



Politecnico di Torino

Porto Institutional Repository

[Book] Ciclismo: fisica e fisiologia - 10 risposte della scienza al ciclista curioso

Original Citation:

Zeppegno, Mario; Baldissera, Paolo; Ardigò, Luca Paolo (2017). *Ciclismo: fisica e fisiologia - 10 risposte della scienza al ciclista curioso*. Calzetti-Mariucci Editori di Roberto Calzetti Editore s.r.l., Perugia, pp. 1-373. ISBN 978-88-6028-524-9

Availability:

This version is available at : <http://porto.polito.it/2690055/> since: November 2017

Publisher:

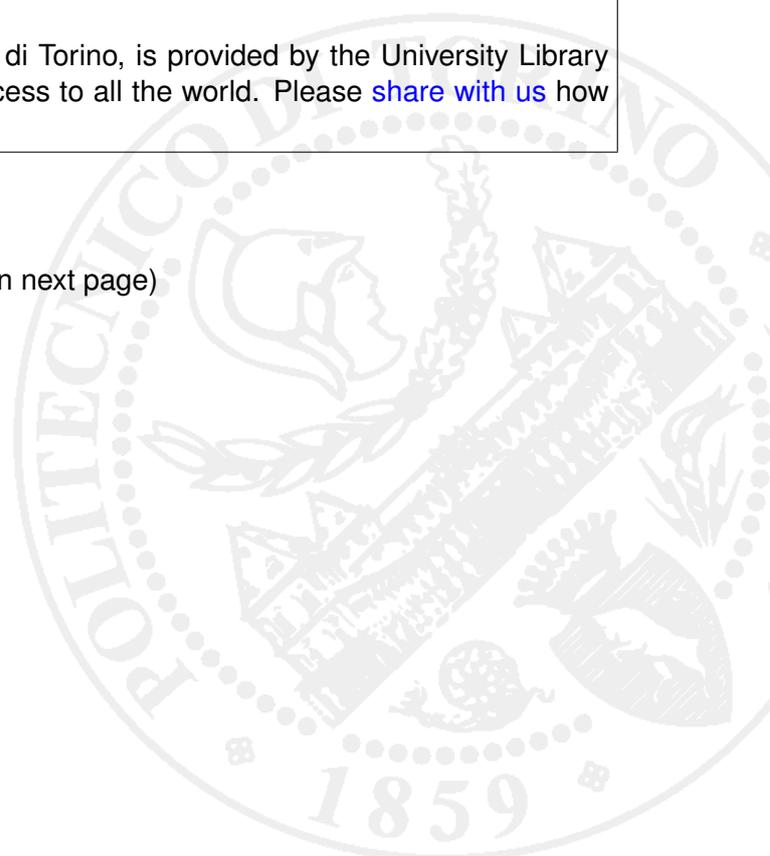
Calzetti-Mariucci Editori di Roberto Calzetti Editore s.r.l.

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions applicable to Open Access Policy Article ("Public - All rights reserved") , as described at http://porto.polito.it/terms_and_conditions.html

Porto, the institutional repository of the Politecnico di Torino, is provided by the University Library and the IT-Services. The aim is to enable open access to all the world. Please [share with us](#) how this access benefits you. Your story matters.

(Article begins on next page)



MARIO ZEPPEGNO
PAOLO BALDISSERA
LUCA PAOLO ARDIGÒ



Un libro concepito per i ciclisti curiosi, quelli che non si accontentano di imparare dei numeri, pur di esibirli, magari a sproposito, per mettersi in mostra parlando di ciclismo, ma che vogliono sapere che cosa c'è dietro a questi numeri:

consumo di ossigeno e di calorie, potenza ed energia sviluppate, efficienza del motore umano, soglia anaerobica ed acido lattico, velocità ascensionale, pedalata rotonda e a stantuffo, spinta sui pedali, produzione e dispersione del calore corporeo, le resistenze esterne contro cui la bicicletta deve farsi strada, le modifiche morfologiche e fisiologiche che intervengono con l'età, le risposte dei sistemi respiratorio e cardio-vascolare all'esercizio fisico, e tanto altro.

Non è un testo "imperdibile" per i corridori, perché non ha la pretesa di insegnare come raggiungere le migliori prestazioni e i migliori risultati in gara. Non è nemmeno un testo di cui non può fare a meno il ciclista che vuole sapere tutto sulla bicicletta, o sulla sua più recente evoluzione, perché il mezzo meccanico è visto nella sua forma essenziale, quasi immutabile nel tempo, anche se si dà spazio a recenti innovazioni, come il powermeter, o a particolarità costruttive, come la corona ellittica, o a materiali del futuro, come il grafene.

E allora? Mario Zeppegno, cui si deve l'idea di questo libro e che lo racconta in prima persona, è uno dei due milioni di ciclamatori italiani, e si auto-definisce "un ciclista curioso"; assieme ai suoi colleghi autori, offre qui, per ogni concetto, una dettagliata spiegazione, attinta dalla fisica e dalla fisiologia.

Per il rigore scientifico con cui i vari argomenti sono trattati, si giustifica la presenza di questo libro anche nella biblioteca di un Dipartimento universitario e sul tavolo di un fisiologo dello sport.

Il libro, che è scritto con stile colloquiale, non privo a tratti d'ironia, si articola in dieci domande, che ne innescano a dire il vero molte altre, con relative risposte.

Dieci domande/risposte come dieci tappe di una ideale corsa ciclistica.

E il ciclista/lettore che avrà percorso le prime nove (se qualcuna gli sembrerà troppo dura, il riassunto che è in testa ad ogni capitolo gli offrirà una scorciatoia più agevole), sarà pronto per affrontare il "tappone" finale. Scoprirà così il segreto che sta dietro a una domanda, la decima, facile solo in apparenza: come riesce a stare in equilibrio il ciclista sulla bicicletta?

CICLISMO: FISICA E FISIOLOGIA



fisica
CICLISMO
e fisiologia

10 risposte della scienza al ciclista curioso

ZEPPEGNO-BALDISSERA-ARDIGÒ

ISBN 978-88-6028-524-9



€ 29,00 www.calzetti-mariucci.it / info@calzetti-mariucci.it


CALZETTI
MARIUCCI
e d i t o r i



Prefazione	7
Nota metrologica	10
Istruzioni per l'uso	12

CAPITOLO 1

Qual è la potenza necessaria per fare una salita? Che cos'è la "massima velocità ascensionale"?

1-1 Un lavoro fatto...con i piedi	17
1-2 La potenza critica o massima continuativa	18
1-3 La frequenza cardiaca di soglia. Il cardiofrequenzimetro	19
1-4 Come il ciclista può calcolare la propria potenza	20
1-5 La velocità ascensionale	24
1-6 Per saperne di più. Il misuratore di potenza	24

CAPITOLO 2

Qual è, cioè di che tipo è l'energia che fa funzionare il corpo umano, e come viene prodotta? Quali sono i "numeri" del bilancio energetico del corpo umano durante l'attività fisica aerobica?

2-1 Gli alimenti come fonte di energia	34
2-2 La "moneta energetica", ovvero l'adenosina trifosfato	37
2-3 I due sistemi energetici anaerobici	39
2-4 Il sistema ossidativo e l'interazione tra i tre sistemi	43
2-5 Il muscolo, l'organo attuatore del movimento	46
2-6 L'efficienza del motore umano. Le analogie con quello di un'auto	49
2-7 La chimica della trasformazione degli alimenti in energia. Il quoziente respiratorio	56
2-8 Un accenno al costo energetico dell'attività anaerobica	62
2-9 L'esercizio fisico e la variazione della massa corporea	63
2-10 Esercizio continuo od intermittente?	66
2-11 Per saperne di più. Il muscolo nella locomozione assistita: ciclismo	67

CAPITOLO 3

Come viene prodotto e regolato l'ossigeno per generare l'energia necessaria all'esercizio fisico?

3-1 L'equilibrio tra l'ossigeno estratto dall'aria e l'anidride carbonica ceduta all'ambiente. La legge di Dalton	78
3-2 Il consumo di ossigeno e il suo calcolo. La trasformazione di Haldane	80



3-3	La relazione tra il consumo di ossigeno e la quantità dell'aria inspirata	82
3-4	La regolazione dell'ossigeno	84
3-5	L'estrazione dell'ossigeno dall'aria. La membrana respiratoria	86
3-6	L'influenza dell'altitudine sulla prestazione fisica	90
3-7	Per saperne di più. Spettroscopia del quasi infrarosso	93

CAPITOLO 4

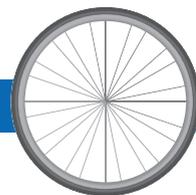
Tra i due sistemi, quello respiratorio e quello circolatorio, qual è più limitativo al fine di fornire l'ossigeno per l'attività fisica?

		97
4-1	La circolazione del sangue	100
4-2	Il regime pressorio del sangue a riposo e sotto sforzo	104
4-3	Il ruolo delle arteriole	107
4-4	Le leggi della fisica (formula di Poiseuille e teorema di Bernoulli) e la loro applicazione alla circolazione del sangue	108
4-5	La massima frequenza cardiaca, il massimo consumo di ossigeno e la massima potenza aerobica	118
4-6	La posizione reclinata (recumbent) fa aumentare la gettata cardiaca?	120
4-7	Il sangue come vettore dell'ossigeno. L'equazione di Fick	121
4-8	La ri-distribuzione del flusso sanguigno durante l'esercizio	128
4-9	L'energia per le funzioni vitali durante l'esercizio	129
4-10	Per saperne di più. I sussidi ergogeni	132

CAPITOLO 5

In che modo il corpo elimina il calore, in particolare quello che si forma durante l'esercizio fisico?

		139
5-1	Il metabolismo a riposo e l'indice metabolico	142
5-2	Il viaggio del calore: dal muscolo alla superficie cutanea. La conduzione	143
5-3	L'irraggiamento	147
5-4	La convezione	148
5-5	L'evaporazione	151
5-6	La sudorazione e l'importanza del bere	154
5-7	Il movimento rende meno fastidioso lo sforzo	155
5-8	Applicazioni numeriche	156
5-9	Faticare al caldo: i muscoli e la cute si contendono il sangue	162
5-10	Il controllo e la regolazione della temperatura corporea	163
5-11	Per saperne di più. L'esercizio al caldo e l'indice WBGT	165



CAPITOLO 6

Che cos'è la soglia anaerobica e qual è la sua importanza?

	175
6-1 La soglia anaerobica e l'acido lattico	177
6-2 La neutralizzazione dell'acido lattico ha un costo: la formazione del lattato	181
6-3 La determinazione della soglia anaerobica e della massima potenza continuativa	183
6-4 Il costo energetico della locomozione terrestre: la bicicletta è la forma più economica. Come "predire" la velocità massima in prove di media/lunga durata	185
6-5 La capacità anaerobica e i tentativi di misurarla	189
6-6 Per saperne di più. L'identikit di un campione	192

CAPITOLO 7

Quale potenza è richiesta per vincere la resistenza al moto e quella dell'aria?

	199
7-1 La resistenza al moto	202
7-2 La resistenza dell'aria	203
7-3 L'equazione generale del movimento per il ciclismo. Alcune applicazioni	206
7-4 Prestazioni di rilievo in salita e in piano. Il "wattaggio" del corridore	208
7-5 I limiti dell'equazione generale del movimento se applicata alle prestazioni in piano	210
7-6 La classificazione degli sforzi nel ciclismo. Relazione tra potenza sostenibile e durata dello sforzo: dati reali	215
7-7 L'accelerazione, "palla al piede" del pistard	218
7-8 Come "predire" la velocità massima in prove di breve durata	222
7-9 La "partenza lanciata" nel ciclismo, ovvero come massimizzare il risultato della prestazione	229
7-10 L'efficienza energetica di uno sforzo di breve durata	230
7-11 L'importanza di poter rifiatore	234
7-12 Per saperne di più. Le forze contro cui la bicicletta deve farsi strada	238
7-13 Per saperne di più. La misura della potenza anaerobica: il test di Wingate	245

CAPITOLO 8

Quali sono le modifiche morfologiche e fisiologiche che intervengono con l'età e che hanno attinenza con l'esercizio fisico?

	249
8-1 Che cosa cambia	251
8-2 L'allenamento antidoto all'invecchiamento	252



8-3	Il reclutamento delle fibre a scossa lenta e il suo effetto sulla spinta sul pedale	253
8-4	Come varia con l'età la massima potenza continuativa	255
8-5	La fatica e il significato dell'"isocronismo" tra giovani ed anziani nel raggiungerla	256
8-6	Per saperne di più. I "disagi" del ciclista	258

CAPITOLO 9

Qual è il fabbisogno di energia per un corridore in una corsa gravosa? E per un "ciclista della domenica" che sta 6 ore in sella?

Qual è la perdita di liquidi e di peso

dell'organismo durante una prova impegnativa?

9-1	Caso 1. Fabbisogno di energia e perdita di liquidi e di peso per un corridore in una corsa gravosa	269
9-2	Caso 2. Fabbisogno di energia per il "ciclista della domenica"	274
9-3	Caso 3. Fabbisogno di energia per un corridore durante l'allenamento	275
9-4	Per saperne di più. Differenze tra velocista, passista e scalatore	276

CAPITOLO 10

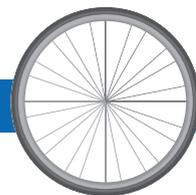
Come riesce a stare in equilibrio il ciclista sulla bicicletta?

Quale contributo dà l'effetto giroscopico?

10-1	Introduzione	287
10-2	La spinta sul pedale. La pedalata "rotonda" e "a stantuffo".	287
10-3	L'effetto giroscopico	306
10-4	L'equilibrio nel moto traslatorio rettilineo	310
10-5	L'equilibrio nel moto traslatorio circolare	329
10-6	Riepilogo	338
10-7	Fuori tempo massimo, spunta però Jones...	341
10-8	Per saperne di più. La forcella e la guidabilità della bicicletta	343
10-9	Per saperne di più. I materiali della bicicletta	347

	Glossario	358
--	-----------	-----

	Bibliografia	368
--	--------------	-----



La bicicletta è uno sport che, mentre lo si esercita, non consente di scambiare, se non poche, parole con chi ci è compagno di pedalata. E ciò per due ragioni.

La prima è che conviene... risparmiare il fiato. Bernard Hinault (che non ha bisogno di presentazioni), in un libro da lui scritto insieme con C. Genzling, 1989 [1], che riflette la sua esperienza di corridore, spiega che esiste un modo semplice per sapere quando lo sforzo diventa significativo: poiché la respirazione si fa meno facile, chi sta in sella comincia a provare difficoltà a conversare con i suoi compagni. *“Si raggiunge – dice Hinault – quella che si chiama la soglia del chiacchiericcio, una espressione divertente che non mancherà di rievocare ricordi di discussioni interrotte dall’effetto dell’accelerazione del gruppo”.*

La seconda ragione è che, per strada, bisogna procedere in fila indiana per non correre il rischio di essere travolti da qualche automezzo, il che ostacola, per via dei rumori di fondo, anche intensi, la conversazione.

Non viene impegnata però la mente, quando si va in bicicletta, a differenza di altri sport, come il calcio e il tennis, se non per l’attenzione, quasi automatica, da dedicare al rispetto delle norme della circolazione stradale (sperando che gli altri, cioè gli automobilisti, le rispettino nei tuoi confronti), e per quella, più specifica, rivolta alle condizioni dell’asfalto, su cui le ruote sottili della bicicletta si muovono in precario equilibrio. Hai, in sostanza, molto tempo per pensare...

“ed io, spesso, questo tempo l’ho dedicato a pormi delle domande, e a tentare di dar loro delle risposte, su argomenti attinenti la bicicletta, ma meglio, dovrei dire, la sua accoppiata con chi le sta sopra: il ciclista.

Certo, le risposte alle varie domande erano solo “tentate” mentre stavo pedalando, cioè venivano abbozzate, e poi perfezionate quando ero a casa e potevo avvalermi dell’aiuto di varie “fonti”.

Qui ho raccolto una serie di queste domande, con le relative risposte che io ho dato e che sono poi state corrette, modificate e ampliate grazie ai preziosi interventi di Luca e di Paolo (v. soprattutto “Per saperne di più”, con cui si chiude ogni capitolo), i compagni incontrati strada facendo senza il cui aiuto non sarei mai arrivato al traguardo. Si tratta, beninteso, di risposte che non hanno la pretesa di essere “oro colato”, tuttavia mi auguro che aiutino, come è stato per me, a comprendere i meccanismi della complessa interazione uomo/macchina di uno sport affascinante, come lo è il ciclismo.

Quella che segue non è una trattazione organica e sistematica di argomenti, bensì è una raccolta di “monografie” che, nelle intenzioni degli Autori, soddisfano l’esigenza di avere risposte brevi, ma nello stesso tempo complete, a domande estemporanee, che non rispettano cioè un ordine logico, a volte anche bizzarre. La mia “fatica”, nel costruire il percorso di questo “saggio”, è consistita innanzitutto in un’opera non facile di collage di concetti presi un po’ qui e un po’ là nella vasta bibliografia che ho consultato. Ho poi cercato di spiegare, ove mi è stato possibi-



PREFAZIONE

le, certi dati, riportati dalla letteratura tecnica, come risultato di processi che ho volutamente semplificato (commettendo senz'altro degli errori), onde renderli comprensibili anche a chi non è un esperto di una materia complessa come lo è la fisiologia dello sport, il cui apprendimento implica la conoscenza di varie discipline scientifiche, dalla chimica all'anatomia, dalla fisica alla meccanica.

Vi ho messo, naturalmente, anche del mio, quando ho trattato argomenti a me congeniali, come ad esempio quelli che coinvolgono la Meccanica (lavoro, potenza, rendimento) e la Termotecnica (scambio di calore tra corpi e mezzi diversi).

Gli esempi, infine, che ho costruito e sviluppato, mi auguro che concorrano alla comprensione dei concetti e alla loro applicazione a situazioni specifiche.

Ringrazio l'amico Marco Omini, professore di Fisica al Politecnico di Torino, che mi ha fornito le formule dell'effetto giroscopico."

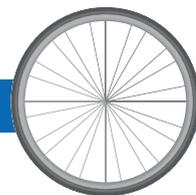
(Mario Zeppego)

"Per colpa del sottoscritto si incontreranno nel testo, dove sono riuscito, sgomitando, a fare un po' di spazio ai veicoli non convenzionali di cui mi occupo, richiami a posture ciclistiche "eretiche", che esulano dalle rigorose normative sportive internazionali. Nelle intenzioni non c'è però il gusto polemico di vendicare "ingiuste" esclusioni, ma la volontà di cogliere lo spunto per far riflettere su quanto possano impattare scelte progettuali di fondo nel migliorare i risultati di certe prestazioni (basti pensare ai record di velocità delle biciclette reclinate e carenate), e di mostrare quanto sia comunque auspicabile lo sviluppo di approcci "fuori dagli schemi" per non restringere la strada all'evoluzione dei mezzi di locomozione terrestre a propulsione umana.

Fatta questa premessa per portare un po' di acqua al mio mulino, e detto che il mio contributo a questo libro ha riguardato più i temi "ingegneristici" di quelli "fisiologici", sono certo che i lettori più vicini al mio background formativo (l'ingegneria) si appassioneranno anche ai capitoli più fisiologici, così come è accaduto a me dopo una diffidenza iniziale legata al preconconcetto di non avere le basi per dire la mia anche su di essi, o addirittura per comprenderli compiutamente. Il "ciclista-ingegnere" scoprirà di potersi agevolmente addentrare nelle questioni relative alla "macchina umana", come d'altronde conferma la sempre più intensa attività inter-disciplinare nelle aree della bioingegneria dell'ingegneria dello sport (disciplina recente), che hanno portato ad un vero e proprio incrocio di competenze tra medicina ed ingegneria."

(Paolo Baldissera)

"In alcune delle tappe attraverso cui si articola il libro, si leggerà di fisiologia dell'esercizio (in altre parole della risposta del corpo all'attività fisica), applicata alla "locomozione a propulsione umana assistita da un mezzo meccanico passivo". È questa la definizione "accademica" del ciclismo, oggi così diffuso e che ha già una



bella storia dietro alle spalle. Io ho contribuito particolarmente ad illustrare questo aspetto, cioè il coinvolgimento del corpo nel suo accoppiamento con la bicicletta. Concetti come energia metabolica consumata, soglia anaerobica, ruolo dei maggiori sistemi (respiratorio, cardiocircolatorio e muscolare), termoregolazione, conseguenze dell'invecchiamento, perdita di massa e perdita di liquidi saranno spiegati a livelli crescenti di approfondimento con il modesto proposito di fornire indicazioni utili sia ai ciclisti curiosi sia ai generici studiosi della materia. Particolare impegno è stato messo per sottolineare lo stretto legame tra lo sforzo del ciclista e la fisica del ciclismo, ovvero per descrivere quanto efficientemente le contrazioni muscolari del ciclista danno vita alla progressione del binomio con la bicicletta. Specificatamente, alcune situazioni tipo (ciclismo in piano, prova a cronometro, volata e salita) sono state analizzate sia dal punto di vista del ciclista professionista che da quello del ciclista amatore. Molti (ma semplici) calcoli e figure arricchiscono il testo"

(Luca Paolo Ardigò)



Mario Zeppegno

Ingegnere, ha trascorso la sua vita professionale in una grande azienda italiana di servizi, ove ha ricoperto anche l'incarico di Direttore della Ricerca, che ha riguardato in particolare il settore energetico. È stato Presidente di vari Comitati di normazione, sia italiani (Norme UNI) che internazionali (Norme CEE).

Paolo Baldissera

È ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale del Politecnico di Torino nel settore della Progettazione e Costruzione di Macchine. È coordinatore e responsabile tecnico del Team Policumbent, una squadra studentesca dedicata alla progettazione e realizzazione di veicoli a pedali. Dal 2017 è editore di Human Power, la rivista tecnica della International Human Powered Vehicle Association. Ha pubblicato numerosi articoli su riviste scientifiche, di alcune delle quali è anche *reviewer*.

Luca Paolo Ardigò

È fisiologo e biomeccanico (Università di Verona). I suoi principali ambiti di ricerca/insegnamento sono la biomeccanica e la bioenergetica della locomozione naturale ed assistita ed i dispositivi portatili di misura del dispendio metabolico e dell'attività fisica. Autore di 70 articoli su giornali scientifici (7 dei quali sul ciclismo) ed editore di alcuni di essi, guida un gruppo internazionale per progettazione, costruzione e valutazione di barche per disabili a propulsione di tipo "handbike".



CALZETTI & MARIUCCI
E D I T O R I

www.calzetti-mariucci.it

tel. 0755997310

mail. info@calzetti-mariucci.it