizioni dello sci di fondo dimostrano, chiaramente, che i principali fattori che provocano incrementi nelle prestazioni sono rappresentati da notevoli aumenti del livello della resistenza aerobica ed anaerobica, che sono alla base di una maggiore severità dei ritmi in gara. Le ricerche svolte nello sci di fondo (sugli atleti e le atlete tedesche, *ndt*) dimostrano che molti sciatori e sciatrici di fondo, negli ultimi anni, hanno svolto dall'80 al 90% del loro allenamento di "corsa" nella zona della resistenza di base e nella zona del carico di compensazione, con scarse variazioni del livello di velocità. Inoltre, si partiva dall'ipotesi che con un volume di allenamento del 20-30% inferiore, ma con un miglioramento della qualità dell'allenamento stesso, si potesse ottenere, comunque, un buon incremento delle prestazioni di livello mondiale. Per cui, spesso, è stata realizzata una diminuzione del volume d'allenamento, però senza che la maggioranza degli atleti riuscisse a realizzare l'auspicato aumento della qualità. Nell'anno pre-olimpico e nell'anno olimpico sia gli sciatori che le sciatrici di fondo tedeschi sono riusciti ad aumentare, più che nel passato, la velocità di sciata nell'allenamento della  $Rb_1$  (allenamento della capacità aerobica) e la percentuale di alle-

tutto se si assume che ormai siano stati raggiunti i limiti (ipotetici) del volume del carico (anche se va tenuto conto che i limiti vanno sempre riferiti, individualmente, al singolo atleta od alla singola atleta). Però, si deve anche affermare che la moderna metodologia dell'allenamento non conosce volume ed intensità del carico a sé stanti: infatti, queste importanti componenti del carico sono sempre strettamente collegate con contenuti e settori concreti di allenamento, con le loro proporzioni e con i relativi programmi di allenamento.

Che, a loro volta, si riferiscono sempre ad una determinata disciplina di gara (ad una determinata gamma di competizioni) e ad un atleta ben definito.

Ciò vuole dire che, tenuto conto delle potenzialità individuali di sviluppo e degli obiettivi di risultato che si vogliono raggiungere, è sempre la struttura della prestazione di ciascuno sport che determina quale sia il profilo delle capacità che producono la prestazione stessa e, di conseguenza, la direzione che debbono prendere gli obiettivi dell'allenamento.

#### L'esempio del biathlon

La pianificazione e l'analisi moderne dell'allenamento sono inconcepibili senza un chiaro riferimento alle capacità (settori di allenamento).

Nelle figure 7 ed 8, attraverso l'esempio del confronto pluriennale dei carichi di

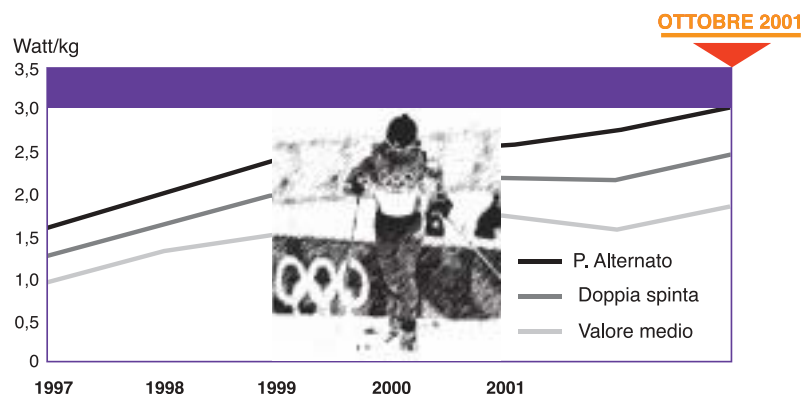


Figura 9 – Sviluppo della resistenza alla forza degli arti superiori di una campionessa olimpica nello sci di fondo nel ciclo olimpico dal 1998 al 2002

namento della  $Rb_2$  (allenamento della potenza aerobica - settore nel quale vi sono ancora riserve) ed a tenere in maggior conto il fattore "opposizione al movimento" in tutto l'allenamento. Ciò ha portato anche all'aumento della capacità di resistenza alla forza degli arti superiori (figura 9).

Un'azione positiva è stata svolta anche dalla realizzazione di maggiori velocità da raggiungere in allenamento, cominciata grazie all'introduzione della nuova disciplina dello sprint. Tutto ciò sottolinea la necessità che, anche in futuro, si intervenga sull'aumento dell'efficacia dell'allenamento della resistenza di base e della resistenza alla forza.

### L'esempio del salto con gli sci

Le analisi svolte nel salto con gli sci, nella stagione 1999/2000 in un saltatore di livello assoluto di vertice, misero in evidenza che, malgrado i suoi risultati di valore mondiale, esistevano ancora riserve di prestazione nella sua posizione di volo. Dopo un regresso dei risultati nel 2001, nella stagione olimpica 2001/2002 fu iniziata una correzione della tecnica, che aveva come obiettivo aumentare la posizione in avanti del corpo e l'angolo d'incidenza degli sci.

A seguito di ricerche compiute sui salti ed in una galleria del vento, si rilevò che la mobilità dell'articolazione del piede veniva limitata da una calzatura non elastica. Il passaggio ad una calzatura più elastica permise di ottenere, di nuovo, un movimento attivo degli sci, che permetteva di avvicinarsi di più alla tecnica di salto individualmente più razionale. Il risultato fu un aumento della lunghezza dei salti.

Il rapporto complesso tra riduzione dell'angolo differenziale tra parte inferiore del corpo e angolo d'incidenza degli sci, come anche di quello esistente tra alcuni altri elementi della tecnica ed adattamento dei materiali, ha portato alla progettazione ed alla realizzazione di un'attrezzatura che, in condizioni di laboratorio, permette all'atleta di provare sia gli elementi tecnici che i materiali, come anche di analizzare ed allenare la flessione dell'articolazione del piede.

Questi tre esempi dimostrano come sia necessario valutare individualmente l'andamento pluriennale dello sviluppo di un atleta, fondendo tra loro gli strumenti dell'analisi della gara, della valutazione funzionale complessa e dell'analisi dell'allenamento. In tutti gli sport, questo modo di procedere permette di lavorare con concezioni d'allenamento di base e di ricavare quali sono le migliori soluzioni o le varianti individuali più efficaci.

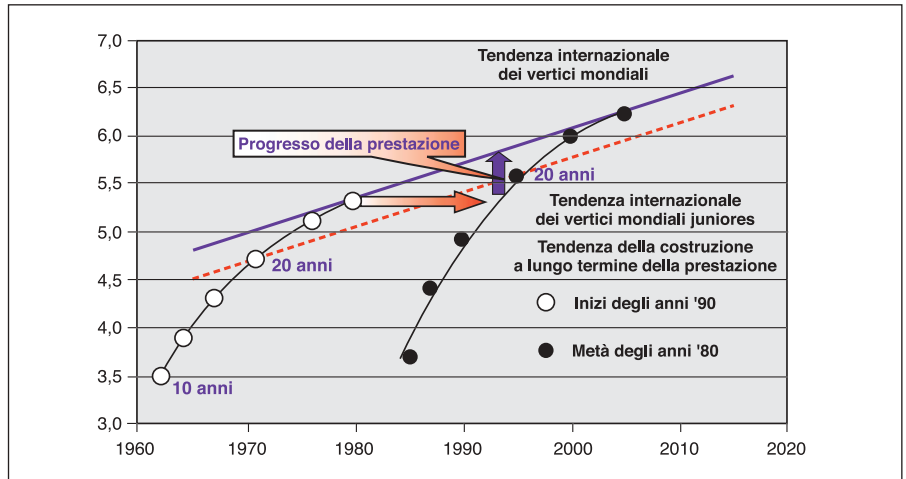


Figura 10 - Sviluppo attuale e previsto a lungo termine della prestazione nello sci di fondo

### La riuscita nel passaggio dall'allenamento di transizione all'alto livello a quello di alto livello

In tutti i Paesi, un problema chiave è rappresentato da quello di riuscire a formare atleti che si trovano nella fase di passaggio ai risultati di alto livello - cioè atleti juniores - che raggiungano prestazioni che permettono loro di emergere sia a livello nazionale che internazionale. Qui, il criterio fondamentale di misura è rappresentato dal livello di vertice mondiale juniores e dai risultati nei Campionati mondiali juniores. Le nostre ricerche dimostrano, chiaramente, la tesi secondo la quale chi vuole riuscire ad affermarsi tra i migliori al mondo in uno sport, si deve porre obiettivi adeguati da junior.

Infatti vi sono rapporti stretti tra risultati a livello juniores, risultati nei primi anni senior e prestazioni di vertice nel settore dell'alto livello. Nella maggior parte degli sport, il ritmo di sviluppo delle prestazioni a livello mondiale, fa sì che il problema

principale della costruzione a lungo termine della prestazione sia rappresentato dalla necessità di fare fronte al continuo aumento delle differenze tra i risultati d'entrata, all'inizio dell'allenamento e le successive prestazioni finali nel settore dell'alto livello.

### L'esempio dello sci di fondo

Nello sci di fondo, sia nei Giochi olimpici, sia nei Campionati mondiali, la velocità media di gara degli atleti di vertice è aumentata continuamente.

Se si tiene conto di questa tendenza, uno sciatore di fondo di alto livello, se vuole riuscire a restare ai vertici mondiali, deve aumentare la sua velocità di gara da 0,03 a 0,04 m/s ogni anno. Per la costruzione a lungo termine delle prestazioni questa progressione significa che, nello stesso tempo e a parità di livello di entrata all'inizio dell'allenamento, deve essere sviluppata una prestazione specifica più elevata. Nella figura 10 viene mostrato il trend

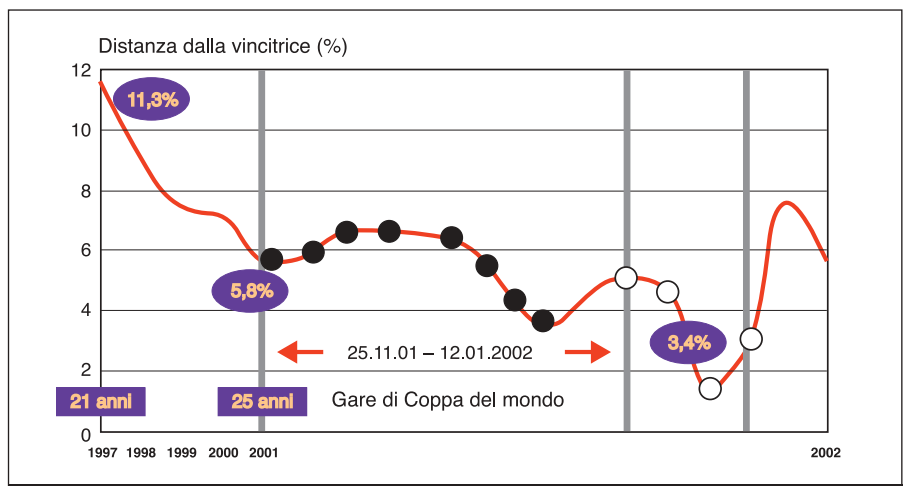


Figura 11 - Sviluppo delle prestazioni di una vincitrice olimpica nello sci di fondo

delle prestazioni delle atlete seniores e juniores nello sci di fondo. Con una differenza del 7%, le due curve hanno un andamento parallelo.

L'esempio di una atleta vincitrice dei Giochi olimpici nello sci di fondo, mette in evidenza che, in uno periodo di cinque anni, è possibile emergere a livello mondiale (figura 11). Però, ciò presuppone che vengano applicati stimoli di carico efficaci, che negli sport di resistenza sono caratterizzati anche da un elevato volume globale di allenamento.

Però, la realtà di molti atleti e di molte atlete è che la maggior parte di loro, fino all'ultimo anno da junior (20 anni), continua a non raggiungere le richieste fissate nei piani generali di allenamento. Successivamente i deficit diventano sempre maggiori.

*Queste le cause che possono impedire lo sviluppo delle prestazioni:*

1. nella costruzione a lungo termine della prestazione troviamo una insufficiente preparazione ai carichi massimi del settore di altissimo livello. Ciò vuole dire che si lasciano sfuggire i periodi ottimali per lo sviluppo dei presupposti specifici della prestazione. E si può stabilire che vi è anche una crescente predisposizione agli infortuni.

2. Insieme ad una parziale mancanza di talento, l'elemento essenziale è una carenza di stimoli allenanti efficaci, negli anni successivi di allenamento.

*L'esempio del pattinaggio di figura*

Se si analizza ciò che avviene nel pattinaggio di figura a livello mondiale, è evidente l'enorme ritmo di sviluppo delle richieste di difficoltà che vi è stato negli ultimi due anni. Un trend di sviluppo che, ad esempio, non sono riusciti a seguire i pattinatori di figura tedeschi. Il migliore di essi, che nel 1999 a 19 anni d'età era stato Campione mondiale juniores e che ha ottenuto il 12° posto tra i seniores, nel 2000 non è riuscito a continuare nello sviluppo delle sue prestazioni, a causa di un trauma riportato per una caduta in gara. Per cui, ha dovuto ritardare di un anno l'apprendimento del salto quadruplo e vi è riuscito solo durante la preparazione olimpica, quando non era più possibile raggiungere la necessaria stabilità nella sua esecuzione. Un altro errore è stato che, nel processo di allenamento, è stata data la preferenza a cercare di rimuovere i punti deboli (l'impressione artistica), piuttosto che alla costruzione dei punti forti (ovvero apprendimento di altri salti quadrupli). È interessante notare che le analisi dimostrano come, a livello

internazionale, i giudici, specie per quanto riguarda coloro che non sono ai vertici mondiali, ma sono vicini ad essi - dal 4° all'8° posto - tendono a valutare di più le difficoltà, che l'impostazione dell'esercizio e l'impressione artistica: esattamente il contrario di ciò che avviene a livello nazionale.

Le cause per le quali, nei vari sport, molti atleti juniores e molti atleti che si trovano alle soglie dei vertici internazionali non riescono a raggiungere il livello, che pure potrebbero raggiungere, vanno attribuite all'esistenza di una tendenza a diminuire il tempo di allenamento, specialmente quello dedicato all'allenamento specifico. Il postulato che si sta affermando in alcune Nazioni, per cui l'aumento della qualità sarebbe il parametro decisivo nello sport giovanile, trascura proprio il fatto che la qualità dei contenuti formativi dell'allenamento giovanile, come ad esempio l'aumento della precisione e della stabilità dei processi tecnici di movimento, l'aumento delle difficoltà, l'aumento del repertorio tecnico-tattico e soprattutto l'incremento dei presupposti organico-muscolari della prestazione, e garantire la capacità di carico ecc., richiedono molto tempo. Aumento della qualità non sempre può volere dire diminuire il tempo di allenamento, ma la diminuzione del tempo di allenamento vuol dire sempre minore qualità.

Per riassumere, si può affermare che non può esistere una via alla costruzione a lungo termine della prestazione che si possa basare sulle diminuzioni del tempo dedicato all'allenamento, in nome della qualità. Come dimostrano gli esempi delle sciatrici di fondo e delle pattinatrici di velocità tedesche, la preparazione a future prestazioni di livello mondiale si basa su un aumento pluriennale del carico con tempi efficaci di rigenerazione: realizzare questo obiettivo richiede tempo. Ogni strategia per rendere più efficace l'allenamento, finora ha portato in un vicolo cieco, in quanto ha cercato di ridurre i periodi di tempo necessari alla formazione dei presupposti della prestazione degli atleti.

*Chi vuole ottenere prestazioni di vertice mondiale deve garantire le condizioni necessarie, soprattutto i periodi di tempo necessari, per raggiungere un livello adeguatamente elevato di allenamento da junior e nei primi anni da senior. Per ottenere ciò ci si deve orientare a determinare condizioni professionali o semi-professionali di allenamento.*

**Il controllo dell'allenamento basato su un sistema allenatore-consulenti**

Il problema chiave delle prospettive di sviluppo delle prestazioni internazionali di un Paese, è rappresentato dalla possibilità di esprimere completamente le potenzialità individuali di sviluppo, o di diminuire i deficit di prestazione, anche ed in particolare degli atleti di vertice. Per questo, in Germania, è stato sviluppato un sistema allenatore-consulenti. Nella sua impostazione sono stati ottenuti notevoli successi che hanno permesso un controllo efficiente dell'allenamento in una serie di sport. Grazie alla collaborazione tra lo IAT, alcune Federazioni sportive nazionali ed i loro Centri di preparazione olimpica, è stato così possibile incrementare l'efficacia del controllo dell'allenamento, soprattutto nel biathlon, nel pattinaggio di velocità ed in parte nello sci di fondo.

Malgrado questi esempi positivi, vi sono ancora alcune riserve da sfruttare nell'utilizzazione e nell'ulteriore sviluppo del sistema allenatore-consulenti. Così, ad esempio, nel controllo dell'allenamento l'accento viene ancora posto, troppo unilateralmente, sulla realizzazione ed il perfezionamento dei metodi di analisi della gara. In questo modo, però si riesce, solo limitatamente, ad analizzare, unendo valutazione funzionale ed analisi dell'allenamento, le cause dei deficit nei presupposti della prestazione e si impedisce che si ottengano indicazioni oggettive motivate per le successive decisioni sull'allenamento.

Queste le direzioni che dovrebbero prendere gli ulteriori sviluppi del controllo dell'allenamento, intesi come perfezionamento del sistema allenatore-consulenti per incrementare l'efficienza delle prese di decisione sull'allenamento e come presupposto per la soluzione delle problematiche di ricerca esistenti:

1. in ogni sport, perfezionamento e standardizzazione delle componenti del sistema allenatore-consulenti (analisi dell'allenamento, analisi delle gare e valutazione funzionale);
2. garantire un riproducibilità pluriennale della valutazione funzionale e dell'analisi dell'allenamento;
3. costruzione e direzione di banche dati centrali di facile accesso;
4. collegamento in rete dei partner: allenatore - atleti - IAT - Centri di preparazione olimpica e creazione della possibilità di un continuo scambi di dati;
5. formazione di capacità personali di assumere decisioni sull'allenamento, attraverso riunioni regolari dei responsabili della direzione dell'allenamento.

## 4. Orientamenti strategici per il ciclo olimpico fino al 2006

### Il sistema di allenamento

Anche nel prossimo ciclo olimpico (fino al 2006), è previsto che, a livello mondiale, vi sarà un ulteriore incremento delle prestazioni in tutti gli sport. Ciò è strettamente legato con l'efficacia dell'allenamento, cioè con un allenamento d'avanguardia a livello mondiale. Le analisi a livello nazionale ed internazionale che la IAT ha realizzato da molti anni, confermano le valutazioni, fatte più volte, che, per ottenere non solo risultati di classe mondiale, ma addirittura risultati di valore medio internazionale, anche nei prossimi anni del ciclo olimpico, saranno particolarmente decisivi questi fattori:

- la personalità degli atleti e delle atlete, il loro atteggiamento verso criteri di allenamento e di prestazione elevati, insieme ad un regime di vita di tipo professionale ed una adeguata organizzazione dell'allenamento e delle gare;
- la finalizzazione ed il riferimento dell'allenamento alla struttura della prestazione, interpretati, soprattutto, come orientamento di tutto l'allenamento sulle richieste poste dalla prestazione di gara, con le conseguenze che ne derivano in campo organico-muscolare, tecnico e tattico, comprese le condizioni concrete delle gare più importanti della stagione;
- il livello e lo sviluppo del carico, i tassi di incremento degli stimoli di allenamento durante ciascun anno e nel corso dei vari anni e l'efficacia delle misure di rigenerazione nei micro e mesocicli;
- lo stato raggiunto nel livello delle capacità di base e specifiche, prima dell'inizio della tappa dello sviluppo speciale delle capacità specifiche di gara e della costruzione della prestazione, come anche la stabilizzazione del livello delle capacità fondamentali nelle fasi di allenamento tra le gare;
- l'ampiezza e l'intensità con la quale vengono utilizzate misure di sostegno all'allenamento ed alla prestazione quali:
  1. catene di periodi di allenamento in altitudine, con oltre 100 giorni di permanenza in altitudine all'anno;
  2. allenamento in condizioni specifiche ed utilizzazione dei raduni di allenamento;
  3. programmi dietetici che vengano sempre più ricavati dai contenuti concreti del carico;
  4. la presenza e l'effetto stimolante di compagni d'allenamento più forti;
  5. l'utilizzazione finalizzata delle possibilità di direzione e controllo scientifici dell'allenamento;

6 la disponibilità di tempo, il grado di professionalità, sul quale si basano tutto l'allenamento ed il regime di vita dell'atleta.

### La ricerca sul processo di allenamento

Per quanto riguarda la IAT, anche nel ciclo olimpico fino al 2006, al centro del suo lavoro vi sarà l'ulteriore sviluppo della ricerca, sia specifica sia interdisciplinare, che accompagna il processo di allenamento e di gara.

Questi sono i punti fondamentali che ne determineranno i progetti di ricerca scientifica:

- valutazione dell'allenamento realizzato nei micro-, meso- e macrocicli rispetto alle richieste contenute nei programmi quadro di allenamento delle rispettive Federazioni, effettuata su alcuni atleti ed alcune atlete del settore di massimo livello e del settore di coloro che si trovano nella fase di passaggio al massimo livello. Questa valutazione verrà realizzata servendosi della valutazione funzionale globale specifica, dell'analisi dell'allenamento e delle gare e della consulenza all'allenamento, anche elaborando esempi di soluzioni individuali;
- analisi costante dello stato a livello internazionale, dirette ad individuare quali siano le tendenze di sviluppo, a precisare quali siano le strutture ed i modelli di prestazione;
- ulteriore sviluppo di modelli individuali razionali della tecnica sportiva, che si basino sia sul permanente cambiamento delle strutture della prestazione, sia sulla trasformazione in metodologie di allenamento delle richieste poste al singolo atleta dai modelli di tecnica individuale;
- creazione di un vantaggio, rispetto alle altre Nazioni, sia dal punto di vista della scienza dell'allenamento che da quello tecnologico in alcuni sport/gruppi di sport, grazie ad una elaborazione interdisciplinare di problematiche di carattere generale.

Gli autori:

PD. Dott. Arndt Pfützner, Direttore dell'Istituto di scienze applicate allo sport, Lipsia;

Prof. Dott. Manfred Reiss, Direttore del gruppo specifico sport di resistenza;

PD. Dott. Klaus Rost, Direttore del gruppo specifico sport giovanile.

Indirizzo degli autori: Dott. Arndt Pfützner, c/o Institut Angewandte Trainingswissenschaft, Marschnerstr. 29, 04109, Lipsia

E-Mail: [iat@iat.uni-leipzig.de](mailto:iat@iat.uni-leipzig.de)

Traduzione ed adattamento di Mario Gulinelli.  
Titolo originale: *Internationale und nationale Entwicklungstendenzen auf Grundlage der Ergebnisse der Olympischen Winterspiele in Salt Lake City mit Folgerungen für den Olympiazklus 2002/2006*

### Bibliografia

Ehrig A., Moller J., Entwicklungstendenzen im Eisschnellauf im Olympiazklus 1998/2002 Relazione allo IAT/BL-Workshop sulla valutazione dei Giochi olimpici invernali 2002, Lipsia, 21/24,04, 2002.

Franz B., Mainka E., Regner R., Sandner H., Olympische Winterspiele 2002: Zu ausgewählten Spitzensportkonzepten und deren Umsetzung in Vorbereitung auf die Olympischen Winterspiele 2002 in Salt Lake City, Lipsia, IAT 2002.

Knoll K., Weltstandsanalyse und Konsequenzen für die beschleunigte Leistungsentwicklung im Eiskunstlaufen, Relazione allo IAT/BL-Workshop sulla valutazione dei Giochi olimpici invernali 2002, Lipsia, 21/24,04, 2002..

Krause A., Olympiazklusanalyse 1998/2002 im Langlauf und Biathlon, Manoscritto non pubblicato, 2002.

Mahnke R., Mross, H., Müller S., Entwicklungstendenzen im Skispringen im Olympiazklus 1998/2002, Relazione allo IAT/BL-Workshop sulla valutazione dei Giochi olimpici invernali 2002, Lipsia, 21/24,04, 2002.

Ostrowski C., Bauer S., Entwicklungstendenzen im Skilanglauf - Auswertung von Ergebnissen der Olympischen Winterspiele 2002 in Salt Lake City, Relazione allo IAT/BL-Workshop sulla valutazione dei Giochi olimpici invernali 2002, Lipsia, 21/24,04, 2002.

Pfützner A., Reiss M., Rost K., Tünneemann H., Internationale und nationale Entwicklungstendenzen auf der Grundlage der Ergebnisse der Olympischen Sommerspiele Sydney mit Folgerungen für den Olympiazklus 2000/2004, Leistungssport, 31, 2001, 1, 20-25 (traduzione italiana a cura di M. Gulinelli, I Giochi di Sydney e le tendenze di sviluppo dello sport olimpico, Sds-Scuola dello sport, XXI, 2001 51, 2-11).

Wick J., Koch M., Entwicklungstendenzen im Biathlon Olympiazklus 1998/2002, Relazione allo IAT/BL-Workshop sulla valutazione dei Giochi olimpici invernali 2002, Lipsia, 21/24,04, 2002.

## Il contributo della scienza all'allenamento sportivo

L'esempio della corsa di fondo (seconda parte)

Viene analizzata l'evoluzione del contributo delle scienze della vita e della salute in generale, e della fisiologia in particolare, allo sviluppo dei risultati e dei metodi di allenamento delle corse di fondo (dai 10 000 alla maratona). Infatti, i fattori limitanti di queste prove sono principalmente d'ordine fisiologico, e, soprattutto, bioenergetico. Se si esamina la progressione (regolare) delle migliori prestazioni mondiali nella maratona, dalla fine del XIX secolo ad oggi, è impossibile individuare un progresso straordinario, attribuibile a questa od a quella scoperta scientifica. Attualmente è possibile distinguere zone di velocità, corrispondenti a risposte fisiologiche particolari, che permettono di migliorare su distanze di corsa diverse. Si distinguono tre velocità che delimitano quattro zone d'intensità: 1° la velocità massima nello stato stabile di lattacidemia, il cui tempo limite è un'ora; 2° la velocità critica (asindeto della relazione tempo limite a  $\dot{V}O_2$  max e distanza limite a  $\dot{V}O_2$  max) il cui tempo limite è di 30 min e 3° la velocità minima che sollecita il  $\dot{V}O_2$  max ( $v\dot{V}O_2$  max o velocità massima aerobica) determinata durante un test triangolare, come il test di Léger. Per gli atleti di alto livello queste velocità corrispondono alle velocità specifiche della mezza maratona, dei 10 000 e dei 3 000 m. I programmi di allenamento non sono molto diversi secondo le epoche e le scuole, ma è attualmente possibile analizzare le cause di una riuscita o di un insuccesso, se il volume di allenamento realizzato a queste velocità viene collegato con le modificazioni fisiologiche.



Foto Vision

#### 4. L'evoluzione delle conoscenze sui fattori fisiologici della prestazione e dei metodi d'allenamento nelle corse di fondo durante il secolo passato

Schematicamente, si possono distinguere alcuni grandi periodi, che sono l'inizio del secolo, gli anni '20-'30, gli anni '50, gli anni '60-'70, e gli anni '80-'90.

##### Gli anni "art nouveau" (1900) o lo sviluppo dell'allenamento frazionato e la misurazione del consumo d'ossigeno su nastro trasportatore (per la marcia)

Il consumo d'ossigeno ( $\dot{V}O_2$ ) durante l'esercizio fisico è stato misurato, perfettamente, fin dal 1910 servendosi di prove di marcia su nastro trasportatore. Però, non esisteva un'utilizzazione del  $\dot{V}O_2$  dal punto di vista dell'analisi del compito o della valutazione dei presupposti della prestazione. A livello empirico, già in questo periodo (1912), il finlandese Hannes Kolehmainen, campione olimpico dei 10.000 m riteneva necessario che le velocità che utilizzava in allenamento fossero specifiche, cioè simili a quelle della gara. Quindi, per evitare di realizzare una gara in ogni giorno di allenamento, che già allora era quotidiano, introdusse l'allenamento frazionato che consisteva, precisamente, nel dividere la distanza di gara in frazioni di 5-10 ripetizioni. Queste frazioni venivano corse alla velocità di gara, il che voleva dire, ad esempio per i 10.000 m, 10 ripetizioni di 1.000 m corsi a ritmo di gara dei 10.000 (cioè 3min05 sui 1.000 m) che, per questo atleta, equivalevano ad una velocità di 19 km · h<sup>-1</sup> (attualmente l'atleta detentore del record del mondo corre a 22,7 km · h<sup>-1</sup>).

##### Gli anni dell' "art deco": il premio Nobel A. V. Hill inventa il concetto di "massimo consumo d'ossigeno"

Nel 1927, A. V. Hill, nella sua opera *Muscular movement in man*, elabora il concetto di massimo consumo d'ossigeno ( $\dot{V}O_{2max}$ ). Hill, che a 35 anni d'età praticava ancora la corsa, notò, su se stesso, che il valore del consumo d'ossigeno non raggiungeva più un vero e proprio *steady state*, durante un esercizio della durata di 4 min corsi a 16 km · h<sup>-1</sup>. Hill pensava che questa velocità fosse il limite al di là del quale il consumo d'ossigeno raggiungeva il suo valore massimo. Secondo lui questa velocità (che sessanta anni più tardi venne definita *velocità massima aerobica*) rappresentava una "velocità limite ragionevole" al di là della quale (cito il suo elenco):

- con il tempo si produce un deficit di ossigeno;

- s'accumula il lattato ematico;
- aumentano la frequenza cardiaca e la temperatura corporea;
- si esauriscono le riserve di glicogeno e crolla la glicemia;
- si presentano dolori e rigidità muscolari.

Per quanto riguarda quest'ultimo punto, Hill non faceva altro che descrivere le sue sensazioni di corridore di fondo. Ed arrivava alla conclusione che tutte queste cause portavano al ritiro del corridore.

In questo stesso periodo, nel 1920, il finlandese Paavo Nurmi (che correva i 5.000 m in 14min36s (20,55 km · h<sup>-1</sup>) introduceva l'allenamento con intervalli corsi ad una velocità superiore a quella di gara su distanze brevi (200-400 m: 6 x 400m in 60 s, ad esempio) all'interno di 10-20 km di corsa lenta nel bosco. Il resto dei chilometri veniva corso ad un'andatura molto blanda. Nurmi aveva già integrato nel suo allenamento i principi dell'alternanza e del recupero, che oggi sappiamo essere importanti almeno quanto il lavoro intenso.

##### Gli anni "formica" (anni '50) o quelli di Zatopek, grande corridore cecoslovacco: il favoloso Emil inventa l'interval training

Alla fine degli anni '50, Emil Zatopek, primatista mondiale dei 5.000 m ispirandosi ai lavori del medico tedesco Reindell crea l'allenamento ad intervalli (Riquadro 3). Di fatto questo allenamento ad intervalli veniva realizzato alla velocità della soglia anaerobica, stimata in base ai tempi da lui riferiti nella sua biografia e dei suoi risultati sui 5.000 m (la massima velocità aerobica può essere estrapolata dai 5.000 m). Il concetto di *soglia anaerobica* fu inventato molto più tardi dal cardiologo statunitense Karl Wassermann (per la soglia ventilatoria) e dalla scuola tedesca da Mader, Keul, Kindermann (per la soglia lattacida). Zatopek realizzava fino a 100x400 m in 1min30 (15 km · h<sup>-1</sup>) con 200 m di corsa trotterellata di intervallo. Percorrevva fino a 50 km al giorno dividendo la sua seduta d'*interval training* in una serie di 50 ripetizioni al mattino ed un'altra al pomeriggio.

##### Gli anni "hippies" o l'emergere degli studi scientifici sull'interval training

Nel 1960, il fisiologo svedese Per Olof Åstrand sviluppa il metodo degli intervalli lunghi di 3 min al 90% del  $\dot{V}O_{2max}$ , pensando che si trattasse di un metodo affidabile per migliorare il  $\dot{V}O_{2max}$ , però senza avere convalidato questa proposta attraverso uno studio sistematico della risposta fisiologica acuta e cronica a questo tipo di allenamento frazionato.

Nello stesso periodo, il corridore ed allenatore neozelandese Lydiard sviluppa il metodo degli intervalli molto brevi: da 10 a 15 s di corsa al 100% della  $\dot{V}O_{2max}$  e 10-15 s trotterellati al 30-40% del  $\dot{V}O_{2max}$ . Questo metodo di allenamento fu corroborato dal fisiologo svedese Christensen che lavorava su protocolli di esercizi intermittenti brevi (da 15 a 30 s) (ed al quale, forse, era arrivato l'eco della pratica di Lydiard), mostrando che questi pochi secondi di carico e di recupero non permettevano d'accumulare acido lattico. Ciò non vuol dire che il muscolo non produca acido lattico (lo produce anche a riposo), ma che il tasso della sua comparsa si trova in equilibrio con la sua eliminazione dal sangue e che il REDOX (cioè il rapporto NADH/NAD) potenziale resta stabile. Per cui, il pH ematico e muscolare non diminuisce e con esso non diminuisce la velocità di corsa.

Nel 1964, il fisiologo e cardiologo californiano Karl Wasserman introduce il concetto di *soglia anaerobica ventilatoria*, che rappresenta quell'intensità di lavoro (o velocità di corsa o di deambulazione per i pazienti di Wasserman) che provoca un improvviso aumento della portata ventilatoria. Questo aumento del volume d'aria ventilata al minuto non è dovuto ad una carenza d'ossigeno, ma alla stimolazione dei recettori (della carotide e dell'aorta) sensibili al pH ematico che diminuisce in quanto, a partire da una certa velocità di corsa (velocità alla soglia lattacida), nella quale vengono reclutate le fibre di II tipo (ricche dell'isoenzima lattato deidrogenasi - M), si accelera la glicolisi. Inoltre, il liquido cefalo-rachideo è sensibile alla pressione parziale del diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) che aumenta, insieme agli ioni H<sup>+</sup>, a causa dell'accelerazione della glicolisi e la riduzione dell'acido piruvico ad acido lattico (che si dissocia in anione lattato e protone idrogeno (H<sup>+</sup>)). La diminuzione del pH del liquido cefalo-rachideo stimola i centri respiratori nel cervello, aumentando così la portata ventilatoria. Anche i recettori articolari sensibili al movimento inviano segnali al cervello. Per cui, soglia anaerobica (soglia ventilatoria) e soglia d'inizio d'accumulo del lattato sono legati alle stesse cause: il reclutamento delle fibre glicolitiche, ma non hanno un rapporto di causalità. Inoltre, il protocollo per determinare la soglia ventilatoria si serve di incrementi di velocità molto scarsi (meno di 0,5 km · h<sup>-1</sup>) e stadi di lavoro brevi (1 min), mentre la velocità di inizio d'accumulo del lattato viene determinata con stadi di lavoro della durata di almeno 5 min. Infatti, per persone che vanno da quelle scarsamente allenate a quelle molto allenate alla resistenza, la velocità alla soglia

### Riquadro 3 – l'interval training

L'allenamento diretto a migliorare il  $\dot{V}O_2\max$  permette di illustrare la metodologia dell'individualizzazione del carico (intensità-durata-ripetizioni-forma intermittente o continua), tenendo conto del tempo limite continuo a  $v\dot{V}O_2\max$ , per stabilire l'intensità e la durata dell'allenamento frazionato (*interval training*). Reindell, Roskamm (1959) sono stati i primi a descrivere i principi dell'*interval training*, già resi popolari negli anni '50 dal campione olimpico Emil Zatopek (che ripeteva fino a 100 volte 400 m in 80 s, cioè circa all'80% della sua velocità a  $\dot{V}O_2\max$ ). L'*interval training* (IT) consiste in una o più serie di esercizi, d'intensità scarsa o moderata, alternati con periodi di recupero (Fox et al. 1993). Grazie a questa alternanza è possibile aumentare la quantità di lavoro ad un'intensità elevata (Åstrand et al. 1960; Christensen et al. 1960; Fox et al. 1977; Margaria et al. 1969). Margaria et al. (1969) avevano addirittura avanzato l'ipotesi secondo la quale era possibile continuare indefinitamente un esercizio alternando ripetizioni di 10 s d'esercizio al 130% della potenza che sollecita il  $\dot{V}O_2\max$ , intercalati a 30 s di riposo. Per i tedeschi Reindell, Roskamm (1959) ciò che determina, principalmente, gli adattamenti cardiovascolari è il periodo di recupero (l'intervallo) successivo ad ogni ripetizione ad intensità elevata. Invece, per l'*interval training* dello statunitense Fox sarebbe determinante il periodo di esercizio intenso. Per Fox, di fatto, l'*interval training* corrisponde agli esercizi intermittenti, cioè agli esercizi che comportano un'alternanza tra fasi d'attività intensa e di recupero. È in questo senso che utilizziamo il termine *interval training*. Inoltre, l'espressione *allenamento frazionato* si riferisce ad una seduta di allenamento nella quale la distanza totale

corrisponde all'incirca a quella di gara, ma viene frazionata in più parti e nella quale la velocità, generalmente, è prossima a quella che si vuole raggiungere in gara. Da Zatopek in poi, i corridori di mezzofondo e di fondo utilizzano questo metodo per aumentare il volume d'allenamento corso a velocità specifiche di gara (1.500 m-10.000 m) comprese tra il 90 ed il 110% della velocità che sollecita il loro  $\dot{V}O_2\max$ , cioè  $v\dot{V}O_2\max$  (Daniels, Scardina 1984; Lacour et al. 1991; Padilla et al. 1992; Billat et al. 1996a). L'obiettivo dell'allenamento intermittente alla  $v\dot{V}O_2\max$  è quello di aumentare il  $\dot{V}O_2\max$ . Gorostiaga et al. (1991) hanno dimostrato che un allenamento intermittente, nel quale si usano ripetizioni di 30 s di corsa al 100% di  $v\dot{V}O_2\max$ , alternati a 30 s di recupero, migliora in modo significativo il  $\dot{V}O_2\max$ , mentre ciò non avveniva con un allenamento di corsa prolungata di 40 min al 70% del  $\dot{V}O_2\max$ . Comunque, l'*interval training* può prendere forme molto diverse. Infatti, le percentuali relative del metabolismo aerobico ed anaerobico si modificano a seconda dell'intensità e della durata delle frazioni, corse a velocità bassa od elevata (Christensen et al. 1960). Per questa ragione, quando si progetta e si pianifica un allenamento intermittente, occorre che vengano prese in considerazione la durata e l'intensità dell'intervallo di recupero e di lavoro, come anche il numero delle ripetizioni e delle serie (Fox, Mathews 1974; Knuttegen et al. 1973). Saltin (1976) prende in considerazione anche i parametri della *periodicità*, che è il rapporto tra il tempo di esercizio intenso e quello di recupero e dell'*ampiezza*, che descrive la differenza tra la potenza richiesta dall'esercizio intenso e quella del recupero, rispetto alla potenza media dell'*interval training*.

### Riquadro 4 – I test da campo ad intensità crescente per determinare la VMA: il test di Léger-Boucher (1980)

Si tratta di un test che determina la *velocità massima aerobica* definita come la velocità minima teorica che sollecita il massimo consumo d'ossigeno. Di fatto, in questo test si utilizza lo stesso tipo di protocollo dei test ad intensità crescente usati per la valutazione diretta del  $\dot{V}O_2\max$  usati in laboratorio. In esso, i corridori debbono correre secondo una velocità indicata da un colpo di fischietto, da un segnale acustico o da un nastro pre-registrato. Ad ogni suono il corridore si deve trovare a livello di uno dei segni di riferimento situati ogni 50 m lungo una pista di 400 m. La velocità di corsa viene accelerata progressivamente per ciascun livello di corsa continua della durata di 2 min.

Ogni accelerazione corrisponde ad un aumento del costo energetico di  $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (ovvero di un MET, unità metabolica). In questo modo, ogni livello corrisponde ad un determinato costo energetico. Il  $\dot{V}O_2\max$  viene stimato a partire dal costo energetico (standard) dell'ultimo livello percorso. La prova viene interrotta quando il corridore si "sgancia", cioè quando non è più in grado di seguire il ritmo assegnato. La velocità raggiunta a quel livello corrisponde ad un massimo consumo d'ossigeno. La critica principale che si può avanzare è che l'ultimo livello di velocità, spesso, viene realizzato quando il  $\dot{V}O_2\max$  è già stato raggiunto nel penultimo livello. Come in tutte le valutazioni nelle quali per il calcolo delle velocità di allenamento si parte da test di campo a carichi crescenti, vi può essere una valutazione in eccesso del  $\dot{V}O_2\max$  e della VMA. Perciò, è indispensabile verificare questa velocità massima aerobica durante una prova rettangolare, nella quale (dopo che si è riscaldato per 20-30 min) all'atleta viene chiesto di correre alla

velocità determinata alla fine del test ad intensità crescente. Se non riesce a sostenere per più di 2-3 min questa presunta massima velocità aerobica, è dimostrato che questa è stata stimata in eccesso. In questo caso, come riferimento per la velocità di allenamento (espressa in percentuale della VMA) va presa la velocità del penultimo livello. Una lattacidemia finale superiore a  $15 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  può far avanzare l'ipotesi che l'atleta abbia realizzato il suo ultimo livello grazie all'apporto della glicolisi anaerobica (con il  $\dot{V}O_2$  che ha raggiunto il massimo od è diminuito). Per quanto riguarda questo test (Léger, Boucher 1980) il  $\dot{V}O_2\max$  che aumenta di  $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ad ogni livello è calcolato attraverso l'equazione:

$$\dot{V}O_2 = 14,49 + 2,143 V + 0,0324 V^2$$

dove  $\dot{V}O_2$  viene espresso in  $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $V$  in  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $\dot{V}O_2$  in  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ . In studi ulteriori, Léger, Mercier (1983, 1986) calcolarono una nuova regressione per velocità di corsa comprese tra 8 e  $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ :

$$\dot{V}O_2 = 1,353 + 3,163 V + 0,0122586 V^2,$$

dove  $\dot{V}O_2$  è espresso in  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  e  $V$  in  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $V^2$  in  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Essendo più facile da utilizzare ci si può riferire all'equazione semplificata:

$$\dot{V}O_2 = 3,5 V$$

dove  $\dot{V}O_2$  viene espresso in  $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $V$  in  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

anaerobica è compresa tra il 60 ed il 90% del  $\dot{V}O_2\max$ . Questa potenza alla soglia anaerobica, rilevata attraverso il metodo ventilatorio, viene determinata con un protocollo d'esercizio costituito da stadi brevi (1 min) a potenza crescente (0,5 km · h<sup>-1</sup> d'aumento della velocità ogni minuto).

### Gli anni "pop" e "Disco art" (anni '70-80): la comparsa del concetto di soglia lattacida e volgarizzazione dei test da sforzo

Gli anni '70 sono quelli nei quali si misura il  $\dot{V}O_2\max$  negli atleti. Contemporaneamente, compare il concetto di *soglia lattacida*, grazie alla scuola tedesca formata da fisiologi, come Mader, che lavorano insieme agli allenatori (Mader, Heck 1986). Essi

riferimento sono ancora largamente utilizzati in Germania, in Italia ed in Portogallo, anche perché numerosi ricercatori avevano realizzato tesi presso l'Istituto nazionale di sport di Colonia. Però questi valori sono convenzionali in quanto, a seconda degli atleti, lo *steady state* della massima produzione di lattato, va da 2,3 a 6,8 mmol, anche se è vero che la media si colloca a 4 mmol (Billat 1996). Però, nello sport, per il controllo dell'allenamento non ci si può accontentare di medie.

Attualmente, queste soglie continuano ad essere utilizzate anche se, invece dei valori assoluti di riferimento, si preferisce prendere in considerazione la cinetica della produzione di lattato (Brooks 1985, 1986). Dal 1985 compare il concetto di velocità allo *steady state* della lattacidemia massi-

della scuola del Quebec, molto produttiva nel settore della fisiologia applicata allo sport ed all'esercizio, che convalida un metodo indiretto su pista di valutazione del  $\dot{V}O_2\max$  attraverso l'equazione:

$$\begin{aligned} \dot{V}O_2\max (ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}) &= \\ &= 3,5 VAM (km \cdot h^{-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

Questo metodo ha reso possibile l'accesso alla valutazione del  $\dot{V}O_2\max$  a migliaia di atleti e soprattutto a migliaia di allievi delle scuole (in particolare attraverso il test a navetta su 20 m) (cfr. SdS, n. 53, pagine 38 e 40). Questa equazione (5) è basata sugli stessi principi di di Prampero (equazione (2) e (3) in quanto l'equazione (5) può essere scritta:



distinguono una prima soglia (la soglia *aerobica*) nella quale la concentrazione di acido lattico va oltre il valore a riposo (che è di 1 mmol · l<sup>-1</sup>). Questa prima soglia, che corrisponde alla prima zona di velocità descritta nel Riquadro 1 (cfr. SdS, n. 53, pagina 37) comporta una concentrazione ematica di acido lattico uguale a 2 mmol · l<sup>-1</sup>, viene identificata da Keul come soglia *aerobica* (Keul, Kindermann 1978). Essi poi distinguono una seconda soglia (la soglia *anaerobica*, corrispondente alla seconda zona di velocità descritta nel Riquadro 1). Questa soglia anaerobica corrisponde ad una velocità che provoca una produzione di lattato di 4 mmol · l<sup>-1</sup>. Questi valori di

ma (*maximal lactate steady-state*) elaborato da Georges Brooks, professore dell'Università di Berkeley, autore di una notevole opera che rappresenta un testo di riferimento nel campo della fisiologia dell'esercizio (Brooks et al. 1986). Questa velocità rappresenta la velocità massima alla quale la lattacidemia si stabilizza in funzione del tempo, per cui la comparsa del lattato nel sangue è in equilibrio con la sua eliminazione (Brooks 1985). Nel 1980, parallelamente all'approfondimento del concetto di soglia, compare quello di velocità associata al massimo consumo d'ossigeno (*massima velocità aerobica*: VMA che corrisponde a  $\dot{V}O_2\max$ ), grazie a Luc Léger

$$\begin{aligned} VMA (m \cdot min \cdot kg^{-1}) &= \\ &= \dot{V}O_2\max (ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}) / \\ &/ \text{costo energetico } (ml \cdot m^{-1} \cdot kg^{-1}) \end{aligned} \quad (6)$$

Con un costo energetico lordo medio di 210 ml · km<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup> si ottiene questa equazione:

$$\begin{aligned} VMA (m \cdot min \cdot kg^{-1}) &= \\ &= \dot{V}O_2\max (ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}) / \\ &/ 0,210 (ml \cdot m^{-1} \cdot kg^{-1}) \end{aligned} \quad (7)$$

Se si vuole esprimere la velocità in km · h<sup>-1</sup> si moltiplica 0,210 per 60 ed allora si ottie-



**Tabella 5 – Confronto della terminologia dell'allenamento dal 1950 al 1990, con l'intensità e la durata limite degli esercizi. VMA rappresenta la velocità minima che sollecita il consumo d'ossigeno in un protocollo di test ad incremento graduale della velocità per stadi della durata di 2 o 3 min. = CE rappresenta il costo energetico della corsa o di qualsiasi altro tipo di locomozione**

| Intensità % | VAM. Tempo limite in min a questa velocità | Anni 50-60  | Anni '70 Istituto Nazionale dello sport (Francia)                     | Anni '80 stampa grande pubblico                              | Anni '80 Ambienti federali (Francia) | Anni '90 Ambienti federali (Francia)                            | Anni 2000 Ambienti sportivi e scientifici, di massa e d'élite   |
|-------------|--|---|---|--|--------------------------------------|---|---|
| 120-105     | 1-3  | <i>Interval training</i> di Gerschler da 20 s ad 1min30s recupero = 3 min               | Resistenza all'intensità da 7 s 1min recupero = = 3-5 min             | Resistenza all'intensità da 8 s a 2 min recupero = = 3-5 min | Capacità e potenza lattacida         | Massimo debito d'ossigeno Intervalli brevi                      | Massimo deficit d'ossigeno (intervalli 15-15)   |
| 100-95      | 4-10                                       | <i>Interval training</i> di Reindell, Gerschler da 20 s a 1min30s recupero = 3 min      | Resistenza alla velocità da 10 s a 5 min recupero = = tempo di lavoro |  | Potenza massima aerobica             | Velocità massima aerobica $\dot{V}O_2\max/C_r$ intervalli 30-30 | Velocità massima aerobica (intervalli 30-30)  |
| 95-90       | 10-40                                      | <i>Interval training</i> di Astrand recupero = 3 min Interval training corto di Lydiard | Resistenza al volume I da 1 a 5 min recupero da 1 a 5 min             | Resistenza dura da 3 a 6 min                                 | Potenza aerobica                     | Potenza aerobica (intervallo 3 min-3 min)                       | Velocità che sollecita il più lungo tempo la velocità limite al $\dot{V}O_2\max$ (intervalli 3 min-3 min) |
| 90-85       | 40-60                                      |   |   |  |                                      | Potenza aerobica Intervalli lunghi                              | Velocità massima senza raggiungere il $\dot{V}O_2\max$ (intervalli 5 min-2min30)                          |
| 85-80       | 60-75                                      | Interval training di Zatopek = 1min30s Recupero = 40 s                                  | Resistenza al volume II da 5 a 10 min recupero = = da 1 a 3 min       | Resistenza dura II da 6 a 15 min                             | Massima capacità aerobica            | Velocità massima senza accumulo di lattato Intervalli lunghi    | Velocità massima di stabilizzazione $\dot{V}O_2\max$ al limite di 3 min (intervalli 10-20 min)            |
| 80-75       | 150-180                                    |   |   | Resistenza dolce 10 m circa Resistenza attiva                | Capacità aerobica                    | Soglia lattacida Da 20 a 50 min di corsa prolungata             | Velocità massima di accumulo del lattato. Da 45 min a 1 h di corsa prolungata                             |
| 75-70       | Più ore                                    | Resistenza pura di Van Aaken  | Resistenza di base  | Resistenza di base   | Capacità aerobica                    | Velocità di recupero  | Velocità senza produzione d'acido lattico   |

ne il coefficiente 3,5. Sapendo che la VMA, in media, può essere sostenuta per 6 min, sarà sufficiente percorrere la massima distanza possibile in 6 min per ottenere una velocità media molto vicina a VMA da moltiplicare per 3,5 per ottenere il  $\dot{V}O_2\text{max}$  di un soggetto (Riquadro 4).

Prendiamo l'esempio dei record del mondo. Nella tabella 1 (cfr. SdS, n. 53, pagina 35) si può notare che le donne corrono i 2.000 m in 5min25s, ovvero a  $22,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Si può pensare che si tratti della massima velocità aerobica femminile. Applicando la formula di Léger allora si ottiene un  $\dot{V}O_2\text{max}$  di  $77,5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Notiamo che i valori stimati vengono calcolati partendo dal record del mondo femminile, sebbene i 2.000 m siano poco corsi e quindi tale record sia migliorabile.

## 5. Passato e futuro dell'allenamento

I corridori di fondo che hanno segnato la storia facendo progredire i record del mondo, talvolta hanno provocato la variazione dell'allenamento utilizzando, senza formalizzarli come tali, i tre "registri" di velocità: al di sotto della soglia lattacida, alla soglia lattacida ed alla velocità associata al massimo consumo d'ossigeno.

Nella tabella 4 (cfr. SdS, n. 53, pagina 41) viene descritto l'allenamento di alcuni grandi campioni di corsa di fondo che hanno segnato la storia della corsa e la tabella 5 riporta le equivalenze tra i termini utilizzati nell'allenamento dagli anni '50 ad oggi. Tale allenamento viene descritto secondo i tre registri d'intensità che hanno un significato fisiologico:

1. a velocità inferiore alla soglia lattacida;
2. a velocità uguale o leggermente superiore alla soglia lattacida;
3. alla velocità associata al massimo consumo d'ossigeno.

Come si può constatare dalla tabella, gli allenamenti di questi grandi corridori rispettavano questa suddivisione, anche se ciò non era esplicito: non hanno aspettato i concetti fisiologici per cambiare le loro velocità di allenamento.

L'interesse di un approccio scientifico all'allenamento è che permette di analizzare i motivi di un progresso (o di un regresso), correlando le variazioni della prestazione con quelle dei suoi fattori energetici. Naturalmente la prestazione non può essere semplicemente ridotta alla dimensione energetica, ma essa resta ineludibile. Anche se ha classificato e differenziato le velocità, troppo spesso l'allenamento ha trascurato la classificazione delle ripetizioni in base al criterio del tempo limite che il

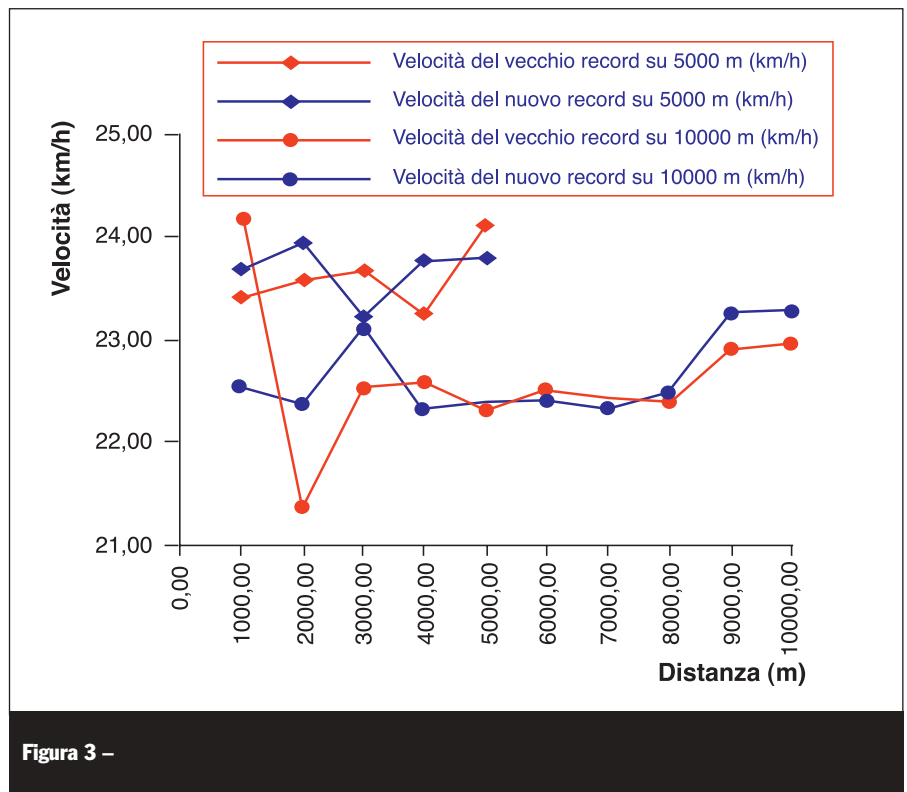


Figura 3 –

corridore poteva sostenere ad una data velocità. Il tempo è stato dimenticato nella fisiologia del XX° secolo, che ha costruito modelli delle risposte fisiologiche unicamente in funzione dell'intensità dell'esercizio (durata da 1 a 5 minuti a seconda dei protocolli) trascurando le durate costanti lunghe.

Così, non esiste un'unica velocità che comporta il massimo consumo d'ossigeno. Se si chiede ad un atleta di correre alla massima velocità che può sostenere per una durata limite compresa tra 2 ed 8 min (a velocità che variano di diversi  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) raggiungerà il suo  $\dot{V}O_2\text{max}$ . Invece, è indubbio che esiste una sola velocità che gli permetterà di sostenerlo più a lungo possibile (Billat et al. 1999). Tuttavia, questa unica velocità non è quella che può rappresentare la chiave per migliorare rapidamente il  $\dot{V}O_2\text{max}$ , poiché l'allenamento frazionato, corso a velocità maggiori, permette di ottenere una lunga durata della stimolazione della portata cardiaca (al suo massimo livello) (Billat et al. 2000).

Attualmente, è possibile accedere direttamente alle risposte fisiologiche durante le sedute di allenamento, addirittura durante le gare, grazie ad apparecchiature telemetriche di misurazione (misura della frequenza cardiaca, del consumo di ossigeno, ecc.). Sarà sorprendente constatare quale sia l'evoluzione degli scambi gassosi in prove di mezzofondo prolungato nelle quali le velocità non sono costanti (figura

3). Il problema che si pone è quello di sapere in che misura il corridore regola la sua velocità su costanti fisiologiche. Però, questi strumenti saranno utili solo se ci sarà un'alleanza tra allenatori e scienziati per proporre un'alternativa al doping, per progredire attraverso l'individualizzazione dell'allenamento, partendo dalle caratteristiche bioenergetiche dell'atleta, rapportate alle costrizioni (sollecitazioni) rilevate in gara.

La gamma dei mezzi di lotta contro il doping non si deve limitare ai controlli od alle campagne di sensibilizzazione. Occorre essere efficaci ed essere in grado di proporre ad ogni persona un allenamento che gli permetta di migliorarsi, si tratti di un atleta che pratica sport per produrre uno spettacolo sportivo (primo sistema di competizioni) o per confrontarsi con se stesso (secondo sistema di competizioni, secondo Yonnet 1998).

Traduzione di M. Gulinelli da STAPS, 2001, 54, 23-43. Titolo originale: *L'apport de la science dans l'entraînement sportif: l'exemple de la course de fond.*

L'Autore: dott.ssa Véronique Billat, Università di Lilla 2, Facoltà di scienze dello sport, Studio della motricità umana.

Indirizzo dell'Autore: Véronique Billat, Université Lille, Faculté des Sciences du Sport, Etude de la motricité humaine, 9, Rue de L'Université, 59790, Ronchin.

## Bibliografia

- Åstrand I., Åstrand P.O., Christensen E.H., Hedman R., Intermittent muscular work, *Acta Physiol. Scand.*, 48, 1960, 448-453.
- Billat V., *Course de fond et performance*, Parigi, Chiron, 1991, pagg. 288.
- Billat V., *Physiologie et méthodologie de l'entraînement*, Parigi, De Boeck Université, 1998, pagg. 193.
- Billat V., Use of Blood lactate Measurements for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training, *Sports Med.*, 22, 1996, 157-175.
- Billat V., Koralsztein R. Significance of the velocity at and time to exhaustion at this velocity, *Sports Med.* 22, 1996, 90-108.
- Billat V., Pinoteau J., Petit B., Renoux J. C., Koralsztein J. P., Reproducibility of running time to exhaustion in sub-elite runners, *Med. Sci. Sports Exercise*, 26, 1994, 254-257.
- Billat V., Pinoteau J., Petit B., Renoux J. C., Koralsztein J. R., Calibration de la durée des répétitions d'une séance d'interval training à la vitesse associée à  $\dot{V}O_2$  max en référence au temps limite continu, *Science et Motricité*, 28, 1996, 13-20.
- Billat V., Flechet B., Petit B., Muriaux G., Koralsztein N., Interval training at  $\dot{V}O_2$  max: effects on aerobic performance and overtraining markers in endurance athletes, *Med. Sci. Sports Exercise*, 31, 1999, 156-163.
- Billat V., Bocquet V., Slawinski J., Demarle A., Lafitte L., Koralsztein J. P., Intermittent run at  $\dot{V}O_2$  max allows runners to stay a longer time at  $\dot{V}O_2$  max than continuous severe run, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 81, 2000, 3, 188-196.
- Bocquet V., Blondel N., Billat V., Koralsztein J. P., Does Hill's relationship change through time ?, 4° Congresso Annuale dell'European College of Sport Science, Roma, 1999.
- Brooks G. A., Anaerobic threshold: review of the concept and direction for future research, *Med. Sci. Sports Exercise*, 17, 1985, 22-31.
- Brooks G. A., The lactate shuttle during exercise and recovery, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18, 1986, 360-368.
- Cavagna G. A., Willems P. A., Franzetti P., Detrembleur C., The two power limits conditioning step frequency in human running, *J. Physiol.*, 437, 1991, 95-108.
- Cerretelli P. et al., Kinetics of metabolic transients during exercise, in: Cerretelli P., Whip B. J. (a cura di), *Exercise bioenergetics and gas exchange*, Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1980.
- Christensen E. H., Hedman R., Saltin B., Intermittent and continuous running, *Acta Physiol. Scand.*, 50, 1960, 269-287.
- Conconi et al., Determination of the anaerobic threshold by non invasive field test in runners, *J. Appl. Physiol.*, 52, 1982, 869-873.
- Costill D. L., *Approche scientifique de la course de fond*, Parigi, ed. Vigot, pagg.180.
- di Prampero P. E., Energy cost of human locomotion on land and in water, *Int. J. Sports Med.*, 7, 1986, 55-72.
- Faina M. et al., Maximal accumulation oxygen deficit during a time limit test in swimmers, kayaker and cyclists, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 76, 1997, 13-20.
- Farrel et al., Plasma lactate accumulation and distance running performance, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 11, 1979, 338-344.
- Fox E. L., Bartels R. L., Klinzing J., Ragg K., Metabolic responses to interval training programs of high and low power output, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 9, 1977, 191-196.
- Gazeau F., Koralsztein J. P., Billat V., Biomechanical events in the time to exhaustion at maximum aerobic speed, *Arch. Physiol. Biochem.*, 105, 1997, 6, 1-8.
- Heck H. et al., Justification of the 4 mmol · l<sup>-1</sup> lactate threshold, *Int. J. Sports Med.*, 6, 1985, 117-130.
- Hermanssen L., Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise, in: Porter R., Whelan J. (a cura di), *Human Muscle Fatigue: Physiological mechanisms*, Londra, Pitman Medical, 1981, 75-88.
- Hill A V., *Muscular movement in man*, New York, Mc Graw-Hill, 1902, pagg.104.
- Keul J., Kindermann W., La transition aérobie-anaérobie lors de la pratique de certains sports, in: *Actes du Colloque International de Saint Etienne*, Saint Etienne, 1978, 37-67.
- Kindermann W., Simon G., Keul J., The significance of aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 42, 1979, 25-34.
- Léger L., Boucher R., An indirect continuous running multistage field test, the Université de Montréal Track Test, *Can. J. Appl. Sports Sci.*, 5, 1980, 77-84.
- Liu Y., Schutz R.W., Prediction models for track and field records : analysis and predictions, *J. Sports Med.*, 8, 1998, 36-42.
- McDougall J. D. et al., Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization, *J. Appl. Physiol.* 43, 1977, 700-703.
- Mader A., Heck H., A theory of the metabolic origin of anaerobic threshold, *Int. J. Sport Med.*, 7, 1986, (suppl. 1), 45-65.
- Margaria R., Edwards H. T., Dill D.B., The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction, *Am. J. Physiol.*, 106, 1933, 689- 719.
- Margaria R., Oliva R. D., di Prampero P. E., Ceretelli P., Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity, *J. Appl. Physiol.*, 26, 1969, 752-756.
- Medbø J. I., Molin A.C., Tabata I., Bahr R., Vaage O., Sejersted O.M., Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J. Appl. Physiol.*, 64, 1988, 50-60.
- Newsholme E. A. et al., *La course à pied. Bases scientifiques, entraînement et performance*, De Boeck Université, Paris-Bruxelles, 1997.
- Péronnet F., *Le Marathon. Equilibre énergétique, alimentation et entraînement du coureur su route*, 2° ed., Montréal, Décarie, Parigi, ed. Vigot, 1991, pagg. 438.
- Reindell H., Roskamm H., Ein Beitrag zu den physiologischen Grundlagen des Intervalltrainings unter besonderer Berücksichtigung des Kreislaufes, *Schweiz. Z. Sportmed.*, 7, 1959, 1-8.
- Stegmann H., Kindermann W., Comparison of prolonged exercise tests at individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol · l<sup>-1</sup> lactate, *Int. J. Sports Med.*, 3, 1982, 105-110.
- Van Aacken E., *Van Aacken method*, World Publication, Mountain View, CA, USA, 1976, pagg.140.
- Whipp B. L., Wasserman K., Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work, *J. Appl. Physiol.*, 5, 1972, 351-356.
- Wasserman K., Mc Ilroy M. B., Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise, *Am. J. Cardiol.*, 14, 1964, 844-852.
- Yonnet P., *Système des sports*. Parigi, Gallimard Edition, 1998, pagg. 251.

## Alcuni aspetti della preparazione alla gara

La preparazione alla gara secondo un approccio basato sulla teoria dei sistemi

Definiti i concetti di forma massima, di struttura della prestazione e di struttura della gara, vengono trattati: i rapporti tra la gara e l'allenamento secondo un approccio basato sulla teoria dei sistemi; i limiti temporali della preparazione alla gara; gli ausili ergogeni che permettono di ottimizzare il rendimento d'allenamento e di gara; il problema dell'attuale ampliamento dei calendari di gara e lo stato di forma massima; il rapporto tra anzianità di allenamento e forma sportiva e quello tra gare e stato del sistema immunitario.



Foto Bruno

## 1. I concetti di forma massima, di struttura della prestazione e di struttura della gara

Nello sport, se si eccettua l'allenamento di base, un allenamento che sia diretto ad ottenere risultati elevati si pone sempre l'obiettivo di sviluppare nell'atleta lo stato funzionale più elevato possibile in un certo periodo, la cui durata può essere variabile (periodo di gara), in quanto dipende dal calendario di ciascuno sport.

Generalmente, questo stato funzionale ottimale viene definito *forma sportiva*, *forma massima*, *top form* o *stato di preparazione ottimale* (Filin, Fomin 1980), mentre Matveev (1981) lo definisce *stato della capacità di prestazione ottimale*. Se si fa una tentativo di definirla, si potrebbe affermare che la forma sportiva (*top form*) rappresenta la disponibilità ottimale di un/una atleta ad ottenere una prestazione sportiva di una certa classe.

La *forma massima* (*top form*), nella quale il momento psicologico soggettivo è dominante, può essere espressa attraverso la struttura generale ed individuale della prestazione in uno sport o in una disciplina sportiva: compito dell'allenamento è quello di creare questa struttura e di portarla ad un livello nuovo, più elevato.

Per definizione, la *struttura della prestazione* di un atleta, o la *struttura della sua capacità di prestazione*, è l'espressione di quei presupposti personali della prestazione che gli permettono di ottenere determinati risultati sportivi (figura 1).

Si può affermare che forma sportiva e struttura della capacità di prestazione (cfr. Berger 1990) siano quasi sinonimi. Rispetto alla prima, la seconda non contiene attributi di valore come "ottimale".

Invece il concetto di *struttura dell'attività di gara*, o in breve, di *struttura della gara*, descrive come la struttura oggettiva della prestazione, che è stata sviluppata seguendo le leggi dell'allenamento ed il massimo della forma - modulato soggettivamente sulla struttura della prestazione - debbano essere realizzati nelle condizioni formali concrete di luogo e di calendario della gara dello sport o della disciplina sportiva praticata, tenendo conto di quanto viene richiesto da un determinato livello di risultati e dell'importanza della gara stessa (figura 2).

Quindi la struttura della gara comprende la modalità immediata, individuale o inter-individuale, di realizzazione dello stato di forma massima delle atlete e degli atleti nelle condizioni concrete, ogni volta diverse, delle competizioni di livello elevato. In essa, la struttura della prestazione, della quale si dispone *in generale*, viene tradotta in operazioni *specifiche* attraverso le

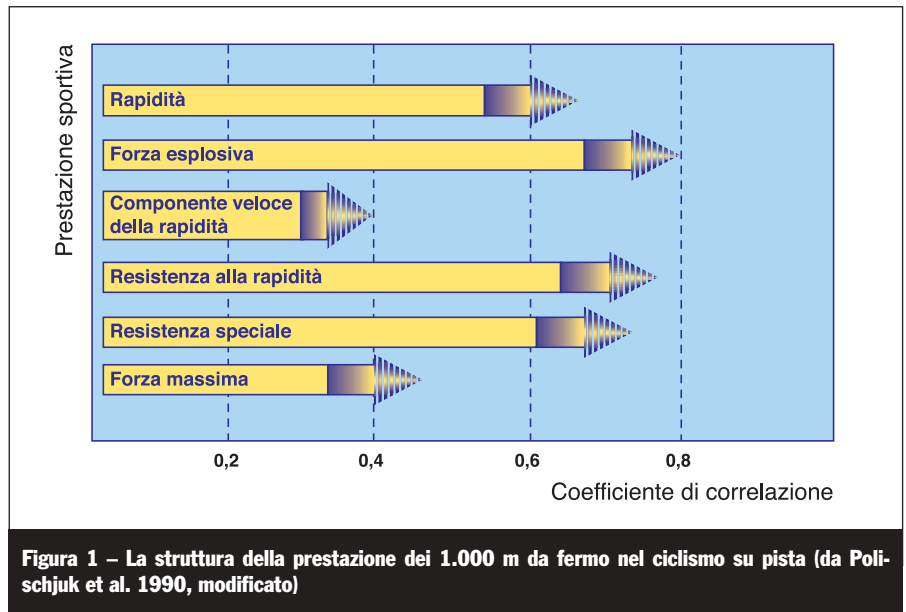


Figura 1 – La struttura della prestazione dei 1.000 m da fermo nel ciclismo su pista (da Polischjuk et al. 1990, modificato)

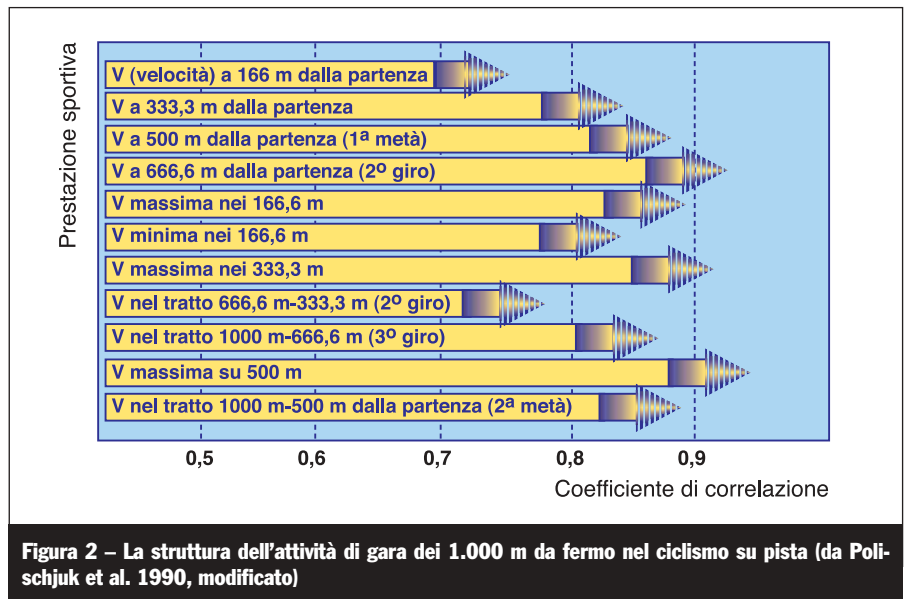


Figura 2 – La struttura dell'attività di gara dei 1.000 m da fermo nel ciclismo su pista (da Polischjuk et al. 1990, modificato)

situazioni proprie dello sport praticato, cioè attraverso l'intera gamma dei possibili comportamenti individuali (con tutta la loro ampiezza di variazioni tecnico-tattiche), a volte sostenuti da misure di ristabilimento, durante gli intervalli della gara. Perciò, la struttura della prestazione viene costruita *oggettivamente*; mentre la forma

*Forma sportiva* - disponibilità ottimale di un atleta ad ottenere una prestazione sportiva di una certa classe.

*Struttura della prestazione o struttura della capacità di prestazione* - l'espressione di quei presupposti personali della prestazione che permettono ad un atleta o ad una atleta di ottenere determinati risultati sportivi.

massima viene modulata *soggettivamente* in base ad essa; ed infine, la struttura della gara *viene tradotta in operazioni*, che si basano sullo stato di forma e viene realizzata nell'esecuzione della prestazione, che è quella che ne determina il valore.

Se la struttura della prestazione definisce sia quali saranno gli orientamenti principali degli obiettivi, dei compiti e dei contenuti del processo di allenamento, sia anche la sua durata a lungo termine (cioè nel macrociclo) la *forma massima* e la *struttura della gara* li determinano, rispettivamente, a medio termine (nel mesociclo) ed a breve termine (nel microciclo).

Livelli di risultati di gara diversi presuppongono anche strutture diverse della prestazione. Ciò vuole dire che ciascun livello di prestazione è caratterizzato da una propria struttura della prestazione.

La struttura di una prestazione di vertice si esprime in caratteristiche *variabili* (per il 20%) e *stabili* (20%). Le caratteristiche *variabili* definiscono sia il livello di sviluppo delle capacità organico-muscolari, che non sono d'importanza fondamentale per la prestazione specifica e di altre capacità aspecifiche, sia le caratteristiche delle funzioni di alcuni elementi dei sistemi ed apparati anatomici e fisiologici, la composizione del leucogramma, lo stato del sistema immunitario, del metabolismo e lo stato psichico generale. Sono soggette a notevoli oscillazioni, la loro funzionalità è determinata dall'associazione di molti elementi dei sistemi ed apparati anatomico-fisiologici ed hanno un rapporto stretto con il patrimonio genetico dell'organismo. Tutto ciò, negli atleti che ottengono prestazioni di alto livello, si evidenzia nella predisposizione verso ampie, ma stabili, modificazioni funzionali, in particolare verso un allargamento dei limiti delle oscillazioni. Queste caratteristiche variabili della struttura della prestazione si trovano nell'ambito dell'autoregolazione. Ad esempio, il sistema immunitario può essere considerato un indicatore a lungo termine delle riserve di salute e dell'affidabilità funzionale.

Le caratteristiche *stabili* riflettono l'attività di gara, il livello di sviluppo delle principali capacità, cioè delle capacità *specifiche* ed i parametri che regolano il movimento nelle funzioni di gara (o simili alla gara) dell'apparato anatomico-fisiologico (cioè i parametri bioenergetici ed i parametri biomeccanici, ecc.). Con l'aumento del livello della prestazione, la variabilità delle caratteristiche stabili, diminuisce, come è stato stabilito da una ricerca longitudinale (dal 1985 al 1995) condotta su 250 atleti di qualificazione internazionale di età da 17 a 28 anni.

Se si analizzano i lavori pubblicati nella letteratura internazionale su questo problema essi possono essere così sintetizzati:

1. L'attività di gara è determinata da componenti relativamente indipendenti che, talvolta, non presentano alcun rapporto tra loro.
2. Le diverse componenti della struttura dell'attività di gara, prevalentemente, sono determinate da capacità organico-muscolari, sistemi o meccanismi funzionali diversi.
3. Le componenti strutturali hanno un'importanza diversa per la prestazione di gara, che dipende dalla specificità e dalle condizioni di esecuzione dei movimenti dello sport o della disciplina sportiva specifica, ivi comprese le caratteristiche individuali degli atleti e delle atlete.

4. Esistono chiari rapporti di subordinazione tra struttura dello stato di allenamento (struttura della prestazione) e struttura dell'attività di gara.
5. Il livello gerarchicamente più elevato è rappresentato dalla prestazione di gara stessa, in quanto fattore integrato di formazione del sistema motorio-funzionale.

## 2. Un approccio basato sulla teoria dei sistemi ai rapporti tra gara ed allenamento

Questa gerarchia può essere spiegata se si fa riferimento alla *teoria dei sistemi funzionali* (Anochin 1973). In un approccio basato sulla teoria dei sistemi applicata alla teoria dell'allenamento, l'atleta viene concepito come "portatore" di un *sistema specifico funzionale di movimento* (Boiko 1988). Le richieste che gli vengono poste dall'ambiente sono rappresentate dall'allenamento e dalla gara, alle quali si adatta, in modo controllato, per la produzione del risultato pianificato: la *prestazione sportiva*. La piena manifestazione di questo risultato avviene in condizioni specifiche di stress, come quelle che possono essere prodotte solo dalla gara e, in parte, dalla sua simulazione. Perciò, influire su un sistema funzionale specifico di movimento per portarlo ad un determinato livello di suo funzionamento (allenamento), significa controllarlo secondo i parametri, noti in precedenza, cioè anticipati, del risultato funzionale approssimativamente noto che si vuole ottenere (prestazione di gara). Poiché gli adattamenti del sistema funzionale specifico di movimento hanno una base epigenetica (cfr. Meerson 1986), esistono almeno tre criteri fondamentali per trattare il complesso dei temi che riguardano la gara e la sua preparazione:

1. il risultato della gara – la prestazione ottenuta e precedentemente pianificata – che svolge due funzioni: con la sua ripetizione relativamente frequente ed il suo miglioramento funge da *biofeedback* sull'ampiezza adattativa della struttura della prestazione dell'atleta; questa prima funzione influisce sulla seconda che riguarda il controllo pratico degli adattamenti nell'allenamento (dal punto di vista dei contenuti, della sua costruzione e della sua durata).
2. La densità (frequenza) delle misure specifiche di regolazione che provoca il completamento della struttura della prestazione. Questa funziona sempre più in prossimità del momento della prestazione pianificata, in modo da essere "disponibile" nel momento voluto: nella forma massima.

3. Questo momento della "disponibilità" alla prestazione ottimale del sistema funzionale specifico di movimento, come già ricordava Matveev nel 1965, deve coincidere con il momento della gara stabilito nel calendario. Questa coincidenza avviene grazie all'utilizzazione regolare di esercizi, mezzi, metodi sempre più specifici nella preparazione alla gara.

Dunque si può affermare che in uno sport di prestazione, che sia orientato all'incremento dei risultati, l'allenamento non può essere spiegato che attraverso la gara. Da punto di vista dell'adattamento e di un approccio basato sulla teoria dei sistemi, l'allenamento può essere interpretato solo partendo dalla prestazione di gara e dalla gara stessa (cioè dalla realizzazione della prestazione) (cfr. Tschien, Barth 1997, 62).

## 3. Il carattere d'anticipazione dell'adattamento

La prestazione di gara è il risultato della realizzazione dei presupposti oggettivi e soggettivi della prestazione, come prodotto dell'attività del sistema specifico funzionale di movimento. Questi presupposti vengono costruiti e strutturati durante l'allenamento, secondo il criterio della loro utilità rispetto alla gara ed in questo modo vengono adattati alle esigenze che sono state programmate in vista di quest'ultima. *Quindi, il processo di adattamento (cioè l'allenamento) assume un carattere globale e contemporaneamente anticipatorio* (cfr. Anochin 1973).

L'espressione *globale* vuole dire che il processo di adattamento comprende tutti i presupposti della prestazione, anche se il loro funzionamento è sottoposto a leggi diverse. Ne fanno parte i presupposti organico-muscolari (energetici) e costituzionali dell'adattamento puramente biologico ed i presupposti tecnico-coordinativi e tattici, come anche quelli psichici (cognitivi) dell'organizzazione dell'informazione (cfr. Stark 1984). Nella prestazione, tutti questi presupposti si presentano solo in forma complessa e globale.

L'adattamento anticipatorio del sistema funzionale di movimento presuppone che il risultato futuro del suo funzionamento possa essere visibile anche nel presente, in determinate quantità, anche se scarse. Altrimenti, secondo Anochin, non sarebbe possibile comprendere quale sia l'adattamento.

Perciò, ogni allenamento deve porre, in misura crescente, a tutti i presupposti

della prestazione, quelle richieste che caratterizzano – e quindi anticipano – gradualmente o quasi completamente la prestazione di gara (Tschiene, Barth 1997). In questo senso, ad esempio, è noto da tempo (Verchoshanskij 1972) il principio della coincidenza dinamica tra esercizi di allenamento ed il carattere dei presupposti energetici degli esercizi di gara.

#### 4. Il quadro cronologico della preparazione alla gara

La preparazione alla gara rappresenta una parte del processo globale di *allenamento e preparazione a medio ed a lungo termine* della prestazione sportiva. Però, fin dall'origine, si distingue chiaramente all'interno di esso, sia per la sua vicinanza alla gara sia per lo stretto rapporto che ha con essa. Per cui è chiaramente dominata dalla gara. È tipico della natura e del sistema di ogni sport che il periodo della preparazione alla gara, cronologicamente, venga distinto, anche se relativamente, dal semplice allenamento dei presupposti speciali della prestazione.

Formalmente, l'inizio della preparazione alla gara viene delimitato dall'impiego di metodi specifici di gara e, quindi, dal periodo di durata della loro azione. Così, nel periodo precedente la gara, o nella tappa di gara, il sistema funzionale di movimento riceve una impronta ed una formazione particolare. Comunque questo periodo di tempo deve essere di durata sufficiente sia dal punto di vista dell'adattamento sia per quanto per quanto riguarda l'organizzazione delle informazioni (cioè deve essere di durata tale da garantire lo sviluppo dei presupposti organico-muscolari come anche tecnico-tattici della prestazione di gara).

Nel riquadro, questa relazione viene rappresentata attraverso la differenziazione e la definizione schematica dei compiti svolti, rispettivamente, dall'allenamento generale orientato sulla gara, dalla preparazione generale e speciale e dalla preparazione immediata alla gara.

Mentre con *allenamento orientato sulla gara* si definisce che, per principio, la direzione principale della preparazione a lungo termine di tutti i presupposti della prestazione tiene conto della loro utilità e della loro efficacia rispetto alla gara, il complesso della *preparazione alla gara* deve essere interpretato in modo meno generico, più concreto. In questo quadro più concreto si distinguono una preparazione *generale* ed una *speciale* alla gara. La prima comprende le misure che sono dirette ad garantire le capacità generali dell'atleta rispetto alla prossima gara importante. In essa si utilizzano, soprattutto, contenuti di allenamen-

*Allenamento generale orientato sulla gara* - ha il compito della preparazione a lungo termine di tutti quei presupposti organico-muscolari, coordinativi, tecnico-tattici, psichici che mettono l'atleta in grado di disputare le gare nello sport praticato.

*Preparazione generale alla gara* - ha il compito di svolgere una preparazione accentuata, a medio termine, di tutti i presupposti organico-muscolari, coordinativi, tecnico-tattici, psichici dell'atleta, rispetto alla prossima gara importante, come anche quello di sviluppare la capacità di tollerare il carico, attraverso la divisione in cicli del carico e dell'allenamento.

*Preparazione speciale alla gara* - ne fanno parte tutte le misure dirette ad incrementare la capacità generale dell'atleta di affrontare con successo i compiti che lo aspettano nell'immediato e che gli vengono posti da una gara ben precisa. Il suo culmine, è la *preparazione immediata alla gara* (PIG) che è direttamente indirizzata alla costruzione della forma massima.

to di tipo organico-muscolare (cfr. Schnabel, Thiess 1994), il cui obiettivo è lo sviluppo della capacità più elevata possibile di tollerare il carico.

Questa capacità rappresenta la base per la formazione specifica dei presupposti energetici della prestazione, senza trascurare però quelli di natura coordinativa (tecnica) e psichica. In questo caso, troviamo una preparazione accentuata, a medio termine, di presupposti della prestazione. Cioè un allenamento che, cronologicamente, è relativamente distante dalla gara ed è adeguatamente integrato nella struttura del macrociclo.

La preparazione speciale alla gara comprende tutte quelle misure che sono dirette ad incrementare la capacità generale dell'atleta di affrontare con successo i compiti che lo aspettano nell'immediato e che gli vengono posti da una gara ben precisa. Essa prevede una sua parte conclusiva particolare, cioè la *preparazione immediata alla gara* (PIG).

Se si tiene conto che la preparazione speciale alla gara che, come detto, culmina nella PIG, è direttamente indirizzata alla costruzione della forma massima, dal punto di vista pratico è opportuno domandarsi quali siano i criteri della forma massima.

Già nel 1983 Krasnikov (Krasnikov 1983) faceva un distinzione tra:

- caratteristiche dello sviluppo
  - caratteristiche della stabilità delle prestazioni,
- nello stato di capacità ottimale di prestazione.

Le *caratteristiche dello sviluppo* rappresentano la differenza tra la migliore prestazione dell'atleta nel macrociclo precedente e le prestazioni nel macrociclo attuale o successivo. Operativamente, si tratta della differenza tra il risultato ottenuto in una gara importante di controllo e la media statistica dei risultati nel periodo di gara. Ciò permette di valutare il grado di forma

e di tenerne conto per introdurre correzioni nella preparazione alla gara.

Le *caratteristiche della stabilità* sono rappresentate da:

- il numero dei risultati degli atleti e delle atlete che rientrano in un determinato ambito di risultati: ad esempio, il 98-98,5 % della migliore prestazione come limite inferiore, negli sport ciclici o di resistenza, il 95-97% per gli sport aciclici o di forza rapida;
- gli intervalli medi di tempo tra le prestazioni nell'ambito della forma massima (come sopra);
- la durata totale del periodo con prestazioni di gara che rientrano nei limiti citati precedentemente.

Queste caratteristiche, però, possono valere per quegli sport nei quali le prestazioni sono misurate esattamente, nei quali, comunque, la precisa definizione percentuale del settore della forma è soggetta ad alcune variazioni. I fattori che le provocano sono le caratteristiche specifiche dello sport, la diminuzione del tasso di sviluppo delle prestazioni con l'aumentare della durata dell'allenamento e della capacità di prestazione.

In alcuni sport, come quelli di combattimento ed i giochi sportivi, le caratteristiche della forma massima debbono essere solo sviluppate. Infatti, in questo caso le è difficile che le prestazioni di gara possano essere utili per valutare lo stato di forma (ciò è dovuto al tipo di avversari incontrati, all'importanza degli indicatori tecnico-tattici della prestazione, ai criteri della forma della squadra, ecc. (cfr. Berger 1990)).

Nel 1991, Matveev ha proposto un calcolo matematico dei limiti inferiori della zona della forma massima, che però ha incontrato notevoli critiche provocate dal suo carattere puramente speculativo (cfr. Verchoshanskij 1998). Se si realizza una sistematica delle azioni di gara degli atleti e delle atlete, secondo il *criterio del risultato*

(cfr. Sinaiskij, Popov 1996) si dimostra come sia impossibile una determinazione dello stato di forma massima, valida per tutti gli sport.

L'inizio e la durata della vera e propria preparazione speciale alla gara e della PIG è oggetto di discussione. La durata che viene spesso consigliata, che è quella di un mesociclo (cioè da 4 a 6 settimane), non può valere per tutti gli sport, per tutte le tipologie di atleti e per tutte le circostanze. Ma rappresenta un periodo di tempo sufficiente dal punto di vista dell'adattamento. Comunque, la decisione su quando occorre iniziare ad utilizzare prevalentemente esercizi, mezzi e metodi specifici di gara, dipende sempre da quale sia l'efficacia, ai fini dell'adattamento, della lunghezza del periodo per il quale vengono applicati, fino a raggiungere la forma massima e la sua espressione in gara.

Soprattutto negli sport di resistenza, per quanto riguarda il controllo del carico nella preparazione immediata alla gara, il problema è quello di garantire la capacità di ripetere il carico e la preparazione organizzativa generale della massima prestazione individuale (cfr. Neumann 1994).

## 5. Fattori che possono sostenere la prestazione nella preparazione e durante la gara

Attualmente le gare e l'attività di gara sono vittime di una contraddizione, immanente al sistema sportivo, che nasce dall'intensificazione dello sport di prestazione a livello internazionale.

Da un lato, troviamo un miglioramento generale dei risultati a livello mondiale che richiede un impegno sempre maggiore, accompagnato da una tendenza al rallentamento nei tassi di incremento delle prestazioni.

Dall'altro vengono applicati carichi d'allenamento sempre maggiori, che comportano, necessariamente un aumento dell'impegno di tempo ed il rischio dell'esaurimento energetico. Non sempre l'uomo agisce positivamente sulla natura e su se stesso. Ed assistiamo ad un impiego sempre maggiore di misure di controllo e di sostegno, dirette all'intensificazione della preparazione.

Una soluzione parziale di questa contraddizione si può trovare soltanto migliorando le misure di direzione dell'allenamento a medio ed a lungo termine diretto a raggiungere la forma massima.

La domanda principale non è fino a quale punto massimo ci si può spingere nel sollecitare gli atleti e le atlete, ma: quale livello raggiungono gli effetti di allenamento programmati in vista del risultato che si vuole ottenere in gara.

Le misure di ristabilimento, in quanto componente costante dei programmi di allenamento, assumono grande importanza, sia per la preparazione alla gara che per la gara stessa (cfr. Platonov 1999). Ne fanno parte i cosiddetti ausili ergogeni, che svolgono numerosi compiti che dipendono dalla direzione che devono assumere le misure di ristabilimento. Qui ci limiteremo parlare di quelli necessari per la preparazione alla gara, soprattutto di quelli necessari durante la preparazione immediata, che vengano utilizzati o per migliorare la produzione di energia o per rallentare l'affaticamento (Scheck et al. 1995) e che possono essere così suddivisi:

- *misure di tipo alimentare*, dirette a migliorare la crescita muscolare, ad aumentare le riserve energetiche nel sistema muscolare e ad incrementare la rapidità di trasformazione dell'energia;
- *ausili ergogeni di natura fisiologica*, diretti ad aumentare la rapidità di produzione d'energia ed a diminuire l'accumulo di sostanze legate ai processi di affaticamento;
- *interventi di natura psicologica* il cui obiettivo è migliorare le condizioni psicologiche e mentali ed impedire l'insorgere di fattori di questa natura che possono compromettere il rendimento in gara;
- *ausili ergogeni di natura biomeccanica* diretti ad incrementare l'efficienza meccanica dei movimenti, in modo tale che si possano risparmiare energie fisiche e mentali.

Il sostegno agli atleti di natura sociale non interviene nella preparazione immediata alla gara. La varietà degli ausili ergogeni, nelle fasi di recupero, ha assunto un'importanza sempre maggiore, in quanto, nello sport di altissimo livello, gli adattamenti di livello elevato od estremi (cfr. Israel 1992) provocano una specializzazione, più o meno ampia, ma, comunque inevitabile, dell'attività funzionale-motoria degli atleti o delle atlete. Si tratta di un fenomeno che resta nell'ambito di quelli fisiologici, anche se, però, rientra nelle zone estreme di carico del sistema funzionale di movimento.

Anche per questa ragione è assolutamente necessario che la preparazione alla gara venga accompagnata da misure di carattere preventivo, terapeutico e dirette a favorire il recupero.

## 6. Stato di forma massima e molteplicità di gara

Il fattore principale che forma il sistema funzionale-motorio ed integra tra loro tutti gli altri elementi dello sport di alto

livello, influenzandoli in modo essenziale, è il sistema delle competizioni.

A partire dagli anni '80 del secolo scorso nello sviluppo degli sport olimpici - soprattutto nelle discipline individuali - si osserva un ampliamento notevole del calendario nazionale ed internazionale. Chiaramente esiste un rapporto molto stretto tra questa evoluzione ed il processo di crescente commercializzazione e professionalizzazione di sport che in passato erano "dilettantistici" (se si prescinde dal sostegno statale che una volta veniva fornito loro in alcuni Paesi). Così, ad esempio, nel ciclo annuale di alcuni sport sono diventati quasi obbligatori un Campionato mondiale od Europeo in inverno ed in estate, ogni quattro anni i Giochi olimpici invernali od estivi, i Campionati nazionali, la Coppa del mondo o la Coppa Europa, i Gran Prix, le serie della Golden League, senza contare la partecipazione a varie gare per motivi pubblicitari, legati agli interessi degli sponsor. Se si fa la somma dei loro impegni, gli atleti o le atlete che partecipano a queste gare raggiungono un'attività od un periodo di gara che dura da nove a dieci mesi.

È naturale che finisce con il restringersi notevolmente il periodo che può essere sfruttato per un incremento notevole della forma massima in vista delle gare più importanti (Campionati mondiali, Campionati europei, Giochi olimpici).

Attualmente, questo problema può essere risolto solo se, oltre a costruire la struttura del calendario generale, si cerca di costruire una struttura del calendario individuale dell'atleta.

Che la gara, come mezzo che serve a sviluppare ulteriormente i sistemi dell'organismo rilevanti per la prestazione e le caratteristiche della personalità, possa provocare un miglioramento dello stato di forma e con esso della struttura dell'attività di gara, non può rappresentare un alibi per ridurre in modo irresponsabile il tempo dedicato all'allenamento.

Se si analizzano i calendari individuali degli sport olimpici, schematicamente, è possibile suddividerli in tre gruppi:

*1° gruppo*: comprende tutti quegli sport, o discipline sportive, nelle quali nell'anno troviamo un numero limitato di gare importanti (da cinque a dieci): marcia, corsa di maratona, pesistica, pugilato, lotta libera e lotta greco-romana, ginnastica artistica, equitazione. Il numero dei giorni di gara va da 7 a 30.

*2° gruppo*: comprende tutti quegli sport o discipline sportive nelle quali troviamo un numero medio di gare (da undici a quindici): nuoto, canottaggio, canoa, sci di fondo, pattinaggio su ghiaccio di velocità,



biathlon, combinata nordica, corse di fondo e mezzofondo, salti, lanci dell'atletica leggera, tiro, bob, scherma, tuffi, salto dal trampolino con gli sci, nuoto sincronizzato ecc. Il numero dei giorni da gara va da 20 a 55.

**3° gruppo:** comprende tutti quegli sport o quelle discipline sportive nelle quali troviamo un grande numero di gare (da 40 a 150): ciclismo, sci alpino e tutti i giochi sportivi. Il numero dei giorni di gara va da 40 a 120 (cfr. Suslov 1995).

Un elemento importante è la diversa percentuale del carico rappresentato dalle gare, sul volume totale del carico annuale. Ad esempio, se i tempi dell'attività di gara sono circa il 3% in uno sport di combattimento, i chilometri percorsi in gara, nel canottaggio, nella canoa e nella corsa vanno dall'1 al 2% del carico globale, nel ciclismo rappresentano 30-40% circa ed oltre (Tschiene, cfr. SdS, n. 52, p. 5).

In base a ricerche svolte nella maggior parte degli sport individuali, dall'analisi dei calendari individuali risulta quanto segue: indipendentemente dal notevole ampliamento dei calendari nazionali ed internazionali che si è prodotto negli ultimi anni, ad eccezione del ciclismo e dei giochi sportivi, negli atleti di alto livello non si rileva un aumento notevole dalla partecipazione alle gare. Però si rileva un aumento della partecipazione a gare internazionali, a discapito di quelle nazionali.

Il numero di partecipazioni alle gare degli atleti di alto livello dipende da diversi fattori:

- il numero dei macrocicli nell'anno;
- le particolarità del recupero dopo la partecipazione alle gare;
- le sollecitazioni dell'apparato locomotorio e di sostegno;
- la garanzia che l'attività di gara possa essere svolta in modo ottimale dal punto di vista di vista energetico ed ormonale, ecc.

Comunque, per quanto riguarda la tendenza degli sport dilettantistici ad avvicinarsi sempre più a quelli professionistici, si può affermare che non è possibile che si raggiunga una completa coincidenza tra di loro. Infatti, mentre l'atleta professionista deve partecipare ad una lunga serie di gare per rispettare il suo contratto di lavoro o di sponsorizzazione ed è interessato alle retribuzioni ed ai premi, per gli atleti dilettanti l'obiettivo prioritario resta quello di ottenere grandi risultati nei Giochi olimpici e nei Campionati mondiali. I professionisti sono costretti a mantenere un elevato livello di disponibilità alla prestazione per quasi dieci mesi, mentre i dilettanti rag-

### Le tre tipologie di struttura di un calendario individuale di gara (da Suslov 1995, 37)

#### *La struttura permanente*

Prevede lunghi periodi di gara; partecipazione a gare/partite senza tappe intermedie (o più brevi); settimane di gare: da una a due partecipazioni a gare (turni eliminatori, finali) anche quotidianamente (gare a tappe, tornei). È tipica di sport come il ciclismo, lo sci alpino, il calcio, l'hockey su ghiaccio, il tennis, ecc.

#### *La struttura concentrata*

La partecipazione alle gare avviene ad intervalli di circa venti giorni, ma prevede più start; è concentrata in periodi da uno a sette giorni, serve un allenamento intenso; numerosi microtraumi richiedono un adeguato intervento terapeutico al loro termine. È tipica delle corse di mara-

tona, della marcia, del pugilato, della pesistica, della ginnastica artistica, del canottaggio e delle canoa, del pattinaggio di velocità su ghiaccio, dell'equitazione, delle gare multiple e di tutte le discipline di intensità elevata.

#### *La struttura mista*

Alternanza di serie di start in periodi da due a cinque settimane con gare singole, concentrate in uno o più giorni; queste serie di gare sono precedute da uno o due mesocicli di preparazione immediata alla gara (tornei/serie di gare); gare quotidiane (partite); durata delle serie di gare da cinque a sette start; con da tre a quattro giorni di intervallo (sport ciclici).

giungono il top della loro forma al massimo per due o tre avvenimenti all'anno.

Secondo Suslov (1995) nel calendario individuale di gara è possibile individuare tre strutture (cfr. riquadro):

- permanente
- concentrata
- mista

Nella *struttura mista* si individuano le migliori possibilità che la preparazione alle gare sia pienamente efficace dal punto di vista dell'adattamento, anche negli intervalli tra le serie di partecipazioni e nella preparazione immediata alle gare principali della stagione.

La costruzione del periodo di gara non può avere mai carattere "generale", cioè non può essere mai generica, in quanto viene determinata dal tipo di sport praticato, dal suo calendario specifico, dalla tollerabilità individuale del carico, dagli obiettivi del periodo di gara, dai suoi compiti, dal livello di prestazione, ma soprattutto dalla condizione di dilettante o di professionista dell'atleta.

Generalmente, per raggiungere lo stato di forma massima, necessario per il miglioramento delle prestazioni e degli standard di prestazione, viene consigliato di mantenere, per quanto possibile un sistema di gare "fisso" per molti anni (cfr. Schustin 1996), perché in questo modo è possibile stabilire efficacemente, anche nel futuro, una pianificazione delle date delle gare e del momento in cui sviluppare lo stato di forma massima.

L'effetto negativo dell'ampliamento della possibilità di gareggiare, offerta dai calendari attuali e la sua accettazione, soprattutto da parte di quegli atleti che si trova-

no ad un livello appena inferiore a quello massimo, provocata dalla spinta ad emergere, dalla ricerca di fama, da stimoli finanziari e dalla pressione degli sponsor, può essere contrastata se si segue l'orientamento secondo il quale *l'atleta di alto livello deve disporre sempre di periodi di carico di allenamento e di gara individualizzati e sufficienti dal punto di vista dell'adattamento, come anche di periodi sufficienti di recupero* (cfr. Tschiene 1995, 19). L'utilizzazione della partecipazione alle gare deve essere sintonizzata con la strategia del carico. Ciò può essere ottenuto, in parte, anche ricorrendo a metodi noti da tempo:

- distinguere tra gare importanti ed meno importanti;
- se si vuole raggiungere un obiettivo di prestazione più importante, avere il coraggio di limitare la partecipazione alle gare, anche a costo di grandi sacrifici dal punto di vista finanziario;
- pianificare una serie di gare nelle tappe di allenamento di intensità più elevata, ad esempio, per raggiungere la forma massima (cfr. Lychatz 1989);
- prevedere una nuova tipologia di costruzione del ciclo annuale di allenamento, nel senso che la pluralità di gare che può essere tollerata determina una pluralità di cicli di allenamento che però deve essere possibile dal punto di vista dell'adattamento (pluralità di cicli di allenamento);
- nei periodi finali dell'allenamento che precede una gara importante, occorre astenersi totalmente dal partecipare alle gare, per mantenere la possibilità di mobilitarsi e di riattivare il sistema funzionale motorio;

**Tabella 1 – Classificazione delle gare secondo la loro rilevanza per lo stato di forma (sport olimpici)**

| Categoria | Definizione  | Obiettivo   | Rilevanza per la forma   |
|-----------|--|---|--|
| I         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gare di allenamento</li> <li>– Gare di controllo (anche partite/tornei amichevoli)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Durante l'allenamento come misura di intensificazione e di controllo del carico globale e parziale vicino a quello della gara</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Solo indiretta, a lungo termine</li> </ul>  |
| II        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gare o tornei di costruzione, gare di qualificazione/gare di controllo</li> <li>– Gare pre-stagionali</li> <li>– Gare di conclusione del macrociclo</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Costruzione specifica della struttura della prestazione, soprattutto nel caso di una struttura annuale con molti macrocicli</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– In parte indiretta, altrimenti diretta, ma a medio termine</li> </ul>                           |
| III       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gare introduttive (serie/tornei)</li> <li>– Selezione, qualificazione</li> <li>– Gare stagionali importanti (prima e dopo le gare più importanti della stagione)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Formazione della forma massima nella PIG</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Diretta, a breve termine, per la realizzazione momentanea della struttura della gara</li> </ul> |
| IV        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gare più importanti della stagione</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Realizzazione del potenziale dell'atleta, vittoria, record</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Assoluta</li> </ul>   |

- dopo le gare occorre assolutamente tenere conto della necessità di recupero, soprattutto psichico. Ciò significa che durante e dopo serie di gare o tornei, occorre evitare carichi di allenamento che abbiano carattere di sviluppo;
- controllare frequentemente l'andamento e lo stato dell'adattamento, altrimenti è impossibile qualsiasi controllo dell'allenamento.

Da quanto detto finora, è evidente che una chiara classificazione delle gare programmate, basata sull'importanza che esse hanno ai fini della costruzione, dell'espressione e della realizzazione della massima disponibilità alla prestazione (stato di forma) nei momenti più importanti della stagione o del macrociclo, diventa una necessità della preparazione alla gara, che non solo è operativa, ma è anche legata ai processi di adattamento.

Secondo il criterio della loro rilevanza per la forma massima, vengono distinte almeno quattro categorie di gare (tabella 1)

La pianificazione della partecipazione a gare di categoria diversa (I - III) è un strumento estremamente importante per controllare come ottenere la forma massima nelle gare della IV categoria (cfr. Lünenschloss 1990). In collegamento con il crescente rispetto delle leggi dell'adattamento a breve ed a lungo termine, compreso il miglioramento anticipato del modello delle capacità dello sport specifico, rispetto alla tradizionale metodica dell'allenamento, viene considerato sicuro un ulteriore incremento del rendimento dell'attività di gara dal 2,0 a 3,0%.

#### Forma massima ed anzianità di allenamento

Come è noto gli atleti presentano varie tipologie di adattamento, ma quando si tratta il problema dei rapporti tra forma massima e gara, soprattutto tra forma massima e momento della gara, occorre tenere conto anche dell'anzianità di allenamento dell'atleta. Prima di entrare nel periodo di età delle massime prestazioni, generalmente, atleti ed atlete, presentano un'anzianità di dieci anni di allenamento. In questo lasso di tempo, nel quale troviamo la massima realizzazione delle possibilità individuali di prestazione vengono distinti tre periodi:

1. il *periodo che precede quello culminante*, nel quale si raggiunge il massimo livello individuale di prestazione;
2. il *periodo culminante*, nel quale si rileva una relativa stabilizzazione del massimo livello individuale di prestazione, che rappresenta l'età durante la quale si è atleti di alto livello;
3. il *periodo della graduale diminuzione del massimo livello di prestazione* (cfr. List-schenko 1997).

Secondo i vari sport, questo periodo dell'età della massima realizzazione delle possibilità individuali di prestazione, dura circa due-tre cicli olimpici. Man mano che si allunga il periodo di età in cui un atleta rimane ad alto livello (normalmente si tratta di atleti che appartengono alla squadra nazionale), spesso il tempo neces-

sario a raggiungere lo stato di forma massima cambia. Ad esempio, per atleti più anziani, il tempo della preparazione alla gara può aumentare, se, attraverso il volume di allenamento non si riesce ad ottenere un incremento delle prestazioni degno di nota o aumentano i rischi (di infortuni). *Invece, con gli atleti più giovani, se si manifestano alcune carenze nella loro capacità di prestazione, è realistico prevedere una diminuzione del periodo di preparazione alla gara (ad eccezione della preparazione immediata alla gara). In questo modo si evitano rischi di infortuni ed insuccessi, quando incontreranno il successivo, più elevato livello di avversari e si guadagnerà tempo per eventuali correzioni.*

Se è il caso, sporadicamente, sono opportuni cicli annuali e macrocicli di minore durata, nei quali, rispetto a quello globale impiegato per l'allenamento, aumenta notevolmente il tempo necessario per potere ripetere più volte la preparazione alla gara (nella PIG). Si tratta di un metodo diretto a sfruttare il potenziale che è stato formato in modo accentuato nell'anno precedente e per costruire una struttura dell'attività di gara ad un livello ancora più elevato.

Nell'ultimo periodo dell'età delle massime prestazioni, è assolutamente opportuno e necessario determinare quale deve essere la durata individuale della preparazione alla gara, atleta per atleta. I criteri da utilizzare sono il livello dei risultati, le esperienze, il bilancio dei successi e degli insuccessi, lo stato di salute, la diminuzione della capacità di adattamento, la moti-

vazione personale e i cambiamenti che vi dovranno essere nella vita degli atleti e delle atlete.

## 7. Preparazione alla gara e difese immunitarie

Generalmente, se l'allenamento e l'attività di gara degli atleti e delle atlete sono organizzati in modo razionale, non sono caratterizzati da fenomeni di superallenamento, di eccesso di sforzo e malattie. Però, si deve tenere conto che alcuni atleti di alto livello presentano punti deboli nel loro sistema funzionale di movimento, per cui possono essere predisposti verso questo tipo di fenomeni.

Sia precedentemente, sia anche durante la preparazione alla gara si deve fare attenzione a stabilire l'andamento dello sviluppo della struttura individuale della prestazione e della forma massima degli atleti e delle atlete. Tutti i dati che possono essere facilmente rilevati forniscono un'informazione rapida sullo stato e le prospettive della capacità di prestazione.

Un indicatore della diminuzione della capacità di prestazione è rappresentato da un decremento degli indici del sistema immunitario, che, durante la tappa di gara e soprattutto nella fase di preparazione ad esse, comporta una azione negativa sulla forma massima.

In una preparazione dosata in modo ottimale, lo stato immunitario resta stabile fino al periodo di gara. Ne fornisce la prova l'esempio del confronto tra due gruppi di pattinatori su ghiaccio di velocità, nei quali il carico di allenamento era stato strutturato in modo diverso (cfr. Volkov et al. 1995) (cfr. tabella 2).

Il primo gruppo, durante il periodo di preparazione svolgeva un grande volume di allenamento ininterrotto molto duro, ma un allenamento moderato durante il periodo di gara. Anche il secondo gruppo si allenava sei volte alla settimana, ma con una mescolanza ottimale tra carico e pause di recupero ed il suo carico di allenamento nel periodo di gara era "duro". Però, le sue prestazioni sportive ed i valori immunologici rimanevano stabili, rispetto al primo gruppo.

Traduzione di Mario Gulinelli. Titolo originale: *Die Wettkampfvorbereitung im Systemansatz*. L'articolo rappresenta la traduzione e l'adattamento in vista della pubblicazione del 5. capitolo del libro di G. Thieb, P. Tschiene (a cura di), *Handbuch zur Wettkampflehre*, edito nel 1999 dalla Meyer & Meyer Verlag.

Si ringrazia la Casa editrice Meyer & Meyer per avere concesso il permesso di pubblicazione.

**Tabella 2 – Attività fagocitaria dei leucociti in atleti praticanti pattinaggio su ghiaccio di velocità durante il periodo di preparazione e di gara (cfr. Volkov et al. 1995, 13)**

| 1° gruppo | Valori iniziali     |                    | Periodo di preparazione |                   |                     |                  |
|-----------|---------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
|           | I                   | II                 | Giugno                  |                   | Ottobre             |                  |
|           |                     |                    | I                       | II                | I                   | II               |
| 1         | 2,76±0,8            | 80±12,3            | 1,46±0,33<br>p<0,05     | 61±12,3<br>p<0,05 | 0,74±0,24<br>p<0,05 | 54±1,8<br>p<0,05 |
| 2         | 3,2±0,4             | 78,2±6,8           | 2,86±0,2                | 85±7,2            | 3,0±0,15            | 78±9,9           |
| 2° gruppo | Periodo di gara     |                    |                         |                   |                     |                  |
|           | Dicembre            |                    | Febbraio                |                   | Marzo               |                  |
|           | I                   | II                 | I                       | II                | I                   | II               |
| 1         | 1,46±0,03<br>p<0,05 | 58,±12,3<br>p<0,05 | 2,7±0,3                 | 57±12,0           | 1,72±0,25           | 55,3±8,4         |
| 2         | 3,24±0,33           | 84±9,9             | 0,68±0,25<br>p<0,05     | 45±6<br>p<0,05    |                     |                  |

Legenda: I - indice fagocitario; II - % dei leucociti attivi

## Bibliografia

- Anochin P. K., Das funktionelle System als Grundlage der physiologischen Struktur des Verhaltenaktes, Jena, 1967.
- Anochin P. K., Teoria del sistema funzionale (in russo), Mosca, 1973.
- Berger J., Die Herausbildung der sportlichen Form. Beiträge zur Trainingswissenschaft, II parte, Potsdam, 1990, 38-39.
- Boiko V., Die gezielte Entwicklung der Bewegungsfähigkeit des Sportlers, DSB-BAL, Francoforte sul Meno, 1988.
- Filin V., Folin N., Le basi dello sport giovanile (in russo), Mosca, 1980.
- Listchenko V. E., Sulla costruzione dell'allenamento a lungo termine degli atleti di qualificazione elevata, Teorija i praktika fiziceskoi kul'tury, 60, 1997, 3, 21-22.
- Lühenschloss D., Die Vorbereitung von Sportlern auf Wettkämpfe, in: Beiträge zur Trainingswissenschaft, Potsdam, 1990, 97-99.
- Lychatz S., Tendenzen der trainingmethodischen Entwicklung in den Ausdauersportarten im Olympiazzyklus 1985-1988 (2), Leistungssport, 19, 1989.
- Matveev L. P., La periodizzazione dell'allenamento sportivo (in russo), Mosca, 1965.
- Matveev L. P., Principi dell'allenamento sportivo (in russo), Mosca, 1977.
- Neumann G., Sportmedizinische Standpunkte zur Wettkampfvorbereitung in Ausdauersportarten, Leistungssport, 24, 1994, 1, 49-52 (traduzione italiana a cura di M. Gulinelli, Aspetti medico sportivi della preparazione alle gare negli sport di resistenza, Sds-Scuola dello sport, 14, 1995, 32, 50-55).
- Platonov V. N., Belastung - Ermüdung - Leistung. Der moderne Trainingsaufbau, Münster, 1999.
- Polishiuk D., Nour A., Orjol V., Levin R., Rudenko V., Nazarenko V., Il miglioramento del controllo del processo dell'allenamento sportivo dei ciclisti sulla base della ricerca sull'attività di gara (in russo), Teorija i praktika fiziceskoi kul'tury, 53, 1990, 4, 32-38.
- Schek A., Tschiene P., Nickel H., Leistungsförderer im Sport, Leistungssport, 25, 1995, 2, 4-5.
- Schnabel G., Thiess G. (a cura di), Lexikon Trainingswissenschaft, Berlino, 1993.
- Schustin B. N., L'attuale sistema delle gare sportive, (in russo), in: Comitato per la cultura fisica e lo sport della Federazione russa (a cura del), Lavori degli Istituti di ricerca scientifica per la cultura fisica di tutta la Russia, vol. I, Mosca, 1996, 197-203.
- Sinaiskij M., Popov A., Una sistematica delle azioni di gara degli atleti secondo il criterio del risultato, Teorija i praktika fiziceskoi kul'tury, 59, 1996, 2, 51-55.
- Stark G., Sporttechnische Training und zwei grundlegenden Prinzipien der Leistungsentwicklung, Theorie und Praxis Leistungssport, 22, 1984, 12, 3-12.
- Suslov F. P., Sulla teoria del sistema individuale di gara, (in russo), Teorija i praktika fiziceskoi kul'tury, 58, 1995, 8, 37-39.
- Tschiene P., Barth B., Die Wettkampfvorbereitung, in: Thiess G., Tschiene P., Nickel P. (a cura di), Der sportliche Wettkampf, Münster, Philippka Verlag, 1997, 60-111.
- Verchoshanskij Y., Grundlagen des modernen Krafttrainings, in: Adam K., Verchoshanskij Y., Modernes Krafttrainings im Sport, Berlin, 1972, 39-148.
- Verchoshanskij Y., Verso una teoria e metodologia scientifica dell'allenamento sportivo, Sds-Scuola dello sport, 17, 1998, 41-42, 40-50.
- Verchoshanskij Y., Gli orizzonti di una teoria e metodologia scientifica dell'allenamento sportivo, 17, 1998, 43, 12-21.
- Volkov V., Issajov A., Bashanova S., Gavrish T., Immunologia dello sport (in russo), Teorija i praktika fiziceskoi kul'tury, 58, 1995, 10, 12-14.

Gian Nicola Bisciotti, CRIS-UFRAPS, Università Claude Bernard, Lione; Scuola universitaria interfacoltà di scienze motorie, Torino; Consulente scientifico Internazionale FC, Milano; Pier Paolo Iodice, Raffaele Massarelli, CRIS-UFRAPS, Università Claude Bernard, Lione; Marcel Sagnol, Laboratorio allenamento e prestazione, UFRAPS, Università Claude Bernard, Lione

## La fatica: aspetti generali e periferici

28

Il punto sullo stato attuale delle conoscenze sui fattori che provocano la fatica

**Il fenomeno della fatica ha un'eziologia multifattoriale, non sempre facilmente identificabile e la cui interpretazione, spesso, comporta numerosi dubbi e non poche contraddizioni concettuali. Classicamente si tende a suddividere il fenomeno in fatica periferica e fatica centrale, attribuendo alla prima cause prevalentemente metaboliche ed alla seconda, invece, motivazioni essenzialmente di tipo neurale. Tuttavia il quadro generale non è sempre così perfettamente distinguibile ed i vari fattori scatenanti si sovrappongono molto spesso in maniera indistinguibile, rendendo la situazione di difficile lettura interpretativa. In questa breve rassegna si cerca di fare il punto sullo stato attuale di conoscenza della problematica inerente l'insorgenza della fatica, sia periferica, che centrale, sottolineando i molti punti di dubbio ed i possibili futuri campi d'indagine.**

### 1. Introduzione

Nel corso degli ultimi trent'anni, il concetto di fatica si è piuttosto modificato ed in un certo senso "evoluto". Prima degli anni '70, infatti, fisiologicamente, la nozione di fatica era essenzialmente un sinonimo dell'esaurimento delle scorte energetiche, prevalentemente dell'ATP e dell'accumulo di sostanze inibitrici nei confronti dei meccanismi di ripristino energetico (Westerblad et al. 1991). Solamente a partire dagli anni '80 si è cominciato ad interpretare il fenomeno come multifattoriale e reversibile, considerando anche, sia la sua diversa velocità, sia i suoi differenti termini d'insorgenza.

Più tardi, a cominciare dagli anni '90, si è potuto assistere ad un crescente consolidamento dei concetti di plasticità muscolare, dei meccanismi di ottimizzazione della produzione di forza da parte del



Foto Martinez

muscolo e della sua ricerca di "attivazione economica", nonché, più recentemente, all'apparizione del concetto di formazione di complessi sub-cellulari tra i sistemi biologici e gli elementi ultrastrutturali, legato al concetto di formazione di micro-ambienti (Korge, Campbell 1995).

Autori come Korge e Campbell, mettono in discussione il fatto che uno dei fattori scatenanti il fenomeno della fatica possa essere costituito dalla mancanza di ATP, dal momento che la deplezione di ATP viene efficacemente controbilanciata dalla sua rigenerazione attraverso un fenomeno di *down-regulation* anche nel muscolo affaticato. Potenzialmente questo fenomeno di *down-regulation* potrebbe essere svolto da alcuni prodotti della reazione ATPasica<sup>1</sup>, come dall'accumulo di  $P_i$  od  $H^+$ . I due Autori sottolineano come esistano evidenze sperimentali che dimostrano che il legame della creatinchinasi e degli enzimi glicolitici nella vicinanza dei siti d'idrolisi dell'ATP ed il loro accoppiamento funzionale con i meccanismi di rigenerazione dell'ATP, potrebbe creare un "micro-ambiente" che avrebbe un importante ruolo nella regolazione della funzione ATPasica. Un'importante funzione in questo fenomeno di rigenerazione dell'ATP può essere assunto dal valore ottimale di *ratio* locale ADP/ATP, che sembrerebbe particolarmente importante nel caso di un elevato *turnover* dell'ATPasi. Sfortunatamente, nel muscolo in vivo, non è dato conoscere il massimo rateo locale di rigenerazione dell'ATP, in funzione della sua idrolisi.

Questa mancanza di conoscenza di dati precisi è principalmente dovuta al fatto che, nella determinazione *in vitro*, questo valore viene, di fatto, sistematicamente sottostimato. Ed è proprio negli anni '90 (Atlan et al. 1991) che appare per la prima volta il termine anglosassone *wisdom* (che tradotto letteralmente significa *saggezza*) che descrive il sistema di protezione di tipo progressivo, messo in atto dal muscolo contro il fenomeno della necrosi.

I due principali processi implicati nell'insorgenza del fenomeno della fatica, che sono costituiti dalla *trasmissione del segnale nervoso* e dalla *catena energetica metabolica*, sono fortemente interagenti e si sovrappongono costantemente, costituendo in tal modo, sia singolarmente, che sinergicamente, la causa scatenante della fenomenologia. La bibliografia inerente la problematica fisiologica della fatica è vastissima (si possono trovare oltre 3800 articoli scientifici sull'argomento) e costellata di numerose divergenze interpretative riconducibili, essenzialmente, a problemi di standardizzazione e riproducibilità tra i vari protocolli d'indagine.

Soprattutto la trasposizione di dati ottenuti *in vitro*, rispetto alla situazione *in vivo*, è alquanto deludente. Occorre anche notare che, sia i criteri di ordine biomeccanico, sia quelli di tipo prettamente biologico, inerenti il fenomeno della fatica sono sovente mal definiti, dal momento che occorre ricordare che la fatica e, conseguentemente, la sua modalità d'insorgenza, è "compito-specifica", ossia presenta una forte specificità nei confronti dell'attività che la ha indotta (Allen et al. 1995; Fitts, Metzger 1993; Fitts 1996; Green 1997; Mc Lester 1997; Sejersted et al. 1998; Westerblad et al. 1991). D'altro canto anche la classica forma iperbolica che descrive il rapporto tra tempo limite e la percentuale di forza massima utilizzata nel corso dell'esercizio, ci sottolinea l'aspetto fortemente multifattoriale del fenomeno (Rohmer 1968).

In questo lavoro prenderemo in esame i principali fattori che determinano l'insorgenza della fatica periferica e della fatica centrale per poterci meglio rendere conto della complessità del problema e del suo aspetto "multiparametrico", che rende impossibile poter imputare ad un solo fattore l'insorgenza del fenomeno.

## 2. La fatica periferica

Come già accennato, il fenomeno della fatica è stato indagato tramite l'utilizzo di svariati protocolli di studio, il più delle volte difficilmente riproducibili e standardizzabili ed, in ultima analisi, scarsamente confrontabili. Le metodiche maggiormente utilizzate sono costituite da sperimentazioni su muscolo isolato oppure *in vivo*, sia sull'animale sia sull'uomo. Un grande apporto metodologico è stato rappresentato, verso la fine degli anni '70, dall'avvento della *Risonanza Magnetica Nucleare* (RMN), che ha reso possibile lo studio non invasivo ed in tempo reale dei meccanismi energetici cellulari, come, ad esempio, la concentrazione muscolare di protoni. Grazie all'avvento di questa nuova tecnica si è potuto dare vita a tutta una serie di modelli che hanno tentato e tentano di descrivere, con la maggior precisione possibile, tutte le tappe che portano alla produzione di forza all'interno del muscolo in attività. Tuttavia, indipendentemente dalle tecniche di indagine utilizzate, il concetto di fatica varia in funzione dei diversi Autori. Alcuni, infatti, adottano come criterio valutativo variabili di tipo biomeccanico, come la tensione muscolare, altri invece preferiscono adottare parametri di ordine biologico, come la concentrazione di alcuni composti, oppure l'attività di alcuni enzimi o di alcuni complessi molecolari. Da un punto di vista prettamente metodolo-

gico, i tre tipi di metodo di lavoro maggiormente utilizzati nei protocolli d'indagine della fatica muscolare sono costituiti *dalla contrazione isometrica di tipo continuo*, *dalla contrazione isometrica di tipo discontinuo* e *dalla contrazione isotonica discontinua*. Questa ultima modalità di lavoro può essere svolta eccentricamente, concentricamente, attraverso la modalità isocinetica, oppure, grazie ad una combinazione di queste differenti possibilità. La durata, la progressività e l'intensità delle esercitazioni proposte nei vari tipi di protocollo utilizzati sono le più svariate e costituiscono un ulteriore problema interpretativo.

### 2.1 I meccanismi ed i siti implicati nell'insorgenza della fatica: il ruolo delle pompe $Na^+/K^+$ ATPasi e $Ca^{++}$ ATPasi

Come è noto il segnale chimico prodotto grazie all'acetilcolina, si traduce a livello del sarcolemma nuovamente in segnale elettrico. Infatti, se una quantità sufficientemente elevata di questo neurotrasmettitore si lega ai recettori post-sinaptici, aumenta la permeabilità del sarcolemma stesso nei confronti del sodio, da qui risulta una depolarizzazione della membrana e la propagazione di un potenziale di azione che si propaga lungo il sarcolemma. Questo potenziale viene in seguito trasmesso ai tubuli trasversi (sistema T) verso l'interno della cellula. In questa sequenza di eventi sono implicate, sia la pompa  $Na^+/K^+$  ATPasi, al livello del sarcolemma, che la pompa  $Ca^{++}$  ATPasi, a livello del reticolo sarcoplasmatico. Le due pompe regolano i gradienti ionici trans-membranari che sono necessari al fenomeno eccitatorio ed all'attivazione dell'accoppiamento actomiosinico. La pompa  $Ca^{++}$  ATPasi presenta una forte specificità in rapporto ai vari tipi di fibra e ne condiziona la velocità di contrazione, al contrario la pompa  $Na^+/K^+$  ATPasi presenta poche differenze in rapporto alla tipologia delle fibre muscolari. Numerose sperimentazioni, effettuate su muscolo *in vivo*, dimostrano come il bloccaggio di queste due pompe, causi un abbassamento della capacità di contrazione (Nielsen, Harrison 1998). Alla fine di un esercizio condotto ad esaurimento il ritorno ad uno stato di omeostasi della pompa  $Na^+/K^+$  ATPasi, si presenta più rapido di quello relativo alla pompa  $Ca^{++}$  ATPasi (Green 1998), tuttavia l'alterazione della funzionalità della pompa  $Na^+/K^+$  ATPasi, che si verifica in condizioni di fatica, altera significativamente il gradiente membranario del potassio (McLester 1997). Durante gli esercizi prolungati, soprattutto svolti ad una certa intensità, si verifica un'import-

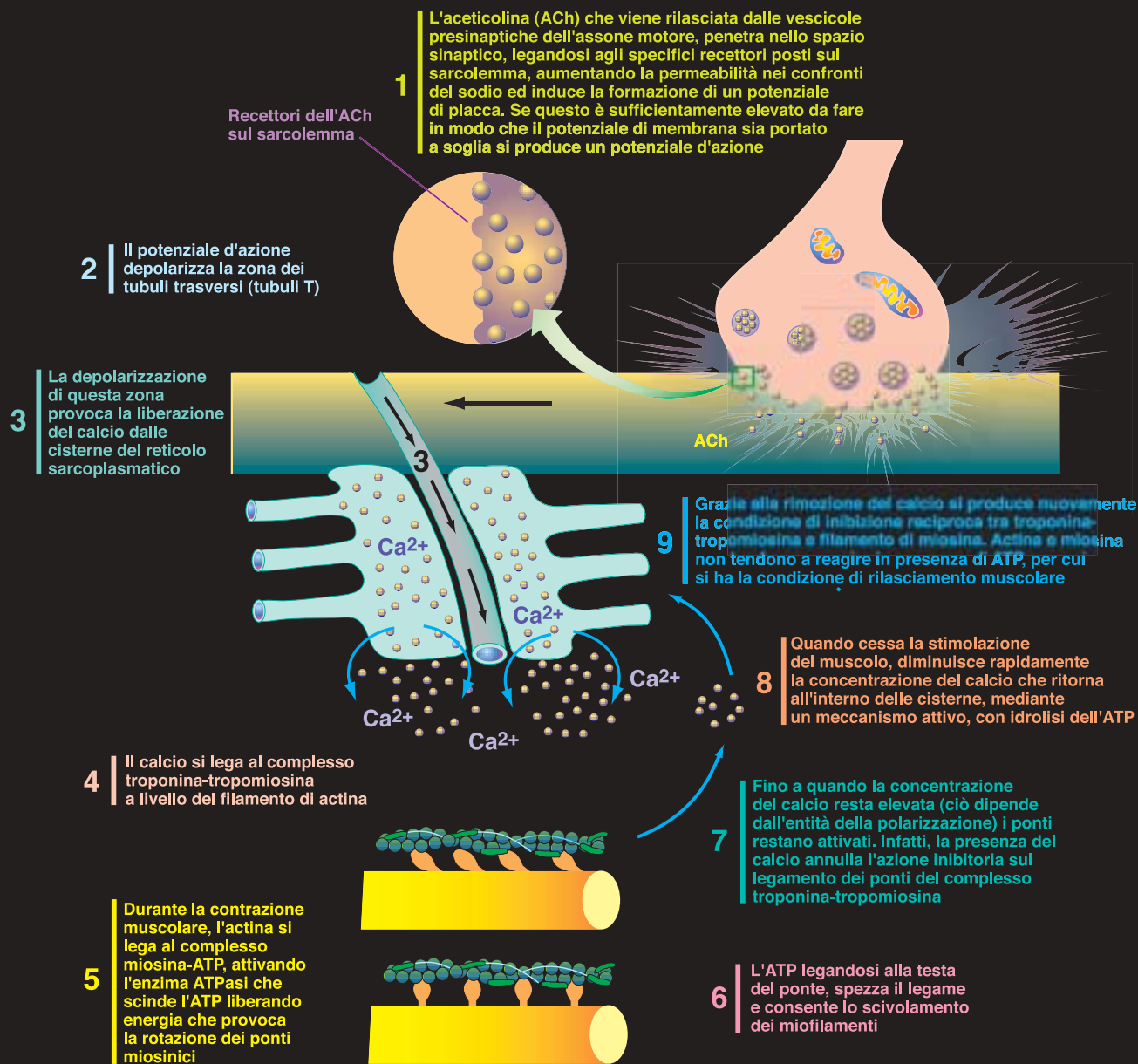


Figura 1 – Successione dei processi che producono la contrazione ed il rilassamento del muscolo (numeri da 1 a 9), e ruolo svolto dal calcio

tante fuoriuscita di potassio, tale da essere notevole anche a livello della differenza artero-venosa del catione stesso. La riduzione del potenziale di azione che ne consegue, che è dell'ordine di circa il 50%, potrebbe essere sufficiente per modificare la funzionalità dei tubuli trasversi ed impedire la liberazione di  $\text{Ca}^{++}$  dal reticolo sarcoplasmatico, situazione che porterebbe ad una diminuzione della capacità di produzione della forza da parte del muscolo (Nielsen, Overgaard 1996; Rios et al. 1991; Rios, Pizzarro 1988). La capacità di resi-

stenza contrattile, sembrerebbe quindi dipendere dall'efficienza della pompa  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , anche se per alcuni Autori (Sjogaard 1996), il ruolo del potassio nell'insorgenza della fatica dipenderebbe dalla natura della sperimentazione (*in vivo* oppure *in vitro*) e dall'intensità del lavoro imposto. Infatti, *in vivo* ed a bassa intensità di lavoro, il ruolo del potassio nel fenomeno d'insorgenza della, fatica sarebbe alquanto limitato e l'apparizione di quest'ultima dipenderebbe essenzialmente da una disfunzionalità del sistema T (Sjo-

gaard 1996). Al contrario, nel caso in cui siano presenti un'alta frequenza ed un'importante intensità di contrazione, si verifica una significativa elevazione del gradiente extracellulare di potassio che si accompagna, sia ad una diminuzione del potenziale di membrana, sia del potenziale di azione e di velocità di propagazione dell'onda elettrica (Sjogaard 1996). Questo aumento del gradiente extracellulare di potassio, influenzerebbe, a sua volta, il fenomeno di retrocontrollo del debito sanguigno muscolare locale, la cui

conseguenza potrebbe essere la stimolazione di chemiorecettori arteriosi che indurrebbero un aumento della pressione arteriosa (Paterson 1996). Il ruolo del potassio nell'insorgenza della fatica verrebbe ulteriormente confermato dal fatto che, in numerose sperimentazioni nelle quali veniva aggiunto potassio nell'ambiente cellulare, si verificava inequivocabilmente una diminuzione della produzione di forza, anche in un muscolo inizialmente non affaticato (Sjogaard 1996). Nelle sperimentazioni *in vitro*, al contrario, non è possibile attribuire al potassio un ruolo particolarmente importante nell'insorgenza della fatica, a causa della sua diluizione immediata nell'ambiente cellulare. Nelle esperienze *in vitro*, è piuttosto il calcio che si presenta sempre ben correlato alla produzione di forza.

Tuttavia, occorre riportare come in bibliografia sia possibile ritrovare protocolli sperimentali nei quali l'affaticamento sopravviene senza che peraltro si potessero registrare significativi incrementi del potassio extra-cellulare (Sjogaard 1996). Infatti, in alcune di queste situazioni, il potenziale membranario e l'ampiezza del potenziale d'azione rimanevano sostanzialmente stabili, anche in presenza del fenomeno di affaticamento e l'aumento del gradiente extra-cellulare di potassio poteva addirittura influenzare positivamente la produzione di forza. Questi dati ci fanno, quindi, chiaramente intuire come il potassio non sia l'unico elemento responsabile della fatica muscolare e come comunque non agisca sempre in modo diretto.

Altri fenomeni che potrebbero essere collegati all'insorgenza della fatica, riscontrabili nelle sperimentazioni *in vivo*, possono essere costituiti dall'apparizione di sostanze antagoniste dell'acetilcolina a livello della giunzione neuro-muscolare, oppure dall'accumulo di protoni.

## 2.2. Il calcio intracellulare e l'accoppiamento eccitazione-contrazione

All'interno della cellula, l'insorgenza della fatica sembra legata ad una fenomenologia piuttosto complessa concernente, sostanzialmente variazioni, sia nella distribuzione e nei legami, oltre che nella concentrazione e nei movimenti, del calcio (Williams et al. 1995). Alcuni lavori (Westerblad et al. 1990), in effetti, mostrano come, dopo un periodo di contrazione tetanica ad alta frequenza, compreso tra i 5 ed i 10 secondi, la concentrazione di  $Ca^{++}$  risultasse minore al centro della fibra in rapporto a quanto non fosse al bordo della fibra stessa. Questo dato indicherebbe un deficit di liberazione al centro della

fibra, probabilmente dovuto ad un difetto del potenziale di azione del sistema T. Occorre a questo proposito considerare che, dal momento che il sistema T non è solamente devoluto a veicolare il potenziale d'azione, ma anche ad indurre una sorta di retroregolazione nei confronti dell'accumulo degli ioni calcio, un loro cospicuo aumento potrebbe elevare la soglia di propagazione del potenziale d'azione del sistema T stesso (McLester 1997). Nonostante tutto, comunque, il ruolo del sistema T e del reticolo sarcoplasmatico nell'insorgenza della fatica periferica, non è ancora del tutto chiaro, anche se alcuni Autori (Chin, Allen 1998; Linde e coll. 1998) concordano nell'associare la fatica con almeno tre meccanismi legati al calcio, dei quali i primi due sono costituiti da una diminuzione sia della sua liberazione, sia del suo ripompaggio da parte del reticolo sarcoplasmatico ed il terzo è rappresentato da un abbassamento della sensibilità delle miofibrille, sempre nei confronti del  $Ca^{++}$  stesso. Anche il pH locale, come vedremo in seguito, potrebbe giocare un qualche ruolo attivo in questo tipo di meccanismo. In definitiva, dunque, tutte queste modificazioni, riguardanti la concentrazione del  $Ca^{++}$  intracellulare, costituiscono una forte causa di perturbazione del meccanismo di accoppiamento eccitazione-contrazione, anche se occorre sottolineare che la diversa tipologia delle fibre è differenzialmente influenzata da questa catena di eventi. Le fibre ossidative, infatti, vengono meno perturbate dalle variazioni della concentrazione di  $Ca^{++}$  intracellulare, durante il loro ciclo di accoppiamento eccitazione-contrazione, rispetto alle fibre glicolitiche (Stephenson et al. 1998). Questo diverso comportamento potrebbe spiegare, almeno in parte, la loro maggiore resistenza alla fatica.

## 2.3 Il ruolo dell'acidosis

Il metabolismo dell'ATP è strettamente legato a quello dei protoni ed all'equilibrio acido-basico del sarcoplasma (Sahlin 1994; Linderman, Gosselink 1994). In effetti, la quasi totalità delle reazioni ossidative concernenti l'ATP, comprese la sua idrolisi e la sua reintegrazione, vedono una liberazione ed un'assunzione di protoni da parte dell'ambiente. L'idrolisi di una molecola di ATP libera un protone, la glicolisi anaerobica citoplasmatica forma 2 molecole di ATP per ogni molecola di glucosio utilizzata, con la conseguente liberazione di due protoni, come d'altro canto la glicogenolisi, nella quale vengono prodotte tre molecole di ATP per ogni mole di glicogeno e comunque vengono rilasciati nell'ambiente cellulare due protoni. Il meccanismo anaerobico

alattacido, al contrario, ha un bilancio protonico nullo, essendo la scissione della fosfocreatina un meccanismo blandamente alcalinizzante (Woolledge 1998). A riposo, o nel corso dell'esercizio svolto a bassa intensità, il sistema è leggermente sbilanciato verso un modico accumulo di protoni, dal momento che, in simili condizioni, la loro produzione risulta maggiore, seppur leggermente, del loro recupero, che si attua attraverso le vie di resintesi dell'ATP. Il sarcoplasma riesce, comunque, a mantenere nel corso del lavoro poco intenso, un pH relativamente stabile grazie sia all'intervento di numerosi sistemi tampone, sia alla fuoruscita dalla cellula di protoni e di gas carbonico. Questi sistemi sono particolarmente efficaci, basti pensare che, in totale assenza di tamponi cellulari, il pH cellulare scenderebbe a 1,5 (Rouillon e Candau, 2000). Alcuni di questi processi, come, ad esempio, il meccanismo di trasporto dei bicarbonati, sono stati scoperti solo di recente, tanto è vero che, nel 1994, Linderman, Gosselink sostenevano ancora l'impermeabilità del sarcolemma nei confronti del bicarbonato. È facilmente comprensibile dunque come, nonostante il loro indubbio interesse nei confronti del fenomeno della fatica, questi aspetti siano ancora molto inesplorati e poco conosciuti. Possiamo comunque dire che il potere tampone del muscolo scheletrico risulta maggiore di quanto non sia quello plasmatico, ma minore di quello eritrocitario e che i principali sistemi tampone sono costituiti dal sistema bicarbonato/acido carbonico, dal sistema proteina/proteinato e dal sistema fosfato monoprotone-fosfato diprotone. Dal momento che, negli esercizi di alta intensità, la cui durata vada oltre qualche secondo, la resintesi dell'ATP avviene essenzialmente tramite il meccanismo anaerobico lattacido, la concentrazione di protoni nell'ambiente cresce rapidamente, superando ben presto le possibilità di controllo del sistema tampone. Il risultato è un rapido abbassamento del pH sarcoplasmatico (Mannion et al. 1995). La perfusione degli ioni  $H^+$  dalla fibra muscolare al torrente circolatorio, avviene con una velocità di circa 30 volte maggiore rispetto a quanto non sia per lo ione lattato ( $La^-$ ). Ciò grazie alla loro minor dimensione (Shepard 1986). Circa un terzo degli  $H^+$  non sarebbe comunque associato agli  $La^-$ ; questo starebbe ad indicare l'importante ruolo giocato in questo senso dal sistema di scambio sodio/protoni e dai sistemi bicarbonato-dipendenti (Bangsbø et al. 1990). Il ruolo dell'abbassamento del pH nell'insorgenza del fenomeno della fatica è un argomento molto indagato e per alcuni aspetti controverso (Allen et al. 1995; Chin, Allen 1998; Fitts, Metzger

1993; McLester 1997; Westerblad et al. 1991) e l'elenco delle conseguenze fisiologiche che i vari Autori attribuiscono all'acidosi è molto lungo:

- diminuzione dell'attività della pompa sodio/potassio con conseguente apertura dei canali potassici;
- diminuzione della fissazione del calcio sulla troponina, dato il suo antagonismo con gli  $H^+$ ;
- diminuzione nella formazione del numero di ponti acto-miosinici;
- diminuzione della velocità di accorciamento;
- diminuzione dell'energia cellulare dovuta ad un abbassamento dell'attività enzimatica, principalmente della fosfofruttochinasi;
- diminuzione della miosina ATPasi (che vede il suo pH ideale situato a 7,2);
- diminuzione sia dell'uscita di calcio, che di protoni dalla cellula;
- aumento della rigidità delle proteine.

Tutto questo quadro viene ulteriormente aggravato in condizioni d'*ipertermia*. Numerosi studi confermano il ruolo effettivo sostenuto dall'acidosi muscolare nell'insorgenza della fatica nel corso di esercizi svolti ad alta intensità e di media durata (Linderman, Gosselink 1994). D'altro canto, una controprova indiretta dell'importanza dell'abbassamento del pH muscolare nel fenomeno della fatica, è rappresentata dall'aumento della massa muscolare stessa e quindi del potere tampone del muscolo, in seguito ad alcuni tipi di allenamento (Juel 1998). Tuttavia sono molte le perplessità espresse in merito all'abbassamento del pH come maggiore responsabile della situazione di affaticamento periferico. Quelle che potremmo definire come "divergenze interpretative", vanno dalla messa in discussione dei metodi d'indagine utilizzati, come ad esempio il fatto che nella fibra isolata i protoni escono più velocemente di quanto non facciano nella fibra in vivo, sino alla critica di alcuni aspetti maggiormente specifici. Secondo alcuni Autori, il lattato non sarebbe né il solo, né tanto meno il principale fornitore di protoni nel corso dell'esercizio muscolare. Secondo i dati riportati da Sahlin (1992), il pH riscontrato su di un prelievo bioptico muscolare in condizioni di riposo e di fatica, passa da un valore di 7,1 a quello di 6,6. In queste condizioni la concentrazione di lattato aumenta, passando da 1 a 30  $mmol \cdot l^{-1}$  di acqua intracellulare. Contemporaneamente la degradazione di PCr e di ATP, prima in ADP e susseguentemente in AMP, provoca la liberazione di grandi quantità di acido fosforico ( $H_3PO_4$ ) che vede aumentare la



Foto Digitalvision

sua concentrazione da 17 a 49  $mmol \cdot l^{-1}$  di acqua intracellulare. Sapendo che il pH rappresenta il logaritmo decimale su base negativa (ossia dell'inverso) della concentrazione di protoni, possiamo calcolare, sia la concentrazione di protoni prima dell'esercizio ( $79 \text{ nmol} \cdot l^{-1} : 1 \text{ nmol} = 10^{-6} \text{ mmol}$ ), che quella riscontrabile dopo l'esercizio stesso ( $251 \text{ nmol} \cdot l^{-1}$ ). In quest'aumento di concentrazione di protoni post-esercizio che è, quindi, di  $172 \text{ nmol} \cdot l^{-1}$ , il contributo della degradazione dei composti fosforici ad alta energia (PCr, ATP, ADP) sarebbe di 1,5 volte maggiore rispetto a quello del lattato (Sahlin 1992). Sempre Sahlin (1992) ed altri Autori (Hirvonen et al. 1987; 1992), farebbero osservare come, durante un esercizio di breve durata svolto ad alta intensità, la degradazione di PCr e l'accumulo di lattato siano tra loro in un rapporto molto vicino, se non eguale, ad 1:1. In altri termini, questi Autori sottolineano il fatto che, quando la concentrazione di lattato aumenta di  $1 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$ , quella di PCr diminuisce di altrettanto. Come è noto, la formazione di una mole di creatina, proveniente dalla degradazione di una mole di PCr, permette l'eliminazione di una mole di protone e di una mole di lattato. In tal modo la degradazione della PCr tamponerebbe la gran parte dei protoni forniti dalla glicolisi anaerobica. Se è indubbio che la contrazione muscolare, effettuata al di là di una certa intensità, provochi un abbassamento del pH, che è a sua volta responsabile dell'inibizione della PFK (fosfofruttochina-

si), l'enzima chiave della glicolisi lattacida. È altrettanto vero che il fenomeno che interagisce tra questi due fattori, acidificazione dell'ambiente ed inibizione della PFK, non è sempre perfettamente chiaro. L'attività ottimale dell'enzima PFK si trova ad un pH di 7,03, ossia molto vicino al pH che presenta il muscolo a riposo; la caduta del pH sino a valori di 6,63, livelli d'altro canto facilmente raggiungibili nel corso di un'esercitazione intensa, vede in effetti abbassarsi praticamente a zero l'azione dell'enzima chiave del meccanismo glicolitico. Tuttavia, anche in simili condizioni, un certo numero di composti presenti a livello muscolare sono in grado di rimuovere l'azione inibitrice svolta dai protoni sulla PFK stessa. Ad esempio, ad un pH pari a 6,63, l'aggiunta di fosfato inorganico, sino al raggiungimento del livello di  $20 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$ , riporta l'attività enzimatica della PFK a circa il 40% delle sue capacità (assumendo come 100% dell'attività della PFK quella registrabile a pH 7,3). Anche l'aggiunta di ADP, in ragione di  $0,5 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$  riporta l'attività enzimatica della fosfofruttochinasi al 55% delle sue piene potenzialità, mentre queste ultime rimontano sino a ben il 70% dopo l'aggiunta di una pur scarsa quantità di fruttosio 1,6 bifosfato, composto, quest'ultimo, che sappiamo essere ben presente nel muscolo in attività, nel quale svolge peraltro degli importanti ruoli di regolazione (Perronet 1994). Questi dati potrebbero, quindi, inficiare la teoria, secondo la quale l'accumulo di lattato ed il conseguente abbassamento del



pH, inibirebbero l'attività della PFK, o per meglio dire, sottolineerebbero il fatto che tale fenomeno sia perfettamente osservabile in sperimentazioni effettuate su muscolo isolato, ma non altrettanto evidente sul muscolo *in vivo*, nel quale il livello di ATP e di fruttosio 6 fosfato (da cui per fosforilazione da parte dell'ATP deriva il fruttosio 1,6 bifosfato) sono molto più elevate.

Anche il ruolo dell'abbassamento del pH sull'apparato contrattile potrebbe essere comunque messo in discussione. È conoscenza comune l'antagonismo esistente tra i protoni e gli ioni calcio sui siti di legame della troponina. Questo sarebbe in effetti un meccanismo di difesa del muscolo che, inibendo appunto il meccanismo di contrazione in presenza di un pH eccessivamente basso, previene i possibili danni che potrebbero conseguire al perdurare della contrazione muscolare in un ambiente estremamente acido. Tuttavia, se si osserva l'andamento, durante la fase successiva ad un esercizio muscolare intenso, del ripristino del pH e delle capacità contrattili del muscolo, possiamo quantomeno mettere in dubbio le affermazioni precedenti. Dopo una contrazione di tipo isometrico, mantenuta sino a quando la forza espressa non cada al 50% della forza massimale volontaria, si registra in effetti un pH molto basso (6,1-6,6). Durante la fase di recupero, il pH ritorna verso valori normali solamente in tempi molto lunghi dell'ordine di circa dieci minuti. Inoltre, durante i primi due min circa della fase di recupero il pH continua ad abbassarsi, nonostante l'interruzione del lavoro fisico. Questa ulteriore acidificazione dell'ambiente muscolare è dovuta alla liberazione di protoni che avviene durante la resintesi della creatina in PCr. Nonostante il fatto che il ritorno del livello del pH verso i valori di riposo sia un processo relativamente lento, cioè dell'ordine di una decina di minuti, come abbiamo detto, il muscolo riesce a ristabilire le sue capacità contrattili in un arco di tempo molto più breve. Infatti, dopo il mantenimento di una contrazione isometrica che prosegue sino a che la forza generata non cada a valori pari al 50% della massima forza isometrica, il muscolo recupera completamente, ritornando quindi in grado di generare nuovamente la stessa forza, dopo un periodo di riposo compreso tra i due ed i tre minuti (Sahlin, Ren 1989). Nel corso dello stesso studio, i due Autori notarono come, dopo due minuti di recupero, la diminuzione del livello degli  $H^+$  dovuta alla metabolizzazione del lattato, fosse completamente controbilanciato dal rilascio di altri  $H^+$  dovuti alla resintesi della PCr. Quindi, il fatto che il muscolo possa ritro-

vare le sue piene capacità contrattili anche in mancanza di un innalzamento del pH, getta numerosi dubbi sull'assunto secondo il quale l'abbassamento del pH, dovuto all'accumulo di lattato, sia il responsabile dell'inibizione contrattile del muscolo e quindi il responsabile dell'insorgenza del fenomeno della fatica periferica. Per cui, anche se in effetti la fatica muscolare appare in presenza di un abbassamento del pH, le evidenze sperimentali, in tutto rigore, escluderebbero un rapporto di linearità tra pH e forza e/o pH e fatica e non permetterebbero di andare al di là di una relazione di coincidenza tra i due fenomeni in causa (Chin, Allen 1998). D'altro canto, in bibliografia, esistono numerosi esempi di sperimentazioni che riferiscono l'insorgenza del fenomeno della fatica anche senza il verificarsi di acidosi muscolare (per una *review* vedi Allen et al. 1995). Alcuni Autori, infine, proporrebbero di considerare la fase del recupero in due periodi distinti, il primo dei quali, considerabile come *periodo di recupero rapido*, sarebbe caratterizzato da un veloce ritorno verso lo stato basale del meccanismo di accoppiamento eccitazione/contrazione e di regolazione del calcio e risulterebbe pH-indipendente, ed un secondo, più lento, che sarebbe, almeno in parte, legato al ritorno verso i valori basali, sia dei protoni, che dei fosfati (Fitts, Metzger 1993). Tuttavia, occorre comunque ricordare che alcuni studi recenti, svolti su modello animale, nei quali una perfusione di La (con concomitante mantenimento del pH a valori basali) faceva registrare una diminuzione della forza contrattile (Hogan et al. 1995), potrebbero riaprire il dibattito sul ruolo del lattato nell'insorgenza della fatica. Per giustificare questi risultati, gli Autori avanzavano l'ipotesi dell'aumento della forza ionica che sarebbe la responsabile di un'alterazione nella formazione dei ponti acto-miosinici. In questo senso va anche un'altra sperimentazione, sempre effettuata su modello animale, nella quale gli Autori concludono che l'aumento di La possa avere un effetto negativo sulla capacità di produzione di forza da parte del muscolo, probabilmente a causa di un meccanismo d'inibizione nei confronti del rilascio di  $Ca^{++}$  da parte del reticolo sarcoplasmatico (Stephenson et al. 1998).

#### 2.4. Il ruolo dei fosfati inorganici nella forma mono e diprotonica

I fosfati inorganici ( $P_i$ ) sono metaboliti, derivanti dall'idrolisi dell'ATP e della PCr, e la loro concentrazione tende ad aumentare nell'ambiente, indipendentemente dalla durata dell'esercizio svolto. In bibliografia si possono ritrovare numerosi lavori che

tendono ad evidenziare il ruolo svolto da queste sostanze nella diminuzione della prestazione fisica, legata all'insorgenza della fatica, oppure all'ischemia od all'ipossia. L'aggiunta di poche millimoli di  $P_i$  nell'ambiente muscolare induce una diminuzione della capacità contrattile, con una conseguente diminuzione della produzione di forza ed un cambiamento, sia del ciclo oscillante, che dell'attività ATPasica. Vale la pena di soffermarci a questo punto sul meccanismo del *ciclo oscillante*: quando le fibre muscolari oscillano a 5-15 Hz per circa il 2% della loro lunghezza di riposo, sono in grado di produrre un'importante potenza meccanica, idrolizzando praticamente il doppio quantitativo di ATP per unità media di tensione, rispetto alla condizione statica. L'attività ATPasica risulta correlata linearmente alla tensione media prodotta durante l'oscillazione. L'aggiunta di  $P_i$  o di solfato riduce, sia il costo della tensione, che la frequenza ottimale di oscillazione di lavoro, perturbando in tal modo il sistema (Pybus, Tregear 1975). I  $P_i$  sono presenti a livello organico in due forme: la prima *monoprotonica* e la seconda *diprotonica*, la cui proporzione di presenza dipende dalla concentrazione dei protoni presente nell'ambiente. Nel momento in cui il pH cellulare si abbassa, pressoché la totalità del  $P_i$  presente passa alla forma diprotonica. Questo passaggio del  $P_i$  dalla forma monoprotonica a quella diprotonica è correlato alla diminuzione della forza contrattile, mentre questa correlazione non si registra con la forma monoprotonica. Questi effetti variano in rapporto alla tipologia delle fibre, con ogni probabilità in ragione della diversa sensibilità che le fibre medesime presentano per ciò che riguarda la loro attività ATPasica nei confronti del  $P_i$ . Nel caso di esercizi di breve durata, svolti ad alta intensità, il verificarsi di un rapido ed importante accumulo di  $P_i$ , dovuto al massiccio intervento del meccanismo anaerobico alattacido, costituisce uno dei più importanti fattori responsabili dell'insorgenza della fatica muscolare, assumendo in questo caso una valenza ancor maggiore di quella rivestita dai meccanismi di perturbazione ionica. Questo sarebbe tuttavia in contraddizione con quanto riportato da alcuni studi (Greenhaff 1995; Mujika, Padilla 1997) che riferiscono come una supplementazione di creatina possa, aumentando le scorte di fosfocreatina, ritardare l'apparizione del fenomeno della fatica. In effetti, una supplementazione di creatina, generando  $P_i$  attraverso il fenomeno dell'idrolisi, dovrebbe al contrario essere un fattore inducente la fatica (Sahlin et al. 1998.). Anche durante le esercitazioni di lunga durata, svolte a bassa intensità, il

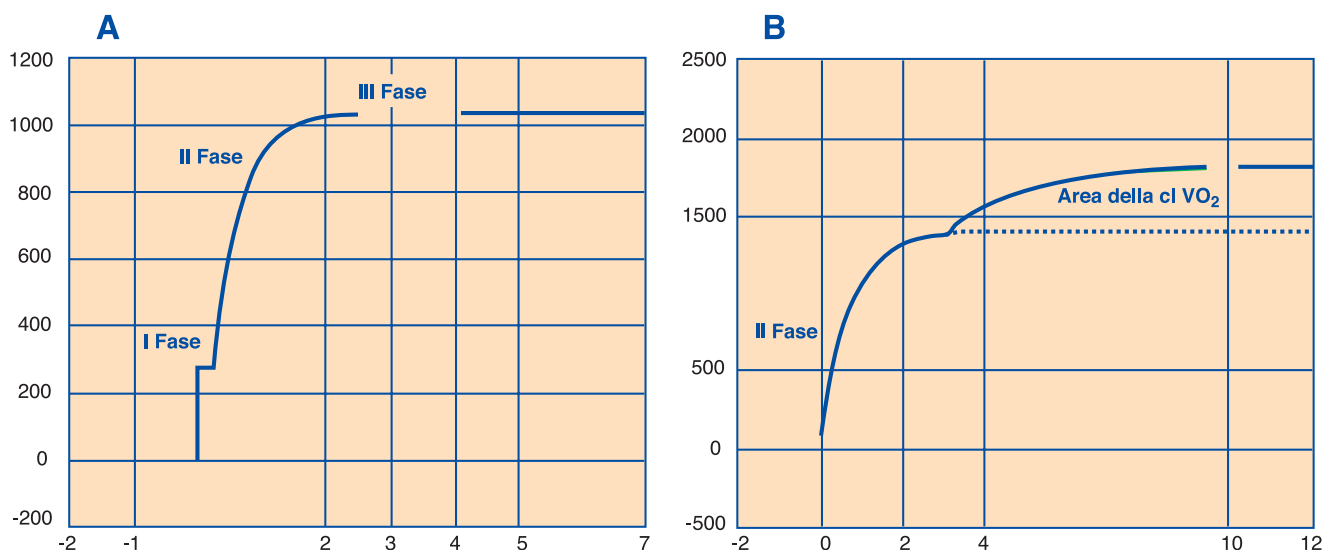


Figura 2 – La componente lenta del  $\dot{V}O_2$

sistema dei fosfageni, che in questo caso si trova accoppiato ad un forte fenomeno di idrolisi dell'ATP, può comunque indurre un fenomeno di elevazione della concentrazione di Pi tale da comportare il passaggio dei ponti actomiosinici dal loro livello di alta produzione di forza a quello basso, fenomeno che potrebbe essere alla base della teoria del sistema oscillante, come proposto da Mc Lester (1997). L'allenamento potrebbe giocare un ruolo sostanziale nell'incidenza dei fenomeni sopra descritti, inducendo una progressiva tolleranza a concentrazioni di Pi sempre maggiormente elevate (Mc Lester 1997).

### 2.5. Il ruolo dell'adenosindifosfato

Recentemente, alcuni ricercatori hanno rivolto la loro attenzione al possibile ruolo svolto dall'adenosindifosfato (ADP) nell'instaurarsi del fenomeno della fatica periferica, prendendo in considerazione anche il rapporto ADP/ATP (Allen et al. 1995; Mc Lester 1997; Sahlin 1998). Questo composto, come sottolineato nel modello energetico proposto da Mc Lester (1997), svolgerebbe un ruolo di primo piano nel meccanismo di transizione dallo stato di bassa a quello di alta energia ed è, inoltre, considerabile a tutti gli effetti come il principale responsabile del distacco dei ponti actomiosinici. Nel momento in cui la sua concentrazione subisce un sostanziale aumento, l'ADP ostacola l'ATP nel meccanismo di distacco dei ponti actomiosinici, diminuendo in tal modo la forza prodotta dal sistema oscillante. Questo effetto d'inibizione sul distacco dei ponti verrebbe ulte-

riormente enfatizzato in presenza di basse concentrazioni di ATP.

### 2.6. Il ruolo della componente lenta del $\dot{V}O_2$ nel caso particolare della corsa

Durante uno sforzo ciclico, effettuato ad un carico costante d'intensità inferiore a quella della prima soglia ventilatoria<sup>2</sup>, soprattutto se svolto in posizione eretta come nel caso della corsa, è possibile notare un primo repentino incremento del  $\dot{V}O_2$ , essenzialmente ascrivibile al veloce aumento del flusso ematico polmonare, che caratterizza la prima fase denominata *cardioritmica*, alla quale fa seguito una seconda fase, caratterizzata da un aumento meno ripido del  $\dot{V}O_2$ , legata all'arrivo del flusso ematico proveniente dai distretti muscolari attivi. Questa seconda fase porta, a sua volta, in circa tre min, al raggiungimento della terza fase, detta di *steady-state*, in cui il consumo di  $O_2$  si stabilizza. Nello svolgimento di un lavoro effettuato ad un'intensità maggiore rispetto alla prima soglia ventilatoria, la cinetica del  $\dot{V}O_2$  cambia sostanzialmente. In questo caso, infatti, alla seconda od alla terza fase, si sovrappone una nuova componente caratterizzata da una cinetica più lenta che, appunto per questa sua caratteristica, prende il nome di *componente lenta del  $\dot{V}O_2$*  (figura 2). La componente lenta del  $\dot{V}O_2$  (cl  $\dot{V}O_2$ ) rappresenterebbe quindi un "eccedenza" di  $\dot{V}O_2$  che, sino a determinati carichi, consente il raggiungimento di uno *steady-state* ritardato. Nel caso, invece, in cui i carichi di lavoro siano particolarmente intensi, non diviene più possibile il rag-

giungimento di uno stato di *steady-state* ed in tal caso la cl  $\dot{V}O_2$  concorrerebbe al raggiungimento del massimo valore di  $\dot{V}O_2$ , valore peraltro superiore a quello prevedibile dalla relazione  $\dot{V}O_2$ /carico sotto soglia (W) e quindi al rapido raggiungimento dell'esaurimento da fatica. La cl  $\dot{V}O_2$  comporterebbe un aumento del costo  $\dot{V}O_2$ /W, che passerebbe dai circa 10 ml/W registrabili sotto-soglia, ai circa 12-13 ml/W osservabili durante il lavoro sopra-soglia (Maione et al. 2001), evidenziando in tal modo una perdita di efficienza muscolare. La cl  $\dot{V}O_2$  viene pressoché unanimemente spiegata dai diversi Autori, attraverso fenomeni prevalentemente muscolari legati al progressivo reclutamento, durante l'attività svolta ad alta intensità, di fibre di tipo II, il cui rendimento è minore rispetto a quelle di tipo I. La cl  $\dot{V}O_2$  quindi farebbe parte integrante del fenomeno della fatica e sarebbe una delle principali cause, in attività come la corsa, della progressiva riduzione dell'efficienza muscolare (Whipp, Wassermann 1970; Jacobsen et al. 1998).

### 3. La fatica centrale

Con il termine di *fatica nervosa*, o *centrale*, si intende tutto quel complesso di fattori che determinano la diminuzione della contrattilità muscolare, indipendentemente dai fattori intramuscolari e/o metabolici. L'implicazione di fenomeni centrali nell'insorgenza della fatica è dimostrata da alcune sperimentazioni (Bigland-Ritchie et al. 1979), che dimostrano come la stimolazione elettrica di un complesso muscolare affaticato, permetta

di recuperare una certa percentuale del livello iniziale di forza. In questo tipo di sperimentazioni, alcuni soggetti furono sottoposti ad un lavoro di tipo intermittente a carico del soleo, sino a che non fosse stato raggiunto un livello di affaticamento tale da diminuire la forza del distretto muscolare sino al 50% della massima capacità contrattile. Raggiunta una simile situazione, gli Autori riferiscono di come l'imposizione di una stimolazione elettrica permetta di ritrovare un livello di forza pari all'80% del livello massimale, attribuendo in tal modo la differenza tra i due valori alla fatica di tipo centrale. Tuttavia, occorre notare che il parziale recupero dei livelli iniziali di forza, indotto dall'elettrostimolazione, risulterebbe essere dipendente, sia dal gruppo muscolare considerato, sia dal tipo di esercitazione che ha causato la condizione di affaticamento, senza dimenticare lo stato motivazionale del soggetto (Guézennec 2000). In ogni caso, questi dati sottolineerebbero come, in stato di affaticamento, il Sistema Nervoso Centrale (SNC) sia incapace di generare uno stimolo adeguato (Bigland-Ritchie et al. 1979; Enoka, Stuard 1992). Oltre a questo effetto sulla fatica acuta, altri Autori hanno dimostrato come l'elettrostimolazione sia in grado di permettere un parziale recupero dei livelli di forza persi in seguito ad un fenomeno di fatica cronica come quello costituito dal sovrallenamento (Bayley et al. 1993). Tuttavia questo tipo di sperimentazioni, basate sulla contrazione elettroindotta, non riesce a dimostrare appieno il ruolo che il comando nervoso, proveniente dal SNC, ricopre nell'insorgenza della fatica. L'elettrostimolazione, infatti, può indurre anche un potenziamento del comando nervoso periferico, provocando in tal modo un aumento *in toto* del comando nervoso che arriva a livello muscolare. Per questo motivo, quindi, la stimolazione elettrica non può essere considerata come una tecnica specificatamente rivolta all'indagine del fenomeno della fatica indotta da un deficit di funzionamento del SNC. Non mancano comunque esempi in letteratura che, proprio per dimostrare senza possibilità di dubbi il ruolo del SNC nell'insorgenza del fenomeno della fatica, hanno utilizzato come tecnica di studio la stimolazione diretta della corteccia motoria. In quest'ambito uno studio condotto da Maton sui primati (1991), utilizzando una tecnica di registrazione dell'attività elettrica cerebrale dei neuroni della corteccia motoria primaria, tramite un impianto elettrodo intracranico, dimostrò come la contrazione ad esaurimento del bicipite brachiale comportasse una diminuzione dell'attività elettrica dei neuroni considerati. Il ruolo ricoperto dalla

corteccia motoria primaria nell'insorgenza della fatica, è stato confermato, in seguito, anche nell'uomo, grazie all'utilizzo di una tecnica non invasiva, costituita dalla stimolazione della corteccia primaria tramite dei campi magnetici intensi (Gandevia et al. 1996). Attraverso questo studio, gli Autori hanno potuto dimostrare come la superimposizione di una corrente magnetica transcranica permetta di diminuire parzialmente gli effetti che la fatica provoca sulle possibilità di mantenimento della forza contrattile. Tuttavia, occorre notare che una parte degli effetti della fatica non può comunque essere spiegata attraverso l'utilizzo di queste tecniche. In ogni caso, tutte le sperimentazioni che si basano sulla stimolazione, effettuata a diversi livelli del tratto nervoso, permettono di formulare la verosimile ipotesi dell'esistenza di una fatica di ordine centrale, evidenziabile attraverso una diminuzione del comando nervoso preposto alla contrazione muscolare, anche se il ruolo dei fattori di ordine metabolico periferico gioca un ruolo predominante per ciò che riguarda la diminuzione delle capacità contrattili muscolari. Inoltre, alcuni aspetti della fatica di ordine centrale restano ancora da chiarire completamente, come, ad esempio, il fatto che il fenomeno sia riconducibile ad un meccanismo inibitorio che si presenterebbe a livello di alcuni gruppi di neuroni, oppure sia piuttosto costituito da un fenomeno inibitorio più generalizzato, causato da meccanismi che agiscono a livello globale sull'insieme delle funzioni nervose. La risposta a questo tipo di domanda non è ancora del tutto chiara, anche se le attuali teorie neurochimiche della fatica sembrerebbero propendere maggiormente per la seconda ipotesi (Guezennec 2000).

### 3.1. Gli aspetti neurochimici della fatica centrale

L'evidenza del ruolo della fatica centrale, comprovato attraverso le varie sperimentazioni di tipo elettrofisiologico, ha spinto numerosi Autori a formulare differenti ipotesi sul ruolo svolto dai neuromediatori centrali nel corso dell'esercizio esaustivo (per una *review* vedi Meeusen et al. 1995). Tutti gli studi rivolti a questo particolare aspetto del fenomeno, dimostrano ampiamente come la fatica induca, sia nell'uomo, che nell'animale, un cambiamento del modello comportamentale (Dishman 1997). Nell'animale si può, sostanzialmente, notare una diminuzione delle attitudini comportamentali rivolte alla vita di relazione, mentre nell'uomo le risposte sono maggiormente complesse e sembrano dipendere dal tipo di attività, responsabile

del fenomeno di affaticamento. Possiamo tuttavia, in linea generale, osservare nel modello umano, come conseguenza ad un esercizio di tipo esaustivo, una diminuzione delle capacità decisionali, sia per quello che riguarda la capacità di presa d'informazione, sia per ciò che concerne l'interpretazione dei segnali visivi (Koutedakis 1995), nonché una diminuzione della memoria a breve termine (Guézennec 2000). Inoltre, la fatica cronica può essere all'origine di uno stato ansiogeno o depressivo (Dishman 1997). Anche la secrezione di catecolamine potrebbe giocare un ruolo importante negli aspetti di natura neurochimica, legati alla fatica centrale. Alla fine di un esercizio esaustivo è, infatti, possibile notare nel tessuto cerebrale una diminuzione della concentrazione di noradrenalina, che sembrerebbe essere dovuta ad un aumento del suo *turn over*. Lo stesso fenomeno è osservabile, in maniera ancor più evidente, a livello del tronco cerebrale, dell'ippocampo e dell'ipotalamo (Gandevia et al. 1996). Questo quadro sarebbe simile a quello osservato nel corso di stress psicologico acuto nel quale è appunto possibile notare una deplezione delle riserve di catecolamine cerebrali. La conseguenza di questa diminuzione nelle riserve di noradrenalina si ripercuoterebbe a livello comportamentale e potrebbe essere responsabile dell'insorgenza di possibili stati depressivi. Rimanendo nell'ambito della risposta adrenergica, è importante notare che anche la dopamina può influenzare fortemente l'attività muscolare. L'aumento dell'attività dopaminergica nello *striatum*<sup>3</sup> induce infatti un aumento spontaneo della motricità. A livello cerebrale, durante un esercizio prolungato, è possibile osservare, in un primo tempo, un leggero aumento della concentrazione di dopamina, a cui fa seguito, nella seconda parte dell'esercizio stesso, quando quest'ultimo si avvicina al punto di esaurimento, una sua leggera diminuzione (Seguin et al. 1998). Questa variazione della concentrazione di dopamina cerebrale, nel corso di un esercizio prolungato che porti ad esaurimento, potrebbe essere giustificata dal fatto che questo neuromediatore attraversi una prima fase accelerata di liberazione a cui consegue una seconda fase di diminuzione secretoria dovuta ad un esaurimento delle sue riserve neuronali. Sempre a questo proposito, è stata avanzata l'ipotesi di una deplezione di tirosina, che costituisce il precursore delle catecolamine. In qualsiasi caso, il ruolo ricoperto dalle catecolamine nell'insorgenza dell'affaticamento organico, è sperimentalmente provato dal fatto che la somministrazione, prima dell'esercizio, di anfetamina e di agonisti dopami-

nergici e/o adrenergici, aumenta nell'animale la durata di sopportazione dello sforzo (Seguin et al. 1998).

### 3.2. Il ruolo della serotonina nell'insorgenza della fatica

Il ruolo svolto dalla serotonina nel fenomeno della fatica organica, è ormai divenuto un aspetto dogmatico del problema, in seguito soprattutto ai lavori di sintesi svolti da Newsholmes et al. (1987) e Chauloff (1989). Quest'ultimo fu il primo a mettere in evidenza, sperimentalmente, l'aumento della concentrazione di serotonina a livello cerebrale in seguito ad esercizio prolungato e/o ad allenamento intenso, protratto per più settimane. D'altro canto numerosi altri lavori, anche se non in ambito prettamente sportivo, avevano già sottolineato il ruolo della serotonina sul sonno, l'assunzione alimentare, gli stati ansiosi e quelli depressivi. A questo proposito, ad esempio, possiamo ricordare come sia noto da tempo che uno stato ansioso sia caratterizzato da un aumento della concentrazione cerebrale di serotonina, mentre al contrario, uno stato depressivo veda ridursi i livelli di serotonina cerebrale. Per tutta questa serie di motivi, il fatto che all'esercizio prolungato che conduce al fenomeno della fatica, consegua un aumento dei livelli di serotonina cerebrale, ha portato alla naturale formulazione dell'ipotesi che questo neuromediatore sia fortemente implicato, se non addirittura il responsabile principale, dell'insorgenza della fatica centrale. In questo senso, numerose sperimentazioni, condotte su modello animale, confermano che l'aumento o la diminuzione del tono serotoninergico, indotto attraverso l'utilizzazione di agonisti od antagonisti serotoninergici, influiscono sul fenomeno d'insorgenza della fatica (Bailey et al. 1993). Occorre comunque ricordare che lo stesso tipo di sperimentazioni, condotte sull'uomo, non ha permesso di confermare i risultati ottenuti sull'animale (Seguin et al. 1998). Altre sperimentazioni, sempre effettuate allo scopo di poter confermare il ruolo svolto dalla serotonina sulla insorgenza della fatica, hanno utilizzato la somministrazione di aminoacidi a catena ramificata (AABC). Gli AABC infatti entrando in competizione con il triptofano, sostanza precursore della serotonina a livello del passaggio attraverso la barriera emato-encefalica, dovrebbero limitare la produzione di quest'ultima a livello cerebrale. Tuttavia i risultati ottenuti da Blomstrand et al. (1991), dopo la somministrazione di AABC prima di una prova di maratona, hanno permesso di evidenziare solamente un incremento dei risultati ottenuti nel corso

di una batteria di test psico-sensoriali, ma non un incremento della prestazione di gara. Questi risultati sono in linea con quelli ottenuti da Bigland-Richie et al. (1979), i quali non riportano di alcun miglioramento della *performance*, durante un *raid* effettuato in alta quota, in seguito alla somministrazione di AABC. Quindi, l'insieme delle sperimentazioni condotte sull'uomo non permetterebbe di evidenziare alcun risultato positivo, in termini di incremento della *performance*, legato alla diminuzione del fenomeno di affaticamento, indotto dall'utilizzo di AABC. Ma vi sono numerosi altri limiti e contraddizioni nella teoria che vede la serotonina come principale fattore d'insorgenza della fatica centrale. Uno di questi è costituito dalla mancanza di coerenza tra i dati desumibili dai test comportamentali e gli effetti psicotropi attribuibili all'azione della serotonina stessa. La fatica acuta od il sovrallenamento cronico, infatti, indurrebbero l'insorgenza di turbe comportamentali a sfondo principalmente depressivo caratterizzate da una carenza serotoninergica (Guèzennec 2000). Questi dati mal si concilierebbero con l'iperserotoninergia che si registra nel corso dell'esercizio fisico strenuo. Seguin et al. (1998) hanno tentato di spiegare questa contraddizione mettendo in evidenza una diminuzione della recettività di alcuni recettori serotoninergici in seguito all'esercizio prolungato. D'altro canto, anche altri risultati molto recenti riferirebbero di una caduta, al di sotto dei livelli basali, della concentrazione di serotonina in alcune aree cerebrali, riscontrabile alla fine dell'esercizio (Guèzennec, 2000). I due dati di cui sopra, potrebbero quindi far propendere verso un'ipotesi di carenza di tono serotoninergico che sopravverrebbe durante la fase di recupero successiva all'esercizio. In tutti i casi, la mancanza di omogeneità e di perfetta coerenza tra i vari risultati ritrovabili in letteratura mostrano come, in ultima analisi, sia sostanzialmente erroneo limitare il fenomeno dell'insorgenza della fatica centrale esclusivamente alla teoria serotoninergica. In effetti gli aspetti comportamentali, ivi compreso, quindi, il fenomeno della fatica, risultano essere influenzati, per la maggior parte dei casi, da un delicato equilibrio esistente tra numerosi neuromediatori. A titolo di esempio, possiamo ricordare come gli studi inerenti l'aspetto neurochimico del sonno, mostrino come quest'ultimo dipenda da una complessa azione sinergica ed interdipendente di numerosi neuromediatori in altrettanto numerosi ambiti strutturali. Gli aspetti neurochimici della fatica, quindi, potrebbero essere improntati su di un meccanismo del tutto, od in parte simile a questo.

### 3.3. Il ruolo dell'ammoniaca

Occorre anche ricordare il possibile meccanismo d'intervento dell'ammoniaca, legato alla manifestazione della fatica. L'encefalo utilizza, come via di metabolizzazione dell'ammoniaca, la trasformazione del glutammato in glutammina. L'iperammonemia, quindi, provoca una diminuzione della concentrazione del glutammato in alcune aree cerebrali specifiche. Dal momento che il glutammato costituisce il principale precursore dell'acido gamma aminobutirrico (GABA), questa catena di eventi porta ad un abbassamento della sua concentrazione a livello encefalico. Il GABA è il neurotrasmettitore maggiormente presente a livello del SNC ed esercita un importante ruolo di regolazione, di tipo inibitorio, sulla liberazione di altri neurotrasmettitori, oltre ad agire direttamente sui nuclei grigi della base facilitandone il compito di regolazione che questi svolgono sulla motricità. La carenza di GABA, inoltre, gioca un ruolo fondamentale nella patogenesi di alcune malattie come il morbo di Parkinson e la Corea di Huntington. Tutta questa serie di dati farebbe ragionevolmente propendere verso l'ipotesi che la carenza del sistema GABAnergico, registrabile nel corso dell'esercizio intenso e prolungato, possa giocare un ruolo importante nella manifestazione della fatica a livello centrale. I risultati sperimentali sembrerebbero confermare, per lo meno parzialmente, questa ipotesi, mostrando come il sistema GABA-glutammato-glutammina sia particolarmente attivo, in alcune aree cerebrali, nel corso dell'esercizio esaustivo.

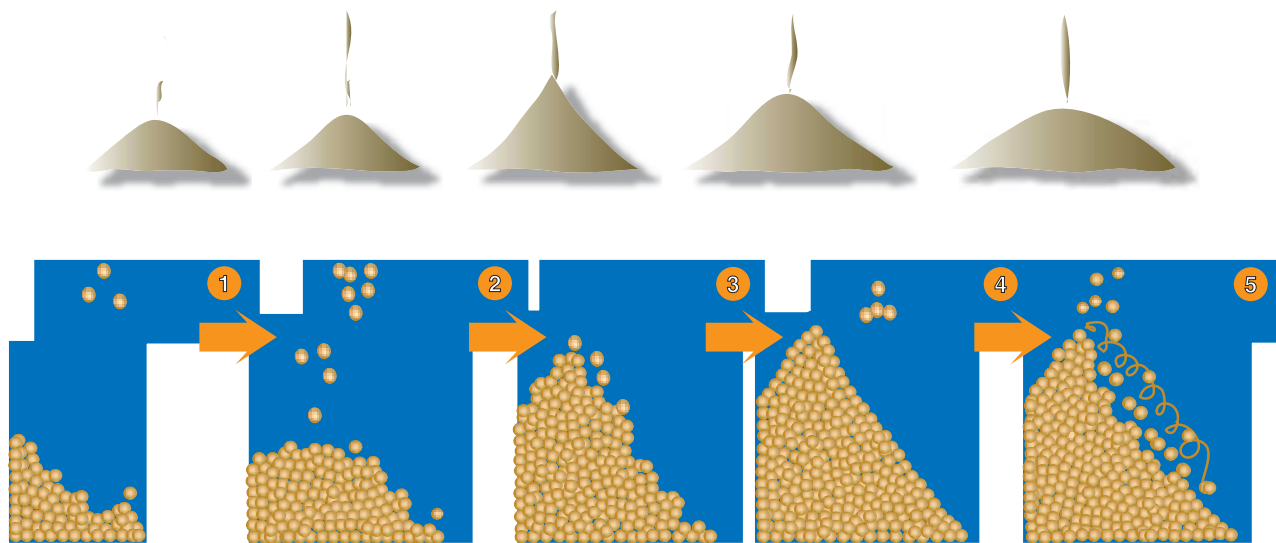
### 4. Un modello tridimensionale della fatica

Secondo alcuni autori, il rapporto tra l'intensità dello sforzo e la sensazione di fatica può essere anche interpretato attraverso tre modelli, fortemente interagenti tra loro. Il primo modello è il già descritto modello "classico" della fatica periferica denominato, appunto *modello periferico*, nel quale i fattori regolatori e/o inibitori sono esclusivamente di ordine metabolico (Kay et al. 2001; Kirkendall 1990; Fitts 1994; Bassett, Howley 1997).

Nel secondo modello, denominato *centrale-teleoanticipatorio*, il cervello svolge il ruolo di principale regolatore dell'intensità e della durata dell'esercitazione, che viene mantenuta ad un grado sub-massimale prefissato in modo tale che il sistema periferico non sia mai utilizzato a livelli massimali (St Clair Gibson et al., 2001; Wagenmakers 1992; Kay et al., 2001.)

In questo secondo modello, quindi, il fenomeno della fatica può essere considerato

## LA TEORIA DEL GRANELLO DI SABBIA



Cerchiamo di capire come avviene quello che è uno dei disastri naturali maggiormente temuti in natura: la valanga. Questo fenomeno viene ben descritto dalla cosiddetta "teoria del granello di sabbia" che ben illustra come il sistema raggiunga un punto di "non ritorno" che lo porta al suo collassamento, un po' come avviene nel nostro organismo quando, a poco a poco, si fa strada il fenomeno della fatica. Immaginiamo dunque un banalissimo mucchietto di sabbia, come quello che fanno abitualmente i bambini sulla spiaggia. Che cosa succede se aggiungiamo via via dall'alto dei granelli di sabbia? In un primo momento il nostro mucchietto diventa di dimensioni sempre maggiori e questo sembrerebbe tutto quello che in definitiva possa avvenire. Ma osserviamolo più attentamente da vicino: in effetti il pendio che si viene a formare non è del tutto liscio. Se avessimo a nostra disposizione una forte lente d'ingrandimento, potremmo facilmente notare come lungo il suo decorso si for-

mino numerose irregolarità costituite da tante piccolissime fossette ed altrettanto microscopici avvallamenti, che si vengono a poco a poco a colmare con l'aggiunta dei granelli di sabbia che cadono dall'alto. A furia di aggiungere sabbia, la pendenza del nostro mucchietto, ormai divenuto di una certa dimensione, è praticamente completamente liscia, dal momento che tutte le irregolarità si sono colmate ( riquadro 3). A questo punto abbiamo raggiunto il "punto critico". Se ora aggiungiamo ancora anche un solo granello di sabbia, quest'ultimo non troverebbe nessuna fossa od avvallamento dove potersi fermare e scivolerebbe inesorabilmente a valle ( riquadro 4), trascinando con sé un numero più o meno importante di altri granelli: ecco la valanga. Dopo l'evento del fenomeno, ossia dopo la discesa a valle della valanga, il cumulo di sabbia, ma a questo punto potremmo dire anche di neve, ritorna nuovamente irregolare come all'inizio ed un nuovo ciclo può compiersi.

come un vero e proprio *atto anticipatorio di sicurezza* che abbia lo scopo di prevenire, sia un eccessivo accumulo di metaboliti, sia un'esagerata deplezione di substrati energetici. In questo secondo modello, l'attività non è mai massimale, ma viene, al contrario, mantenuta costantemente a livelli sub-massimali. Ulmer (1996) avanza l'ipotesi che, in questo modello, i comandi neurali efferenti regolino, a livello del muscolo scheletrico, non solamente i *pattern* di attivazione spaziali e temporali, ma anche il rateo metabolico responsabile della produzione di potenza da parte del muscolo. Questo tipo di meccanismo protettivo, potrebbe spiegare come, nel muscolo scheletrico, la concentrazione di ATP non scenda mai al di sotto del 60-70% dei valori di riposo, anche durante un

esercizio di tipo esaustivo (Fitts 1994; Spriet et al. 1987). Il modello centrale-teleoanticipatorio, sarebbe quindi responsabile del decremento dell'intensità dell'esercizio, anche in presenza di sufficienti riserve energetiche, per cui la manifestazione di fatica sarebbe il risultato di un comando efferente di tipo inibitorio, derivante da una sorta di "calcolo mentale". In altre parole il decremento dei comandi efferenti di origine neurale, sarebbe causato dagli adattamenti a livello corticale del processo subcosciente teleoanticipatorio che si verificano in seguito alle risposte agli *input* afferenti, di origine metabolica, provenienti dagli organi e dalle strutture periferiche. Nel terzo tipo di modello, denominato di *discussione-cognitiva*, è la sensazione di fatica stessa che, a livello

cosciente, utilizzando le antecedenti esperienze come secondo termine di paragone, regola l'intensità dell'esercizio. In questo terzo modello, la fatica costituisce una sorta di processo continuativo che modifica costantemente lo stato funzionale dell'individuo e modula il suo livello di attività (Kay et al. 2001; Kay, Marino 2000). Nel modello di discussione cognitiva, quindi, si mette in atto un sinergismo tra la percezione cosciente dello sforzo ed il sistema teleoanticipatorio subcosciente nella regolazione dell'intensità dell'attività svolta (Kirkendall 1990; Davis, Bailey 1997). Un esempio esplicativo di questo terzo modello può essere quello di un'attività sportiva svolta in presenza di spettatori. In questo caso l'attività stessa può risultare spesso meno gravosa e la percezione dello

sforzo minore, proprio perché la motivazione generata dalla fonte esterna, in questo caso gli spettatori, può ridurre gli *input* afferenti periferici provenienti dalla muscolatura (St Clair, Gibson et al. 2001b). In questo caso, si corre il rischio di un'alterazione della strategia comportamentale nei confronti della fatica, basata sull'influenza degli stimoli esterni. Infatti il livello del meccanismo di retrocontrollo della fatica stessa, dato dall'interazione tra il modello di discussione-cognitiva e quello centrale-teleoanticipatorio, potrebbe elevarsi eccessivamente e con esso l'intensità dell'esercitazione. Il modello di discussione-cognitiva, quindi, potrebbe essere considerato come l'ultimo stadio d'integrazione decisionale nei confronti della fatica, in quanto la durata e l'intensità dell'esercizio, ossia gli aspetti decisionali nei confronti dello stesso, vengono assunti, sia in base agli *input* metabolici muscolari provenienti dal modello periferico, sia secondo l'attività centrale-teleoanticipatoria generata dal livello corrente di attività; questi due aspetti vengono quindi integrati nel modello di discussione-cognitiva, nel quale la percezione della fatica proveniente dal livello di attività in corso, viene comparata a precedenti esperienze di fatica (Kay et al. 2001). La fatica, quindi, in questo caso diviene un regolatore attivo e non più una conseguenza passiva del processo di controllo (Kay et al. 2001; Sargeant 1994).

## 5. Le manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare

Negli ultimi anni, accanto agli studi di tipo prettamente metabolico, si sono fortemente sviluppati dei metodi d'indagine di tipo non invasivo, rivolti allo studio dei fenomeni bioelettrici indotti dalla fatica. I presupposti teorici, sui quali tali studi si basano, sono costituiti dal fatto che esistono particolari condizioni di lavoro durante le quali la produzione di forza richiesta è talmente bassa da poter permettere la prosecuzione del lavoro, spesso per molte ore. Questi particolari tipi di lavoro muscolare vengono denominati *low level static exertions*. Durante questo tipo di regime di contrazione si ipotizza che le protagoniste principali della produzione di forza siano le unità motorie (UM) composte da fibre di tipo ST. Questa teoria, in fisiologia, è nota come l'ipotesi di Cenerentola (Hägg 1991). Questa ipotesi è del resto del tutto conforme alla legge di reclutamento di Henneman, secondo la quale le prime UM ad essere reclutate e de-reclutate, in una contrazione che richieda bassi livelli di forza, sarebbero

quelle composte da fibre di tipo I. Un altro parametro importante, di cui tenere conto durante le indagini di tipo elettromiografico sullo studio della fatica muscolare, è costituito dalla pressione intramuscolare (PI). Le caratteristiche del muscolo, infatti, subiscono dei cambiamenti al variare della condizione ischemica che è a sua volta correlata all'aumento della PI che si verifica durante la contrazione muscolare stessa, soprattutto a causa della diminuzione del flusso sanguigno distrettuale e del conseguente aumento di metaboliti (Merletti e coll.1984). Durante una contrazione muscolare di tipo massimale si possono infatti raggiungere valori di PI pari a 400-500 mmHg, mentre in contrazioni di entità molto più modesta, comprese tra il 5 ed il 10% della massima contrazione volontaria, il valore di PI può essere all'incirca pari a 30 mmHg. In queste condizioni, la durata della contrazione può essere mantenuta per lungo tempo, correndo tuttavia il rischio di incorrere in una necrosi muscolare (Sjøgard, Jensen 1999). Tutta questa serie di fenomeni, comporta una perturbazione del ciclo eccitazione/contrazione ed una conseguente alterazione del segnale elettrico di superficie, nel quale è possibile notare delle alterazioni a carico dell'ampiezza, della forma e della velocità di propagazione del potenziale di azione. Tutta questa serie di fenomeni è nota con il termine di *manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare localizzata*. Questo genere di sperimentazioni vengono effettuate durante una contrazione di tipo isometrico, che, anche se non può essere ovviamente definita come un *pattern* di attivazione perfettamente sovrapponibile al comportamento muscolare che avviene durante una condizione naturale, offre comunque un modello sperimentale di osservazione molto standardizzabile e senz'altro meno influenzabile da fattori esterni non correlati al fenomeno di fatica indagato, come ad esempio l'artefatto costituito dal movimento del muscolo rispetto agli elettrodi di superficie che si verifica durante un movimento dinamico (Rainoldi e coll. 2000).

### 5.1 Le variabili ed i parametri del segnale mioelettrico

Allo scopo di caratterizzare e rendere disponibile allo studio il segnale mioelettrico, registrato attraverso l'elettromiografia di superficie, ossia tramite l'applicazione di elettrodi sopra la superficie cutanea, vengono utilizzate delle grandezze fisiche che sono classificabili "nel dominio del tempo", dal momento che, per la propria determinazione, richiedono il solo tracciato temporale del segnale e "nel dominio

della frequenza", per il fatto che il loro calcolo necessita l'analisi spettrale del segnale e che quindi forniscono informazioni sullo spettro del segnale stesso.

Le variabili identificabili nel dominio del tempo forniscono, quindi, informazioni sull'ampiezza del segnale, mentre quelle appartenenti al dominio della frequenza permettono lo studio della scomposizione in armoniche del segnale, ossia ci danno informazioni riguardanti il contributo in termini di ampiezza e di potenza fornito da ogni armonica ottenuta attraverso l'analisi di Fourier del segnale stesso.

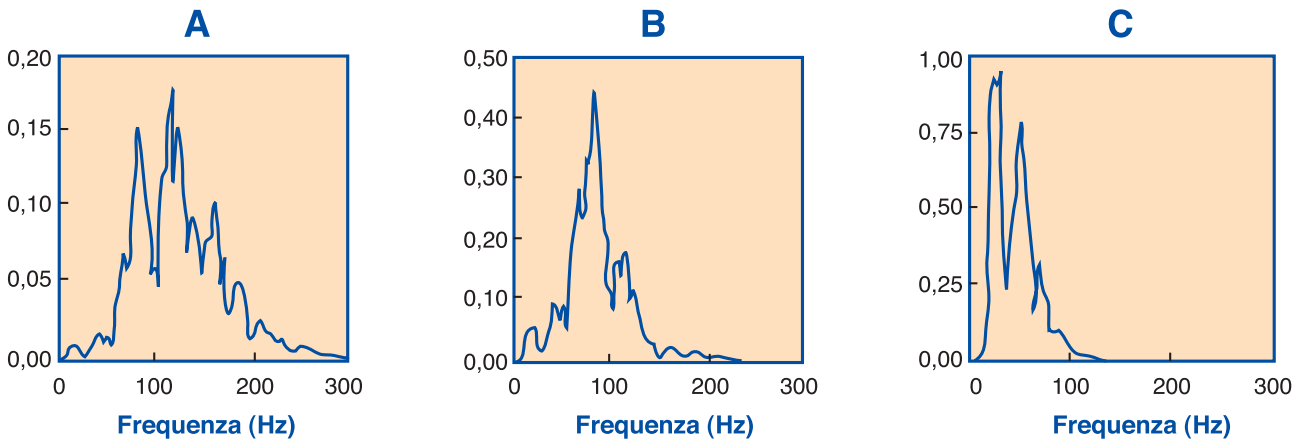
Le variabili identificabili nel dominio del tempo, altrimenti chiamate *variabili d'ampiezza*, normalmente utilizzate nell'ambito dello studio del segnale mioelettrico ricavato dall'elettromiografia di superficie sono:

- Il Valore Rettificato Medio (*Average Rectified Value*, ARV): che rappresenta l'area sottesa dal segnale elettromiografico nell'intervallo di tempo T divisa per T.
- Il Valore Efficace (*Root Mean Square*), che è una grandezza correlata alla potenza del segnale.

Le variabili nel dominio della frequenza maggiormente utilizzate sono:

- La frequenza media dello spettro di potenza (MNF), che rappresenta il valore baricentrale di frequenza dello spettro di potenza.
- La frequenza mediana dello spettro di potenza (MDF), che rappresenta il valore di frequenza che divide in due parti di eguale area lo spettro di potenza, per cui il 50% del segnale sarà costituito da armoniche inferiori a MDF ed il restante 50% del segnale sarà costituito da armoniche superiori a MDF.

Una ulteriore variabile, che riveste una grande importanza nello studio del segnale elettromiografico, è la velocità di conduzione delle fibre muscolari (CV). La CV è ricavata grazie all'utilizzo di due elettrodi posti sulla superficie cutanea che permettono di calcolare il rapporto  $e/t$ , intendendo con  $e$  la distanza tra i due sistemi di elettrodi e con  $t$  il ritardo tra il segnale registrato dal secondo elettrodo e quello registrato dal primo. Alcuni studi hanno dimostrato come la stima della CV sia correlata con la percentuale di fibre di tipo II, ottenibile attraverso la biopsia muscolare effettuata nel vasto mediale di sette marciatori e dodici sprinter (Merletti 2000). Appare, quindi, chiaro l'interesse che riveste questo parametro nell'ambito di una possibile tecnica non invasiva di determinazione della tipologia delle fibre.



**Figura 3 – Spettro di potenza del segnale elettromiografico registrato in tre distinti momenti (A, B, e C) di una contrazione muscolare protratta nel tempo. I vari spettri sono normalizzati rispetto al massimo valore di picco. È interessante notare la diversa scala di ampiezza dei tre spettri (da Merletti 2000, modificato)**

## 5.2 Il cambiamento del segnale mioelettrico in condizioni di affaticamento muscolare

Nel corso di una contrazione muscolare isometrica sub-massimale protratta nel tempo, il segnale mioelettrico, a causa dell'insorgenza del fenomeno della fatica, presenta una diminuzione della CV ed un progressivo depauperamento dei contributi di alta frequenza. Lo spettro del segnale si sposta verso sinistra e le armoniche significative presentano valori progressivamente inferiori (Merletti 2000). La diminuzione del valore di CV comporta inoltre una concomitante diminuzione dei valori di MDF e MNF ed un aumento dei valori di ARV ed RMS. Quindi lo spostamento verso sinistra dello spettro del segnale e la compressione delle sue variabili riflettono il decremento del valore di CV (Lindstrom, Magnusson 1977). Come dimostrato da alcuni lavori sperimentali (Merletti, Roy 1996), lo studio dei cambiamenti dei parametri mioelettrici di fatica, correlati alla capacità di mantenere una contrazione isometrica sub-massimale protratta nel tempo, possono, quindi, fornire importanti informazioni sulla tipologia delle fibre muscolari considerate.

## 6. Conclusioni

Per ciò che riguarda la fatica periferica, alla luce di questi dati, non possiamo altro che sottolineare ancora una volta, e fortemente, l'eziologia multifattoriale legata al fenomeno della sua insorgenza. Multifattorialità, quindi, che esclude a priori l'esistenza di un unico modello ma che al contrario, sottolinea l'esistenza di numerosi

fattori che si situano in altrettanto diverse e numerose tappe della catena fisiologica esecutiva della contrazione muscolare. Per questa ragione, anche se indubbiamente la diminuzione della concentrazione di alcuni "composti chiave" della bioenergetica muscolare, come in particolare la PCr ed il glicogeno, rivestono un ruolo chiave nel fenomeno, il ruolo della perturbazione dell'omeostasi cellulare nella sua totalità, appare tanto determinante quanto estremamente complesso. Potremmo, comunque, definire il fenomeno della fatica periferica come un fenomeno "a cascata" di tipo essenzialmente protettivo, che la cellula mette in atto per preservare la sua integrità, rispondendo all'imperativo di base di ogni organismo vivente che altro non è che l'*autoprogrammazione* per la *sopravvivenza*. Interrompere il lavoro per non autodistruggersi, questa sembrerebbe essere quindi la motivazione ultima del fenomeno. Nuovi campi d'indagine, aperti negli ultimi anni, sembrerebbero essere particolarmente promettenti, come quelli rivolti allo studio del ruolo dei radicali liberi, del monossido di azoto, dell'AMP,

oppure del magnesio. Tuttavia una chiara ed inequivocabile gerarchizzazione dei fenomeni che costituiscono questo complicato, quanto perfetto meccanismo, che impedisce l'autodistruzione cellulare, sembrerebbe ancora lontana.

Per quello che riguarda la fatica centrale, invece, se da una parte tutte le sperimentazioni di tipo elettrofisiologico, svolte in quest'ambito, tendono unanimemente a disegnare un suo schema di tipo lineare, che parte dalla corteccia motrice per arrivare alla cellula muscolare, dall'altra l'approccio di tipo neurofisiologico lascia trasparire un quadro di notevole complessità, caratterizzato dall'integrazione di numerosi neuromediatori, la cui funzione, se studiata isolatamente, non permette di spiegare esaurientemente e razionalmente il fenomeno.

In ultimo il modello tridimensionale della fatica ci permette di capire quanto i fattori centrali siano fortemente integrati con quelli centrali di ordine cognitivo e decisionale, sottolineando una volta di più, la grande complessità del problema.

*In natura un modello multifattoriale, sovrapponibile a quello della fatica, è costituito dal terremoto: in un terremoto, l'evento scatenante costituito da moti ondulatori e sussultori della crosta terrestre, innesca tutta una serie di altri eventi, crollo di palazzi, scoppio di tubature di acqua e gas, incendi crollo di dighe, ecc., tra loro collegati che portano al collassamento del sistema. In un organismo impegnato in un lavoro muscolare, che porti all'esaurimento organico, avviene all'incirca la stessa cosa: tutta una serie di eventi, tra loro collegati, come deplezione di ATP, aumento dell'acidosi, diminuzione del pH, aumento dei pirofosfati liberi, ecc., porta all'arresto del sistema biologico.*

## Note

(1) ATPasi - sigla dell'*adenosintrifosfatasi*, enzima che catalizza l'idrolisi dell'adenosintrifosfato (ATP) in adenosindifosfato (ADP) e fosfato (Pi). L'idrolisi dell'ATP si accompagna sempre ad un altro processo biochimico o fisiologico. Le ATPasi delle membrana citoplasmatica e del reticolo sarcoplasmatico, per esempio, funzionano da pompe ioniche; la ATPasi miosinica permette la conversione dell'energia chimica in energia muscolare, ecc. Alcune ATPasi catalizzano, in vivo, la reazione

inversa; è questo il caso dell'ATPasi mitocondriale, che sintetizza ATP sfruttando il gradiente protonico esistente ai due lati della membrana mitocondriale interna.

(2) Soglia ventilatoria: nel corso di un esercizio svolto ad intensità crescente, la ventilazione in un primo momento aumenta in modo proporzionale rispetto all'intensità di lavoro, sino a quando, per una data intensità di lavoro, la ventilazione si accresce in modo sproporzionato rispetto a quest'ultima. Il livello a partire dal quale la cinetica respiratoria subisce questo tipo di cambiamento è chiamato prima

soglia ventilatoria e si situa attorno al 55-70% del  $\dot{V}O_{2max}$ .

(3) Corpo striato: nella neuroanatomia dei Mammiferi descrive lo striato telencefalico. Il corpo striato rappresenta prevalentemente una stazione intercalata sulle vie corticofugali extrapiramidali, ma sono descritte anche connessioni a doppio senso con il talamo dorsale.

Indirizzo dell'autore: G. N. Bisciotti, Via IV Novembre 46, 54027 Pontremoli

e-mail: [bisciotti@libero.it](mailto:bisciotti@libero.it)

## Bibliografia

- Allen D. G., Lamergren J., Westerblad H., Muscle cell function during prolonged activity: cellular mechanism of fatigue, *Exp. Physiol.*, 80, 1995, 497-527.
- Atlan G., Beliveau I., Bouisson P., La fatigue musculaire, Masson Ed., Parigi, 1991.
- Bangsbo J., Gollnik P. D., Graham T. E., Jael C., Kiens B., Mizumo M. et al., Anaerobic energy production and  $O_2$  deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans, *J. Physiol.*, 1990, 422, 539-559.
- Bassett D. R., Howley E. T., Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1997, 29, 591-603.
- Bayley S. P., Davis J. M., Ahlborn E. N., Brain serotonergic activity affect endurance performance in the rat, 1993, *Int. J. Sport Med.*, 6, 1993, 330-333.
- Bigland-Ritchie B., Jones D. A., Woods J., Excitation frequency and muscle fatigue: electrical reponse during human voluntary and stimulated contraction, *Exp. Neurol.*, 1979, 64, 414-427.
- Blomstrand E., Hassmen P., Newsholme E., Effect of branched chain aminoacids supplementation on mental performance, *Acta Physiol. Scand.*, 1991, 146, 473-481.
- Chauloff F., Physical exercise and brain monoamines: a review, *Acta Physiol. Scand.*, 1989, 137, 1-13.
- Chin E. R., Allen D. G., The contribution of pH-dependent mechanism to fatigue at different intensities in mammalian single muscle fibres, *J. Physiol.*, 1998, 3, 831-840.
- Davis J. M., Bailey S. P., Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1997, 29, 45-57.
- Dishman R. K., Brain monoamides exercise and behaviour stress: animal models, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1997, 29, 63-74.
- Enoka R. M., Stuard D. G., Biology of muscle fatigue, *J. Appl. Physiol.*, 1992, 72, 1631-1648.
- Fitts H., Metzger J. M., Mechanism of muscular fatigue, in Poortmans J. R. (a cura di), *Principles of exercise biochemistry*, 2<sup>a</sup> ed., ed. Med. Sport. Sci., Basilea, Karger, 248-268, 1993.
- Fitts H., Muscle fatigue: the cellular aspects, *Am. J. Sports Med.*, 1996, 6, S9-S13.
- Fitts H., Cellular mechanisms of muscle fatigue, *Physiol Rev.*, 1994, 74, 49-94.
- Gandevia S. J., Allen G. M., Butter G. E., Taylor G. L., Supraspinal factor in human muscle fatigue. Evidence for spinal output from the motor cortex, *J. Physiol.*, 1996, 490, 529-536.
- Green H. J., Mechanism of muscle fatigue in intense exercise, *J. Sport. Sci.*, 1997, 15, 247-256.
- Green H. J., Cation pump in skeletal muscle: potential role in muscle fatigue, *Acta. Physiol. Scand.*, 162, 1998, 201-213.
- Greenhaff P. L., Creatine and its application as an ergogenic aid, *Int. J. Sport Nutr.*, 1995, 5 suppl., S100-S110.
- Guézennec C. Y., La fatigue centrale: électrophysiologique ou neurochimique, *Science Et Sport*, 2000, 15, 228-233.
- Hägg G., Static work loads and occupational myalgia - a new explanation model, in: Anderson P. A., Hobart D. J., Danoff J. V. (a cura di), *Electromyographical Kinesiology*, Elsevier Science, Amsterdam, 1991, 141-143.
- Hirvonen J., Nummela A., Rusko H., Rehunen S., Haerkoenen M., Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400 m sprint, *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17, 1992, 2, 141-144.
- Hirvonen J., Rehunen S., Rusko H., Haerkoenen M., Breakdown of high energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise, *Eur. J. Appl. Physiol. and Occ. Physiol.*, 56, 1987, 3, 253-259.
- Hogan M. G., Bruce Gladden L., Kurdak S. S., Poole D. C., Increased lactate in working dog muscle reduces tension development independent of pH, *Med. Sci. Sport Exerc.* 3, 1995, 371-377.
- Jacobsen B. J., Coast R., Donnelly J. E., The effect of exercise intensity on slow component of  $\dot{V}O_2$  in person of different fitness level, *J. Sport. Med. Phys. Fitness.*, 38, 1998, 124-131.
- Kay D., Cannon J., Marino F. E., St Clair Gibson A., Lambert M. I., Noakes T. D., Evidence for neuromuscular fatigue during cycling in warm humid conditions, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2001, 84, 115-121.
- Kay D., Marino F. E., Fluid ingestion and exercise hyperthermia: implications for performance, thermoregulation, metabolism, and the development of fatigue, *J. Sport Sci.*, 2000, 18, 71-82.
- Kirkendall D. T. Mechanisms of peripheral fatigue, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1990, 22, 444-449.
- Korge P., Campbell K. B., The importance of ATPase microenvironment in muscle fatigue: a hypothesis, *Int. J. Sports Med.*, 3, 1995, 172-179.
- Koutedakis Y., Frischknecht R., Vrova G., Sharp G., Budgett R., Maximal voluntary quadriceps strength patterns in olympic over-trained athletes, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 1995, 566-572.
- Linderman J. K., Gosselink K. L., The effects of sodium bicarbonate ingestion on exercise performance, *Sports Med.*, 2, 1994, 75-80.
- Lindstrom L., Magnusson R., Interpretation of myoelectric power spectre: a model and its application, *Proc. IEEE*, 65, 653-662, 1977.
- Lunde P. K., Verburg E., Vellestad N., Sejersted O. M. Skeletal muscle fatigue in normal subjects and heart failure patients. Is



- there a common mechanism ?, *Acta Physiol. Scand.*, 1998, 162, 215-228.
- Maione D., Senaldi R., Gnudi G., Maietta P., Tentoni C., Drago E., La nostra esperienza nell'utilizzo della cinetica del  $VO_2$  per il monitoraggio dell'allenamento fisico, *Medicina dello Sport*, 54, 2001, 51-62.
- Mannion A. F., Jakeman P. M., William P. L., Skeletal muscle buffer value, fibre type distribution and high intensity exercise performance in man, *Exp. Physiol.*, 80, 1995.
- Maton B., Central nervous changes induced by local work, in Atlan G., Belivau L., Boiussou P. (a cura di), *Muscle fatigue*, Parigi, ed. Masson, 207-222, 1991.
- Mc Lester J. R., Muscle contraction and fatigue. The role of adenosin-5-diphosphate and inorganic phosphate, *Sport. Med.*, 5, 1997, 287-305.
- Meeusen R., De Meirlir K., Exercise and brain neurotransmission, *Sports Med.*, 20, 1995, 160-188.
- Merletti R., Sabbahi M. A., De Luca C. J., Median frequency of the myoelectric signal - Effects of muscle ischemia and cooling, *Eur. J. Appl. Physiol* 52, 1984, 258-265.
- Merletti R., *Elementi di elettromiografia di superficie*, CLUT (a cura), Torino, 55-62, 2000.
- Merletti R., Roy S., Myoelectric and mechanical manifestation of muscle fatigue in voluntary contractions, *JOSPT*, vol. 24, 1996, 6, 342-353.
- Mujika I., Padilla S., Creatine supplementation as an ergogenic acid for sport performance in highly trained athletes: a critical review, *Int. J. Sport Med.*, 18, 1997, 491-496.
- Newsholmes E. A., Acworth I. N., Bloomstrand E., Aminoacids brain neurotransmission and a functional link between muscle and brain that is important during sustained exercise, in Benzi G. (a cura di), *Advances in myochemistry*, Londra, John Libbey Eurotext Ltd., 1987, 127-138.
- Nielsen O. B., Harrison A. P., The regulation of  $Na^+ K^+$  pump in contracting skeletal muscle, *Acta Physiol. Scand.*, 162, 1998, 191-200.
- Nielsen O. B., Overgaard K., Ion gradients and contractility in skeletal muscle: the role of active  $Na^+ \cdot K^+$  transport, *Acta Physiol. Scand.*, 156, 1996, 247-256.
- Paterson D. L., Role of potassium in the regulation systemic physiological function during exercise, *Acta Physiol. Scand.*, 156, 1996, 287-294.
- Perronet F., Significations et limites de la lactacidémie dans le contrôle de l'entraînement, *Actes du Troisième Colloque International de la Guadeloupe*, 209-221, 1994.
- Pybus J., Tregear R.T., The relationship of adenosine triphosphatase activity to tension and power output of insect flight muscle, *J. Physiol.*, 247, 1975, 1, 71-89.
- Rainoldi A., Nazzaro M., Merletti R., Farina D., Caruso I., Gaudenti S., Geometrical factors in dynamic surface EMG of the vastus medialis and lateralis, *J. of Electrom. and Kinesiol.*, 10, 2000, 5, 327-336.
- Rios E., Ma J., Gonzales A., The mechanical hypotesis of excitation-contraction (EC) coupling in skeletal muscle, *J. Muscle Res. Cell. Motil.*, 12, 1991, 127-135.
- Rios E., Pizzarro G., Voltage sensor and calcium channels of excitation-contraction coupling, *N. Physiol. Sci.*, 33, 1988, 223-227.
- Rohmer T. W., *Die Beziehung zwischen Kraft und Ausdauer bei statischer Muskelarbeit*, Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene, vol. 22, Stoccarda, Gebtber-Verlag, 118 1968.
- Rouillon J. D., Candau R., La fatigue périphérique: sites subcellulaires et mécanismes biologiques, *Science & Sport* 15, 2000, 234-241.
- Sahlin K., Acid-base balance during high intensity exercise, in Hatties M., Williams C., Stanish W. D., Michel L. G. (a cura di), *Oxford textbook of sport medicine*, Oxford University Press, 46-52, 1994.
- Sahlin K., Metabolic aspects of fatigue in human skeletal muscle, Muscle fatigue mechanism in exercise training, in: Marconnet P. (a cura di), *Proceedings of the 4th International Symposium on Exercise and Sport Biology*, Basilea, Karger ed., 1992, 54-68.
- Sahlin K., Ren J. M., Relationship of contraction capacity to metabolic changes during recovery from a fatiguing contraction, *J. Appl. Physiol.*, 67, 1989, 2, 684-654.
- Sahlin K., Tonkonogi M., Söderlund K., Energy supply and muscle fatigue in humans, *Acta Physiol. Scand.*, 162, 1998, 261-266.
- Sargeant A. J., Human power output and muscle fatigue, *Int. J. Sports Med.*, 15, 1994, 116-121.
- Seguin L., Liscia P., Guézennec C. Y., Fillion G., Effect of moderate and intensive training on functional activity of central 5HT 1b receptors in the rat substantia nigra, *Acta Physiol. Scand.*, 162, 1998, 63-68.
- Sejersted O. M., Vallestad N. K., Hallein J., Bahr R., Muscle performance-fatigue, recovery and trainability, *Acta Physiol. Scand.*, 162, 1998, 181-182.
- Shepard R. J., *Physiology & biochemistry of exercise*, New York, Praeger Ed., 1986.
- Sjøgaard G., Jensen B. R., Low level static exertions, in: *The occupational ergonomic handbook*, CRC Press, 1999.
- Sjøgaard G., Potassium and fatigue: the pros and cons, *Acta Physiol. Scand.*, 156, 1996, 257-264.
- Spriet L. L., Soderland K., Bergstrom M., Hultman E., Anaerobic energy release in skeletal muscle metabolism during electrical stimulation in men, *J. Appl. Physiol.*, 62, 1967, 611-615.
- St Clair Gibson A., Schabert E. J., Noakes T. D., Reduced neuromuscular activity and force generation during prolonged cycling, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 281, 2001, R187-R196.
- St Clair Gibson A., Lambert E. V., Hampson D., Noakes T. D., Exercise and fatigue-control mechanism, *International Sport Med. J.*, 2, 2001, 54-56.
- Stephenson D. G., Lamb G. D., Stephenson G. M., Events of the excitation-contraction-relaxation (E-C-R) cycle in fast and slow-twitch mammalian muscle fibres relevant to muscle fatigue, *Acta Physiol. Scand.*, 162, 1998, 229-246.
- Ulmer H. V., Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback, *Experientia*, 52, 1996, 416-420.
- Wagenmakers A. J., Role of amino acids and ammonia in mechanisms of fatigue, in: Marconnet P., Komi P. V., Saltin B., Sejersted O. M. (a cura di) *Muscle Fatigue Mechanisms in Exercise and Training*, Medicine and Sport Science, vol. 34, Basilea, ed. Karger, 1992.
- Westerblad H., Lee J. A., Lamb A. G., Bolsover S. L., Allen D. G., Spatial gradients of intracellular calcium in skeletal muscle during fatigue, *Plfegers Arch.*, 6, 1990, 734-740.
- Westerblad H., Lee J. A., Lannergren J., Allen D. G., Cellular mechanism of fatigue in skeletal muscle, *Am. J. Physiol.*, 261, 1991, C195-C209.
- Whipp B. J., Wassermann K., Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work, *J. Appl. Physiol.*, 33, 1970, 351-356.
- Williams J. H., Klug G. A., Calcium exchange hypothesis of skeletal muscle fatigue: a brief review, *Fatigue and Calcium Exchange Muscle Nerve*, 18, 1995, 421-434.
- Woolledge R. C., Possible effects of fatigue on muscle efficiency, *Acta Physiol. Scand.*, 162, 1998, 267-274.

## Lente o rapide? l'allenamento della forza nelle corse di mezzofondo e fondo

È ormai difficile trovare qualcuno che, nell'allenamento dei corridori di fondo e di mezzofondo ed in generale negli sport di resistenza, si opponga alla necessità di utilizzare una preparazione di forza caratterizzata da un determinata specificità. Però, per impostare correttamente questa preparazione occorre che venga preso in considerazione che i muscoli sono composti di fibre lente e di fibre rapide. Come allenare la forza sia dell'una che delle altre? Su questa problematica la rivista russa Legkaja Atletika nei numeri 3-4, 5 e 7 del 2001 (*Medlennye ili bystrye?*, Legkaja atletika, 3-4, 2001, 30-31; 5, 2001, 22-23; 7, 2001, 20-21) ha proposto un ciclo di interviste - dei cui contenuti riportiamo solo una parte - con il prof. Viktor Nikolaevic Selujanov, Direttore del Laboratorio di ricerca dell'Accademia nazionale russa di educazione fisica (lo stesso laboratorio diretto per vari anni dal prof. Yuri Verchoshanskij) che, da molto tempo, si occupa dello studio delle caratteristiche dei muscoli, delle fibre muscolari, e delle particolarità dello sviluppo della forza. Il lettore attento non potrà fare a meno di notare la particolarità dell'approccio di Selujanov, nelle cui risposte non si trova alcun riferimento ai tradizionali concetti della teoria dell'allenamento, ma tutti i problemi e le loro soluzioni vengono affrontati in termini esclusivamente biologici e fisiologici.

La prima domanda posta al prof. Selujanov è diretta a definire alcuni concetti, il primo dei quali riguarda la composizione dei muscoli. A tale proposito Selujanov ricorda che i risultati nella corsa di mezzofondo e di fondo dipendono dalle capacità aerobiche o, più correttamente, dal livello di soglia anaerobica, dalla potenza della corsa e dall'utilizzazione dell'O<sub>2</sub> a livello della soglia anaerobica, e che le ricerche hanno dimostrato che questi parametri sono direttamente correlati con la composizione dei muscoli. Infatti, maggiore è il numero delle fibre muscolari ossidative nell'atleta più elevata è la soglia anaerobica. A tale proposito Selujanov ricorda che esistono, principalmente, due tipi di classificazione delle fibre muscolari: la prima che si basa sul criterio della velocità di contrazione muscolare, per cui tutte le fibre muscolari vengono suddivise in rapide e lente, definisce quale è la composizione muscolare determinata geneticamente ed in base ad essa si può stabilire la futura specializzazione dell'atleta. Di solito, i cor-

# TRAINER'S DIGEST

a cura di Olga Iourtchenko, Mario Gulinelli

ridori di mezzofondo e di fondo sono caratterizzati da una percentuale maggiore di fibre muscolari lente che, nei mezzofondisti è del 50-70%, mentre nei fondisti è del 70% ed oltre. Esiste poi un secondo metodo di classificazione delle fibre muscolari. Se nel primo metodo la valutazione ha alla base l'ATP-asi miosinica, il secondo si basa sugli enzimi dei processi aerobici, sugli enzimi mitocondriali. Per cui le fibre muscolari vengono suddivise in *fibre ossidative* e in *fibre glicolitiche*. Le fibre muscolari caratterizzati da una prevalenza di mitocondri vengono definite ossidative. In queste fibre, ricorda Selujanov, praticamente non si forma acido lattico. Invece, le fibre glicolitiche sono caratterizzate da una minore quantità di mitocondri e, quando sono impegnate in un lavoro producono una elevata quantità di lattato. Maggiore è la quantità di lattato, maggiore sarà l'acidosi e più rapidamente si svilupperà un affaticamento locale. Quindi, l'obiettivo dell'allenatore, secondo Selujanov, non consiste nel trasformare le caratteristiche innate delle fibre, che è praticamente impossibile, ma nel fare in modo che la quantità di fibre ossidative dell'atleta aumenti. Ciò può essere realizzato attraverso un allenamento correttamente organizzato che permette un aumento del numero di fibre ossidative dell'atleta, dovuto all'incremento della massa dei mitocondri nelle fibre muscolari glicolitiche, che si trasformano gradualmente in aerobiche, cominciando a consumare una maggiore quantità di O<sub>2</sub> e, quindi, cessando di produrre lattato, in quanto i prodotti intermedi come, ad esempio, il piruvato, non si trasformano in lattato, ma giungono ai mitocondri, dove vengono ossidati fino alla demolizione in H<sub>2</sub>O e in CO<sub>2</sub>. Selujanov ricorda che il metodo standard attualmente in uso per definire la composizione muscolare è la biopsia del tessuto muscolare (di solito dei muscoli della coscia, del loro lato esterno) che permette di definire, attraverso metodi biochimici, la composizione percentuale delle fibre muscolari. Il campione di muscolo

prelevato con la biopsia viene sottoposto anche ad un'altra analisi, per individuare la quantità degli enzimi ossidativi. Selujanov ricorda inoltre che, quando il suo Laboratorio era diretto da Y. Verchoshanskij, furono elaborati metodi che prevedevano l'uso di un'apparecchiatura tensiografica che permettevano di individuare la velocità di aumento della forza e fu possibile notare come fosse in funzione della percentuale di fibre muscolari lente e rapide.

Successivamente, in Finlandia, Komi ed i suoi collaboratori trovarono una correlazione tra la composizione muscolare (basata sul criterio della velocità di contrazione) e la ripidità della salita della curva della forza. Un passo ulteriore, realizzato nel Laboratorio di Selujanov, dividendo il gradiente della forza sulla forza, ha permesso di ottenere un parametro, sulla cui base avviene la selezione dei corridori di mezzofondo e dei corridori di fondo. I fondisti presentano fibre lente sia nei muscoli anteriori sia nei muscoli posteriori della coscia, mentre i corridori specializzati sugli 800 m solo nei muscoli anteriori della coscia, mentre i muscoli posteriori sono rapidi, come nei buoni velocisti. Per cui ottengono buoni risultati nei 100 m lanciati ed in gara cercano di risparmiare queste fibre fino al traguardo. I velocisti presentano muscoli della parte anteriore della coscia sufficientemente rapidi e molto potenti, ma i muscoli della parte posteriore sono ancora più rapidi e potenti. Nei saltatori, i muscoli più importanti sono quelli della parte anteriore della coscia che presenta circa il 90% di fibre rapide. Nella corsa, però, il ruolo più importante viene svolto dei muscoli della parte posteriore della coscia. Se si considerano i muscoli della gamba, i velocisti sono caratterizzati sia da un muscolo gastrocnemio che da un muscolo soleo rapido. Maggiore è la distanza sulla quale si è specializzato l'atleta, maggiore è la percentuale delle fibre lente in questi muscoli. Selujanov mostra, poi, come attraverso la composizione muscolare possa essere spiegato il modello di lavoro dei muscoli in una gara di corsa, ad esempio negli 800 m. Dopo la partenza, l'atleta acquisisce la velocità "di crociera" necessaria per la corsa e per farlo occorrono circa 15 secondi, nei quali nei muscoli impegnati nel lavoro vengono reclutate praticamente tutte le fibre che consumano l'ATP ed il creatinfosfato disponibile. Dal momento in cui l'atleta acquisisce la velocità necessaria, l'attività dei muscoli comincia a diminuire fino al livello necessario per mantenere la velocità raggiunta. Quindi, le fibre

che hanno svolto la loro funzione (di solito, fibre rapide o glicolitiche) smettono di lavorare e cominciano a recuperare, cioè a ripristinare l'ATP, e il corridore si muove per 30-40 secondi grazie a quei muscoli che assicurano la velocità necessaria. Però, anche in questi muscoli le riserve di ATP cominciano a diminuire, mentre i processi aerobici non sono in grado di assicurare la potenza necessaria, così il corridore comincia a reclutare un numero sempre maggiore di nuove unità motorie. Se verso i 600 m ha a disposizione ancora fibre rapide, potrà aumentare leggermente la velocità, se le riserve muscolari si sono già esaurite potrà solo mantenere la velocità che comunque, successivamente, comincia a diminuire, perché vengono reclutate non solo le fibre ossidative, ma anche le fibre glicolitiche più rapide che producono lattato e ioni idrogeno. Ciò influisce sulla contrazione muscolare e, quindi, anche se il corridore si impegna al massimo per effettuare un *rush* finale potente, non potrà fare molto, la velocità continua a diminuire. Per questa ragione, il corridore ideale deve essere forte e non deve possedere fibre glicolitiche. Più elevata è la soglia anaerobica, più il corridore è vicino al valore massimo del  $VO_2$ , migliore sarà il risultato. Un esempio di un corridore di questo tipo era rappresentato, secondo Selujanov, dal neozelandese Peter Snell, che nel suo allenamento utilizzava molto la corsa su terreno ondulato, ottenendo lo scopo di aumentare la quantità di mitocondri nelle fibre glicolitiche e di assicurare un elevato livello di capacità aerobiche che permette di non aumentare eccessivamente la concentrazione di lattato fino al traguardo. Perciò, pur non essendo caratterizzato da un livello elevato di capacità di velocità, Snell riusciva a correre molto velocemente negli ultimi tratti della distanza di gara. Quindi, secondo Selujanov, si può affermare che, dal punto di vista dello sviluppo muscolare, la strategia della preparazione dei corridori di mezzofondo, consiste nell'aumento della forza delle fibre muscolari lente e nella trasformazione delle fibre glicolitiche in fibre ossidative, che non significa un cambiamento della composizione muscolare innata, ma rappresenta un tentativo di aumentare la massa dei mitocondri e la sezione trasversale delle fibre muscolari lente. Venendo ai metodi di pre-

parazione della forza per i corridori di fondo e mezzofondo, Selujanov ricorda che nel lavoro classico di forza con sovraccarichi massimali vengono reclutate sia le fibre lente sia quelle rapide, però, secondo lui, si allenano solo quelle rapide. Infatti, visto che si tratta di un regime dinamico di lavoro (con rilassamento muscolare) il sangue passa attraverso le fibre muscolari ossidative, che captano gli ioni idrogeno. Però, senza di essi la forza non può aumentare, per cui occorre aumentare leggermente la concentrazione di lattato nel

della forza, secondo Selujanov, non offre lo stimolo fondamentale per lo sviluppo della forza delle fibre lente. Nella risposta alla domanda di come sia possibile sviluppare la forza in queste fibre, Selujanov ricorda che nel suo Laboratorio sono stati messi a punto esercizi, definiti *statodinamici*, diretti a questo obiettivo, che non prevedono un rilassamento muscolare. E fa l'esempio dell'esercizio di squat con un bilanciere di peso scarso o con la sbarra del bilanciere, che viene eseguito lentamente, senza estendere completamente gli



Foto Digitalvision

arti inferiori, cioè senza dare la possibilità ai muscoli della coscia di rilassarsi neanche per un istante. Per cui, con l'esecuzione di questi esercizi da 30-40 fino a 60 s, si sviluppa affaticamento muscolare e l'atleta avverte dolore. Secondo Selujanov, in questo esercizio non vengono reclutate le fibre rapide. Infatti, i risultati dell'elettromiogramma mostrano che, in questo regime di lavoro, l'attività muscolare è pari al 50%; con lo sviluppo dell'affaticamento, verso la fine dell'esercitazione, l'attività muscolare aumenta, ma non raggiunge il suo valore massimale e ciò, secondo Selujanov, è un indice che non vengono reclutate le fibre muscolari rapide. All'intervistatore che gli obietta come precedentemente avesse affermato che le fibre lente praticamente non producano acido lattico, per cui è naturale chiedersi quale sia l'origine dell'acidosi, che pure si produce in questo regime di lavoro, Selujanov fa osservare che, quando il muscolo rimane contratto, le fibre muscolari premono sui capillari, per cui diminuisce, se

non addirittura si arresta, l'afflusso di sangue. Dopo alcuni secondi si sviluppa ipossia, per cui, in tutte le cellule, comprese quelle delle fibre muscolari ossidative, inizia la glicolisi anaerobica e si produce lattato. Secondo Selujanov, rispondendo ad una domanda specifica in merito, il regime statodinamico produce ipertrofia delle fibre lente, ma ricorda che occorre considerare che le fibre lente possono occupare solo un terzo dello spazio del muscolo e che la loro sezione è minore del 30-40% rispetto alla sezione delle fibre rapide. Per cui inizialmente l'ipertrofia è quasi invisibile, perché avviene grazie all'aumento della densità delle miofibrille dovuta alla formazione di nuove miofibrille e, solo successivamente, avviene grazie all'au-

muscolo, altrimenti non si aumenta la sua forza. Rispondendo ad una domanda specifica dell'intervistatore che trova strano che nel lavoro classico di forza, le fibre lente lavorino, però, su di esse non vi sia alcun effetto di allenamento Selujanov ricorda che se le leggi fisiologiche richiedono il reclutamento di tutte le fibre muscolari, però, vi sono altre leggi biologiche, legate alla sintesi delle miofibrille, che richiedono la presenza degli ormoni, della creatina. Gli ioni idrogeno facilitano l'accesso degli ormoni al DNA, ma quando l' $O_2$  e i mitocondri sono presenti in eccesso, gli ioni idrogeno sono assenti. Gli ioni idrogeno si formano nelle fibre rapide, ma quando passano nelle fibre lente scompaiono. Perciò, il regime dinamico di allenamento

non addirittura si arresta, l'afflusso di sangue. Dopo alcuni secondi si sviluppa ipossia, per cui, in tutte le cellule, comprese quelle delle fibre muscolari ossidative, inizia la glicolisi anaerobica e si produce lattato. Secondo Selujanov, rispondendo ad una domanda specifica in merito, il regime statodinamico produce ipertrofia delle fibre lente, ma ricorda che occorre considerare che le fibre lente possono occupare solo un terzo dello spazio del muscolo e che la loro sezione è minore del 30-40% rispetto alla sezione delle fibre rapide. Per cui inizialmente l'ipertrofia è quasi invisibile, perché avviene grazie all'aumento della densità delle miofibrille dovuta alla formazione di nuove miofibrille e, solo successivamente, avviene grazie all'au-

mento della loro sezione, quando intorno alle nuove miofibrille si formano i mitocondri. Però, i mitocondri occupano solo il 10% del volume totale del muscolo, per cui l'ipertrofia si produce soprattutto grazie all'aumento delle miofibrille. Nei corridori la superficie della sezione trasversale delle fibre rapide è pari a 5000-6000 mm<sup>2</sup>, mentre quella delle fibre lente è di 4000 mm<sup>2</sup>. Quindi, occorre che la superficie della sezione trasversale delle fibre lente superi quella delle fibre rapide. Occorre aumentarla fino a 10000 mm<sup>2</sup> ed oltre. Ne deriva che, oltre ad un aumento della forza, dal punto di vista fisiologico, avviene un aumento enorme del consumo d'ossigeno. La caratteristica principale dell'ipertrofia è l'aumento della forza massima isometrica, dovuta all'aumento della forza delle fibre muscolari lente, mentre la forza delle fibre muscolari rapide non cambia. Però, secondo Selujanov, il risultato più utile per i corridori è rappresentato dall'aumento del consumo d'ossigeno.

Selujanov afferma che questo tipo di lavoro non migliora soltanto i risultati nei salti da fermo, utilizzati per il controllo dello sviluppo della forza, ma anche i risultati nella corsa su brevi distanze. Infatti, in una ricerca specifica, è stato scoperto che il 50 % della potenza della corsa di velocità è dovuto alle fibre lente, che, quindi, rappresentano una grande riserva per i velocisti, che, di solito, si preoccupano solo di sviluppare le fibre rapide. Comunque, ciò non toglie che il risultato della prestazione nelle gare di velocità dipenda soprattutto dalla quantità di fibre rapide. Alla domanda se gli esercizi statodinamici diretti allo sviluppo dell'ipertrofia delle fibre lente abbiano effetto negativo sulla forza delle fibre rapide, la risposta di Selujanov è assolutamente negativa: secondo lui, l'allenamento separato dei diversi tipi di fibre muscolari non solo non ne impedisce lo sviluppo, ma lo favorisce. Entrando poi nei dettagli del metodo basato sul regime statodinamico, messo a punto nel suo Laboratorio, Selujanov ricorda che se nei loro esperimenti sono stati utilizzati esercizi tradizionali, si possono utilizzare anche altri esercizi. Il fattore essenziale è evitare ogni fase di rilassamento muscolare, cioè eseguire gli esercizi con un'ampiezza limitata di movimento, con un ritmo d'esecuzione lento e fino ad un affaticamento molto profondo ("ad esaurimento") per cui i muscoli cominciano "a bruciare", riempiendosi di sangue. Questo principio - che sarebbe simile al principio del "pompaggio" che viene utilizzato nel *body building* - secondo il metodo di ricerca utilizzato nel Laboratorio di Selujanov, è stato prima elaborato teoricamente e, successivamente, verificato sperimentalmente. Selujanov

ricorda anche che i Campioni olimpici e primatisti del mondo, Sebastian Coe e Said Auita, almeno due volte alla settimana si allenavano in palestra con le macchine e come, stando a quanto riferito dall'allenatore di Coe (suo padre), si può dedurre che utilizzasse un metodo di lavoro simile a quello da lui proposto. Per quanto riguarda gli esercizi, per Selujanov, il più importante esercizio per i corridori di mezzondo e fondo è diretto allo sviluppo dei muscoli posteriori della coscia: da seduti passare all'appoggio sugli arti superiori dietro, sollevando il bacino. Quando gli arti inferiori sono estesi, l'accento viene posto sullo sviluppo dei muscoli della parte posteriore della coscia, quando gli arti inferiori sono piegati, cioè i talloni si avvicinano al bacino, l'accento viene posto sullo sviluppo dei muscoli glutei. Per rendere più difficile questo esercizio si può eseguirlo in appoggio su un solo arto (con l'altro sollevato in alto), o utilizzare un sovraccarico poggiato sull'addome (ad esempio, un disco del bilanciere). Se l'atleta dispone di muscoli molto forti, può eseguire l'esercizio nel quale, dal decubito prono con i piedi fissati alla spalliera, si passa alla posizione in ginocchio, utilizzando i muscoli posteriori della coscia. Coe utilizzava questo esercizio come test ed un livello elevato di forza dei muscoli posteriori della coscia era alla base dei suoi risultati nella corsa su 400 m (< 46 s). Secondo Selujanov, infatti, in un corridore la principale forza propulsiva (sull'appoggio) viene prodotta dai muscoli glutei e dai muscoli posteriori della coscia. Non meno importanti sono i muscoli gastrocnemio e soleo. Infatti, per potere restare in appoggio sulle punte dei piedi, senza abbassare il tallone per tutta la distanza di corsa, un corridore deve possedere molta forza in questi muscoli. Per il loro sviluppo Selujanov propone un esercizio semplice: i sollevamenti sulle punte dei piedi, consigliando l'utilizzazione di sovraccarichi di peso scarso e di eseguirli prima con un arto e, successivamente, con l'altro. La metodica è sempre la stessa: verso il 40°-60° s, l'atleta deve avvertire dolore. La frequenza è moderata: un ciclo di movimenti viene eseguito per 2-4 minuti (20-30 sollevamenti al minuto). L'atleta deve sollevarsi e, soprattutto, abbassarsi lentamente. Per quanto riguarda il muscolo quadricipite femorale secondo Selujanov "gonfiarlo" serve solo ai velocisti. Secondo lui, questo muscolo non svolge un ruolo propulsivo, ma una funzione di "mantenimento". Invece, sono più importanti i muscoli flessori dell'articolazione coxo-femorale. Per il loro sviluppo viene consigliato un esercizio noto agli atleti dell'atletica leggera, che consiste nel sollevare con il ginocchio, nella stazione

eretta, il disco di un bilanciere con la schiena addossata ad una parete, nel quale è importante non abbassare completamente l'arto. È consigliabile eseguire questo esercizio con un'ampiezza di movimento quanto più vicina alla verticale. Per lo sviluppo del quadricipite femorale vengono usati gli squat, però, l'ampiezza del movimento dell'esercizio, calcolata dall'orizzontale verso l'alto, non deve superare i 15°, perché altrimenti il muscolo si rilassa eccessivamente. Per quanto concerne l'angolo dell'articolazione del ginocchio (140-160° o 90-110°), Selujanov ricorda che, teoricamente, in questo esercizio anche un bilanciere di peso scarso può essere considerato un attrezzo pericoloso e, quindi, un bilanciere di peso elevato è molto dannoso. Negli esercizi statodinamici viene utilizzato un angolo nel quale le cosce sono orizzontali e il momento di rotazione dell'articolazione del ginocchio è massimale. Per cui, in questo esercizio non è necessario un sovraccarico elevato e, per la maggiore parte dei corridori, è sufficiente la sbarra di un bilanciere. Ma, come già detto, i corridori di mezzofondo e di fondo non debbono eccedere in questi esercizi di squat, ma debbono utilizzarli solo per la tonificazione muscolare. Anche per quanto riguarda il muscolo tibiale anteriore della gamba, secondo Selujanov, i corridori possono dedicare scarsa attenzione a questo muscolo, che invece deve essere potenziato dai marciatori. Sul numero di ripetizioni consigliato per tutti questi esercizi, Selujanov risponde che la prima condizione è che l'atleta avverta un dolore muscolare e che la seconda condizione importante (che deve coincidere con la prima) è il momento in cui si avverte questo dolore (dopo da 30 a 40 s dall'inizio dell'esercizio). Per i muscoli gastrocnemi questo tempo può essere aumentato fino a un minuto. Se, dopo un minuto, l'atleta non avverte dolore, occorre aumentare il carico. Il metodo proposto è quello delle superserie. Una serie comprende 30-40 s di lavoro seguita da 30-40 s di recupero. Questa serie viene eseguita tre volte ininterrottamente. Ciò costituisce una superserie. Vengono eseguite 3-4 superserie con una pausa di recupero di 10 min tra l'una e l'altra (i calciatori ne eseguono 6). Quindi, in totale vengono eseguite fino a diciotto serie. Ciò rappresenta un buon lavoro (carico) di sviluppo per le fibre muscolari ossidative. Questi esercizi possono essere eseguiti anche con il metodo a circuito, ma quando nell'allenamento a circuito vengono inclusi esercizi per tutti i muscoli di citati precedentemente, ciò può rappresentare un impegno elevato per il sistema endocrino e, quindi, sarà necessario un periodo lungo di recupero.

## La preparazione fisica negli sport di squadra

L'utilizzazione d'alcuni esercizi della pesistica per la preparazione fisica negli sport di squadra: l'esempio della pallavolo e della pallacanestro

Dopo avere mostrato alcuni esempi d'esercizi tipici dell'allenamento della pesistica che possono essere utilizzati per la preparazione fisica negli sport di squadra (in questo caso nella pallacanestro e nella pallavolo) sono presentate concatenazioni di esercizi di carattere generale e di carattere specifico (nelle quali esercizi della pesistica vengono abbinati con movimenti specifici della pallacanestro e della pallavolo). Tali concatenazioni possono essere introdotte progressivamente nell'allenamento dei giocatori dopo che essi ne hanno appresa la tecnica corretta. Tali concatenazioni oltre ad avere un effetto allenante elevato, introducono varietà, interesse e motivazione nelle sedute d'allenamento.

Foto Vision

## Introduzione

Gli esercizi fondamentali della pallacanestro e della pallavolo sono stati già affrontati in altre nostre pubblicazioni. In ogni modo, gli esercizi fondamentali per il potenziamento muscolare per noi restano sempre:

- per gli arti superiori: la *tirata* e la *girata al petto*, lo *slancio-dietro*, l'*estensione alla panca orizzontale*, i *pull-over*;
- per gli arti inferiori: l'*esercizio di piegamento sugli arti inferiori (squat)* e le *estensioni delle caviglie*.

Gli esercizi che presenteremo, qui di seguito, vanno eseguiti solo quando si ha una loro piena padronanza, per introdurre varietà ed una componente di coordinazione tra arti inferiori e superiori negli esercizi d'allenamento.

## Le precauzioni

Come con tutti gli esercizi che sono eseguiti con i sovraccarichi, occorre che vengano osservate alcune regole:

- è indispensabile utilizzare la cintura usata dai pesisti (figura 1);
- alla fine dell'esercizio il bilanciere non va mai posato a terra, ma su dei supporti rialzati o sugli appositi sostegni per bilancieri (figura 2), per evitare sollecitazioni pericolose per il dorso e, anche, per facilitare il sollevamento del sovraccarico (figura 3);
- la maggior parte degli esercizi che esporremo sono eseguiti nella stazione eretta e non con il bilanciere a terra.



Figura 1 –

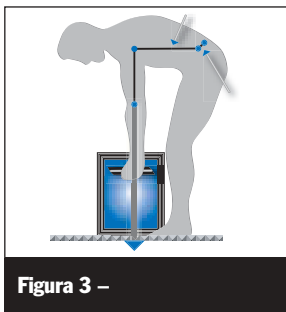


Figura 3 –



Figura 2 –

## La divaricata sagittale e l'accosciata

Alcuni degli esercizi che presenteremo lo *slancio-dietro*, gli *slanci avanti in successione*, lo *strappo* possono essere eseguiti con arrivo in divaricata (o piegata) sagittale od in accosciata (o piegamento) (le due posizioni sono mostrate nelle figure 4 e 5). La prima, anche se è una tecnica che è stata abbandonata dai pesisti, continua ad essere interessante per le altre discipline sportive. In particolare, obbliga ad una sospensione maggiore durante il movimento, imponendo un ritmo migliore ed una maggiore esplosività all'esecuzione. L'arto che si trova davanti viene alternato. L'esecuzione in accosciata (in piegamento) permette che si trovino posizioni con angolazioni degli arti inferiori simili a quelle degli sport di squadra.

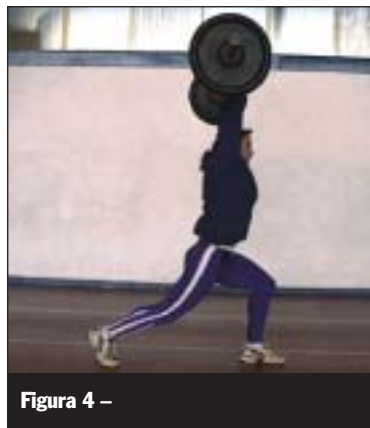


Figura 4 –



Figura 5 –

Inoltre, la simmetria della posizione permette di correggere eventuali squilibri.

## Classificazione degli esercizi

Gli esercizi proposti vengono utilizzati quando i giocatori cominciano a controllare gli esercizi di muscolazione con movimenti semplici (piegamenti sulle gambe ed estensione alla panca piana). Gli esercizi che abbiamo scelto, partendo da quelli più semplici fino a quelli più difficili da controllare dal punto di vista tecnico, sono (figura 6):



Figura 6 – I movimenti con il bilanciere (braccia-gambe) proposti per l'allenamento dei giocatori di pallavolo e di pallacanestro. 1.  $\frac{1}{2}$  squat a braccia tese; 2. lo slancio dietro; 3. il Varju; 4. il Piatkowski; 5. lo step alla panca con slancio dietro; 6. lo strappo; 7. gli slanci avanti in successione. Gli esercizi diventano più difficili in progressione da 1 a 6.



**Figura 7 – Il 1/2 squat a braccia tese**

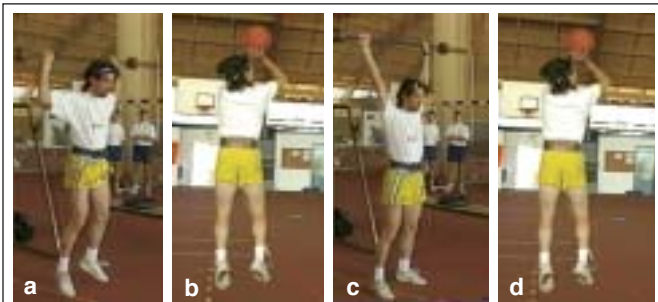
1. il 1/2 squat a braccia tese (figura 7)
2. lo slancio-dietro
3. il *Varju*;
4. il *Piatkowski*;
5. lo step alla panca con slancio-dietro
6. lo strappo;
7. gli slanci avanti in successione

### Lo slancio-dietro

Lo slancio-dietro rappresenta uno dei movimenti più interessanti e deriva da uno degli esercizi base della pesistica: lo slancio. Di questo movimento si prende solo la seconda parte, lo "slancio", o spinta in alto del bilanciere in senso stretto, cioè il sollevamento del bilanciere sopra il capo. Ma, diversamente dallo slancio della pesistica, dove il bilanciere viene appoggiato al petto, qui viene appoggiato dietro la nuca per facilitare l'esecuzione tecnica (figura 8).



**Figura 8 – Lo slancio-dietro: il giocatore parte con il bilanciere sulle spalle, esegue un leggero piegamento degli arti inferiori e in successione temporale stretta spinge rapidamente il bilanciere in alto, estendendo le braccia**



**Figura 9 – Concatenazione basata sullo slancio-dietro. (a) – slancio dietro; (b) – tre tiri; (c) – tre slanci dietro; (d) – tre tiri**

### Validità dell'esercizio

Questo esercizio obbliga ad una buona coordinazione tra gli arti inferiori e gli arti superiori. Inoltre questo genere di movimento può essere abbinato con esercizi multiformi o specifici (figura 9).

### Una variante dello slancio dietro: lo slancio dietro in piegamento (squat completo)

Il giocatore si serve degli arti inferiori per sollevare il bilanciere, poi piega le gambe, e senza usare gli arti superiori per eseguire lo slancio si "piazza" sotto il bilanciere (figura 10). Si tratta di un esercizio particolarmente interessante per la pallavolo, come mostra la sequenza della figura 11.



**Figura 10 – Variante dello slancio dietro: lo slancio dietro in piegamento (squat completo): l'atleta passa rapidamente sotto il bilanciere**



**Figura 11 – Concatenazione di slanci dietro con squat (a), salto di ostacoli (b) e schiacciate (c)**

Si tratta di un esercizio tecnicamente più difficile, perché la sua posizione finale è rappresentata da un notevole piegamento sugli arti inferiori ed impone un'esecuzione molto rapida e quindi una grande esplosività.

### Il Varju

Quest'esercizio fu così chiamato da Colnard, un vecchio allenatore di lanciatori di peso (e lui stesso più volte primatista di Francia di questa specialità) che lo aveva visto eseguire spesso dal lanciatore di peso ungherese Vilmos Varju. L'esercizio consiste nell'eseguire dei saltelli pari uniti e pari divaricati sul piano frontale con il bilanciere, con estensione e flessione delle braccia ad ogni saltello (figura 12). Si tratta di un esercizio molto più duro dei semplici



**Figura 12 – Il Varju: saltelli pari uniti e pari divaricati sul piano frontale con estensione delle braccia**

saltelli eseguiti con il bilanciere appoggiato sulle spalle, molto efficace per dare esplosività ai giocatori durante il periodo di gara.

### Apprendimento

Si tratta di un esercizio molto impegnativo cioè difficile dal punto di vista coordinativo. Per questa ragione vengono proposti alcuni esercizi "propedeutici" d'apprendimento: i saltelli ed i saltelli con slancio.



**Figura 13 – I saltelli pari uniti e pari divaricati (sul piano frontale) con bilanciere**

### I saltelli:

per acquisire una buona padronanza del bilanciere l'atleta effettua dei saltelli pari uniti e pari divaricati (figura 13) o dei saltelli alternati sul piano sagittale. Il piegamento delle ginocchia è ridotto ed il ritmo elevato.



**Figura 14 – Saltelli con uno slancio dietro ogni 3-4 saltelli**

### Combinazione di saltelli con slancio-dietro

L'atleta spinge in alto il bilanciere ogni tre-quattro saltelli (figura 14) (e non ad ogni saltello, come nel Varju). Questa variante semplifica l'esecuzione del movimento.

### Il Piatkowski

Anche questo è un nome inventato da Colnard, questa volta per un esercizio che veniva abitualmente utilizzato da un lanciatore di peso polacco. Si tratta di un piegamento sugli arti inferiori che viene combinato con una distensione degli arti superiori. Per riuscire a controllare l'esecuzione di questo esercizio occorre possedere un buon equilibrio di tutto il corpo. Inoltre, è evidente che il carico è ridotto rispetto allo squat (figura 15).



**Figura 15 – Il Piatkowski, squat con slancio-dietro**



**Figura 16 – Step alla panca con slancio-dietro con arrivo a pié pari (a) e su una gamba (b)**

### Step alla panca con slancio-dietro

Si tratta di un ottimo esercizio di coordinazione arti superiori-arti inferiori, che permette di lavorare sulla spinta con un piede, con un carico relativamente scarso. Può essere eseguito in due modi:

- con arrivo a pié pari sulla panca (figura 16a);
- con salita sulla gamba libera ed arrivo su una gamba (16b).

### Lo strappo

Lo strappo rappresenta uno dei due movimenti di gara della pesistica. Si tratta di un esercizio molto interessante, in quanto impone un ritmo d'esecuzione molto rapido, è l'esercizio esplosivo per eccellenza. Può essere eseguito in due modi: con arrivo in affondo (piegata avanti) od in accosciata (di solito il piegamento è completo) (figura 17) e si consiglia che queste due versioni vengano alternate. Come per lo slancio consigliamo di partire dalla stazione eretta (e non con il bilanciere a terra). L'esercizio può essere eseguito con una presa larga (che è quella che viene utilizzata normalmente) o con le mani più ravvicinate, in modo tale da aumentare la difficoltà. Tenendo conto della difficoltà tecnica che esige questo movimento, lo poniamo alla fine della progressione.

### Gli slanci avanti in successione

Lo slancio è il secondo movimento della pesistica e, normalmente, viene eseguito in due tempi: girata al petto e poi spinta in alto del bilanciere (slancio vero e proprio). Qui vengono combinati, di seguito, girata al petto (la sbarra viene appoggiata al petto) e slancio. In questo modo il movimento è più dinamico ed anche più tecnico. Perciò deve essere applicato con giocatori esperti.





Figura 17 – Lo strappo con accosciata



Figura 18 – Lo slancio avanti in successione

Nella figura 18 è rappresentata lo slancio avanti in successione (partenza nella stazione eretta, poi girata al petto e slancio)

#### Attenzione:

questo esercizio viene eseguito con partenza nella stazione eretta e non con il bilanciere a terra, per evitare i problemi di posizione del dorso quando si solleva il bilanciere.

### Le concatenazioni di esercizi per la pallacanestro e la pallavolo

Si possono distinguere più tipi di concatenazioni di esercizi:

- concatenazioni di tipo multiforme, valide sia per la pallacanestro sia per la pallavolo;
- concatenazioni di tipo specifico, nelle quali sono integrati movimenti tecnici specifici della pallacanestro e della pallavolo.

Il loro obiettivo è quello di abbinare situazioni vicine a quelle che sono richieste dagli esercizi di gara di questi sport ed esercizi tipici della pesistica, allo scopo di provocare un transfer delle nuove sollecitazioni muscolari.

### Concatenazioni di tipo multiforme (pallacanestro e pallavolo)

Poiché il movimento della pesistica è lontano dai gesti tipici degli sport di squadra, viene aggiunto un movimento che è più vicino ad essi come quello dei vari tipi di balzi.

In questo modo si possono combinare in successione due (figura 19: Varju-cerchi; figura 20: Piatkowski-panche), tre o quattro elementi (figura 21). Il numero delle ripetizioni è scarso (da 3 a 6 per il movimento di potenziamento, da 4 ad 8 per gli altri esercizi).

Per le combinazioni a quattro elementi:

la varietà è maggiore, ma alle fine della combinazione degli esercizi troviamo una situazione di affaticamento che è meno favorevole allo sviluppo della forza esplosiva. Nella figura 21 viene mostrata



Figura 19 – Varju e 8 balzi verticali tra i cerchi



Figura 20 – Tre Piatkovskij più quattro panche



3 squat avanti

Balzi a 90°



3 squat avanti

4 salti reattivi

Figura 21 – Successione a quattro elementi con squat con bilanciere davanti al petto e controllo della qualità dei salti. Vengono alternati balzi verticali con piegamento degli arti inferiori a 90° e salti reattivi (con modesto piegamento del ginocchio)

una combinazione di esercizi nella quale una variante dello squat si alterna con serie di salti, misurati con il tappetino di Bosco od "optojump", per motivare il giocatore a lavorare alla massima intensità.

#### Concatenazione squat avanti

Una variante interessante dello squat è quella in cui l'esercizio viene eseguito con il bilanciere sul petto (squat avanti). In questo modo il tronco è più verticale, ma il controllo del bilanciere è più difficile. L'atleta può anche estendere le braccia, per mostrare che il bilanciere deve essere appoggiato sulle spalle.



2 Piatkowski

4 panca  
con balzo3 step  
con slancio4 panca  
in piedi

**Figura 22 – Successione a quattro elementi: Piatkowski; da seduto sulla panca balzo sulla panca e tiro, step alla panca e slancio-dietro; partenza nella stazione eretta tiro con balzo dalla panca**

La figura 22 mostra un secondo esempio di combinazione di quattro elementi: Piatkowski, con partenza da seduto sulla panca, balzo sulla panca e tiro, step alla panca e slancio dietro, partenza nella stazione eretta, tiro con balzo dalla panca.



3 slanci dietro

4 balzi laterali



3 slanci dietro

4 balzi laterali

**Figura 23 – Concatenazione slancio-dietro e balzi laterali**

#### Concatenazione slancio-dietro

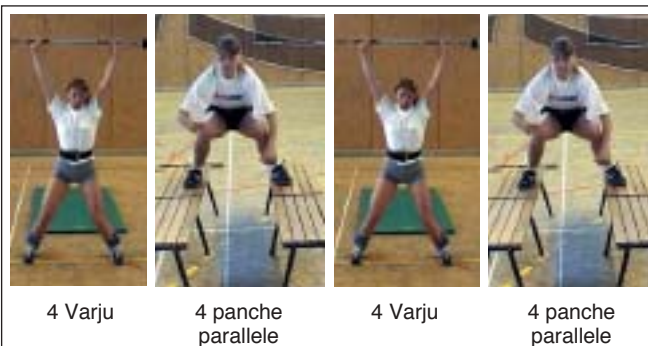
Il giocatore combina tre slanci-dietro con dei balzi laterali su un tappeto e ricomincia (figura 23).

#### Concatenazione Varju

I *Varju* vengono combinati con salti a gambe divaricate su due panche parallele (figura 24). Nella figura 25 viene mostrato l'esercizio sulle panche.



**Figura 24 – Il lavoro sulle panche parallele. Nella posizione iniziale le gambe sono piegate in modo accentuato. Lo stacco da terra avviene rimbalzando a gambe ritte, senza piegamento al ginocchio**



4 Varju

4 panche  
parallele

4 Varju

4 panche  
parallele

**Figura 25 – Concatenazione Varju -panche parallele**

#### Concatenazione strappo balzi laterali

Il giocatore esegue tre esercizi di strappo, lascia cadere il bilanciere davanti al petto, esegue una capovolta all'indietro e sei salti laterali (figura 26).



3 strappi

Caduta della sbarra



Capovolta indietro

6 balzi laterali

**Figura 26 – Concatenazione strappo balzi laterali**



3 slanci avanti  
in successione

10 salti  
alla corda

3 slanci avanti  
in successione

10 salti  
alla corda  
alternati

**Figura 27 – Concatenazione slanci avanti in successione e salti alla corda**

### Concatenazione slanci avanti consecutivi-salto della corda

Abbiamo scelto di illustrare una combinazione con slanci avanti in successione e salti alla corda a pié pari e alternati (figura 27).

### Combinazioni specifiche per la pallacanestro

Nel tentativo di avvicinarsi alle sue tecniche specifiche, le pallacanestro permette di introdurre esercizi tecnici (tiri, terzi tempi) nel lavoro di potenziamento. Come esempio, nelle figure 28 e 29 proponiamo:

$\frac{1}{2}$ -squat - tiri (figura 28); Piatkowski - tiri (figura 29).

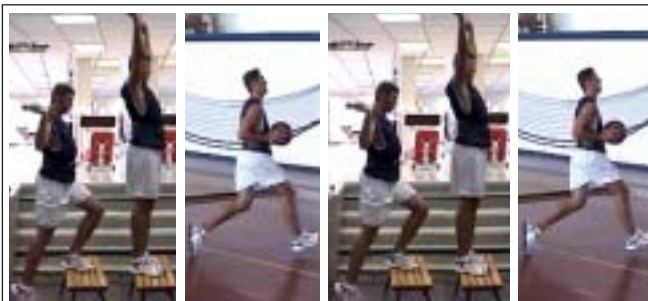
Poi si propongono anche concatenazioni fino a quattro elementi: nei due esempi proposti (figure 30 e 31) si raddoppiano le stesse due situazioni.



**Figura 28 – Tre  $\frac{1}{2}$  squat - quattro terzi tempi**



**Figura 29 – Due Piatkowski – quattro tiri**



2 step su una  
gamba

2 terzi  
tempi

2 step su una  
gamba

2 terzi  
tempi

**Figura 30 – Due step su una gamba e slancio – due terzi tempi – due-step sull'altra gamba e slancio – due terzi tempi**



**Figura 31 – Quattro Varju – due terzi tempi – quattro Varju – due terzi tempi**

Nella figura 31 viene mostrata una alternanza tra Varju e terzo tempo

La soluzione ideale è quella di combinare multiforme e specifico, cioè balzi e tiri dopo l'esercizio con il bilanciere (figura 32) e balzi nei cerchi con terzi tempi dopo le salite su panca con spinta dietro (figura 33).



**Figura 32 – Tre Piatkowski, sei ostacoli e tre tiri**



Figura 33 – Tre step su panca e slancio, sei cerchi e tre terzi tempi

## Concatenazioni specifiche per la pallavolo

Anche la pallavolo presenta situazioni che possono essere avvicinate ai movimenti con il bilanciere.

### Concatenazione squat a braccia tese

Si possono concatenare squat eseguiti mantenendo le braccia tese con balzi su ostacoli e poi delle schiacciate (figura 34).

Nella figura 35 vengono mostrati dei saltelli con spostamento di lato con bilanciere sopra il capo seguiti da schiacciate eseguite con partenza da seduti sulla panca.

### Concatenazione Piatkowski

Il Piatkowski è un esercizio molto interessante per la pallavolo e può essere abbinato ai balzi su panche parallele e la schiacciata (figura 36).



Foto Costantini



Figura 34 – Concatenazione tre squat a braccia tese, sei ostacoli e tre schiacciate



Figura 35 – Quattro balzi laterali con il bilanciere sopra il capo e schiacciate da seduti



3 Piatkowski      4 panche parallele      3 schiacciate

**Figura 36 – Successione a tre elementi che viene conclusa con un gesto specifico della pallavolo**



Tuta zavorrata ("sportissimo")      3 Piatkowski      3 schiacciate

**Figura 37 – Concatenazione con tuta zavorrata di 4 kg**

*Piatkowski ed esercizi con tuta zavorrata (4 kg):* attualmente si sta riscoprendo l'utilizzazione delle tute zavorrate, che attualmente sono aderenti e adattabili al corpo dell'atleta e meno pesanti di quelle di un tempo. Il modello che viene presentato qui (del tipo "sportissimo") permette di conservare le qualità tecniche della schiacciata. Nella figura 37 viene mostrata una successione nella quale il Piatkowski viene combinato con schiacciate eseguite con la tuta zavorrata.

**Concatenazione con step alla panca, arrivo a piedi pari e slancio-dietro**

Il primo esempio proposto (figura 38) prevede l'esercizio di step alla panca con slancio-dietro combinato con dei salti verticali confrontando l'elevazione nell'azione di muro e di schiacciata. Il secondo esempio (figura 39) propone il confronto tra l'esercizio di slancio dalla panca e lo stacco a un arto (tipo terzo tempo della pallacanestro)

**Conclusione**

Gli esercizi che abbiamo descritto debbono essere introdotti progressivamente nell'allenamento dopo una iniziazione alla tecnica ed utilizzando sistematicamente una cintura da pesista, che ha la funzione di garantire la posizione corretta del bacino e del dorso. Come abbiamo potuto constatare essi introducono una grande varietà, interesse, motivazione e dinamismo nelle sedute di allenamento.



4 step con slancio      3 muri con optojump



4 step con slancio      3 schiacciate con optojump

**Figura 38 – Step con arrivo a piedi pari, slancio e salti verticali (con misura dell'elevazione: test di Bosco mediante "optojump")**



4 step con slancio      2 stacchi      4 step con slancio      2 stacchi

**Figura 39 – Step e slancio-dietro alla panca e stacchi alternati a un piede (tipo terzo tempo della pallacanestro)**

Articolo originale

Traduzione a cura di M. Gulinelli. Titolo originale: *Quelques mouvements haltérophiles pour la préparation physique des sports collectifs: illustration en basket et volley*

Revisione terminologica e consulenza tecnica di Giampiero Alberti  
L'autore, Gilles Cometti, professore incaricato presso l'Università della Borgogna, UFRS STAPS Digione

Indirizzo dell'Autore: UFR STAPS Digione  
BP 27877, 21078 Digione Cedex

## Il recupero nell'allenamento con sovraccarichi

L'importanza della durata delle pause di recupero tra le serie nell'allenamento con sovraccarichi



Foto Bruno

Viene messa in evidenza la relazione causa-effetto nella scelta di tempi differenti di recupero in sedute di allenamento con sovraccarichi. Si osserva come nella letteratura questo elemento non venga trattato con la necessaria evidenza, mentre l'esperienza dimostra come, soprattutto a medio ed a lungo termine, si verifichino sostanziali differenze per quanto riguarda il modello di prestazione e muscolare ricercato. L'analisi dei fattori di scelta parte da considerazioni sul sistema energetico utilizzato dall'atleta nella prestazione di gara e dagli obiettivi da raggiungere. Le alternative proposte tengo-

no conto dei dati bibliografici, anche se divergono in parte da essi per quanto riguarda il rapporto tra il tempo dedicato alla contrazione ed il recupero. Nelle conclusioni vengono considerate le personalizzazioni necessarie a rispettare le differenze inter-individuali che sono influenzate, oltre che dal somatotipo, anche dall'anzianità di allenamento e dalla maestria sportiva dei soggetti, ponendo l'accento sul fatto che sbagliare recupero vuole dire compromettere l'allenamento, ottenendo effetti diversi, se non opposti rispetto all'obiettivo che si vuole ottenere.

## Introduzione

Un elemento basilare nella dinamica causa-effetto del fenomeno *allenamento* è la scelta della durata delle pause di recupero tra le serie di ripetizioni. Questo argomento è spesso dato per scontato, senza attribuirvi l'importanza fondamentale che riveste. Ogni istruttore-allenatore dovrebbe tener presente che, mantenendo le medesime sequenze di esercizi, la variazione dei tempi di recupero tra le serie favorirà effetti fisiologici e morfologici completamente differenti. A parità di *routine* di esercizi, inoltre, cambiando ciclicamente nel tempo i recuperi, avremo un allenamento differenziato sulle qualità condizionali (forza, rapidità e resistenza) (tabella 1). Scendendo nello specifico della muscola-

zione, diventa importante individuare il sistema energetico che utilizza l'atleta (non necessariamente il *body-builder*), quindi avere coscienza degli apporti energetici in funzione della durata della prestazione (nel nostro caso della serie) (tabella 2), come anche delle componenti muscolari in relazione all'allenamento (tabella 3).

È necessario quindi porre l'accento sulla importante relazione esistente tra ipertrofia, forza e recupero.

Il riposo tra le serie serve a rigenerare l'adenosintrifosfato (ATP) ed il creatinfosfato (CP), due composti altamente energetici. Il primo di essi rappresenta la riserva di energia per la contrazione muscolare e la sua rigenerazione è direttamente proporzionale alla durata degli intervalli di riposo.

## Il recupero è il migliore allenamento!

L'intervallo di recupero sarà quindi in funzione del carico utilizzato, del tipo di forza da sviluppare e della velocità di esecuzione degli esercizi.

Ricercatori come Bompa (2001) individuano un intervallo della durata di 30 s per ricostituire circa il 50% dell'ATP/CP utilizzato, mentre la durata di 1 minuto viene ritenuta insufficiente a rigenerare energia nel muscolo ai fini di prestazioni di tipo massimale.

Si ritiene invece che in un periodo da 3 a 5 minuti il ripristino dell'ATP-CP avvenga in modo quasi completo (Fox, Bowers, Foss 1995). Al contrario, per far scattare il meccanismo della supercompensazione legata

**Tabella 1 – Carichi, recupero ed obiettivi (Bompa 2001)**

| Carico (%) | Velocità esecutiva | Recupero | Obiettivo                     |
|------------|--------------------|----------|-------------------------------|
| > 105      | bassa              | 4-5 min  | forza massimale eccentrica    |
| 80-100     | da bassa a media   | 3-5 min  | forza massimale ed ipertrofia |
| 60-80      | da bassa a media   | 2 min    | ipertrofia muscolare          |
| 50-80      | bassa-media        | 1-2 min  | resistenza muscolare          |

**Tabella 2 – Tempi di prestazione e supporto energetico (da Fox 1988, modificato)**

| Tempo di prestazione | Sistemi energetici prevalenti | Tipi di attività                            |
|----------------------|-------------------------------|---|
| - di 30 s            | ATP-CP                        | lanci, 100 m, salti, ecc.                   |
| da 30 a 90 s         | ATP-CP e lattacido            | corse: 200, 400 m, nuoto 100 m              |
| da 90 s a 3 min      | lattacido ed aerobico         | 800 m, pugilato, lotta                      |
| + di 3 min           | aerobico                      | ciclismo, maratona, sci di fondo, triathlon |

all'ipertrofia, 45-90 secondi di recupero sembrano necessari ad una incompleta ricostruzione dell'ATP e delle proteine demolite (Zaciorskij 1970).

Si tratta quindi di creare una strategia che, attraverso tempi e metodi, metta in continuità didattica le schede di allenamento che di mese in mese porteranno soggetti diversi ai risultati sperati.

Quindi un maratoneta cosa dovrà fare? Non può incrementare troppo la massa, altrimenti si appesantisce nella corsa, ma vuole diventare comunque più forte e resi-

**Tabella 3 – Componenti delle cellule muscolari in relazione all'allenamento (Hatfield 1986)**

| Componenti della cellula muscolare                 | Contributo percentuale al volume totale della cellula muscolare | Stimolo allenante  |
|--|---|--|
| Sostanze proteiche delle miofibrille               | 20-30%  | Carichi medi ed elevati (forza). Resistenza alla forza 6-12 ripetizioni. |
| Mitocondri (depositi energetici) capillarizzazione | 15-25%<br>15-20 ripetizioni                                     | Carichi medio-bassi (resistenza) Resistenza alla forza                   |
| Sarcoplasma  | 20-30%<br>Forza e resistenza.                                   | Carichi medio-bassi, medi ed elevati.                                    |
| Capillarizzazione, vascolarizzazione               | 3-5%  | Carichi medio-bassi. Resistenza più tensione continua: esecuzioni lente. |
| Depositi adiposi                                   | 10-15%  | Riposo e dieta   |

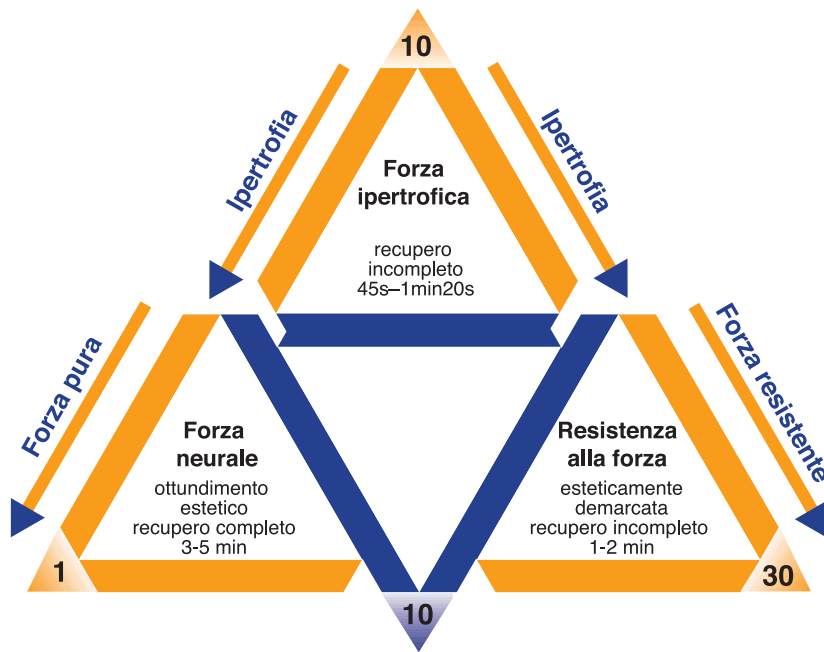


Figura 1 – La "piramide degli obiettivi, delle ripetizioni e dei recuperi (D'Isep, Gollin 2001)

stente di prima. Un culturista, al contrario, vuole più massa muscolare, ma vuole anche poterne guidare la crescita dando armonia al suo immaginario modello anatomico.

Che cosa dovrà fare invece un "non agonista" che vuole tonificarsi e cerca un cambiamento morfologico, volendo ridurre la massa grassa degli arti inferiori o viceversa quella del tronco?

### Cosa fare?

In tutto questo l'istruttore deve sapersi orientare, generando forme combinate di allenamenti con i pesi e con macchine per il potenziamento cardiovascolare. Ma il tempo di recupero rimarrà comunque sempre il perno fondamentale sul quale far ruotare l'aumento del metabolismo basale dell'individuo e, quindi, la sua capacità di bruciare calorie a riposo. Il tempo di recupero, abbinato al numero delle ripetizioni, condizionerà l'incremento della massa muscolare. Sperimentalmente, in condizioni di laboratorio, il tempo di lavoro delle ripetizioni di una serie raddoppia rispetto al numero di queste.

### Recupero completo

Ciò premesso, possiamo dire che, con da 1 a 3 ripetizioni con carichi elevati, cercheremo l'incremento della forza massimale e avremo uno scarso aumento dell'ipertrofia (Cometti 1997).

In questo caso il recupero dovrà essere completo; questo perché nell'allenamento di tipo neurale o esplosivo il reclutamento delle unità motorie sarà estremamente intenso.

Volendo fare un esempio, possiamo paragonarlo a 100 coristi che intonano un canto all'unisono comandati dal direttore del coro (sistema nervoso centrale).

In questo caso il potenziale elettrico generato, condotto attraverso il motoneurone, avrà una certa velocità in m/s che richiederà un tempo di recupero notevole (fino a 7 min): la cellula nervosa, infatti, recupera dalle cinque alle sei volte più lentamente della cellula muscolare (Poliquin 1997).

Il rapporto tra tempo di sforzo e tempo di recupero, in questi casi, dovrebbe orientarsi su un rapporto di 1:10-15. L'esempio è il centometrista, che, nella preparazione generale, esegue dei mezzo-squat per la forza esplosiva ed impiega dai 3 ai 5 min di recupero tra le serie, mentre il *powerlifter*, tra le serie di panca piana arriva ad intervalli di 7 minuti per dare al sistema nervoso centrale la possibilità di recuperare la fase di massimo stress.

### Recupero completo:

tempo di recupero = 10-15 volte il tempo di sforzo;  
ad esempio: 20 s di lavoro = da 3 a 5 min di recupero

### Recupero incompleto

Con da 6 a 15 ripetizioni con carichi medio-alti cercheremo l'incremento della resistenza alla forza di tipo ipertrofico, con auspicabile incremento dei diametri trasversali e della conseguente ipertrofia, con un picco intorno alle 10 ripetizioni. In questo caso il recupero dovrà essere di tipo incompleto: questo perché il reclutamento delle unità motorie, da parte del sistema nervoso centrale, sarà moderatamente intenso, mentre l'energia per il movimento muscolare sarà soprattutto a carico degli zuccheri immagazzinati a livello della cellula muscolare. Il rapporto tra tempo di sforzo e tempo di recupero, in questi casi, dovrebbe collocarsi su un rapporto di 1:2-4. Ad esempio il culturista che esegue serie da 10 ripetizioni di alzate laterali con manubri recupererà circa 1 min. Il reclutamento delle unità motorie, nell'allenamento di tipo ipertrofico, è infatti, in questo caso, paragonabile a 100 coristi che intonano un canto alternandosi a gruppi di 50.

### Recupero incompleto:

tempo di recupero = 2-4 volte il tempo di sforzo;  
ad esempio: 20 s di lavoro = da 40 s a 1min20 s di recupero

### Recupero intermedio

Con da 15 a 30 ripetizioni con carichi medio bassi mireremo all'incremento della forza resistente, con scarso sviluppo dei diametri trasversali muscolari. In questo caso il recupero dovrà essere di tipo intermedio, per permettere di mantenere a lungo carichi medio bassi: l'energia per il movimento muscolare, anche in questo caso, sarà soprattutto a carico degli zuccheri immagazzinati a livello della cellula muscolare.

Il rapporto tra tempo di sforzo e tempo di recupero, in questi casi, presumibilmente si colloca con un rapporto di 1:6-9. Per esempio, il ciclista che esegue serie da 30 ripetizioni per la muscolatura lombare dovrà recuperare da 1min30 s a 2 minuti, visto che il numero delle serie e le sue prestazioni di forza non saranno eccessivamente intaccate dall'accumulo di acido lattico. Il reclutamento delle unità motorie nell'allenamento di resistenza, questa volta è come se i 100 coristi intonassero un canto, alternandosi a piccoli gruppi.

L'esperienza di allenamento porta, inevitabilmente, a una tolleranza maggiore e ad intervalli di riposo più brevi, anche con carichi medi ed elevati. L'accumulo di acido lattico diventa ben tollerato in atleti





Foto Vision

abituati a recuperi incompleti. Pertanto gli intervalli di riposo potranno essere abbreviati solo per il praticante esperto, considerando che l'affaticamento ottenuto con l'allenamento non interferirà con la corretta esecuzione biomeccanica dell'esercizio.

#### Recupero intermedio:

tempo di recupero = 6-9 volte il tempo di sforzo;  
ad esempio: 20 s = 2-3 min di recupero

### Una riflessione sulla realtà morfologica

Quanto finora proposto sui tempi di recupero potrebbe apparire secondario rispetto agli obiettivi che ispirano l'allenamento degli agonisti di alto livello. Il nostro parere è che, oltre a programmare efficacemente le capacità condizionali degli atleti, sia necessario aver cura del benessere generale e anche dell'aspetto morfologico del soggetto che si allena. Non è infrequente vedere atleti, anche di livello nazionale, persino giovani, con una massa adi-

posa eccessiva e mal distribuita o con gli inestetismi della cellulite: questa condizione, in fondo, coinvolge "l'immagine di se'" e pertanto l'autostima dell'atleta, elemento tutt'altro che secondario nel delicato equilibrio che favorisce le migliori prestazioni. Il nostro vuole essere un contributo operativo ed efficace per stabilizzare nel tempo, oltre alla prestazione, anche la positività psico-somatica dell'atleta.

Finora molti *trainer* si sono limitati a dare consigli dietetici, senza domandarsi quali siano le cause scatenanti la riduzione della massa grassa e se queste possano essere attivate con una strategia che passi dai percorsi allenanti.

È intuibile che, oltre ad avere un vantaggio metabolico, il soggetto ne trarrebbe un significativo vantaggio in termini di forza relativa, riducendo il peso del proprio corpo da spostare durante la prestazione. Inoltre una ricaduta non secondaria sarebbe costituita dall'azione preventiva su usure articolari da sovrappeso, che potrebbero influenzare anche la longevità sportiva. E allora, ben vengano indicazioni dal mondo del *fitness* che, ovviamente, considera l'armonia muscolare, l'obiettivo stesso della propria prestazione.

Proviamo ora ad ipotizzare un piano di lavoro basato sui concetti precedentemente espressi per persone normotipo che più frequentemente il mondo degli allenatori si trova ad affrontare (*fitness*) con l'obiettivo di una migliore condizione morfologica-estetica, ma senza tralasciare l'aspetto prestazionale e salutistico.

#### Avviamento all'attività

**Fase 1:** deve creare il fondo per sostenere in futuro una più alta intensità di carico. Resistenza e vascolarizzazione muscolare sono l'obiettivo.

#### *I muscoli si vascolarizzano più dei tendini!*

- 15-20 ripetizioni;
- tre serie per esercizio;
- un esercizio per gruppo muscolare;
- un minuto di recupero;
- tre allenamenti settimanali.

Il recupero in questo caso è di tipo incompleto, non tanto per creare esaurimento lattacido, ma per innalzare la frequenza cardiaca di base in modo da agire correttamente anche sul potenziamento cardiovascolare con effetto "inerziale" a riposo e, durante l'esercizio, sul metabolismo dei grassi. Durata complessiva del lavoro, mediamente un mese, più una settimana di scarico al 50% della quantità del lavoro (4 settimane + 1 di scarico).

#### *Il ciclo forza resistente- forza massimale-forza ipertrofica:*

- lavoro basato su un elevato numero di ripetizioni e carichi bassi: 15-20 ripetizioni, un esercizio per gruppo; recupero 1min30s. Durata 4-6 settimane, 2-3 allenamenti per microciclo.
- Lavoro basato su un basso numero di ripetizioni e carichi elevati: dall'85 al 95%: 8-12 ripetizioni, 2-3 esercizi per gruppo; recupero 3 min. Durata, 2 mesi, 3-4 allenamenti per microciclo.
- Lavoro basato su un numero medio di ripetizioni e carichi medi, 70-80%: 8-12 ripetizioni, 2-3 esercizi per gruppo. Recupero: 1 min. Durata 2 mesi, 3-4 allenamenti per microciclo.

#### Incremento della forza massima

**Fase 2:** questa "insegna" al SNC a reclutare contemporaneamente più unità motorie. Sinergia che servirà nella fase ipertrofica successiva, dove si potrà direzionare in modo più specifico il lavoro estetico.

**ESERCIZIO BASE:**

**coinvolge più articolazioni,  
sfruttando sinergie muscolari,  
con traiettorie del sovraccarico rettilinee**

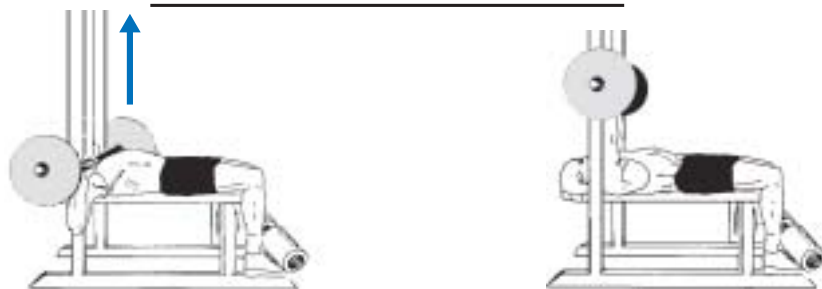


Figura 2 –

**ESERCIZIO COMPLEMENTARE O DI ISOLAMENTO:**

**cerca di isolare il gruppo  
muscolare con un movimento  
semicircolare, solitamente monoarticolare**



Figura 3 –

*Più forza = più massa da modellare nei punti giusti!*

- 3-6 ripetizioni
- quattro serie per esercizio
- due esercizi base per gruppo muscolare
- tre minuti di recupero tra le serie
- corpo suddiviso in due parti (*split routine*)
- quattro allenamenti con sovraccarichi
- due allenamenti di 30 min aerobici al 70% FC max (solo se si deve dimagrire).

Durata complessiva del lavoro: 2 mesi; 3 settimane di carico e una di scarico (3+1).

### Ipertrofia o resistenza alla forza ipertrofica

*Fase 3:* si tratta di incrementare la massa dei materiali contrattili di base (actina e miosina), ma anche la supercompensazione di glicogeno muscolare la fa da padrone per rendere sempre i muscoli tonici ed esplosivi.

- 10 ripetizioni ad esaurimento;
- quattro serie per esercizio;
- due esercizi per gruppo muscolare, uno di base e uno di isolamento;
- un minuto di recupero;
- corpo suddiviso in 3 parti (*split routine*, A, B, C);
- cinque allenamenti con sovraccarichi;
- tre allenamenti di 30 min aerobici al 70% FC max (per mantenere il livello organico)

*Esercizio base:* esercizio che coinvolge più articolazioni, sfruttando sinergie muscolari, con traiettorie del carico rettilinee (figura 2).

*Esercizio complementare o di isolamento:* cerca di isolare il gruppo muscolare con un movimento semicircolare, solitamente monoarticolare (figura 3).

### Topografia corporea e strategie ottimizzanti

Se il grasso corporeo è localizzato negli arti inferiori, su di loro è necessario eseguire un programma simile a quello di avviamento, ma con due esercizi per gruppo muscolare, mentre per il resto del corpo miriamo alla crescita muscolare. Il risultato estetico è anche condizionato dalle proporzioni. Quindi, per apparire meno disarmonici, è necessario tentare di aumentare l'impatto visivo del diametro bisacromiale riducendo quello bisiliaco.

La durata complessiva del lavoro è di massimo due mesi, più due settimane di scarico. La massima forma può essere mantenuta solo per poco tempo.

A questo punto ci si trova sostanzialmente a un bivio: si tratta di fare la scelta più idonea in base alle diverse necessità sportive o di *fitness*:

1. Un *fitness-man/woman*: basterà ripetere la sequenza precedente con metodologie differenti
2. Un atleta di resistenza: la preparazione generale con sovraccarichi sarà maggiormente orientata al ciclo resistenza - forza, escudendo l'ipertrofia, per non appesantirsi con un massa muscolare, controproducente ai fini della prestazione.
3. Un atleta di velocità: al contrario l'atleta di potenza sarà avvantaggiato da cicli di forza e ipertrofia per migliorare la sua potenza e resistenza alla velocità.

Gli autori: Rinaldo D'Isep, incaricato dell'insegnamento di Teoria, tecnica e didattica delle attività motorie, presso la Scuola universitaria interfacoltà di scienze motorie dell'Università di Torino;

Massimiliano Gollin, incaricato dell'insegnamento di Teoria, tecnica e didattica delle attività motorie, presso la Scuola universitaria interfacoltà di scienze motorie dell'Università di Torino.

### Bibliografia

1. Cometti G., Metodi di sviluppo della forza, Calzetti, Mariucci, Perugia, 1994.
2. Calligaris A., Le scienze dell'allenamento, Roma, SSS, 1997
3. Fox E., Bowers R., Foss A., Allenare, Allenarsi, Il Pensiero scientifico ed., Roma, 1995
4. Fucci A., Guida all'allenamento, Scientifica Internazionale, Roma, 1997
5. Harre D., Teoria dell'allenamento, SSS, 1972
6. Hatfield F., Body Building: un approccio scientifico, Sporting Club Leonardo da Vinci, Milano, 1986.

## Sci alpino e massa corporea

Perché l'elevata massa corporea può favorire gli atleti delle discipline veloci

59

Dopo aver introdotto la distinzione tra fattori favorenti e fattori determinanti la prestazione, si analizza il ruolo della massa corporea come fattore favorente nelle discipline di velocità dello sci alpino. Vengono così illustrate nel dettaglio le forze che determinano l'avanzamento dello sciatore e quelle che lo frenano. Viene successivamente dimostrato come uno sciatore di massa corporea elevata, a parità di altri fattori, possa ottenere una maggiore accelerazione soprattutto alle alte velocità. Si discute infine dell'importanza di aumentare la massa muscolare dello sciatore, piuttosto che la massa corporea, per ragioni biomeccaniche e fisiologiche. In ogni caso le prestazioni nello sci alpino di alto livello, derivano dall'abilità tecnica e dalla strategia di gara, con il supporto di una moltitudine di fattori favorenti, tra cui l'elevata massa corporea.



Foto Bruno

## Introduzione

È noto che in alcune forme di locomozione, le dimensioni corporee possono influenzare la prestazione. Ad esempio nel ciclismo in piano e nel pattinaggio di velocità, a parità di potenza massima per chilogrammo di peso, i soggetti di grandi dimensioni tendono a realizzare le migliori prestazioni (di Prampero 1987).

I fattori che influenzano la prestazione, possono essere distinti in *determinanti* e *favorevoli* (Roi, Larivière 1997). I fattori determinanti sono correlati alla performance; ad esempio, negli sport di lunga durata, un'elevata soglia anaerobica è altamente correlata alla velocità di gara (Billat 1996). I fattori favorevoli, invece, non mostrano statisticamente significative correlazioni, ma cooperano alla performance. Un esempio è la notevole forza massimale degli estensori del ginocchio negli sciatori alpini (Andersen, Montgomery 1988): uno sciatore maschio che presenta un momento di forza degli estensori del ginocchio inferiore a 200 N · m (misurato al dinamometro isocinetico a una velocità angolare di 90° · s<sup>-1</sup>) difficilmente otterrà risultati di alto livello. Anche disponendo di ottime abilità tecniche, senza un adeguato livello di forza, non si arriva a competere in Coppa del Mondo (White, Johnson 1991; Tesch 1995).

Nelle ricerche su sciatori di alto livello, è difficile individuare i fattori di tipo fisiologico determinanti la prestazione, essendo le abilità tecniche e la strategia di gara i fattori determinanti (Colombo 2000). Lo sci alpino moderno richiede, comunque, un livello base di numerosi fattori favorevoli, tra i quali, l'elevata massa corporea sembra giocare un ruolo importante.

In questo scritto saranno esaminati i motivi per cui, soprattutto nelle discipline veloci dello sci alpino, atleti dotati di masse elevate siano avvantaggiati, potendo raggiungere superiori velocità.

## Gare

Le discipline dello sci alpino sono tradizionalmente suddivise in:

- discipline tecniche: slalom speciale (SL) e slalom gigante (GS);
- discipline veloci: super slalom gigante (SG) e discesa libera (DH).

Le discipline per regolamento si differenziano in base al dislivello del percorso ed al numero delle porte (tabella 1).

In particolare, durante la discesa libera, gli sciatori possono raggiungere, in base all'inclinazione del pendio, alla disposizione del tracciato ed al tipo di neve, velocità di 130-140 km·h<sup>-1</sup>. A conoscenza degli

**Tabella 1 – Caratteristiche delle gare di Coppa del Mondo maschili dello sci alpino**

| Disciplina | Durata (s) | n° porte | Velocità max (km · h <sup>-1</sup> ) | Dislivello (m) |
|------------|------------|----------|--------------------------------------|----------------|
| SL         | 45-60      | ~ 65     | 30-40                                | 180-220        |
| GS         | 60-90      | ~ 50     | 70-75                                | 300-450        |
| SG         | 90-120     | ~ 40     | 80-90                                | 500-650        |
| DH         | 110-130    | ~ 40     | 130-140                              | 800-1100       |

autori, le punte massime di velocità sono sempre state misurate a Kitzbühel (Austria) sulla pista Streif e precisamente nello schuss d'arrivo (148 km · h<sup>-1</sup> in un tratto di 50 m).

Nell'ambito delle competizioni sciistiche esiste anche la disciplina denominata *chilometro lanciato* (KL), in cui l'atleta scivola in posizione aerodinamica su un percorso rettilineo, tentando di realizzare il record di velocità sugli sci. Il record del mondo attuale di 250,700 km · h<sup>-1</sup> è stato realizzato dal francese Philippe Goitschel a Les Arcs (Francia) il 23 aprile 2002, sulla pista Aiguille Rouge.

## Energia potenziale ed energia cinetica

Prendiamo come esempio per i successivi calcoli, uno sciatore con massa complessiva di 90 kg (attrezzatura compresa).

Se lo sciatore gareggia sulla pista di discesa libera di St. Moritz (altitudine di partenza 2840 m, altitudine d'arrivo 2040 m), al momento della partenza dispone di un certo quantitativo di energia potenziale. Questa energia è la capacità di produrre lavoro per effetto della posizione occupata (dislivello verticale tra altitudine di partenza e di arrivo):

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

$$E_p = 90 \cdot 9,81 \cdot 800$$

$$E_p = 706,32 \text{ kJ}$$

m = massa dell'atleta e dell'attrezzatura (kg);

g = accelerazione di gravità (m · s<sup>-2</sup>);

h = dislivello della pista (m).

Non appena lo sciatore si mette in moto, l'energia potenziale si trasforma in energia cinetica e gli consente di accelerare. Durante la discesa, una parte dell'energia cinetica sarà dissipata per vincere le forze resistive date:

- dalle *derapate* (frenate), in pratica gli slittamenti trasversali degli sci rispetto la direzione dello scivolamento;
- dall'attrito tra sci e neve;
- dalla resistenza dell'aria.

Per queste ragioni, gli atleti durante la discesa libera ricercano un continuo incre-

mento della velocità evitando di frenare e adottando posizioni il più possibile aerodinamiche. Altri accorgimenti pre-gara, volti a ridurre le forze resistive, consistono nell'applicare sulla soletta apposite scioline e nell'indossare speciali tute aderenti.

Gli atleti del chilometro lanciato, invece, non devono percorrere un tracciato imposto dai pali ma "vanno giù dritti" senza frenare, pertanto la velocità viene ridotta solamente dall'attrito degli sci con la neve e soprattutto dalla resistenza dell'aria. In tal modo gli atleti del chilometro lanciato possono raggiungere velocità notevolmente superiori rispetto agli atleti che praticano la discesa libera.

## Forza peso

Immaginiamo che lo sciatore scivoli lungo la linea di massima pendenza del precedente pendio. In queste condizioni, non avvengono le derapate ed il movimento di questo sciatore è paragonabile al moto di un corpo che scivola su di un piano inclinato.

La forza che determina la propulsione dello sciatore è, in questo caso, la forza peso, che è data dal prodotto della massa dell'atleta (attrezzatura compresa) per l'accelerazione di gravità. Lo sciatore considerato avrà quindi una forza peso di 883 N:

$$F_p = m \cdot g \quad (2)$$

$$F_p = 90 \cdot 9,81$$

$$F_p = 883 \text{ N}$$

m = massa dell'atleta e dell'attrezzatura (kg);

g = accelerazione di gravità (m · s<sup>-2</sup>).

Più precisamente, come mostrato in figura 1, la forza peso si scompone in una componente parallela al pendio ( $F_{pp}$ ) ed in una componente ortogonale ( $F_{po}$ ).

La componente parallela è quella che produce l'avanzamento (scivolamento). Il suo valore è dato dal prodotto della forza peso per il seno dell'angolo del piano inclinato (pendenza della pista in gradi). Il valore della componente parallela, essendo in funzione del seno dell'angolo, incrementa con l'aumentare dell'inclinazione del pendio. Nel caso di un pendio con inclinazione di 25°, la  $F_{pp}$  sarà pari a 373 N:

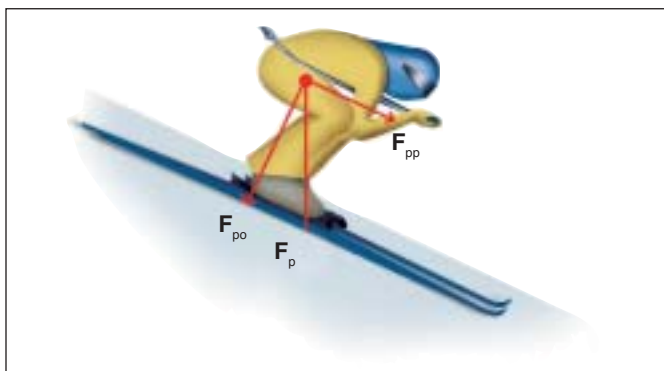


Figura 1 – La forza peso può essere scomposta in una componente parallela al pendio ( $F_{pp}$ ) ed una componente ortogonale ( $F_{po}$ )

$$\begin{aligned} F_{pp} &= F_p \cdot \sin(\alpha) \quad (3) \\ F_{pp} &= 883 \cdot \sin(25^\circ) \\ F_{pp} &= 373 \text{ N} \end{aligned}$$

La componente ortogonale è invece il prodotto della forza peso per il coseno dell'angolo del piano inclinato. Il suo valore, pertanto, diminuisce con l'aumentare dell'inclinazione del pendio. Sul precedente pendio, la  $F_{po}$  sarà pari a 800 N:

$$\begin{aligned} F_{po} &= F_p \cdot \cos(\alpha) \quad (4) \\ F_{po} &= 883 \cdot \cos(25^\circ) \\ F_{po} &= 800 \text{ N} \end{aligned}$$

Riassumendo, all'aumentare dell'inclinazione del pendio aumenta il valore della  $F_{pp}$ , mentre quello della  $F_{po}$  diminuisce. Mentre la  $F_{pp}$  determina lo scivolamento dello sciatore, la  $F_{po}$  è implicata nell'attrito di scivolamento.

### Attrito di scivolamento

Lo scorrimento della soletta sulla neve produce una resistenza, meglio definita come forza d'attrito dinamica di scivolamento ( $F_\mu$ ). Il valore di questa forza è dato dal prodotto della  $F_{po}$  per un coefficiente d'attrito ( $\mu$ ). Il coefficiente d'attrito dipende dal materiale della soletta, dal tipo di sciolina e soprattutto dal tipo di neve; viene determinato in laboratorio (Hämäläinen, Spring 1986; Saibene e coll. 1989). Per i successivi calcoli, il coefficiente d'attrito viene assunto come valore costante. In realtà è stato dimostrato che subisce variazioni in relazione alla velocità (Kaps e coll. 1996; Roberts 1987), ma tali variazioni nel nostro caso non assumono rilevanza significativa.

Le strategie per minimizzare il coefficiente d'attrito, consistono nell'utilizzo di sci con solette a ridotto coefficiente d'attrito e nell'applicazione di scioline adatte alla temperatura ed al tipo di neve. In caso di neve compatta, la  $F_\mu$  del nostro sciatore sarà pari a 16 N:

$$\begin{aligned} F_\mu &= \mu \cdot F_{po} \quad (5) \\ F_\mu &= 0,02 \cdot 800 \\ F_\mu &= 16 \text{ N} \end{aligned}$$

$\mu$  = valore compreso tra 0,01 e 0,20 (da neve molto secca ad umida).

È evidente che, durante una competizione di sci, l'azione di freno esercitata dalla  $F_\mu$  è minima rispetto alla forza che determina lo scivolamento ( $F_{pp}$ ).

### Resistenza dell'aria

Nelle discipline veloci dello sci alpino è soprattutto la resistenza dell'aria ( $D$  = drag force) a frenare l'avanzamento dello sciatore (Savolainen 1989). La resistenza dell'aria, infatti, cresce con il quadrato della velocità di scivolamento e con l'aumentare della superficie frontale ( $A$ ) dello sciatore. Durante la discesa, lo sciatore "taglia" l'aria e si vengono così a formare dei flussi intorno al suo corpo. I flussi creano dietro al corpo dei vortici, meglio definiti come turbolenze. Le turbolenze provocano una riduzione della pressione e così sul corpo viene esercitata una forza contraria alla direzione dello scivolamento. Proprio per queste ragioni, nelle discipline veloci, risulta fondamentale mantenere la posizione più aerodinamica possibile. La posizione "a uovo" è quella per cui l'area di superficie frontale e il coefficiente di penetrazione sono minimi. Già alla fine degli anni '70 alcuni esperimenti realizzati nel tunnel del vento, hanno dimostrato che a  $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , passando dalla posizione raccolta a quella a uovo, la resistenza dell'aria diminuisce da 90 a 60 N, e che ad oltre  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  scende da 200 a 120 N (Watanabe, Ohtsuki, 1977; Watanabe, Ohtsuki 1978). Altre strategie utilizzate dagli atleti per ridurre la resistenza dell'aria, consistono nell'indossare tute aderenti realizzate con materiali molto levigati, nell'uso di caschi aerodinamici e bastoncini ricurvi che aderiscono al corpo

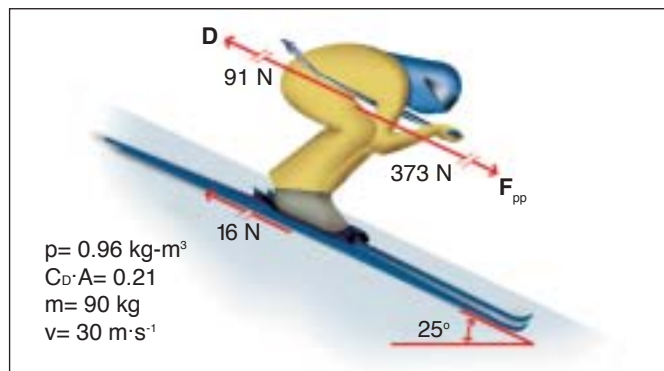


Figura 2 – Forze che agiscono su uno sciatore che scivola alla velocità di  $108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , in posizione a uovo, su un pendio di  $25^\circ$

$$\begin{aligned} \rho &= 0,96 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \\ C_D \cdot A &= 0,21 \\ m &= 90 \text{ kg} \\ v &= 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Al nostro ipotetico sciatore, in posizione a uovo, raggiunta la velocità di  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), ad un'altitudine di 2500 m, l'aria opporrà una resistenza di ben 91 N:

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho \quad (6) \\ D &= \frac{1}{2} \cdot 0,7 \cdot 0,30 \cdot (30)^2 \cdot 0,96 \\ D &= 91 \text{ N} \end{aligned}$$

$C_D$  = coefficiente di penetrazione, che dipende dalla forma del corpo dello sciatore. Allo sciatore con tuta aerodinamica ed in posizione a uovo viene attribuito un valore di 0,7;  $A$  = area di superficie frontale dello sciatore; in posizione a uovo è di circa  $0,30 \text{ m}^2$ ;  $v$  = velocità dello sciatore ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $\rho$  = densità dell'aria. È pari a  $1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  al livello del mare con temperatura di  $0^\circ \text{C}$ . Diminuisce con l'aumento dell'altitudine, essendo direttamente proporzionale alla pressione atmosferica e inversamente proporzionale alla temperatura ambientale.

È interessante notare che in assenza di attriti chiunque potrebbe raggiungere, dopo 30 secondi di scivolamento sulla linea di massima pendenza di un pendio di  $25^\circ$ , la velocità di  $446 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ! In questa situazione immaginaria la velocità finale sarebbe solo in funzione del tempo:

$$\begin{aligned} v &= g \cdot \sin(\alpha) \cdot t \quad (7) \\ v &= 9,81 \cdot \sin(25^\circ) \cdot 30 \\ v &= 124 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 446 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

$g$  = accelerazione di gravità ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );  
 $\alpha$  = angolo medio del pendio ( $^\circ$ );  
 $t$  = tempo (s).

### Accelerazione

In figura 2 sono rappresentate le forze che agiscono sul nostro sciatore che scivola alla velocità di  $108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , in posizione a uovo, su un pendio di  $25^\circ$ . Conoscendo il valore delle forze che determinano l'avanzamento e di quelle che tendono a frenarlo, è possibile ricavare il valore della forza



Foto Digital Vision

risultante che agisce sullo sciatore. La forza risultante ( $F_R$ ) è pari alla componente parallela della forza peso ( $F_{pp}$ ), cui si devono sottrarre le forze resistive date dalla forza d'attrito dinamico di scivolamento ( $F$ ) e dalla resistenza dell'aria ( $D$ ):

$$F_R = F_{pp} - F - D \quad (8)$$

$$F_R = 373 - 16 - 91$$

$$F_R = 266 \text{ N}$$

È evidente che, minimizzando sia la forza d'attrito dinamico di scivolamento (mediante l'uso di scioline), sia la resistenza dell'aria (ideale posizione aerodinamica da studiare nel tunnel del vento per ciascun atleta), la forza risultante che produce l'avanzamento dello sciatore risulterà maggiore.

Modifichiamo ora la formula precedente (8) con alcuni calcoli algebrici:

$$F_R = F_{pp} - F_{\mu} - D$$

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - \mu \cdot [m \cdot g \cdot \cos(\alpha)] - \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho$$

$$m \cdot (\Delta v \cdot \Delta t^{-1}) = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - \mu \cdot [m \cdot g \cdot \cos(\alpha)] - \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho$$

$$\Delta v \cdot \Delta t^{-1} = g \cdot \sin(\alpha) - \mu \cdot [g \cdot \cos(\alpha)] - C_D \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho \cdot (2m)^{-1}$$

$$\Delta v \cdot \Delta t^{-1} = g \cdot [\sin(\alpha) - \mu \cdot \cos(\alpha)] - C_D \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho \cdot (2m)^{-1} \quad (9)$$

La formula finale (9) rappresenta l'equazione dell'accelerazione dello sciatore, presente in diverse pubblicazioni (Berg 1987; Maronski 1990; Watanabe, Ohtsuki 1977; Watanabe, Ohtsuki 1978). Coloro che hanno dimestichezza con il calcolo alge-

brico possono accorgersi anche a prima vista che, aumentando il valore della massa corporea ( $m$ ), l'ultimo termine dell'equazione diminuisce di valore; in tal modo l'accelerazione ( $\Delta v \cdot \Delta t^{-1}$ ) aumenta.

A questo punto si potrebbe obiettare che aumentando la massa corporea dell'atleta, aumenterebbe di conseguenza la sua area di superficie corporea e quindi l'area di superficie frontale; di conseguenza non si otterrebbe alcun vantaggio in termini d'accelerazione.

Ma la massa aumenta con il cubo della dimensione lineare, mentre la superficie aumenta con il quadra-

to della stessa dimensione. Pertanto, aumentando il valore della massa corporea, l'ultimo termine dell'equazione diminuisce in ogni caso di valore e così lo sciatore con maggiore massa (a parità di altri fattori) può andare più veloce!

Se si inseriscono i numeri nell'equazione dell'accelerazione dello sciatore, si trova che il vantaggio di possedere una maggiore massa corporea è rilevante alle alte velocità (KL, DH, SG), mentre alle basse velocità (GS e SL) è trascurabile. *Questo significa che, soprattutto alle alte velocità, chi pesa di più può ottenere (a parità di altri fattori) una maggiore accelerazione.*

Altri autori (Savolainen, Visuri 1994) hanno calcolato che un incremento di 10 kg della massa dello sciatore dovrebbe incrementare la velocità massima di 2,3 m · s<sup>-1</sup> ovvero di 8,3 km · h<sup>-1</sup>.

### Quanto bisogna pesare

È necessario adesso stabilire fino a che punto sia vantaggioso l'incremento del peso corporeo e se sia indifferente un aumento in termini di massa grassa o magra.

Al primo problema non è facile dare risposta; ci limitiamo ad osservare come la letteratura internazionale degli ultimi tre decenni mostri un continuo incremento del peso corporeo e del peso magro degli sciatori d'élite (White, Johnson 1993; Orvanova 1987; Karlsson 1984; Kornexl 1976; Kornexl 1975). Ad esempio (tabella 2) la massa corporea della nazionale italiana maschile è aumentata dell'8% tra il 1982 e il 1999 (Colombo 2000; Colombo e coll. 2000).

Il secondo problema sarà esaminato in termini fisici e fisiologici. In genere, negli atleti è preferibile incrementare la massa muscolare piuttosto che quella grassa. Ma considerando che lo sciatore non lavora contro gravità, si potrebbe supporre che il grasso non ostacoli la prestazione. È lecito quindi chiedersi se sia preferibile (ai fini della prestazione) un aumento in termini di massa grassa rispetto alla magra. Analizzando il problema dal punto di vista strettamente fisico, occorre considerare che la massa grassa e quella magra hanno una differente densità (la densità risulta dal rapporto fra la massa e il volume di un corpo [ $d = m \cdot V^{-1}$ ]). La densità del grasso è pari a circa 0,9 g · cm<sup>-3</sup> mentre quella del muscolo è pari a circa 1,1 g · cm<sup>-3</sup>.

A parità di massa, il grasso occupa più spazio, mentre il muscolo ne occupa meno. Pertanto dal punto di vista strettamente fisico, potendo scegliere se aumentare il peso dell'atleta con 10 kg di massa grassa o con lo stesso quantitativo di massa magra, sarebbe più logico incrementare la massa magra. Infatti, 10 kg di massa magra occuperebbero meno spazio e quindi il valore della superficie frontale ( $A$ ) sarebbe minore. Ma 2-3 cm di differenza fra lo spazio occupato dalla massa grassa e magra, sono una quantità veramente irrisoria, e i vantaggi in termini d'accelerazione sarebbero molto limitati. In conclusione, dal punto di vista del vantaggio accelerativo, a parità di massa corporea, lo sciatore con maggiore densità non sembra essere avvantaggiato. Si capisce così perché, a parità di massa, anche gli sciatori con minore densità possono otte-

**Tabella 2 – Caratteristiche degli atleti appartenenti alle squadre nazionali italiana A di sci alpino durante le stagioni 1982/83 e 1999/2000**

|                             | Gruppo 1982 | Gruppo 1999 | P <   | Differenza (%) |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------|----------------|
| N°                          | 25          | 19          | —     | —              |
| Età (anni)                  | 21,7 ± 2,3  | 24,8 ± 2,8  | 0,001 | +14            |
| Peso (kg)                   | 79,0 ± 8,1  | 85,0 ± 7,4  | 0,05  | +8             |
| Peso magro (kg)             | 68,6 ± 6,2  | 76,8 ± 5,7  | 0,001 | +12            |
| Statura (cm)                | 178 ± 6,0   | 179 ± 4,0   | N.S.  | —              |
| BMI (kg · m <sup>-2</sup> ) | 24,9 ± 1,4  | 26,8 ± 2,0  | 0,01  | +6             |
| Grasso corporeo (%)         | 14,2 ± 3,8  | 9,6 ± 2,7   | 0,001 | -32            |

neri brillanti performances. In effetti, è evidente che alcuni sciatori (molti dei quali appartengono al settore femminile), anche ai limiti dell'obesità riescano ad ottenere successi soprattutto nelle discipline veloci. Pertanto dal punto di vista fisico non vi è alcuna differenza, ma è la massa complessiva che dà vantaggio!

Dal punto di vista fisiologico, per ciò che concerne la discesa libera, appare chiara l'importanza di dotare gli sciatori di masse muscolari, piuttosto che di grasso. Oggi-giorno, infatti, le forze centrifughe sono notevolmente superiori rispetto a quindici anni or sono. Ciò è dovuto alle maggiori velocità e alle notevoli inclinazioni del corpo degli atleti, rese possibili dalla modificata forma geometrica degli sci e dall'uso delle piastre di rialzo. Soprattutto a fine curva, le forze esterne sono maggiori rispetto alle altre fasi di curva, poiché sia la forza centrifuga che la forza gravitazionale agiscono nella stessa direzione. Hintermeister e coll. (1997) hanno messo in evidenza che, nella fase finale di una curva di SL e GS, i picchi di ampiezza EMG per i differenti muscoli degli arti inferiori variavano fra il 131 e il 245% della MCV; la ragione di ciò sarebbe dovuta ad un aumento del reclutamento di unità motorie in risposta alle alte velocità ed alle enormi forze centrifughe cui deve resistere lo sciatore. È evidente che lo sciatore dotato di imponenti masse muscolari riesce a contrastare con meno fatica tali forze di compressione esterne.

## Conclusioni

In questo scritto, sono stati esposti i motivi per cui gli atleti con maggior massa corporea sono avvantaggiati nelle discipline veloci dello sci alpino. Secondo quanto esposto, è lecito supporre che un allenamento volto ad incrementare la massa magra possa apportare benefici alla prestazione. È noto che soggetti non allenati nell'arco del primo anno di allenamento con i pesi, allenandosi e nutrendosi correttamente, riescono, nei migliori casi (e senza l'ausilio di farmaci) ad incrementare la massa muscolare di un massimo di 6-8 kg. Negli atleti dello sci alpino, è ragionevole ritenere che questo incremento sia più contenuto, a causa degli allenamenti tecnici e dei costanti impegni di gara, che interferirebbero con gli allenamenti per l'ipertrofia. Pertanto lo sviluppo della massa muscolare dovrebbe essere un obiettivo a lungo termine. Non è neppure necessario ridurre la percentuale di grasso a livelli troppo bassi in quanto un'eccedenza di grasso non sembra ostacolare di per sé la prestazione, anche se potrebbe essere indice di una forma fisica insufficiente.

In conclusione, non bisogna dimenticare che lo sci alpino è pur sempre uno sport "tecnico" e, in quanto tale, la prestazione deriva dall'abilità tecnica dell'atleta e dalla strategia di gara, con il supporto di una moltitudine di fattori favorevoli tra i quali è lecito annoverare la massa corporea. La migliore prestazione deriverà dall'ottimale interazione di tutti questi fattori. Più semplicemente lo sciatore più pesante e forte non è automaticamente candidato a vincere la discesa libera, anche se può risultare in qualche modo favorito! Le qualità tecniche ed in parte le caratteristiche mentali giocano sempre, nello sci alpino di alto livello, un ruolo determinante (Colombo 2000).

Gli autori: M. Colombo, diplomato ISEF e maestro di sci alpino presso la Scuola di Sci di St. Moritz (Svizzera); G.S. Roi, direttore del *Centro Studi Isokinetic* di Bologna; C. Osgnach, diplomato ISEF e collaboratore del *Centro Studi Isokinetic* di Bologna.

Indirizzo degli autori:

Mirko Colombo, Chesa Fratta, Via dal Chanel, CH 7513 Silvaplana

e-mail: mirko\_colombo@bluewin.ch

Giulio Sergio Roi, Cristian Osgnach, Centro Studi Isokinetic, Via di Casteldebbole 8/4, 40132 Bologna

Web Sites: www.isokinetic.com - www.traumisportivi.it

e-mail: centrostudi@isokinetic.com

## Bibliografia

- Andersen R.E., Montgomery D.L., Physiology of Alpine skiing, *Sports Med.*, 6, 1988, 210-221.
- Berg U., The influence of body mass in cross-country skiing, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19, 1987, 324-331.
- Billat V., Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sport Med.* 22, 1996, 3, 157-175.
- Colombo M., Aspetti biomeccanici e fisiologici dello sci alpino, Tesi di diploma ISEF Lombardia, 2000.
- Colombo M., Buselli P., Rosa G., Roi G.S., Functional assessment of top level Alpine skiers: anthropometrical and strength differences between national teams competing in 1982 and 1999 world cup season, in: *Book of Abstracts, 2nd International Congress on Skiing and Science 2000*, 208-209.
- di Prampero P.E., Le dimensioni corporee, in: *La locomozione umana su terra, in acqua, in aria*, Edi Ermes, Milano, 1987, 73.
- Hämäläinen T., Spring E., The influence of snow hardness on ski friction, *Commentationes Physico-Mathematicae*, 76, 1986, 1-17.
- Hintermeister R. A., O'Connor D. D., Lange G. W., Dillman C. J., Steadman J. R., Muscle activity in wedge, parallel, and giant slalom skiing, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29, 4, 1997, 548-553.
- Kaps P., Nachbauer W., Mössner M., Determination of kinetic friction and drag area in Alpine skiing, *Skiing Trauma and safety: 10th Int. Symp.*, ASTM STP 1266, Philadelphia, 1996.
- Karlsson J., Profiles of cross-country and Alpine skiers, *Clin. Sports Med.* 3, 1984, 245-271.
- Kornel E., Anthropometrische Untersuchungen im alpinen Schirennlauf (I Teil). *Leibesübungen, Leibeserziehung*, 29, 1975, 196-201.
- Kornel E., Anthropometrische Untersuchungen im alpinen Schirennlauf (II Teil). *Leibesübungen, Leibeserziehung* 30, 1976, 5-8.
- Maronski R., On optimal running downhill on skis, *J. Biomech.*, 23, 5, 1990, 435-439.
- Orvanova E., Physical structure of winter sports athletes, *J. Sports Sci.*, 5, 1987, 197-248.
- Roberts C. C., Numerical modeling of the transient dynamics of a skier while gliding, *Biomechanics of Sport*, The American Society of Mechanical Engineers, 1987.
- Roi G.S., Larivière G., La valutazione funzionale dell'atleta. Presupposti teorici ed implicazioni pratiche, *Coaching & Sport Science Journal*, 2, 1, 1997, 37-42.
- Saibene F., Cortili G., Roi G., Colombini A., The energy cost of level cross-country skiing and effect of the friction of the ski, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58, 1989, 791-795.
- Savolainen S., Theoretical drag analysis of a skier in the downhill speed race, *Int. J. Sport Biomech.*, 5, 1989, 26-39.
- Savolainen S., Visuri R., A review of athletic energy expenditure, using skiing as a practical example, *J. Appl. Biomech.*, 10, 1994, 253-269.
- Tesch P. A., Aspects on muscle properties and use in competitive Alpine skiing, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 1995, 310-314.
- Watanabe K., Ohtsuki T., Postural changes and aerodynamic forces in Alpine skiing, *Ergonomics*, 20, 1977, 121-131.
- Watanabe K., Ohtsuki T., The effects of posture on the running speed of skiing, *Ergonomics*, 21, 1978, 987-988.
- White A. T., Johnson S. C., Physiological aspects and injury in elite Alpine skiers, *Sports Med.*, 15, 3, 1993, 170-178.
- White A. T., Johnson S.C., Physiological comparison of international, national and regional Alpine skiers, *Int. J. Sports Med.*, 12, 1991, 374-378.

# Summaries

## The Winter Olympic Games of Salt Lake City and international development trends for winter sports

A. Pfützner, M. Reiss, K. Rost

The paper draws a balance of the recent Winter Olympic Games of Salt Lake City, and attempts an analysis of international trends in the development of winter sports. This entails an analysis of the evolution of results at an international level and of the underlying structural components. These are chiefly made up of: the efficacy of training systems; technological progress and the organisation of competition performance; the professionalisation of the coaching and training system and scientific assistance given to training. The main causes of a growth in performance at a national level are: an improvement in training efficacy, the successful passage of men and women athletes from transitional training in preparation for top level competition to top-level training itself, and an improvement in training control based on a coach-advisors system. Some conclusions are drawn from the considerations and analyses made with reference to the new Olympic cycle.

## The contribution made by science to sports training

V. Billat

For almost 80 years, physiological studies have attempted to explain the basis for endurance performance and to develop ways of improving performance by training. Performance for a runner can be represented by his/her personal power (velocity) versus time to exhaustion (time limit) relationship. There are some particular velocities that delineate intensity domains which are determined by oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ) and blood lactate response vs. time. This can distinguish: 1j: the maximal lactate steady-state where the rate of appearance of blood lactate equals the rate of disappearance and at which  $\dot{V}O_2$  stabilizes after 3 minutes at about 85%  $\dot{V}O_{2s}$ . This corresponds to the highest velocity that an athlete can sustain for an hour (85%  $\dot{v}O_2$  for a well-endurance trained subject), carbohydrate (and lactate eaten) are the main substrates for this exercise; 2j: the critical power which is the slope of the relationship between distance and time run at  $\dot{V}O_{2max}$ ; 3j: the minimal velocity associated with  $\dot{V}O_{2max}$  determined in an

incremental test ( $\dot{v}O_{2max}$  or maximal aerobic velocity). In light of this physiological approach it should be possible in the next five years to diversify training and explore endurance training effects and fitness.

## Some aspects of competition preparation

P. Tschieni

After having defined the concepts of top form, structure of performance and structure of competition, the paper looks at the relationship between competition and training according to an approach based on: the theory of systems; time constraints for competition preparation; ergogenic aids to optimise performance in training and competition; the problem of the extension of the competitive season and the state of top form; the relationship between the length of training and sporting form and between competition and the state of the immunity system.

## Fatigue: central and peripheral aspects

G. N. Bisciotti, P. P. Iodice, R. Massarelli, M. Sagnol

The phenomenon of fatigue has a multifactorial aetiology that is not always easy to pinpoint and difficult to interpret, having not a few conceptual contradictions. The phenomenon is traditionally broken down into peripheral fatigue and central fatigue, with chiefly metabolic causes for the former and basically neural grounds for the latter. The general picture is not so clear-cut however, and the various trigger factors very often overlap in a vague manner, making the situation difficult to interpret. In this short review an attempt is made to outline the current state of knowledge regarding the onset of both peripheral and central fatigue, highlighting the many unclear points and possible areas for future study.

## Physical training in team sports

G. Cometti

After giving some examples of typical exercises used in weight-lifting, wrestling, judo and boxing training that may be used for physical training in team sports, the paper presents combinations of general and specific exercises that can gradually be intro-

duced to players' training programmes after having learnt the correct techniques. These combinations have a significant impact on training and introduce elements of variety, interest and motivation to training sessions.

## Recovery in training with overloads

R. D'Isep, M. Gollin

The paper highlights the cause-effect relationship when choosing different recovery times in training sessions using overloads. It is observed that this element is not sufficiently highlighted in the literature, while experience shows that in the medium- and long-term especially there are substantial differences regarding the desired performance and muscular model.

The analysis of deciding factors starts from considerations on the energetic system used by the athlete for competition performance and the goals to achieve. Proposed alternatives take into account bibliographical data, although they partly diverge from such data as regards the relationship between the time dedicated to contraction and recovery time. The conclusions consider the degree of "customisation" required to respect inter-individual differences, which are influenced by somatotype and the number of years of training and sporting expertise of athletes, highlighting the fact that training can be ruined by incorrect recovery times, causing effects that are different from and even the opposite of the goal one wishes to achieve.

## Downhill skiing and body mass

M. Colombo, C. Osgnach, G. S. Roi

After an introduction on distinctions between "favouring" factors and "determining" factors for performance, the paper analyses the role of body mass as a favouring factor in downhill skiing speed events. A detailed illustration is given of the forces that aid and those that hinder the skier. It is then shown that a skier having a considerable body mass can accelerate faster, other factors being equal, especially at high speeds. Finally there is discussion of the importance of increasing the skier's muscular mass rather than body mass for biomechanical and physiological reasons. Top-level downhill skiing performance derives in any case from technical expertise and race strategy, with the assistance of a host of favouring factors, including significant body mass.