

Marco Ceriani

Esperto in Scienze delle Preparazioni Alimentari, Consulente Scientifico GENSAN

# Molecole energetiche e attività fisica

La richiesta nutrizionale da parte della popolazione attiva e, in particolar modo, degli atleti è riferibile a una componente energetica con apporto calorico ripartito tra glucidi, lipidi e proteine. A essa deve essere aggiunto un contributo, spesso anche rilevante in termini fisiologici, della componente micronutrizionale comprendente fattori essenziali come: vitamine, sali minerali, acidi grassi e aminoacidi essenziali.

Il fabbisogno energetico in un soggetto impegnato in un esercizio fisico è estremamente variabile e dipende, in larga misura, dall'intensità e dalla durata dell'esercizio stesso (Tab. I).

Le discipline di endurance richiedono quindi un'alimentazione specifica basata in modo marcato sui carboidrati che, a scopo didattico, possono essere divisi in tre categorie:

- carboidrati semplici o monosaccaridi (glucosio);
- disaccaridi (*saccarosio* costituito da una molecola di glucosio e una di saccarosio; *lattosio* formato da galattosio e glucosio, *maltosio* composto da 2 molecole di glucosio);

- carboidrati complessi o polisaccaridi (amido composto polimerico di amilopectina e amilosio che può arrivare a comprendere fino a 1.000 unità di glicogeno).

A livello biochimico la trattazione dei carboidrati, equivale a quella del glucosio che rappresenta la fonte energetica biologica di riferimento (amido, cellulosa e glicogeno sono infatti polimeri di glucosio).

## Glucosio e produzione energetica

La degradazione del glucosio all'interno delle cellule corporee avviene tramite una serie di reazioni chimiche: glicolisi e ciclo di Cori (energia anaerobica), ciclo di Krebs (energia aerobica).

L'energia aerobica, come è noto, viene ricavata dal catabolismo del glucosio tramite il ciclo di Krebs che rappresenta una via energetica addizionale. Il processo della glicolisi è composto da una sequenza di 10 reazioni catalizzate da specifici enzimi, che attraverso un processo anaerobico, a partire da una molecola di glucosio origina 2 molecole di piruvato e acido lattico (prodotto quando l'ossidazione del NADH non ha una velocità pari a quella delle reazioni glicolitiche). Da notare come la formazione dell'acido lattico non deve essere considerata come un evento negativo per la performance, ma come un'ulteriore fonte energetica, che viene utilizzata (ciclo di Cori) per la sintesi del glicogeno muscolare e glucosio ematico.

Il ciclo di Krebs risulta invece di grande importanza per la produzione di elettroni  $H^+$  fondamentali nella catena respiratoria. Il bilancio finale della degradazione completa di una molecola di glucosio è di 38 molecole di ATP. In termini pratici però, dato che 2 molecole di ATP vengono utilizzate per la fosforilazione iniziale del glucosio, il guadagno netto metabolico è pari a sole 36 molecole di ATP (4 provenienti dalla glicolisi e ciclo di Krebs e 32 dalla fosforilazione ossidativa) (Tab. II).

A livello di produzione energetica non può essere trascurata quella proveniente dal catabolismo lipidico che rappresenta la più abbondante fonte di energia potenziale dell'organismo. Infatti, a confronto dei carboidra-

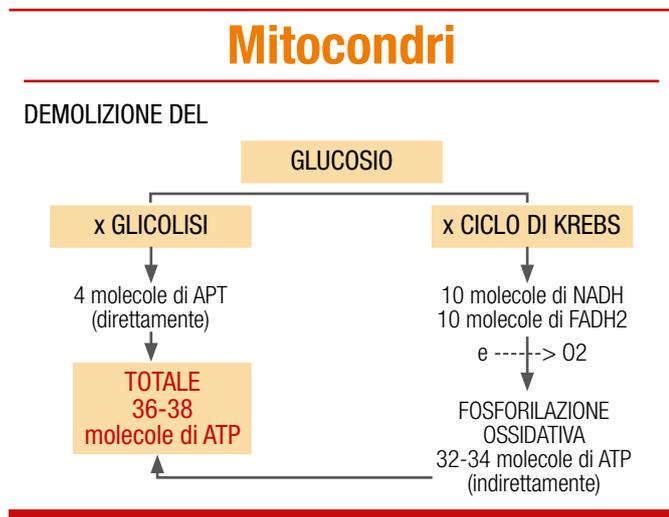
**Tabella I.** Fabbisogni energetici nelle diverse discipline dell'endurance.

Maratona: il fabbisogno energetico per sostenere un maratoneta di peso medio (70-75 kg), è pari a circa 2500-2700 calorie. Il dispendio totale non subisce variazioni di rilievo sia che la distanza venga percorsa in 2 ore e 20 oppure in 4 ore (il lavoro svolto è identico ma nel primo caso la potenza erogata risulta maggiore e la durata dell'esercizio inferiore, mentre nelle 4 ore di tempo, la potenza è ovviamente minore con una durata maggiore)

Sci alpino: la richiesta energetica per gli sciatori di fondo durante una settimana di allenamento varia per le femmine, tra le 3750 e le 4850 Kcal mentre per i maschi può essere compresa tra le 6100 e le 8550 Kcal

Ciclismo: durante una gara particolarmente lunga e impegnativa come il Tour de France la spesa energetica per il corridore è in media attorno alle 6500 Kcal giornaliere per circa tre settimane (variando dalle 3000 calorie per una tappa breve in pianura e le 9000 Kcal per una tappa di montagna)

**Tabella II.** Degradazione del glucosio.



ti e proteine, gli acidi grassi costituiscono una fonte di energia praticamente illimitata stimabile in non meno di 50.000-100.000 calorie contenute negli adipociti (cellule adipose) e da almeno 3.000 calorie che possono essere apportate dai trigliceridi intramuscolari. Un quantitativo notevolissimo, se paragonato alle circa 2.000 calorie come riserva energetica derivante dai carboidrati che rappresentano però il combustibile d'elezione per attività fisiche aerobiche a elevata intensità. I lipidi infatti pur nella loro rilevante disponibilità, posseggono solo il 30-50% della rapidità di utilizzazione dei carboidrati <sup>1</sup>.

### Indice e carico glicemico

L'indice glicemico (IG) di un alimento è un parametro di riferimento che rappresenta la velocità con cui si ha un incremento della concentrazione ematica di glucosio (glicemia) in seguito all'assunzione dello stesso. L'IG viene espresso come percentuale rispetto alla velocità dell'aumento glicemico in seguito all'assunzione di un alimento di riferimento (glucosio o pane bianco) con indice glicemico convenzionale pari a 100 (quindi un alimento con indice glicemico pari a 50 induce un innalzamento della glicemia con una velocità pari alla metà di quella dell'alimento di riferimento) (Tab. III).

Ma oggi essendo noto come "la qualità dei carboidrati assunti con la dieta conta di più della loro quantità" <sup>2</sup> l'indice glicemico è stato affiancato dal concetto di "carico glicemico" (Glicemic Load) che rappresenta un dato più utile e pratico per la valutazione dell'effetto del cibo ingerito. Nel GL sono compresi aspetti fondamentali legati al cibo come la quantità consumabile (angurie o cacao), le modalità di preparazione e cottura (le carote crude hanno un indice glicemico notevolmente più basso di quelle cotte, poiché la temperatura ha un effetto solubilizzante sugli zuccheri), la sempre differente combinazione dei tre macro nutrienti (carboidrati, proteine e grassi) con fibre e liquidi nella razione giornaliera.

**Tabella III.** Indice glicemico di alcuni alimenti.

Alimenti	Indice glicemico
Pane bianco	100
Pane integrale	99
Pane di segale	58
Riso	83
Patate al forno	135
Mele	53
Glucosio	148
Saccarosio	130
Gelati	45-70
Latte intero	49
Yogurt	52

### L'insulina e i suoi effetti

L'insulina è un ormone deputato al controllo e regolazione del livello del glucosio nel sangue. La sua secrezione avviene in risposta all'aumento della concentrazione ematica di glucosio (glicemia) in seguito all'assunzione di cibi a elevato indice glicemico o di rilevante apporto di carboidrati o comunque quando il livello del glucosio aumenta in risposta a stimoli specifici (come lo stress psico-fisico che causa un innalzamento ematico degli ormoni antagonisti dell'insulina con effetto iperglicemizzante).

Le funzioni fisiologiche dell'insulina non riguardano solo il controllo della glicemia, ma anche il metabolismo idrico-salino e quello proteico, oltre all'attività cellulare e nella produzione di composti energetici.

Elevati livelli glicemici inducono le cellule beta del pancreas a produrre una maggior quantità di insulina che rende più facile al glucosio il passaggio all'interno delle cellule con una marcata diminuzione della glicemia che arresta un'ulteriore secrezione di insulina. In questo modo la glicemia viene mantenuta a livelli fisiologici ottimali.

### Resistenza all'insulina

Le principali cause della variazione della risposta individuale ai carboidrati sono da ricercarsi nel tipo di carboidrati assunti con la dieta e alla resistenza all'insulina che provoca una scarsa tolleranza ai carboidrati. Si ha quindi una maggior difficoltà di trasporto del glucosio nei tessuti sensibili all'insulina. A seconda del livello di resistenza all'insulina, i livelli di glucosio e di insulina possono aumentare causando una maggiore conversione di glucosio in grasso corporeo e a un minore immagazzinamento come glicogeno. I soggetti con scarsa tolleranza verso i carboidrati evidenziano in genere più difficoltà a recuperare energia e a ricreare le riserve di glicogeno muscolare nel post allenamento.

## Prima, durante e dopo: i tre momenti della performance nell'endurance

### La razione alimentare prima dell'attività d'endurance

Nelle attività fisiche aerobiche, che impegnano essenzialmente i muscoli a contrazione lenta (fibre rosse di tipo I), la razione alimentare che compone il pasto pre-gara deve fornire all'atleta un'adeguata quantità di substrati nutrizionali elettivi. Essenzialmente si tratta di carboidrati e acqua per garantire un'idratazione ottimale. In questa fase il digiuno o la mancanza di apporto calorico sono privi di fondamenta fisiologiche perché si portano così facendo a esaurimento precoce le riserve di glicogeno epatico e muscolare con un sostanziale peggioramento della performance<sup>3</sup>.

È infatti noto come un esercizio aerobico a elevata intensità (protratto per 60 minuti) può provocare una diminuzione di circa il 55% delle riserve di glicogeno epatico. Attività fisiche di tipo massimale della durata di 120 minuti portano invece al completo azzeramento delle riserve energetiche epatiche e nei muscolari interessati dall'allenamento.

Da considerare anche come un'assunzione proteica pre allenamento determini un incremento maggiore del metabolismo basale, rispetto all'assunzione di carboidrati, in ragione di un'aumentata richiesta energetica per la metabolizzazione e assorbimento. L'incremento della spesa energetica affatica i meccanismi di termoregolazione corporea, a danno dell'esercizio fisico, specie in clima caldo umido.

Per un'attività di endurance come il ciclismo, le indicazioni nutrizionali "classiche" per la razione alimentare nel periodo di allenamento, prevedono la seguente ripartizione; 55-60% di carboidrati; 30% di lipidi e un 10-12% alle proteine. Si tratta in pratica della ripartizione calorica della dieta mediterranea con una rivalutazione degli acidi grassi essenziali PUFA (acido eicosapentaenoico, EPA e il docosaesaenoico, DHA). Di recente sono stati formulati piani dietetici innovativi con una ripartizione calorica che evidenzia un minor apporto di carboidrati (40-45% circa) elevando sia la quota lipidica (grassi essenziali) che quella proteica.

L'incremento proteico è ritenuto utile per contrastare la deplezione e il catabolismo muscolare.

È stata valutata la somministrazione di 1,2-1,6 g di proteine per chilo di peso corporeo. Uno schema alimentare per un soggetto ideale di 70 kg di peso (inteso come peso forma) con un metabolismo basale pari a 1.750 calorie (energia necessaria solo per lo svolgimento delle funzioni vitali) può essere rappresentato da una razione alimentare giornaliera pari a 5791 calorie (Il fabbisogno calorico delle tappe alpine più impegnative può essere stimato nell'ordine delle 8000-9000 calorie).

Alla prima colazione viene affidata la ricarica dei carboidrati (63% delle calorie) ripartite tra semplici e complessi, con l'apporto proteico ritenuto più adeguato in

vista della performance (24%) e un apporto marginale di grassi (15%).

La cena rappresenta il momento alimentare più innovativo, a livello dietetico, perché affida ai grassi quasi il 40% dell'apporto energetico totale, riducendo i carboidrati al 35% e mantenendo nello standard l'apporto proteico.

Un approccio nutrizionale innovativo che mantiene inalterato il livello calorico totale, ma apporta una maggior quota proteica a favore del recupero energetico-muscolare<sup>4</sup>.

### La strategia del "carbing up" (super compensazione del glicogeno)

L'atleta delle discipline di resistenza è spesso alla ricerca di metodiche nutrizionali che possano incrementare l'accumulo di glicogeno endogeno. Una strategia particolarmente diffusa è quella del carico di carboidrati abbinati all'attività fisica per incrementare i livelli di glicogeno muscolare più di quanto si riesce a realizzare con una dieta ricca di carboidrati e lipidi. Il tessuto muscolare contiene in genere 1,7 g di glicogeno per ogni 100 g, che possono essere portati fino a 4-5 g. La strategia del "carico di carboidrati" (o super compensazione) prevede una ciclizzazione dell'apporto energetico in modo da ridurre inizialmente il glicogeno muscolare per poi incrementarlo a ridosso dell'evento agonistico.

La prima fase deve avere inizio 6 giorni prima con un carico complessivo di carboidrati ridotto a non più di 60-100 g/die, in abbinamento a un allenamento basato sul lavoro di resistenza (90 minuti di attività con intensità sub-massimale). E in considerazione del fatto che l'incremento del glicogeno ha luogo solo nelle masse muscolari coinvolte, l'allenamento dovrà comprendere in modo specifico i gruppi muscolari coinvolti maggiormente nel lavoro atletico. La deplezione del glicogeno che viene indotta con questa strategia favorisce la formazione di forme intermedie di glicogeno sintetasi, un enzima che favorisce la sintesi di nuovo glicogeno.

Nella seconda fase, all'atleta che riduce normalmente il carico di lavoro e la sua durata viene fornito un regime alimentare con un carico elevato di carboidrati pari al 60-80% (400-700 g al giorno) fino alla giornata pre-gara. La dieta deve includere anche il necessario apporto degli altri macronutrienti oltre che vitamine, minerali e una adeguata idratazione.

La super compensazione, se eseguita correttamente, porta a esiti positivi, in attività di durata maggiore ai 60 minuti. Scarico e carico di carboidrati, in associazione all'allenamento sopra esposto, sono in grado di incrementare sia la rapidità che l'efficienza della formazione di glicogeno<sup>5</sup>. È possibile aumentare il glicogeno muscolare con un opportuno regime dietetico da seguire nel corso della settimana prima della gara.

- Fase 1: deplezione (primi 3 giorni)
  - Attività fisica intensa e sub-massimale per esaurire il glicogeno muscolare

**Tabella IV.** Carico di carboidrati (super compensazione del glicogeno).

Regime alimentare	Glicogeno muscolare (g/100 g di tessuto)	Durata max del lavoro al 75% VO <sub>2</sub> max
Equilibrato	1,75	113 minuti
Proteine/lipidi/glucidi 35/55/10 per 3 giorni	0,69	59 minuti
12/8/80 per i 3 giorni successivi	3,70	190 minuti
15/70/70 non preceduto dal regime ipoglicidico	2,51	166 minuti

- Dieta a basso contenuto di carboidrati e a elevato contenuto lipidico e protidico
- Fase 2: carico di carboidrati (ultimi 3 giorni)
- Attività fisica moderata (mantenimento)
- Dieta ricca di carboidrati (apporto lipidico e protidico nella norma)
- Giorno della gara: pasto pre-gara (3-4 ore prima) ricco di carboidrati complessi (Tab. IV).

Il carico di carboidrati però può in alcuni casi rivelarsi una strategia poco utile o dannosa. Nella prima fase (scarico di glicogeno) alcuni atleti potrebbero non riuscire a contrastare l'aumentata spesa energetica dovuta alla tipologia di allenamento indicata con recuperi parziali e stanchezza fisica pronunciata<sup>6</sup>.

Per questo motivo è indicato testare la super compensazione lontano da gare o eventi sportivi determinanti.

#### Carboidrati prima e durante l'attività fisica: pro e contro

L'assunzione di carboidrati nel corso di un'attività fisica al 60-80% della potenza aerobica massima consente di allungare la resistenza di 15-30 minuti e di esprimere l'energia necessaria a un eventuale sprint finale.

Per attività più leggere (attorno al 50% della VO<sub>2</sub> max) come substrato energetico vengono utilizzati i lipidi in percentuale maggiore ai carboidrati e quindi la loro assunzione intra-competitiva non risulta determinante. Nell'ora precedente una gara l'assunzione di carboidrati può risultare controproducente. L'elevato livello di insulina che ne consegue potrebbe essere causare di ipoglicemia secondaria. Inoltre l'insulina inibisce la lipolisi, spostando il metabolismo verso l'utilizzo dei glucidi, portando a un depauperamento maggiore delle scorte di glicogeno in corso di esercizio fisico.

#### La razione di recupero

La miglior strategia nutrizionale per reintegrare i carboidrati dopo attività fisiche prolungate è rappresentata da cibi con indice glicemico moderato o elevato, con una quota modesta di proteine e lipidi. Dopo attività intense

e protratte, per favorire il pieno reintegro del glucosio è ritenuto ideale un apporto pari a 50-70 g di carboidrati con IG medio o alto, ogni 2 ore fino a un quantitativo ideale pari a 500 g (con un range di valutazione pari a 7-10 g/kg di massa corporea)<sup>7,8</sup>.

#### Integrazione alimentare

Oltre alla dieta, i carboidrati possono essere assunti, in modo più pratico e veloce, attraverso integratori alimentari formulati in modo specifico. I carboidrati più indicati per la pratica sportiva risultano essere quelli che apportano energia rapidamente assimilabile senza provocare iper e ipo glicemie, condizioni che non favoriscono l'attività fisica d'endurance.

Di seguito alcuni carboidrati normalmente in uso nella pratica sportiva.

#### • Zuccheri semplici (insulina indipendenti)

Un apporto di zuccheri semplici prima dell'attività fisica è causa di un brusco innalzamento dei valori glicemici (5-10 minuti successivi all'ingestione) a cui è conseguente un immediato rilascio di insulina da parte del pancreas, teso a ristabilire, nel medio termine i valori glicemici creando un fenomeno negativo di ipoglicemia transitoria (ipoglicemia di rimbalzo) con una rapida assunzione di glucosio da parte delle strutture cellulari muscolari. Al contempo il rilascio di insulina provoca l'inibizione della mobilitazione dei grassi a fini energetici. Il risultato è una maggior utilizzazione dei carboidrati intramuscolari con una deplezione delle riserve di glicogeno.

#### • Fruttosio

È un monosaccaride che ha la stessa formula molecolare del glucosio (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) ma presenta tempi di assorbimento, a livello dell'intestino, più lento (con una velocità pari a circa il 43% di quella del glucosio<sup>9</sup>, con una minor risposta insulinica e, di conseguenza, una maggior stabilità della glicemia con effetti migliorativi rispetto ad altri zuccheri (glucosio e saccarosio))<sup>10</sup>.

L'assorbimento del fruttosio non avviene solamente a livello epatico ma anche nel tessuto adiposo e muscolare, dove viene fosforilato nella forma 6-fosfato, un metabolita intermedio che può rendere parte al flusso glicolitico a livello degli adipociti o, venir convertito a glucosio 1-fosfato ed essere polimerizzato come glicogeno nel tessuto muscolare.

#### • Maltodestrine

Polimeri del glucosio ottenute per idrolisi dall'amido di mais. Le molecole di maltodestrine vengono descritte in base a un indice, destrosio equivalenza, D.E. (che può variare in un range compreso tra D.E. 4 fino a 20, dove, ad esempio, una maltodestrina con un D.E. pari a 10 deve essere intesa come 100 g di maltodestrina equivalgono a 10 g di glucosio), che caratterizza sia la lunghezza delle molecole (maggiore è la D.E. più corte sono le molecole di maltodestrine) che i tempi di assorbimento

(maltodestrine con un elevato D.E. hanno un comportamento biochimico simile a quello del glucosio, ma con un minor residuo gastrico, dovuto alla minor osmolarità della soluzione).

La velocità di assorbimento delle maltodestrine dipende quindi strettamente dalla destrosio-equivalenza.

L'uso delle maltodestrine prima e durante l'attività fisica ha l'indubbio vantaggio di utilizzare un carboidrato con identico apporto calorico, ma privo del sapore dolce tipico degli altri zuccheri. Questa caratteristica lo rende ideale per evitare effetti di non accettazione (nausea).

- **Gel energetici**

Si tratta di prodotti, spesso formulati come integratori alimentari per la presenza di molecole bioattive a supporto della performance (come aminoacidi, vitamine, minerali e molecole ad azione energizzante come il guaranà) in grado fornire un'elevata quota energetica con un basso apporto in termini di peso e volume, condizione ideale per poter essere assunti anche durante l'attività fisica. La formulazione in "gel" rende il prodotto a elevata densità, assicurando la stabilità degli zuccheri solubilizzati e la loro elevata concentrazione (fino a 20 g per 30 ml di prodotto).

### Esempio di menù di una tappa di montagna del Giro d'Italia di ciclismo\*

Colazione: buffet libero con caffè in bricco, latte intero tiepido/freddo, corn flakes/cereali, prosciutto crudo (30 g per atleta), formaggio tipo emmenthal (30 g per atleta), marmellata (due o tre tipi), pane fresco (uno-due panini per atleta), brioches fresche (una per atleta), succo

d'arancia, yogurt (uno per atleta g 125), pasta in bianco (condita con olio e parmigiano), omelette.

Cena: tagliatelle all'uovo (100 g), passata di pomodoro e formaggio grana servito a parte, pollo arrosto (250 g circa), insalata mista a volontà, 3 panini (per atleta), frutta fresca di stagione, crostata di frutta.

### Conclusioni

L'esercizio fisico aerobico può determinare rilevanti richieste energetiche. Ciò in considerazione del fatto che un'attività intensa della durata di 60 minuti porta a una riduzione delle riserve di glicogeno epatico di circa il 55%, mentre allenamenti protratti fino a 120 minuti portano alla deplezione totale delle riserve di glicogeno nel fegato e nei muscoli interessati dall'attività.

Indice e carico glicemico sono due parametri che possono fornire indicazioni utili su quale alimento debba essere consumato prima dell'attività fisica. Esistono grandi differenze tra i carboidrati (monosaccaridi, disaccaridi e polisaccaridi) che devono essere inseriti in un'attenta strategia alimentare e d'integrazione suddivisa nei vari momenti della performance (prima, durante e dopo).

Le razioni alimentari pre-gara e di recupero differiscono per le differenti quantità e tipologie di carboidrati in uso. Gli integratori alimentari possono fornire indubbi benefici prima e durante la performance.

La metodica dello scarico-carico di carboidrati (super compensazione del glicogeno) è in grado di migliorare la capacità di resistenza nell'esercizio fisico protratto oltre i 60 minuti. Ma per la sua complessità, occorre prestare particolare attenzione alle procedure di allenamento e a quelle alimentari nella settimana pre-gara.

### Bibliografia

- 1 van der Vusse GJ, Reneman RS. *Lipid metabolism in muscle*. In: *Handbook of physiology, section 12: Exercise: regulation and integration of multiple systems*. New York: Oxford Press 1996.
- 2 Brand-Miller J. *The new glucose revolution*. New York: Marlowe & Co. 2002.
- 3 Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, et al. *Substrate usage during prolonged exercise following a pre-exercise meal*. J Appl Physiol 1985;59:429-33.
- 4 Ceriani M. *I diari della borraccia*. Milano:

Libreria dello sport 2005, pp. 143-8.

- 5 Nakatani A, Han DH, Hansen PA, et al. *Effect of endurance exercise training on muscle glycogen supercompensation in rats*. J Appl Physiol 1997;82:711-5.
- 6 Costill DL, Flynn MG, Kirwan JP, et al. *Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance*. Med Sci Sports Exerc 1988;20:249-54.
- 7 Walton P, Rhodes EC. *Glycemic index and optimal performance*. Sports Med 1997;33:164-72.

- 8 Burke LM, Collier GR, Hargreaves M. *Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index on carbohydrate feedings*. J Appl Physiol 1993;75:1019-23.
- 9 Arienti G, Floridi A. *Biochimica della nutrizione*. Piccin 1981, p. 140.
- 10 Febbraio MA, Stewart KL. *CHO feeding before prolonged exercise: effect of glycemic index on muscle glycogenolysis and exercise performance*. J Appl Physiol 1996;81:1115-20.

\* 87° Giro d'Italia (2004): menù del Team Vini Caldirola nella 18° Tappa: Cles (Val di Non)-Bormio 2000.

Percorso totale 118 km: Passo del Tonale (1.883 m, salita km 15,2 con pendenza media del 6%), Passo di Gavia (2.618 m, salita km 16,7 con pendenza media del 7,9%), Bormio 2000 (1.938 m, salita km 9,9 con pendenza media del 7,5%). Media: 29,934 ; vincitore: Damiano Cunego.

### CORRISPONDENZA

**Marco Ceriani**  
gensanlab@gensan.com