



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

CORSO DI STUDI IN SCIENZE MOTORIE

ANALISI BIOMECCANICA DELLA PEDALATA DI CICLISTI PROFESSIONISTI

Relatore:

Prof. Massimiliano MANTOVANI

Tesi di Laurea di:

Marco BERTI

Matr. N. 717610

Anno Accademico: 2013-2014

CAPITOLO 1

FORZE NEL CICLISMO

- La performance e il costo energetico nel ciclismo (pag. 3)
- L'efficienza nel ciclismo (pag. 6)
- La resistenza al rotolamento (pag. 7)
- La resistenza all'aria (pag. 8)
- Le superfici inclinate (pag. 10)
- Top performance (pag. 12)

CAPITOLO 2

PEDALATA

- Le fasi della pedalata (pag. 15)
- Parametri influenzanti lo stile di pedalata (pag. 17)
- Forze applicate sui pedali (pag. 20)

CAPITOLO 3

ANALISI DI EFFICACIA DELLA PEDALATA SU ATLETI PROFESSIONISTI

- Strumenti (pag.29)
- Partecipanti (pag.30)
- Protocollo (pag. 31)
- Acquisizione dati (pag.31)
- Risultati e discussione (pag. 39)
- Conclusione (pag. 46)

BIBLIOGRAFIA

RINGRAZIAMENTI

INTRODUZIONE

Per essere ciclisti professionisti bisogna avere caratteristiche psico fisiche eccezionali, in grado di sopportare elevati carichi fisici in allenamento e di resistenza alla fatica durante le gare, ed essere in grado di resistere a pressioni psicologiche derivanti da sponsor vogliosi di vedere il loro brand associato a un atleta vincente e dalle prestazioni attese dalla squadra e dai tifosi. Per ottenere il massimo da queste capacità, questi atleti sono portati a curare ogni minimo aspetto che possa renderli un pizzico più forti giorno dopo giorno. La cura dell'analisi della pedalata è un particolare che può fare una gran differenza, che porta l'atleta a primeggiare su un avversario che potrebbe essere fisicamente più forte, ma che non riesce ad esprimere al meglio la sua forza sui pedali.

Nel primo capitolo spiegheremo quali sono le forze implicate nel ciclismo che un atleta deve contrastare. Il secondo capitolo si concentrerà sull'analisi della pedalata e su alcuni fattori che la influenzano, per poi concentrarsi sulle forze che vengono applicate direttamente sui pedali. L'ultimo capitolo presenta la parte focale di questa tesi, in cui viene presentato il test dal quale si ottengono i dati utilizzati per creare una traccia modello di pedalata efficace, al fine di analizzare alcuni casi di pedalata che non sono in grado di trasformare efficacemente la forza posseduta dall'atleta in forza sui pedali.

CAPITOLO 1

FORZE NEL CICLISMO

LA PERFORMANCE E IL COSTO ENERGETICO NEL CICLISMO

Quando si pedala in pianura a velocità costante, si sviluppa un lavoro meccanico che serve a contrastare l'attrito generale causato dal rotolamento delle ruote sul terreno e dagli ingranaggi della trasmissione e la resistenza dell'aria:

$$W_d = a + b \cdot v^2 \quad (1)$$

dove W_d è il lavoro meccanico prodotto per unità di distanza, v è la velocità dell'aria e, per condizioni standard, a e b sono delle costanti. La spesa energetica metabolica corrispondente dipende dall'efficienza ciclistica generale:

$$C_c = W_d \cdot n^{-1} = (a + b \cdot v^2) \cdot n^{-1} \quad (2)$$

oppure definendo $\alpha = a \cdot n^{-1}$ e $\beta = b \cdot n^{-1}$

$$C_c = \alpha + \beta \cdot v^2 \quad (3)$$

dove C_c è il costo energetico del ciclismo per unità di distanza e, per condizioni standard, α e β sono costanti. La costante α , indipendente dalla velocità, è l'energia metabolica per unità di distanza utilizzata per sopperire alla resistenza causata dall'attrito. Il secondo termine dell'equazione (β) è l'energia metabolica usata per unità di distanza contro la forza di resistenza aerodinamica, dove, in condizioni standard, è costante.

La potenza meccanica (P_c) o metabolica (E_c) richiesta per procedere a velocità costante è data dal prodotto di W_d o C_c e la velocità stessa. Ciò succede in caso di assenza di vento, ovvero quando $v = s$:

$$P_c = W_d \cdot s = a \cdot s + b \cdot s^3 \quad (4)$$

$$E_c = C_c \cdot s = \alpha \cdot s + \beta \cdot s^3 \quad (5)$$

(riferendoci al S.I., C_c è espresso in Joule/metro ed s in metro/secondo, P_c ed E_c risulteranno pertanto misurabili in Watts. Conviene però usare altre unità di misura come mlO_2/m per C_c , così quando s è dato in metri al minuto, E_c si misurerà in mlO_2/min , unità di misura tradizionale per rappresentare la potenza metabolica prodotta. L'energia calcolata partendo dal consumo di O_2 dipende dal quoziente respiratorio dell'atleta, mentre il QR dipende dal tipo di substrato

energetico utilizzato).

L'approccio classico per determinare le costanti a e b è di determinare la resistenza di trazione(R_T) come una funzione della velocità. Infatti, R_T (che è una forza) è uguale al lavoro meccanico sviluppato per unità di distanza ($R_T = W_d$). Definendo R_T in funzione di s^2 , il punto in cui la linea incrocia l'asse Y rappresenta il valore di a e la pendenza della retta indica il valore di b.

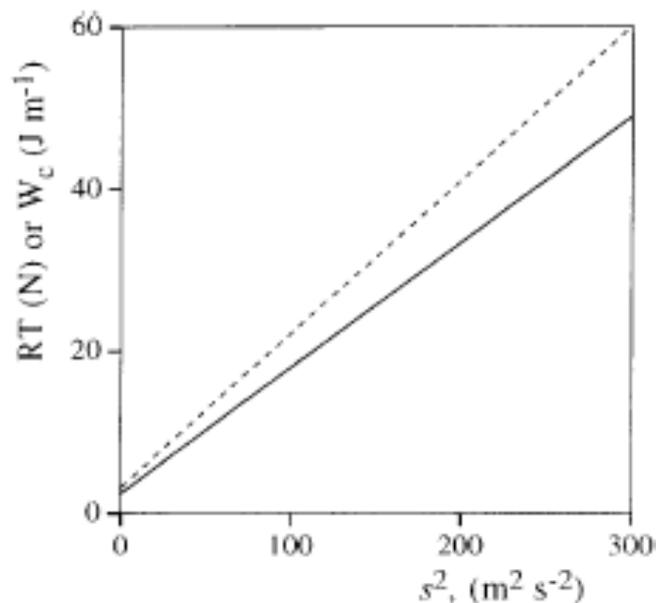


Illustrazione 1: Resistenza di trazione (R_t , N) in funzione del quadrato della velocità, per pedalata su bici tradizionale (linea tratteggiata superiore) o su bici aerodinamica (linea continua inferiore) in assenza di vento in posizione abbassata sul manubrio. R_t è uguale al lavoro meccanico per unità di distanza

Per aver tali risultati, la misurazione dovrà essere effettuata a velocità costante su un terreno pianeggiante, tenendo presente che bisogna effettuare le misurazioni in assenza di vento.

Un approccio simile può essere utilizzato per ottenere le costanti α e β . In tal caso, la variabile dipendente è il costo energetico per unità di distanza. Dal momento che C_c si ottiene dal rapporto del VO_2 a riposo con la velocità, l'intervallo di velocità che può essere misurato è minore rispetto a W_d , in quanto il VO_2 massimale del soggetto raggiunge un determinato valore massimo, che determina il limite massimo di C_c . Inoltre, il materiale con cui viene misurato il VO_2 durante il ciclismo non deve interferire con la libertà di movimento del ciclista e tantomeno deve creare incrementi significativi di area proiettata sul piano

frontale, laquale andrebbe a creare coefficiente di resistenza aerodinamico. A questo riguardo si possono utilizzare degli strumenti piccoli e leggeri come il K2 o il K4.

Se la bici è equipaggiata con strumenti che permettono la misurazione di forze applicate sui pedali e la misurazione del lavoro meccanico, i dati biomeccanici e bioenergetici possono essere associati, in modo da ottenere tutte e 4 le costanti (a , α , b e β) con una sola serie di misurazioni. Il lavoro meccanico ricavato dai misuratori di potenza sulla bici include anche il lavoro che contrasta la resistenza degli ingranaggi, cosa che non avviene usando metodi di misurazione per resistenza di trazione (R_T). Una valida combinazione di misurazioni di VO_2 durante un test su cicloergometro a freno meccanico è quella proposta da Pugh (1974).

Altre tecniche per determinare a e b consistono nel misurare la velocità di inerzia su una superficie a pendenza costante oppure la misurazione dell'accelerazione negativa durante una corsa libera su terreno pianeggiante. La seconda è più difficile da calcolare, sebbene abbia il vantaggio pratico che può essere facilmente misurata su distanze piuttosto brevi. Approcci più sofisticati come test nel tunnel del vento o attraverso lo studio della deviazione dell'aria durante la pedalata su rulli nel tunnel del vento possono essere applicati per determinare l'insieme di costanti bioenergetiche e biomeccaniche in gioco.

L'EFFICIENZA NEL CICLISMO

L'efficienza meccanica espressa su cicloergometro e nel ciclismo (η) è probabilmente la più studiata tra tutte le efficienze. Si può constatare che il valore di η ideale si avvicina al valore di 0.25. Questo valore dipende dalla frequenza di pedalata (f_p), con i migliori valori raggiunti per f_p vicino a 1 Hz. Dalle osservazioni originali di Sylvia Dickinson si riscontra che la migliore f_p aumenta da 0.7 a 1 Hz, con una potenza ciclistica che aumenta da 50 a 300 Watts e che il valore di η corrispondente alla frequenza ottimale è vicino a 0.25. Questi dati mostrano che per variazioni relativamente grandi di f_p sopra o sotto il valore ottimale, η diminuisce solo poco da 0.25. Infatti, per una potenza ciclistica di 100 Watts, alla quale la f_p ottimale è di 0.75 Hz, η è ridotto a 0.24 per una f_p di 0.55Hz o di 0.95 Hz, e a 0.22 per un f_p di 0.45Hz o 1.15 Hz. Similmente, per una potenza ciclistica di 300 Watts, dove la f_p ottimale è di 1.0Hz, η assume valore 0.24 (e 0.22)

quando raggiunge i valori di f_p 0.70Hz (o 0.45Hz) oppure 1.6Hz (o 1.9Hz). Quindi, ad alti valori di potenza ciclistica, la relazione tra η e f_p è abbastanza piatta. Questo potrebbe aiutare a comprendere l'osservazione del fatto che durante una competizione ciclistica f_p è spesso maggiore del valore che permetterebbe di avere la migliore efficienza. La riduzione di forze applicate sui pedali risultante da questo valore di f_p maggiore del valore teorico ottimale è da associare ad un ridotto rilascio di energia anaerobica, sebbene ciò implichi una minima perdita di efficienza. A questo fatto può essere associata una spiegazione bioenergetica; anche altri fattori legati alle strategie di attivazione del muscolo e/o allo sforzo percepito potrebbero giocare un ruolo significativo nella determinazione della selezione del valore di f_p .

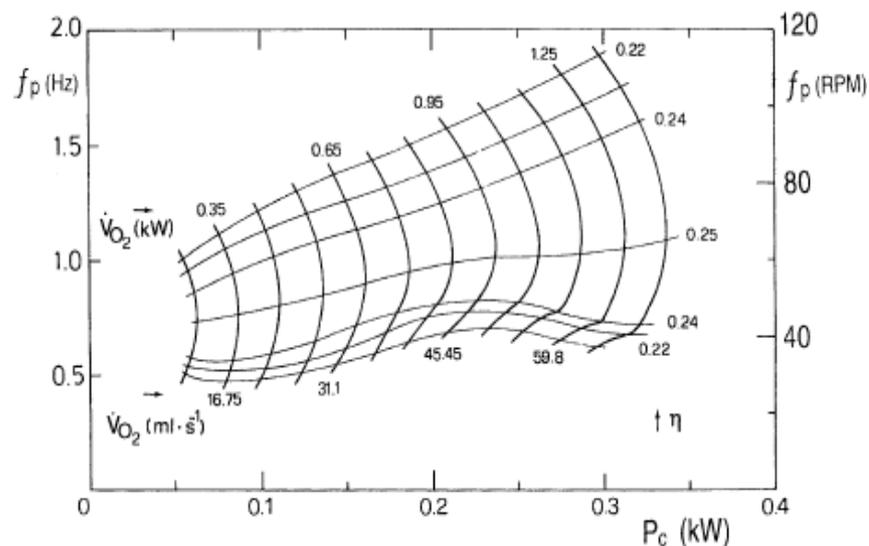


Illustrazione 2: Frequenza di pedalata (in Hz su ordinata sinistra, in RPM sull'ordinata destra) come funzione della potenza meccanica sviluppata nel ciclismo. Sono inoltre tracciate linee di potenza iso-metabolica per permettere l'assegnazione di un dato valore di efficienza in qualsiasi punto del grafico

LA RESISTENZA AL ROTOLAMENTO

Le perdite frizionali nei cuscinetti e nella trasmissione di una bici da corsa di buona qualità sono molto piccole. La resistenza al rotolamento è quindi per la maggior parte dovuta al tipo, dimensione e pressione di gonfiaggio delle ruote, insieme alle caratteristiche del terreno. La resistenza al rotolamento è indipendente dalla velocità ed è proporzionale al peso totale (peso ciclista + peso bici) della massa in movimento. È quindi consueto riportare la resistenza al

rotolamento come un "coefficiente di rotolamento", dato come rapporto tra la resistenza al rotolamento e il peso generale. I coefficienti di rotolamento sono riportati in tabella 1. La costante a può essere calcolata partendo da questi valori, una volta conosciuto il peso totale. Quando il coefficiente di rotolamento, dal quale ricaviamo il valore α , non è disponibile, lo si può calcolare dal valore di a (sapendo che $\alpha = a / \eta$), assumendo un valore di efficienza (η) compreso tra 0.23 e 0.2. Questa assunzione ci permetterà di ottenere un coefficiente di rotolamento che, seppur non completamente esatto, non si discosterà molto dal valore reale. La tabella 1 mostra che i valori minimi attesi per ruote di piccola larghezza e alto gonfiaggio su superfici estremamente lisce sono quasi 3 volte minori rispetto a valori ottenuti da misurazioni con ruote tradizionali su strade normali e circa 10 volte minori rispetto ai valori delle ruote tassellate, sempre su strade normali.

Type of tyre	Tyre characteristics		Wheel diameter (cm)	Rolling coefficient $a \cdot M^{-1} \cdot g^{-1}$	Rolling resistance for $M = 85 \text{ kg}$: $a \cdot (J \cdot m^{-1})$
	Width (cm)	Pressure (MPa)			
A knobby	5.7	0.32	50.8	0.017	14.2
B knobby	5.7	0.32	68.6	0.013	10.8
C road, standard	4.5	0.46	68.6	0.007	5.8
D road, tubular	3.2	0.85	50.8	0.0045	3.8
E road, tubular	1.8	0.85	68.6	0.0034	2.8
F track, tubular	1.8	0.85	68.6	0.0021	1.8

Tabella 1: Coefficiente di rotolamento e resistenza al rotolamento per massa totale in movimento di 85Kg per differenti tipi di pneumatici su strada. Sono indicate in tabella diametro, larghezza e pressione di gonfiaggio delle ruote

LA RESISTENZA ALL'ARIA

La costante che relaziona la resistenza dell'aria (valore b) o il rispettivo costo energetico per unità di distanza (valore β) a s^2 nelle equazioni 1 e 3 è proporzionale a C_d (coefficiente di scia), ad A_f (area proiettata sul piano frontale) e alla densità dell'aria (p_a):

$$b = 0.5 C_d \cdot A_f \cdot p_a$$

$$\beta = b / \eta = 0.5 C_d \cdot A_f \cdot p_a / \eta \quad (6)$$

Come descritto nella seguente relazione, la densità dell'aria è una funzione della pressione dell'aria (p_b) e della temperatura (T):

$$p_a = p_0 \cdot 0.359 p_b / T$$

dove p_0 è la densità dell'aria a 760 mmHg e 273K, e 0.359 corrisponde al rapporto tra 273 e 760. Bisogna segnalare che p_a dipende anche dall'umidità

dell'aria, l'effetto della quale è da considerarsi minimo e quindi non verrà tenuto in considerazione. p_b diminuisce con l'altitudine rispetto al livello del mare. A una data velocità, modificando valori di A_f , C_d o altitudine, avremo dei cambi proporzionali di C_c . Questi effetti sono descritti brevemente qua sotto.

Dimensioni e forma

Una strategia per ridurre l'area proiettata sul piano frontale è quella di piegarsi in avanti impugnando il manubrio nella parte bassa. Sulle bici da competizione, specialmente nelle più recenti, questa strategia è portata all'estremo, così che il ciclista possa assumere la posizione che consente il minore valore di A_f . Bisogna evidenziare che spesso, portando all'estremo questa posizione, si può registrare un minimo ma significativo decremento del VO_{2max} o una diminuzione del valore che esprime l'efficacia della pedalata (η). Piegarsi in avanti significa anche ridurre il coefficiente di scia, portando il valore della resistenza dell'aria a ridursi ulteriormente.

La migliore strategia per ridurre C_d è quella di adottare accessori che hanno subito uno studio e un successivo modellamento aerodinamico, grazie ai quali i valori di C_d scendono a valori compresi tra 0.65 e 0.80. Queste considerazioni sono riassunte nella tabella 2, dove A_f e C_d sono riportati da studi con diversi strumenti di maggiore o minore aerodinamicità, insieme alla costante b .

Bicycle	C_d	A_f (m ²)	$b \cdot A_{hg}^{-1}$ (N · s ² · m ⁻² · m ⁻²)	b (N · s ² · m ⁻²)	% P_c	s (km · h ⁻¹) for $P_c = 0.735$ kW
Traditional, sitting	1.1	0.51	0.182	0.337	175	45.4
Recreational, leaning forward	1.0	0.45	0.146	0.271	140	51.2
Touring (standard with fenders and flask), dropped	0.87	0.44	0.124	0.230	119	52.1
Racing (standard) dropped posture	0.80	0.40	0.104	0.193	100	55.3
Racing (special frame and wheels), dropped	0.65	0.40	0.085	0.155	80	60.6

Tabella 2: Coefficiente di scia e area proiettata sul piano frontale per un ciclista di 70kg alto 175cm a livello del mare e a temperatura di 20 gradi sono riportati per diverse condizioni. La quarta colonna riporta la costante relativa al lavoro meccanico per unità di distanza al quadrato della velocità. Questo è anche espresso in metri quadri. La quinta e sesta colonna sono le potenze meccaniche espresse come percentuale di quella richiesta quando si pedala in condizioni standard

Un'altra strategia per ridurre gli effetti della resistenza dell'aria è di muoversi tenendo la scia di un altro ciclista o stando vicino al retro di un veicolo che procede alla stessa velocità; in tal caso il ciclista trae vantaggio dalla scia aerodinamica di chi o cosa lo precede. A velocità di gara, i ciclisti possono ridurre

il loro dispendio energetico di circa il 30% viaggiando vicini e in scia. L'esempio estremo di questa strategia è l'incredibile velocità raggiunta sulla distanza di 1.2km da Abbott nel 1973 di 223,13km/h, pedalando su una bici appositamente studiata in scia ad un veicolo aerodinamicamente progettato per tale scopo. La riduzione di potenza dipende anche dalla posizione del ciclista rispetto a chi/cosa lo precede. Infatti, come dimostrato da Broker et al., che misura la potenza meccanica durante un inseguimento a squadre di 4km a 60km/h, la potenza media prodotta in prima posizione è di 607Watts. Questa è ridotta a 430W (70.8%) in seconda posizione e a 389W (64%) in terza e quarta.

Come prima approssimazione, gli umani possono essere visti come dei solidi di forma simile e uguale densità; quindi la superficie corporea (A_{bs}) aumenta con il quadrato della dimensione lineare, e il peso con il cubo della stessa dimensione. Si può considerare A_f come una frazione costante di A_{bs} , con i soggetti più grossi che di conseguenza hanno un A_f minore per unità di massa corporea rispetto ai soggetti più piccoli. Nei ciclisti più grossi la spesa energetica per unità di massa corporea a una velocità costante sarà minore o, al contrario, per una data E_c per unità di massa corporea la velocità raggiunta sarà maggiore. Per ciclisti di dimensioni corporee estremamente diverse (100kg per 2 metri di altezza vs 50kg per 1,5metri di altezza) la differenza di E_c a una data velocità raggiunge il 18%. Bisogna notare che questo tipo di analisi, come dichiarato, si applica solamente alla spesa energetica contro la resistenza dell'aria; si esclude quindi la resistenza al rotolamento e, più importante, la spesa energetica contro la gravità quando si pedala in salita (entrambe proporzionali alla massa trasportata). Inoltre, dal momento che la VO_2max per unità di massa tende, in media, ad essere minore nei soggetti grossi, queste considerazioni suggeriscono che c'è una ottimale massa corporea per ogni livello di performance ciclistica.

LE SUPERFICI INCLINATE

Per aver a che fare con le forze applicabili nel ciclismo su strade in salita o discesa bisogna tenere conto dell'aggiunta di lavoro meccanico, o potenza, dissipati contro la gravità (o resi da essa disponibili). Il lavoro meccanico usato contro gravità quando si pedala in salita è dato dal prodotto della massa totale (M) che si muove, dall'accelerazione dovuta alla gravità (g) e dal dislocamento verticale (h).

$$W_{cg} = M \cdot g \cdot h$$

Quando è espresso per unità di distanza coperta su strada (d), dal momento che $h = d \cdot \sin\gamma$ (dove γ è l'angolo tra il terreno e il piano orizzontale), il lavoro meccanico performato contro gravità diventa:

$$W_{cg} = M \cdot g \cdot h / d = M \cdot g \cdot d \cdot (\sin\gamma) / d = M \cdot g \cdot \sin\gamma \quad (7)$$

La quantità espressa dall'equazione può essere aggiunta all'equazione 1 per ottenere una descrizione comprensiva del lavoro meccanico performato per unità di distanza quando si pedala a velocità costante senza vento:

$$W_d = a + b \cdot s^2 + M \cdot g \cdot \sin\gamma \quad (8)$$

Per terreno in discesa il terzo termine dell'equazione assume valore negativo. Esso rappresenta l'energia equivalente resa disponibile dalla gravità che può essere utilizzata contro le altre forze che si oppongono al movimento (resistenza dell'aria e del terreno). L'equazione può anche essere usata per calcolare la velocità raggiunta durante una corsa libera su una pendenza conosciuta.

Prendiamo in esempio un ciclista di 70 chili alto un metro e 75cm che pedala su una bici da strada di 10 chili con impugnatura bassa sul manubrio su un asfalto liscio e con una pendenza di angolo γ uguale a 5 gradi. I corrispondenti valori di a e b (ricavati dalle tabelle 1 e 2) possono essere inseriti nell'equazione 8. La velocità a corsa libera può essere ottenuta ponendo $W_d = 0$ e risolvendo s ; in questo caso ammonta a 18,44 m/s (66,4km/h).

In salita si può facilmente calcolare il C_c totale a velocità costante in assenza di vento sostituendo a e b nell'equazione con α e β e dividendo gli ultimi termini con η (efficienza del ciclismo):

$$C_c = \alpha + \beta \cdot s^2 + M \cdot g \cdot (\sin\gamma) / \eta \quad (9)$$

la E_c generale diventa quindi:

$$E_c = C_c \cdot s = \alpha \cdot s + \beta \cdot s^3 + M \cdot g \cdot s \cdot (\sin\gamma) / \eta \quad (10)$$

Questa equazione può essere usata per calcolare la pendenza massima che un ciclista può affrontare pedalando. A questo scopo bisogna assegnare un valore minimo alla velocità sotto la quale l'equilibrio non può essere mantenuto. In questo caso, se la potenza metabolica massima del soggetto è conosciuta e se al valore di s nell'equazione 10 viene assegnato il valore minimo, la pendenza del terreno può essere facilmente ottenuta. Questi calcoli mostrano che, se la velocità minima è 1m/s (3,6km/h), la pendenza massima alla quale il soggetto riesce ad avanzare con una VO_2 max sopra il valore di riposo di 43 ml/kg x min (15W / kg) è di circa il 42% ($\gamma = 23$ gradi). Aumenta fino al 70% ($\gamma = 35$ gradi) per

un VO_2max di $63\text{ml} / \text{kg} \times \text{min}$ ($22\text{W} / \text{kg}$), dove la potenza è espressa per chilo sul peso generale (ciclista più bici). Ovviamente queste performance saranno possibili solamente su terreni lisci e con l'uso di appropriati rapporti che consentano una f_p ottimale anche a velocità molto basse.

Bisogna ricordare che la pendenza del terreno è generalmente espressa come percentuale. Comunque, per gamma minore o uguale a 16 gradi, la tangente di γ è simile al seno di γ , con una differenza del 4%, così che, senza variazioni di pendenza, rimpiazzare il seno dell'angolo con la sua tangente non porta a errori significativi. Per angoli di ampiezze maggiori la differenza tra tangente e seno aumenta progressivamente, così che i due valori non possono essere cambiati.

TOP PERFORMANCE

La velocità raggiunta con qualsiasi E_c conosciuta può essere facilmente ottenuta usando l'equazione 5 (o 10) sempre che le condizioni in cui si pedala siano note, così da poter utilizzare i giusti coefficienti. Questo rende possibile calcolare la velocità corrispondente ad ogni valore di E_c , sia graficamente sia numericamente. Questo approccio può essere usato in modo corretto solo se E_c è costante, indipendentemente dal tempo di performance (t_p), come è il caso generalmente di eventi di lunga durata, come il record dell'ora.

Su distanze molto più corte, l' E_c sviluppata dal ciclista è notevolmente influenzata dal t_p e quindi dalla distanza coperta.

Per la performance su pista, in assenza di vento, la potenza metabolica richiesta per coprire la distanza d in t_p e quindi alla velocità s ($s = d / t_p$) è data da:

$$E_c = C_c \cdot d / t_p = \alpha \cdot d / t_p + \beta \cdot d^3 / t_p^3 \quad (11)$$

Le gare su pista sono spesso effettuate con partenza da fermo, quindi l'equazione deve essere modificata per tenere in considerazione l'energia spesa per accelerare il corpo da 0 alla velocità finale ($E_{k\text{tot}}$). La prima approssimazione può essere vista come:

$$E_{k\text{tot}} = 0.5 \cdot M \cdot d^2 / (t_p^2 \cdot \eta) \quad (12)$$

o esprimendo $E_{k\text{tot}}$ per unità di massa e di distanza coperta:

$$E_k = E_{k\text{tot}} / M \cdot d = 0.5 \cdot d / (t_p^2 \cdot \eta) \quad (13)$$

L'ultima equazione è da considerarsi corretta solo se la velocità finale raggiunta durante la gara è uguale alla velocità media. Questo è impossibile, così che una migliore formula studiata per calcolare E_k dovrebbe tenerne conto. Comunque,

come prima approssimazione, l'ultima equazione mantiene una stima quantitativa soddisfacente di E_k .

Olds et al. se n'è occupato; così, per gare con partenza da fermo l'equazione 11 diventa:

$$E_c = \alpha \cdot d / t_p + \beta \cdot d^3 / t_p^3 + E_k \cdot d / t_p = \alpha \cdot d / t_p + \beta \cdot d^3 / t_p^3 + 0.5 \cdot d^2 / t_p^3 \cdot \eta \quad (14)$$

Le equazioni 11 e 14 mostrano che, per ogni distanza d conosciuta, E_c aumenta al diminuire di t_p . Ne segue anche che minor tempo (maggiore velocità) su data distanza sarà raggiunto quando E_c sarà uguale a E_{max} (ill 3).

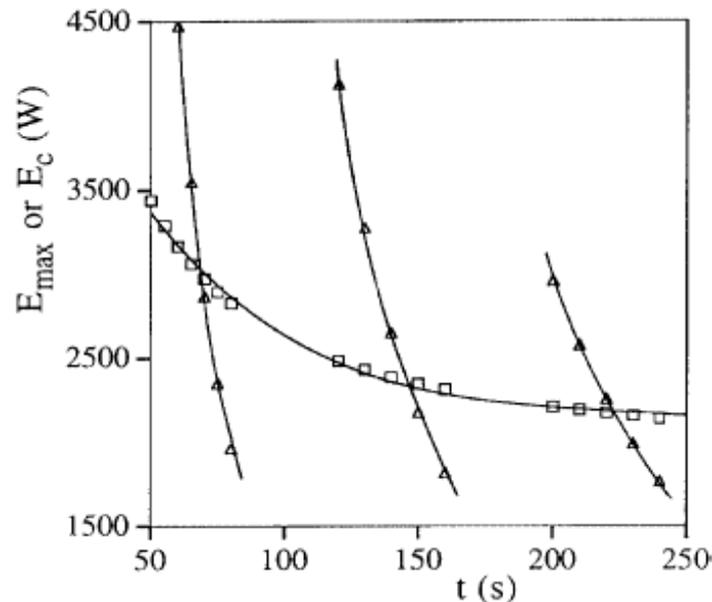


Illustrazione 3: La potenza metabolica richiesta nel ciclismo su pista per coprire le distanze di 1, 2 o 3km con partenza da fermi nei tempi riportati dall'ascissa, è indicata dalle tre funzioni verticali (triangoli). Anche la massima potenza metabolica che un atleta elite può mantenere a un livello costante durante lo sforzo a piena potenza nella durata riportata sulla stessa ascissa è indicato.

Molti studi hanno mostrato che E_{max} è una funzione che diminuisce in base alla durata dell'esercizio di esaurimento. In base a quanto afferma Wilkie:

$$E_{max} = VO_{2max} + AnS / t_e - VO_{2max} \times (1 - e^{-t_e/T}) \cdot T / t_e \quad (15)$$

dove VO_{2max} è espresso in Watts, AnS è la somma di energia derivata dal completo utilizzo delle risorse anaerobiche (massima formazione di acido lattico e massima rottura di fosfocreatina), e dove il terzo termine porta in conto il fatto che, ad esercizio avviato, la VO_{2max} non è raggiunta subito, ma con un tempo

progressivo T. L'equazione 15 può essere applicata per tempi di esercizio compresi tra 50 secondi e 15 minuti.

D'altro canto, con il valore di C_d conosciuto, E_c può essere descritto come funzione di t_p , su qualsiasi distanza data, da quanto presente nelle equazioni 11 o 14. Inoltre può anche essere assunto che il miglior t_p su una distanza conosciuta per un dato ciclista sia un valore per il quale il tempo di esaurimento e il tempo di performance coincidano ($t_e = t_p$). Se così fosse, il miglior t_p può essere ottenuto come il valore di tempo per il quale E_{max} ed E_c diventano uguali.

Questo approccio è stato originariamente proposto da di Prampero ed applicato alla corsa su pista da di Prampero et al. e da Perronnet and Thibault.

Successivamente, Capelli et al. hanno applicato queste informazioni al ciclismo su pista con partenza da fermo su un gruppo di amatori di medio livello. Hanno paragonato i migliori tempi teorici, calcolati come descritto sopra, alle migliori performance ottenute durante i test sulle stesse distanze. I risultati mostrano che i tempi ottenuti e i tempi teorici sono piuttosto vicini, con il loro rapporto medio che ammonta a 1.035. Un approccio simile, basato su spesa energetica totale, anziché sul dispendio di potenza, è stato applicato al ciclismo da Olds et al.

Anche in questo caso le somiglianze tra fatti e teorie sono piuttosto buone, così da mostrare che questi calcoli sulla biomeccanica e sulla bioenergetica del ciclismo sono sufficientemente buoni da essere considerati veri o verosimili.

W_d = lavoro meccanico per unità di distanza

C_d = costo energetico ciclistico per unità di distanza

α = energia metabolica usata contro il rotolamento

β = energia metabolica usata contro resistenza aerodinamica

η = efficienza ciclismo

P_c = potenza meccanica

E_c = potenza metabolica

C_d = coefficiente di scia

A_f = area proiettata sul piano frontale

ρ_a = densità dell'aria

f_p = frequenza di pedalata

t_p = tempo di performance

CAPITOLO 2

PEDALATA

Le forze trattate finora riguardano l'atleta in relazione alle condizioni esterne, sulle quali non ha il controllo. Sicuramente potrebbe scegliere di evitare una salita o girare indietro se c'è forte vento in faccia durante un allenamento, ma in gara le condizioni meteorologiche o il tipo di percorso non è opzionabile. In questo capitolo si andranno ad analizzare le forze che relazionano il ciclista col suo mezzo, ovvero ci si concentrerà sulla produzione delle forze che gli permettono il movimento.

LE FASI DELLA PEDALATA

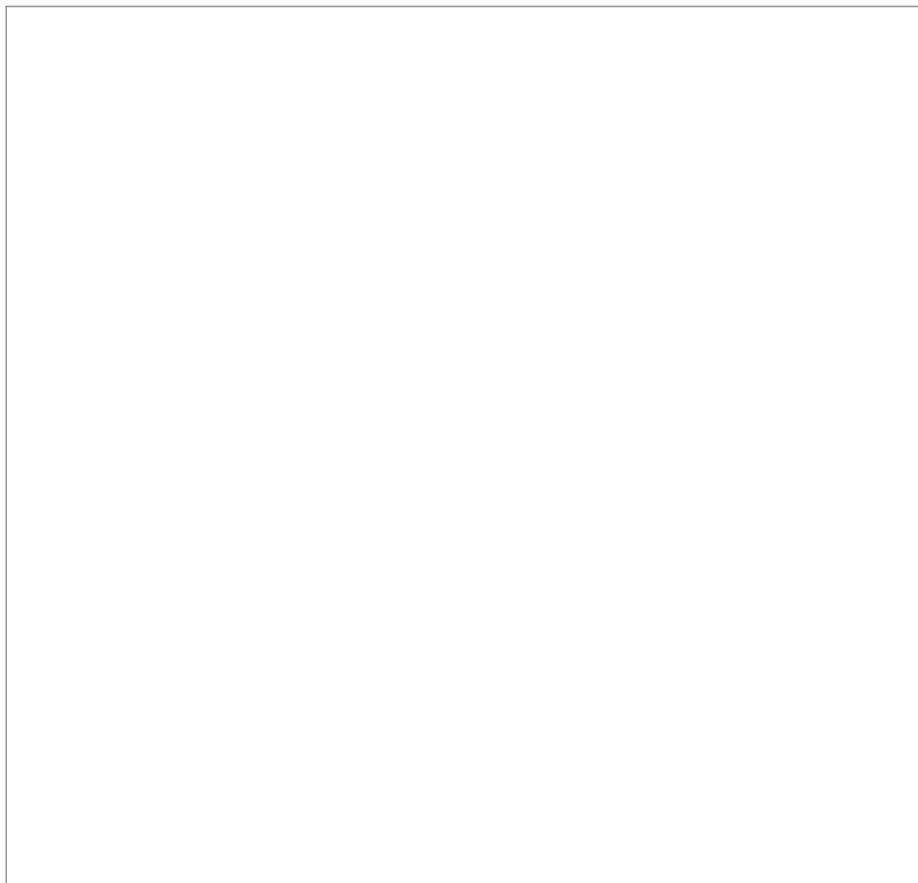


Illustrazione 4: scomposizione della pedalata nelle 4 fasi che la compongono

La pedalata è la risultante della somma delle forze applicate da ogni singola gamba che, posta a 180 gradi dall'altra, compie un'intera rivoluzione di 360 gradi. Il ciclismo adotta una catena cinetica chiusa, infatti al completamento di ogni rivoluzione il piede si trova nella stessa posizione di partenza.

Analizzando la pedalata per singola gamba, partendo con pedivella verticale e pedale in alto (0 gradi), si ottengono 4 fasi diverse per ogni rivoluzione. La prima fase è quella di spinta o di estensione dell'arto inferiore, durante la quale si applica il 65% circa delle forze totali espresse durante l'intera rivoluzione. La seconda fase è di transizione, dalla fase di spinta alla fase di trazione. In questa fase la gamba completa la sua estensione, che non arriva tuttavia a veder il grado massimo di apertura del ginocchio. Durante questa fase si applica il 12% circa di forza totale, data dalla forza di spinta orizzontale all'indietro. Si passa quindi alla fase 3, definita come fase di trazione, durante la quale l'arto "tira verso l'alto". Resta la quarta fase, che insieme alla seconda rappresenta la fase di passaggio della pedalata dalla fase di trazione a quella di spinta. Il 6% di forza totale prodotta durante questa fase è data dalle forze orizzontali in avanti.

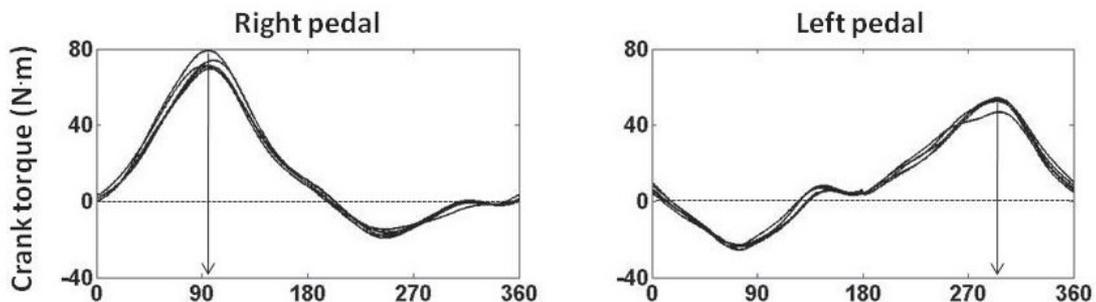


Illustrazione 5: rappresentazione lavoro pedale destro e pedale sinistro analizzati separatamente

La combinazione delle forze generate dai due pedali posti a 180 gradi uno dall'altro crea una pedalata in cui abbiamo due fasi di crescita della forza separate da due fasi in cui c'è un decremento di questa. Queste quattro fasi sono divise tra loro grazie ai due picchi minimi (sinistro e destro) e ai due picchi massimi (destro e sinistro). Si distinguono in destro e sinistro in base a quale dei due arti fornisce la maggiore energia (per i picchi massimi) e la minore energia (per i picchi minimi). I picchi minimi sono i due punti (uno opposto all'altro) in cui abbiamo la minor forza prodotta dall'azione degli arti, mentre i picchi massimi sono i due punti (sempre opposti) in cui troviamo i valori di forza maggiori.

Partendo con il pedale destro a zero gradi troveremo dapprima il picco minimo sinistro a circa 22 gradi, in seguito il picco massimo destro a circa 98 gradi. Passati i 180 gradi, quindi iniziata la fase di trazione del piede destro e la fase di spinta del sinistro, troviamo a 202 gradi il picco minimo destro e il picco massimo sinistro a 278 gradi. Com'è possibile notare, i due picchi minimi sono separati da un intervallo di 180 gradi, così come i due picchi massimi, ad indicare un'azione estremamente simmetrica dei due arti.

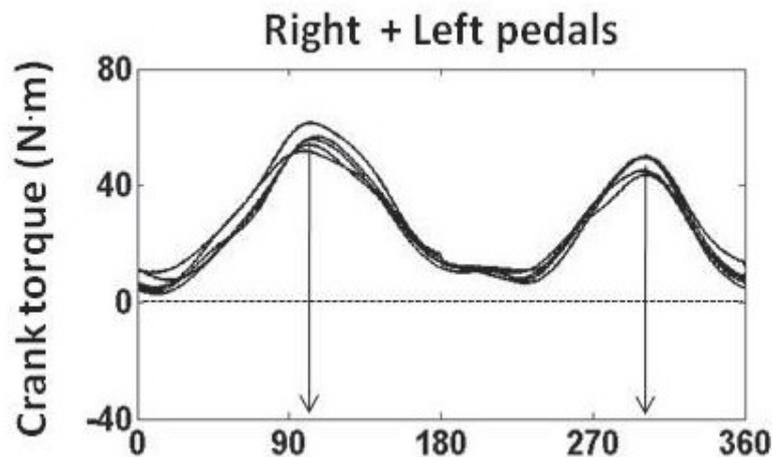


Illustrazione 6: Rappresentazione grafica dell'unione delle forze espresse dalle singole gambe

Nel nostro studio il primo picco minimo di potenza sarà chiamato MINleft, il primo picco massimo sarà definito MAXright, il successivo picco minimo sarà MINright e l'ultimo picco massimo MAXleft.

Durante l'analisi dei dati ottenuti dalle nostre misurazioni, terremo in considerazione i valori di minimi e massimi, la loro locazione all'interno della rivoluzione, la simmetria tra pedalata destra e pedalata sinistra e le lunghezze degli intervalli delle singole fasi di pedalata.

PARAMETRI INFLUENZANTI LO STILE DI PEDALATA

Per pedalare in modo corretto ed esprimere la corretta potenza sui pedali esistono dei parametri di posizione che ogni ciclista dovrebbe rispettare. Questi parametri riguardano la lunghezza delle pedivelle, il posizionamento delle tacchette rispetto al pedale, l'altezza e l'arretramento della sella, e l'allungamento sulla bici. Questi parametri sono strettamente individuali, resi unici dalle

caratteristiche fisiche ed antropometriche ma anche dalle caratteristiche muscolari e dalla mobilità articolare. Gli atleti che hanno preso parte al nostro test sono seguiti da biomeccanici che curano loro la giusta ed ottimale posizione in bici. Sono stati forniti i parametri di ogni atleta ed il cicloergometro è stato settato per ognuno di loro, così che la posizione assunta fosse la stessa delle bici con cui si allenano quotidianamente e con cui gareggiano.

Lunghezza pedivelle.

Attraverso le pedivelle la spinta esercitata sul pedale viene trasformata in energia che permette al ciclista di spostarsi. Fisicamente può essere vista come una leva con il perno centrale agente da fulcro e con la lunghezza della pedivella a rappresentare il braccio della forza che viene applicata al pedale. Come vedremo più avanti, la lunghezza della leva è importante per determinare la quantità di forza necessaria per produrre una determinata risposta. In generale si può affermare che maggiore è la lunghezza della pedivella, minore sarà lo sforzo e la fatica necessari per farla ruotare. Di 68 dati raccolti nel nostro test, 63 hanno adottato pedivelle lunghe 172,5mm, 4 hanno usato pedivelle da 175mm e solo uno ha effettuato il test con la pedivella da 170mm. Per scegliere con criterio la giusta lunghezza delle pedivelle, bisogna rapportare la pedivella alla lunghezza del femore, in quanto questo osso lavora spesso parallelamente alla pedivella. Oltre ad esprimere al meglio la forza prodotta dal corpo sulla bici, la giusta lunghezza delle pedivelle eviterà patologie del quadricipite femorale o problemi alla rotula.

Posizionamento tacchette

La giusta posizione delle tacchette rispetto al pedale limita la dispersione di energia che si avrebbe con un posizionamento errato. Il punto del piede dove si riesce a scaricare al meglio la forza prodotta si trova al centro della prima testa metatarsale, pertanto il perno del pedale deve avvicinarsi il più possibile a questo punto. Una posizione errata porterà l'atleta a pedalare troppo di pianta o troppo di punta, con possibili problemi a livello tendineo.

Altezza ed arretramento sella

L'altezza della sella è un parametro fondamentale per ottenere una spinta efficace, soprattutto durante la fase di spinta verso il basso, in cui l'angolo di

spinta ottimale dovrebbe essere compreso tra i 25 e i 30 gradi. Per determinare la giusta altezza della sella (non si misura dal terreno ma dal movimento centrale) si tiene in considerazione l'altezza del cavallo, alla quale corrisponde una determinata altezza della sella.

Come l'altezza della sella, anche l'arretramento si misura prendendo come riferimento il movimento centrale. Il migliore arretramento si ottiene quando, posto il pedale a 90 gradi, il perno del pedale è allo stesso avanzamento verticale della rotula (prendendo un filo con piombo e facendolo partire dalla rotula deve cadere esattamente sul perno del pedale). Ciò consentirà al piede di sprigionare tutta la forza nelle componenti normale e tangenziale migliori. Alcuni atleti tuttavia preferiscono spingere maggiormente sui pedali, il che comporta una pedalata con molta forza e poca linearità (come è il caso dei pistard), adoperando una posizione più avanzata della sella, mentre altri atleti (specialmente scalatori) preferiscono un maggior arretramento della sella per ottenere una pedalata più fluida con minori oscillazioni tra picchi massimi e picchi minimi di forza durante l'arco di pedalata.

Allungamento sulla bici

Questo è il parametro più soggettivo di tutti quelli esaminati. In linea di massima si può dire che ogni atleta dovrebbe cercare l'allungamento ottimale per offrire meno resistenza all'aria possibile; ciò però va spesso in contrasto con l'espressione della massima forza sui pedali e talvolta una posizione troppo aerodinamica va ad influire con le capacità respiratorie, opprimendo la cassa toracica. È quindi fondamentale trovare un giusto compromesso, che non ecceda né verso un estremo né verso l'altro. Per rapportare questo parametro a strumenti fisici della bici, si calcola l'allungamento su di essa rapportato alla distanza tra punta di sella e manubrio. Anche l'altezza del manubrio influisce su questo parametro.

FORZE APPLICATE SUI PEDALI

Per descrivere le forze che vengono applicate direttamente sui pedali, dalle quali otterremo i dati per calcolare la potenza prodotta e il momento di coppia sviluppato sulla pedivella si utilizzano dei dati ricavati da un precedente studio di Coyle (Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance). Lo studio di Coyle vede coinvolti atleti americani professionisti di livello nazionale, divisi in due gruppi in base ai risultati precedentemente ottenuti, i quali sono sottoposti a test incrementali rapportati al $VO_2\max$ (55, 65, 75,85 e 95% del $VO_2\max$) su cicloergometro Monark 819. Questo cicloergometro è fornito di pedali con misuratore dinamometro, equipaggiato con un potenziometro che produce un segnale analogico che rappresenta l'orientamento del pedale e altri due segnali analogici che indicano la grandezza delle componenti della forza normale (F_n) e tangenziale (F_t) rispetto all'orientamento del pedale. Il pedale con dinamometro è montato sul lato destro del cicloergometro e permette l'utilizzo ad ogni soggetto delle proprie scarpe e tacchette da corsa. Un ulteriore dinamometro è montato sulla pedivella; esso produce un segnale analogico direttamente relazionato con l'orientamento della pedivella stessa. I quattro segnali sono convertiti in informazioni digitali a un segnale di 550Hz e immagazzinati nella memoria di un IBM PC-AT microcomputer mentre ogni ciclista pedala. I segnali sono raccolti per 10 pedalate consecutive durante il quarto minuto di ogni step del test incrementale. Per ogni 10 pedalate raccolte durante ogni intervallo, i dati del potenziometro della pedivella sono utilizzati per calcolare l'orientamento della pedivella relativamente all'asse verticale, e i dati di entrambi i potenziometri sono usati per calcolare l'orientamento del pedale rispetto all'asse orizzontale. Riscontriamo il fatto che per ogni rivoluzione esistono delle regioni isolate dove ogni potenziometro si azzerava producendo dati falsi in queste zone ristrette. Per correggere i dati errati di queste zone, ci sono delle procedure utilizzate per calcolare una velocità angolare media per la pedivella ad ogni rivoluzione. Per calcolare l'orientamento del pedale durante la zona di transizione del potenziometro posto sul pedale sono usati valori dell'orientamento del pedale per ogni sezione di rivoluzione della pedivella libera dagli effetti della zona di transizione, al fine di determinare la seguente funzione:

$$b = A\sin(t_{ri})^3 + B\cos(t_{ri})^3 + C\sin(t_{ri})^2 + D\cos(t_{ri})^2 + E\sin(t_{ri}) + F\cos(t_{ri}) + G$$

dove t_{ri} indica il tempo stimato per compiere un'intera rivoluzione del pedale, mentre i valori da A a G rappresentano delle costanti. Tutti i valori per l'orientamento del pedale (b) durante la rivoluzione sono poi rappresentati attraverso la curva di miglior adattamento.

I valori riguardanti la forza (F_n e F_t) sono filtrati usando un terzo segnale che taglia la frequenza di 30Hz per evitare interferenze. Per analizzare meglio i dati di ogni singola rivoluzione vengono progressivamente inseriti i dati che descrivono il movimento della pedivella, l'orientamento del pedale e le componenti normale e tangenziale della forza netta (rispettivamente F_n ed F_t) applicate al pedale ad intervalli che corrispondono ad incremento di un grado partendo da 0 gradi (il punto di partenza di ogni rivoluzione), fino all'istante in cui la pedivella ripassa dalla posizione iniziale. In tal modo, al completamento dell'inserimento dei dati, ogni grado dell'intera rivoluzione avrà assegnati dei valori di F_n ed F_t . Per paragonare meglio i dati tra i vari soggetti si usano i dati derivanti dalla media di cinque rivoluzioni consecutive della pedivella, dove la velocità angolare della pedivella (w_c) è il più vicino possibile a 90rpm. Questo è ciò che troviamo nei file con i dati che meglio rappresentano la tecnica di pedalata del ciclista ad ogni intensità di lavoro.

CALCOLI

Per aiutare nell'interpretazione dei dati relativi alle forze, i valori di F_t ed F_n sono usati per calcolare le componenti orizzontale (F_x) e verticale (F_y) della forza netta applicata al pedale (F_r) ad ogni istante durante la rivoluzione:

$$F_x = F_t \cos(b) - F_n \sin(b)$$

$$F_y = F_t \sin(b) + F_n \cos(b)$$

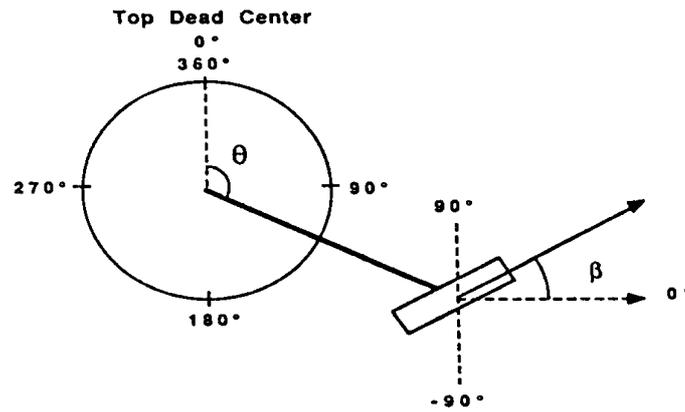


Illustrazione 7: Valori di riferimento e segni per l'orientamento della pedivella e del pedale

La grandezza assoluta di F_r è calcolata usando il teorema di pitagora:

$$|F_r| = (F_x^2 + F_y^2)^{1/2}$$

La rotazione propulsiva netta, o momento di coppia (T_c), ottenuta sul centro della pedivella da F_r è calcolata dal prodotto dei seguenti vettori:

$$T_c = l_c \cdot F_r$$

Dove l_c è un vettore che corre lungo la pedivella dal centro del movimento al centro del pedale. La grandezza del valore di F_r , perpendicolare alla pedivella e capace di creare una rotazione propulsiva sul centro del movimento (Torque) ad ogni istante della rivoluzione, serve per calcolare la forza effettiva (F_e):

$$(F_e)^{1/2} = (F_r)^2 - (l_c \cdot F_r / l_c)^2$$

Dove $l_c \cdot F_r$ è il prodotto scalare dei vettori l_c e F_r e $(l_c \cdot F_r) / l_c$ è la grandezza della componente di F_r parallela a l_c . Se T_c non avesse un senso orario o un valore propulsivo ad ogni istante, la grandezza di F_e resterebbe invariata; al contrario, se T_c avesse un contromovimento o una forza resistente ad ogni istante, allora la grandezza di F_e sarebbe arbitrariamente fissata a 0. In tal modo la forza effettiva indica la componente di F_r che contribuisce alla rotazione propulsiva della pedivella.

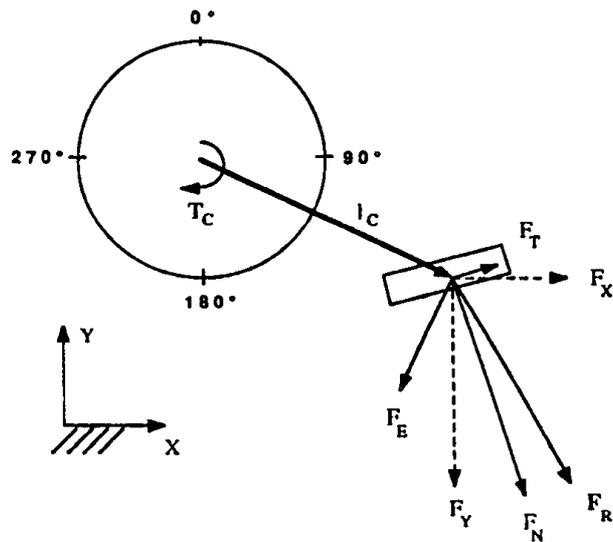


Illustrazione 8: Rappresentazione della forza risultante, forza orizzontale, forza verticale, forza tangenziale, forza normale e forza effettiva applicate al pedale. il vettore l_c rappresenta il braccio della pedivella e T_c la rotazione propulsiva creata dalla forza risultante sul centro della pedivella

Due indici di efficacia sono calcolati per analizzare la tecnica di pedalata degli atleti. Il primo indice (IE_{360}) è calcolato come il rapporto dell'area sotto la forza effettiva dell'intera rivoluzione con l'area sotto la forza netta F_r dell'intera rivoluzione.

Il secondo indice (IE_{180}) calcola l'efficacia durante la sola trazione verso il basso (da 0 a 180 gradi). Il lavoro svolto dal ciclista durante ogni rivoluzione è calcolato come l'area sotto T_c .

I valori di potenza per singola gamba, definiti da Davis e Gull, sono inoltre calcolati per paragonare le tecniche di pedalata dei ciclisti.

Un terzo indice esprime infine la quantità di lavoro positivo prodotto durante l'intera rivoluzione.

È più appropriato descrivere la tecnica di pedalata dei ciclisti quando essi pedalano a 90rpm a un'intensità di lavoro prossima alla potenza di mantenimento della quantità di lavoro submassimale (a circa il 90/95% rispetto al lavoro massimale).

MODELLO DI PRODUZIONE DELLA ROTAZIONE

Le illustrazioni 9a e 9b rappresentano il grafico della rotazione della pedivella relativamente all'orientamento di essa per ogni soggetto appartenente rispettivamente al gruppo 1 e 2.

Il modello medio dei due gruppi è rappresentato nell'illustrazione 10. I dati individuali utilizzati per quantificare la tecnica di pedalata all'intensità di lavoro submassimale sono rappresentati nella tabella 6. I dati dimostrano che gli atleti del gruppo 1 mantengono una forza maggiore dell'11% facendo il 9% in più di lavoro sull'intero movimento rotatorio. La somma del lavoro maggiore svolto dai ciclisti del gruppo 1 è dovuto a una maggiore

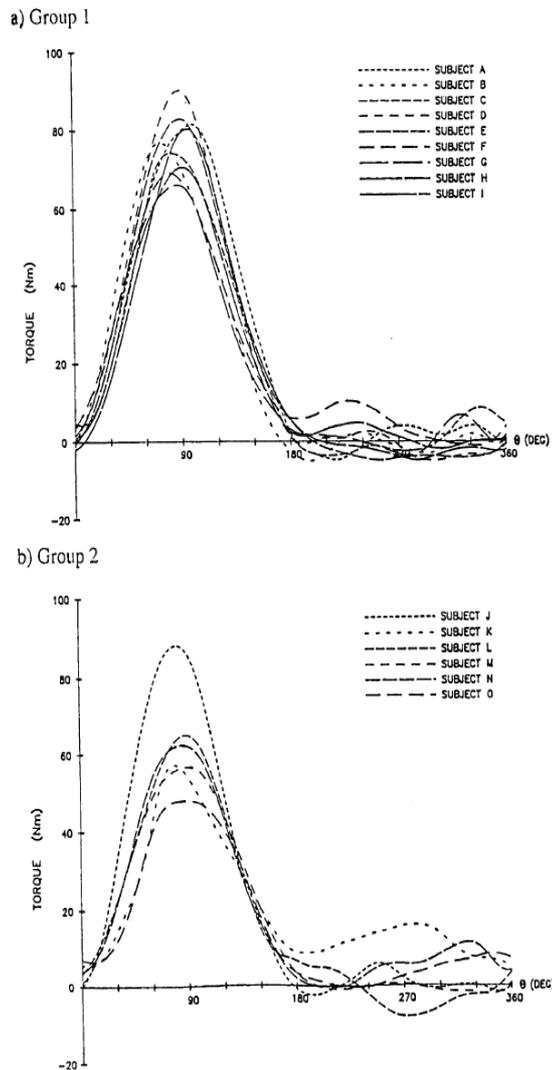


Illustrazione 9

Subject	W _{Tc} (J)	Peak T _c (N·m)	Peak F _y (N)	IE ₁₈₀ (%)	IE ₃₆₀ (%)	% W ₁₈₀ (%)	θ at Peak T _c (°)	θ at Peak F _y (°)
Group 1								
A	141	81	-515	67.2	58.3	96.4	98	112
B	118	77	-422	66.4	58.2	98.8	73	74
C	122	74	-435	71.3	63.8	95.5	81	100
D	137	90	-532	70.4	62.2	99.0	89	94
E	125	83	-495	75.6	65.0	99.5	89	98
F	129	69	-395	74.7	72.9	89.8	80	84
G	113	66	-389	68.9	61.8	95.7	86	94
H	118	80	-491	71.5	61.3	99.3	96	104
I	118	70	-426	71.3	68.2	95.9	90	102
Mean	124.5‡	76.8*	-455.6*	70.8†	63.5†	96.6†	86.9	95.8
±SE	3.1	0.8	17.8	1.0	4.7	1.0	0.9	3.7
Group 2								
J	139	88	-506	67.7	62.2	97.3	81	88
K	127	57	-320	82.8	80.7	72.1	79	84
L	101	65	-385	77.5	68.3	96.4	88	97
M	100	57	-342	70.4	59.4	99.4	90	103
N	120	62	-369	72.7	70.4	86.9	85	98
O	96	48	-295	77.8	74.8	88.5	90	115
Mean	113.8	62.8	-369.4	74.8	69.3	90.1	85.5	97.5
±SE	7.1	2.3	30.4	2.3	3.2	4.1	0.8	4.5

Tabella 3: Valori rappresentati: -lavoro prodotto per rivoluzione
 -picco di rotazione propulsiva sulla pedivella
 -picco di forza verticale
 -indice di effettività tra 0 e 180 gradi
 -indice di effettività tra 180 e 360 gradi
 -percentuale di lavoro totale tra 0 e 180 gradi
 -gradi al picco di rotazione propulsiva
 -gradi al picco di forza verticale

propulsività della rotazione creata dai ciclisti durante la prima metà della rivoluzione (da 0 a 180 gradi) (illustrazioni 9 e 10). I grandi valori di propulsività della rotazione riflettono il significativo miglior picco di rotazione assoluta prodotta dai ciclisti del gruppo 1 durante la fase di spinta discendente. Curiosamente, i soggetti del gruppo 1 producono maggior forza propulsiva creando una maggiore forza verticale nella fase di spinta e non tentando di "tirare su" durante la fase di trazione. Il modello per le forze orizzontali applicate al pedale sono piuttosto simili tra i 2 gruppi.

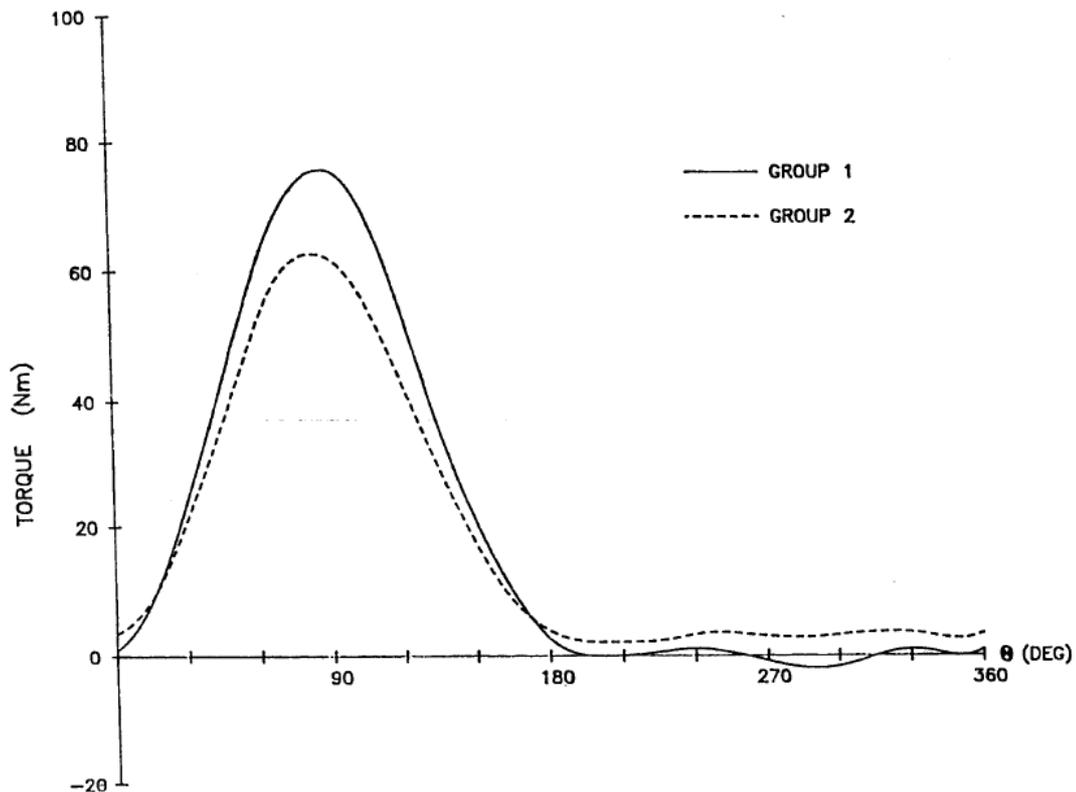


Illustrazione 10: Analisi della produzione media di rotazione propulsiva in relazione all'orientamento della pedivella nel gruppo 1 e nel gruppo 2

Questi dati ci suggeriscono che gli atleti del primo gruppo adottano una strategia di pedalata in grado di applicare grandi forze verticali durante la spinta verso il basso per cercare di massimizzare la quantità di rotazione propulsiva prodotta durante questo intervallo. L'illustrazione 10 indica che il gruppo 2 usa una strategia simile durante la fase di spinta verso il basso, con due piccole differenze. Il gruppo 2 applica forze minori durante la spinta verso il basso e una sufficiente forza verso l'alto durante la trazione capace di generare una piccola forza propulsiva di rotazione. Come risultato di questa strategia, la grandezza della propulsione rotatoria prodotta durante la spinta verso il basso dai ciclisti del gruppo 2 e il lavoro totale performed durante una rivoluzione completa sono minori. Le conseguenze di queste 2 strategie sono riflesse nel 7% in più di lavoro svolto durante la prima metà di pedalata. Comunque, l'elevata percentuale di lavoro effettuata nella prima metà della pedalata enfatizza l'importanza della spinta verso il basso per generare rotazione propulsiva e la relativa poca importanza, specialmente per gli atleti del gruppo 1, della trazione verso l'alto per generare propulsione rotatoria. Gli indici di efficacia indicano che gli atleti del

gruppo 2 sono più efficienti nell'applicazione della forza sul pedale e nel creare una rotazione propulsiva attraverso la rivoluzione del pedale. L'indice di efficacia di ciascun gruppo aumenta quando viene analizzata solamente la spinta verso il basso. Così, i valori per gli indici di efficacia sono maggiori per la strategia di pedalata dei ciclisti del gruppo 2, anche se la loro strategia di pedalata produce minori quantità di lavoro per rivoluzione rispetto alla strategia utilizzata dai ciclisti del primo gruppo. Curiosamente, la tecnica generale di pedalata di ogni ciclista rimane invariata quando il soggetto pedala alla stessa potenza e cadenza degli altri. I soggetti del gruppo 1 continuano a produrre un picco più elevato di forza propulsiva rotatoria durante la spinta in basso, creando forze verticali più grandi durante questo intervallo. È chiaro dalla tabella 6 che i soggetti del gruppo 1 sono in grado di sviluppare maggiore potenza producendo picchi di forze verticali maggiori e rotazione della pedivella che sono maggiori nella spinta verso il basso rispetto ai soggetti del gruppo 2. Come risultato i ciclisti del gruppo 1 sono capaci di sviluppare maggiore lavoro per ogni rivoluzione e a causa delle somiglianze nella cadenza di pedalata i soggetti del gruppo 1 possono mantenere una maggiore potenza. Comunque, la strategia impiegata dai ciclisti del gruppo 1 resta meno efficace di quella usata dagli atleti del gruppo 2, come risultante di una più grande proporzione delle forze applicate al pedale che non creano forza rotatoria propulsiva nei ciclisti del gruppo 1. Inoltre, gli indici maggiori di efficacia di pedalata determinati dalle forze applicate al pedale non sono positivamente correlati con la performance. Quando il movimento della pedalata è considerato nella sua componente biomeccanica (cinematica, dinamica e coordinazione muscolare), non è sorprendente che una misura dell'efficacia basata solamente sull'orientamento della forza applicata fallisce nello spiegare una vera efficacia del movimento. Questa scoperta rende la spiegazione poco chiara sebbene gli strumenti di feedback che permettono al ciclista di migliorare l'efficacia della pedalata lo porteranno a performance migliori.

Differenze tra la potenza prodotta e cadenza di pedalata utilizzate nel presente studio e negli studi precedenti hanno reso difficile la comparazione dei dati presenti con i precedenti dati biomeccanici. Questo perché i precedenti test non sono stati effettuati con simili caratteristiche del test (effettuato sotto controllo di determinati parametri). Una conclusione dei precedenti studi è che i ciclisti non "tirano su" durante la fase di trazione verso l'alto della pedalata. Comunque, il presente studio trova meno rotazione negativa durante la fase di risalita rispetto

agli altri test. In certi casi questa riduzione nella rotazione negativa è prodotta dal tirare in alto il pedale. A diversi incrementi di carico di lavoro, il ciclista produce dei modelli di rotazione simili, con la differenza che a produzione di maggior potenza si incrementa il picco di rotazione in fase di spinta e, in quantità molto minori, si riduce la rotazione negativa durante la trazione verso l'alto.

La successiva questione riguarda i fattori responsabili per la capacità del gruppo 1 di produrre un maggior picco di rotazione attraverso l'applicazione di una maggiore forza verticale sulla pedivela durante la fase di discesa.

È possibile che la maggior potenza prodotta dal gruppo 1 prodotta nella fase di spinta risulti essere ottenuta da un diverso modello di attivazione muscolare nelle estremità inferiori (gambe) durante ogni rivoluzione. Il risultato visto qui potrebbe indicare differenze nelle scelte di tempo e nell'attivazione di modelli (pattern) della muscolatura inferiore e/o differenze nell'intensità della contrazione di questi stessi muscoli.

F_n =forza normale

F_t =forza tangenziale

F_x =forza orizzontale

F_y =forza verticale

w_c =velocità angolare pedivella

F_r =forza netta sul pedale

T_c =rotazione propulsiva

l_c =vettore pedivella pedale

CAPITOLO 3

ANALISI DI EFFICACIA DELLA PEDALATA SU ATLETI PROFESSIONISTI

STRUMENTI

Per effettuare il test viene utilizzato un cicloergometro Monark 818 modificato, fornito di pedivelle con misuratore di potenza SRM IV, il più conosciuto ed utilizzato strumento per la rilevazione di potenza nel ciclismo, pratico per test da laboratorio per il costo contenuto e facilmente usufruibile anche per allenarsi su strade aperte in quanto non ingombrante.

Il cicloergometro viene completamente settato sulle caratteristiche antropometriche di ogni atleta, grazie alla possibilità di alzare/abbassare, allungare/accorciare il manubrio e la sella. Le pedivelle possono essere allungate o accorciate a piacimento (0.170 ± 0.175 m), per adattare il più possibile il cicloergometro alla bicicletta da strada che viene usata per allenamenti e gare.

Le scarpe sono dotate di attacchi a sgancio rapido (Look, Keo, Time).

Il cicloergometro ha un volano di circa 22 kg montato come ruota libera. Questo accorgimento tecnico fa sì che, in caso di rallentamento o di interruzione della pedalata, il momento di inerzia generato dalla massa del volano non determini trascinamento in avanti dei pedali. In altre parole l'apparato sperimentale simula la pedalata di una bicicletta da strada a ruota libera, diversamente da altri cicloergometri a freno meccanico che simulano la pedalata a scatto fisso (Sargeant etcc.).



La ruota libera è composta da un corpetto su cui si innestano gli ingranaggi delle diverse dimensioni. Il corpo della ruota libera si innesta sul mozzo mediante un sistema di cricchetti che gli permettono di girare in un'unica direzione. In questo modo è garantita la trazione al momento in cui si spinge sui pedali ma le pedivelle rimangono libere di smettere di muoversi mentre la bici avanza. Contrariamente la bici con pignone fisso non è dotata del sistema di cricchetti che permettono la separazione del movimento ruota/pedali e si è quindi costretti a mantenere il movimento. Qualora si diminuisca la pedalata, con il pignone fisso avremmo una forza sul piede che, se non adeguatamente contrastata con una forza uguale e contraria, ci obbligherà a continuare il movimento.

PARTECIPANTI

Allo studio hanno preso parte 45 atleti professionisti reclutati presso due differenti squadre professionistiche. Le caratteristiche antropometriche dei corridori sono riportate in tabella:

Tabella 1	mean	s.d.	minimum	maximum
eta' (anni)	25	1,5	22	28
Altezza h (m)	1,79	0,06	1,66	1,88
peso P (kg)	70,06	5,25	59,5	83
BMI	21,83	1,33	19,65	24,26

Gli atleti hanno effettuato il test a inizio della preparazione invernale per verificare il loro stato fisico sul quale programmare non solo l'allenamento ideale ma un primo bozzetto di calendario stagionale. Solamente in tre casi il test è stato effettuato durante la stagione. Trentuno soggetti hanno effettuato un solo test, dieci soggetti hanno effettuato due test, tre soggetti hanno effettuato tre test e uno ne ha effettuati quattro. Bisogna specificare che chi ha effettuato più test li ha effettuati in anni diversi. Gli atleti svolgevano tutti attività esclusivamente su strada al momento del test, tranne il soggetto DaLu che alternava l'attività su strada al ciclocross e il soggetto ThGe che svolgeva intensa attività su pista. Molti degli atleti che hanno preso parte al test sono tuttora professionisti, mentre qualcuno ha cessato l'attività.

Dopo aver creato una curva per ogni atleta, sono stati creati due modelli da esempio che coinvolgono i 10 migliori scalatori (atleti che presentano un rapporto

W/kg potenza su peso migliore) e i 10 migliori passisti cronoman (atleti che hanno Wattaggi assoluti maggiori).

Le pedalate ottenute dalla combinazione degli scalatori e dei passisti sono servite da linee guida per andare ad identificare visivamente e numericamente gli errori più comuni di una pedalata scorretta e poco efficace.

PROTOCOLLO

Il test vede impegnati i corridori in un test incrementale a cadenza di pedalata costante, vale a dire un test progressivo dove, partendo da una resistenza esterna di 150W, questa ogni 3 minuti viene aumentata di 40W ed è protratto fino alla massima intensità d'esercizio, che in media è stata $W_{ext}=382\pm 38$ watts mean \pm s.d. Range, 306-481watts n=64. I dati ottenuti vengono ricavati eseguendo una media su 15 cicli di pedalata consecutivi ricavati durante l'incremento finale, memorizzando una traccia sperimentale media. Durante l'intero test l'atleta doveva restare seduto in sella e tenere le mani sulla parte superiore del manubrio ed era invitato a mantenere una frequenza di pedalata f il più possibile costante uguale a 1.5 Hz: La frequenza di pedalata è stata: $1,52\pm 0,05$ Hz mean \pm s.d. Range, 1,44-1,67 Hz n=64.

ACQUISIZIONE DATI

La potenza meccanica esterna contro la quale il soggetto pedala (W_{ext}) è regolata manualmente con il freno a pendolo del cicloergometro, ed è misurata da SRM ogni 2-5s.

Per quanto riguarda la potenza prodotta il sistema calcola la deformazione sull'asse della pedivella ottenuta dalla forza applicata dai pedali su di essa attraverso estensimetri. Questa deformazione è tanto maggiore quanto maggiore sarà la forza sui pedali. Gli estensimetri quantificano la deformazione in volt, che vengono prima convertiti in Hz e poi inviati al computer che elabora i dati. Questa deformazione (frequenza) viene registrata ogni millisecondo. Per ottenere la Torque serve inoltre conoscere la velocità angolare, ovvero la cadenza di pedalata. Per ottenere questo dato la pedivella è fornita di un sensore che conta il numero di rivoluzioni effettuate per minuto e le converte in Hz, per potersi

facilmente combinare con la frequenza. A un dato valore di Hz corrisponde una determinata cadenza. Conoscendo il numero di rivoluzioni per minuto sarà quindi possibile calcolare il tempo per ogni singola rivoluzione. Il sistema SRM divide il tempo di rivoluzione in gradi angolari, per ottenere la torque ad ogni angolo della pedalata. All'interno di una rivoluzione completa si potrebbero verificare delle variazioni nella velocità angolare che andrebbero ad influenzare i dati. Ciò sarebbe osservabile soprattutto per una cadenza di pedalata piuttosto bassa, sotto le 50 pedalate al minuto. Quando si pedala a cadenze elevate, come in questo test, le variazioni all'interno della rivoluzione stessa sono trascurabili. Una volta inviati questi dati al computer su cui è installato un software dedicato (SRMPtnew), per ottenere la Torque sarà sufficiente moltiplicare la frequenza con la cadenza, in modo da ottenere un valore espresso in Nm. Per ottenere il valore della torque in Newton si andrà a dividere la Torque con la lunghezza delle pedivelle.

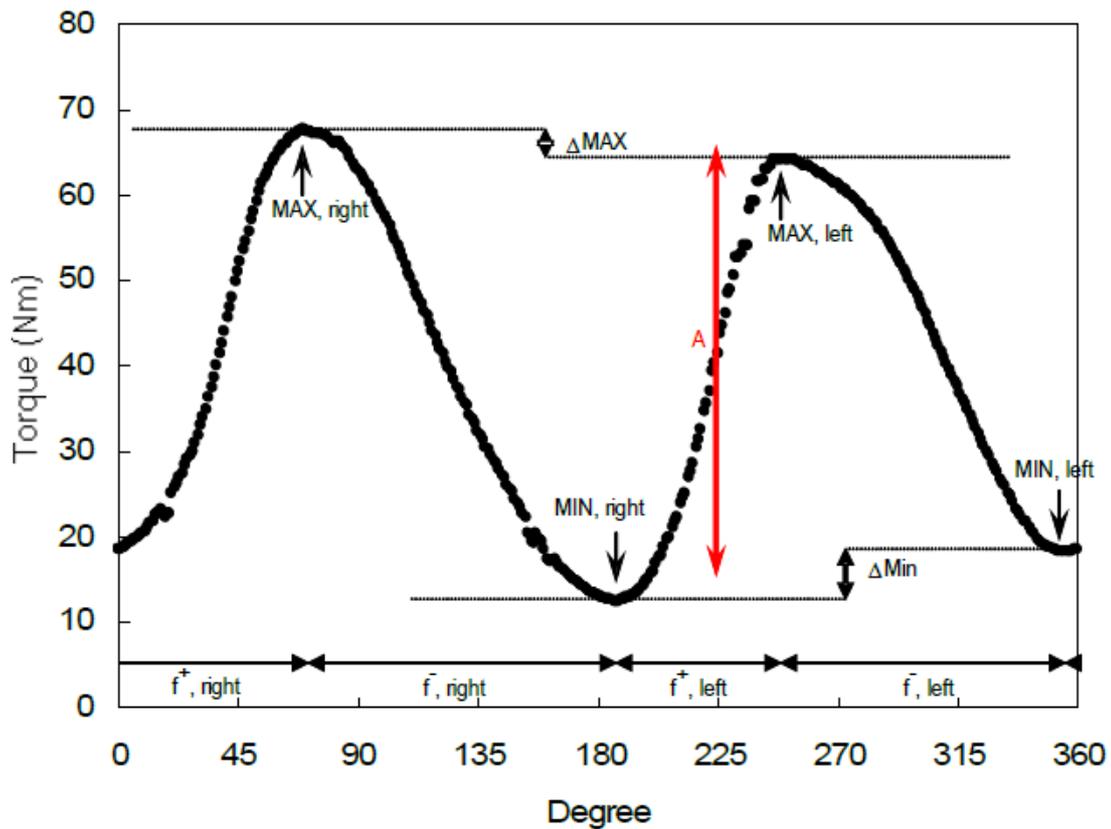
I valori di torque vengono visualizzati in funzione dell'angolo α compreso fra l'asse delle pedivelle e la normale al suolo. In questo studio i valori sono stati manualmente normalizzati assegnando i picchi minimi per piede sinistro a 22 gradi (punto in cui ci si attende il picco minimo sinistro) per avere un punto comune tra tutti gli atleti, con gli altri valori assegnati di conseguenza. Per fare la comparazione tra forze di diversa ampiezza, i valori sono stati tutti percentualizzati sul picco massimo assoluto di ogni registrazione, in quanto ci interessa paragonare pedalate con potenze assolute diverse in valori assoluti.

ANALISI DATI

Per ogni atleta vengono calcolati i seguenti valori:

Vengono presi i punti notevoli che caratterizzano la forma della pedalata.

- massimo valore di T raggiunto durante la prima fase della pedalata, chiamato MAXright
- minimo valore di T raggiunto al termine della prima fase della pedalata, chiamato MINright
- massimo valore di T raggiunto durante la seconda fase della pedalata, chiamato MAXleft
- minimo valore di T raggiunto al termine della seconda fase della pedalata, chiamato MINleft



MINleft e MINright corrispondono all'incirca ai cosiddetti punti morti della pedalata, quando le pedivelle sono poste vicino ai 22 gradi e ai 202 gradi e i valori di T tendono a zero. Analogamente MAXdx e MAXsin corrispondono all'incirca al momento quando le pedivelle si trovano a 98 e 278 gradi.

Possiamo definire le variazioni di T che vanno da MINleft a MINright come pedalata destra e le variazioni di T da MINright a MINleft come pedalata sinistra. L'ampiezza media delle variazioni di T durante il ciclo di pedalata può essere così calcolata:

$$A = 0.5 \cdot (MAX_{right} + MAX_{left} - MIN_{right} - MIN_{left})$$

L'ampiezza media delle variazioni di T durante il ciclo di pedalata è stata in media $A = 45,3 \pm 5,59 \text{ Nm}$.

Si calcola la media tra i due valori assoluti come $MAX_{right} + MAX_{left} / 2$ e la differenza tra i due valori massimi ($MAX_{right} - MAX_{left}$) e tra i due minimi ($MIN_{right} - MIN_{left}$). I valori in rosso sono i casi in cui i valori sono maggiori per picchi destri, i valori negativi in nero si hanno quando i valori sono maggiori a sinistra.

Vengono inoltre calcolati gli indici di simmetria di pedalata, espressi come differenza tra massimi e come differenza tra minimi in percentuale rispetto all'ampiezza dell'intero ciclo. Un valore fondamentale è la Torque media

dell'intera rivoluzione, ottenuta come media della Torque sulla somma dei singoli angoli di un'intera rivoluzione.

Viene calcolata la Torque in aumento e in diminuzione per fase destra della pedalata e per fase sinistra della pedalata, ottenuta dal rapporto della differenza tra picco massimo destro e picco minimo sinistro con angolo al picco massimo destro e angolo al picco minimo sinistro per la prima fase e cambiando i dati di torque e angoli per le altre fasi. Questi dati rappresentano anche la velocità di incremento e di decremento della Torque. Le due fasi incrementali avranno valori positivi, a differenza delle fasi di recupero che presenteranno segno negativo. Graficamente le velocità di incremento e decremento sono rappresentate dall'inclinazione che la retta assume nel grafico Torque/angolo; quando c'è incremento (spinta destra e spinta sinistra) la retta sale fino al raggiungimento del picco massimo, nella fase di decremento scende (recupero destro e recupero sinistro) fino al picco minimo.

$$T_{right}^{+} = (MAX_{right} - MIN_{left}) / (\alpha MAX_{right} - \alpha MIN_{left})$$

$$T_{left}^{+} = (MAX_{left} - MIN_{right}) / (\alpha MAX_{left} - \alpha MIN_{right})$$

$$T_{right}^{-} = (MIN_{right} - MAX_{right}) / (\alpha MIN_{right} - \alpha MAX_{right})$$

$$T_{left}^{-} = (MIN_{left} - MAX_{left}) / (\alpha MIN_{left} - \alpha MAX_{left})$$

Grazie al calcolo di questi valori è possibile in seguito determinare la simmetria di pedalata analizzando le due fasi di spinta della pedalata (rapporto tra la prima fase destra e la prima fase sinistra) e le due fasi di recupero della pedalata (rapporto tra la seconda fase destra e la seconda fase sinistra).

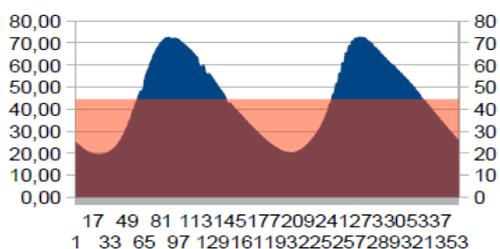
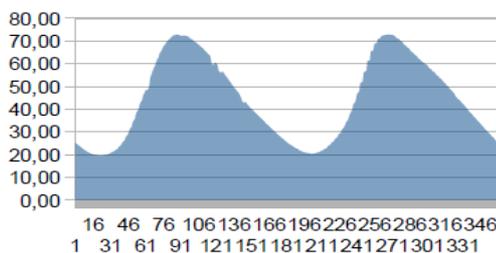
Punti sperimentali. Presi sempre punti sperimentali senza possibilità di interpolazione. Se presente nello stesso punto con tempo corretto. In relazione al possibile errore della linea di base non possono essere presi come VALORI ASSOLUTI										media aritmetica di dx e di		differenza fra MAX e MIN		differenza fra MAX e MIN		AMPIEZZA della PEDALATA		INDICE di SIMMETRIA DI PEDALATA		PEDALATA dx, calcolo numero e diminuzione del TORQUE in ampiezza (%) e velocità di aumento della FORZA (N/mms)		PEDALATA sin, calcolo aumento e diminuzione del TORQUE in ampiezza (%) e velocità di aumento della FORZA (N/mms)		SIMMETRIA di PEDALATA: dx/sin vs sin									
f rpm	t msec	Wext L	M	MIN TORQUE dx	MAX TORQUE dx	MIN TORQUE dx	MAX TORQUE dx	MIN TORQUE sin	MAX TORQUE sin	N	A	B	INDEX dx	INDEX sin	ROU/ROU	VE/TORR	VE/TORR	Q/QUE	Q/QUE	dx/sin													
				N	N	N	N	N	N	N	N	N	%	%	Nm/m	Nm/m	Nm/m	Nm/m	Nm/m	Nm/m	Nm/m												
AnSa	87,3	1,46	687	325	0,172	22	14,11	82,0	91	55,76	324,19	195	12,78	74,30	276	54,42	316,40	320,29	1,34	1,33	41,6	3,2	3,2	34,37	694	-413	1,46	514	-380	1,35	1,17	1,09	
ArPe	88,6	1,48	677	337	0,172	22	11,20	65,1	106	62,50	383,37	198	12,70	73,84	284	59,00	340,02	353,20	3,50	-1,50	48,8	7,2	3,1	35,36	611	-541	1,13	538	-488	1,10	1,13	1,11	
AuLoe	94,2	1,57	637	351	0,172	22	14,70	85,5	97	59,50	345,93	203	15,40	89,53	288	57,30	333,14	338,53	2,20	-0,70	43,4	5,1	1,8	35,15	597	-410	1,44	544	-418	1,30	1,10	1,00	
AuLoe	94,2	1,57	637	398	0,172	22	15,86	92,2	86	69,58	387,09	210	12,25	71,22	288	69,08	365,81	391,45	1,50	3,60	53,0	2,8	6,8	39,71	686	-477	1,14	718	-556	1,29	0,86	0,88	
AuLoe	93,8	1,56	640	392	0,172	22	18,14	105,5	101	67,53	392,62	215	12,46	72,44	279	64,19	373,20	382,91	3,34	5,68	50,8	6,6	11,2	39,75	625	-483	1,29	808	-447	1,81	0,77	1,08	
BaFi	86,6	1,44	693	364	0,172	22	16,36	95,1	109	58,36	336,30	207	13,13	76,34	293	62,24	361,86	350,58	-3,88	3,23	45,6	9,5	7,1	39,15	483	-462	1,03	671	-516	1,11	0,85	0,90	
BaFi	87,7	1,46	684	359	0,172	22	15,11	81,8	103	65,02	376,02	202	11,98	69,07	281	59,86	346,89	362,44	5,36	3,23	48,9	11,0	6,8	37,41	616	-357	1,15	605	-441	1,37	1,02	1,22	
BaFi	88,8	1,46	683	366	0,172	22	16,08	93,5	100	62,37	362,62	201	17,25	100,29	267	57,74	335,70	349,16	4,63	-1,17	43,4	10,7	2,7	38,80	593	-447	1,33	613	-462	1,69	0,97	1,23	
BeFr1	91,9	1,53	653	397	0,172	22	22,75	132,3	98	66,61	387,27	208	18,36	106,74	275	69,21	386,57	391,92	-1,60	4,39	46,9	3,4	9,4	40,77	577	-439	1,32	744	-425	1,75	0,78	1,03	
BeFr2	87,8	1,46	683	370	0,172	22	23,54	136,9	100	69,15	402,03	205	17,98	104,53	279	72,28	402,23	411,13	-3,13	5,56	50,0	6,3	11,1	44,11	685	-487	1,20	734	-473	1,55	0,80	1,03	
BeFr1	90,7	1,51	662	445	0,172	22	23,60	137,2	96	67,34	391,51	204	24,89	144,71	277	65,64	381,63	386,57	1,70	-1,29	42,6	4,0	3,1	45,13	576	-400	1,44	558	-400	1,39	1,03	1,00	
BeFr1	88,7	1,50	669	431	0,172	22	15,50	90,1	80	63,41	368,66	202	16,29	84,71	267	66,36	385,81	377,24	-2,95	-0,79	49,0	6,0	1,8	44,09	115	-386	0,30	770	-208	3,71	0,15	-1,86	
BoLa	90,4	1,51	664	481	0,175	22	26,45	151,6	79	71,38	407,89	197	22,78	130,17	282	73,32	447,54	427,71	-6,94	3,97	62,0	13,8	7,3	49,61	788	-412	1,91	653	-519	1,26	1,21	0,79	
CaDi	91,4	1,52	656	388	0,172	22	21,20	123,3	84	58,11	337,85	202	14,25	82,85	285	65,04	374,14	357,99	-6,83	6,95	43,0	15,8	15,8	42,51	595	-372	1,60	612	-452	1,35	0,97	0,82	
CaPa1	92,7	1,55	647	381	0,172	22	19,88	116,6	107	59,98	348,72	200	13,70	79,65	289	61,58	352,02	353,37	-1,60	6,16	44,0	3,6	14,0	39,22	472	-468	0,95	538	-448	1,20	0,88	1,11	
CaPa2	92,7	1,45	688	380	0,175	22	20,78	119,7	105	61,00	346,57	202	13,91	78,86	289	62,57	357,54	353,96	-1,97	7,47	44,7	3,5	16,7	40,25	495	-492	0,90	568	-449	1,26	0,86	1,09	
CaPa	91,3	1,52	657	385	0,172	22	13,40	77,9	99	62,91	365,76	208	12,05	70,66	289	60,17	349,83	357,79	2,74	1,35	48,8	5,6	2,8	38,71	113	-467	0,24	994	-178	3,39	0,19	-2,66	
CaDo	86,6	1,44	693	424	0,175	22	20,87	119,3	102	70,56	403,20	201	18,01	102,91	287	70,99	406,86	404,43	-0,43	2,86	51,3	0,8	5,6	44,72	621	-521	1,17	616	-528	1,17	1,01	1,01	
CaFe1	90,6	1,51	621	338	0,172	22	17,50	101,9	110	46,40	297,73	205	14,25	82,85	285	51,84	391,40	294,56	3,25	3,28	49,8	6,8	9,4	39,29	383	-367	0,99	495	-425	0,85	1,44	0,73	0,27
CaFe2	90,7	1,45	690	367	0,172	22	16,17	94,0	110	59,97	348,66	207	15,56	87,56	285	60,51	351,80	350,23	0,54	1,11	44,6	1,2	2,5	39,29	498	-463	1,08	583	-527	1,27	0,85	1,01	
CaGi	86,6	1,44	693	353	0,172	22	14,85	86,3	108	63,19	367,38	204	14,22	82,67	288	69,72	352,02	360,20	2,47	0,63	47,4	5,2	1,3	39,57	562	-510	1,10	495	-546	0,91	1,14	0,93	
CeLu	90,4	1,51	664	425	0,172	22	25,25	146,8	104	72,65	409,19	197	24,91	144,13	280	63,53	374,01	386,45	7,10	0,46	43,0	6,8	9,1	43,36	671	-452	1,63	674	-425	1,65	1,44	1,26	
ChCi	92,9	1,55	646	375	0,172	22	14,93	86,8	102	61,30	356,40	197	11,52	66,98	275	67,13	360,29	373,34	-5,83	3,41	51,0	11,4	6,7	38,56	580	-524	1,11	713	-588	1,46	0,81	1,07	
CoBa	94,2	1,57	637	365	0,172	22	15,85	92,2	100	66,58	387,09	210	12,25	71,22	288	69,08	365,81	391,45	-1,50	3,60	53,3	2,8	6,8	39,71	686	-477	1,14	718	-556	1,29	0,86	0,88	
CoBa	93,8	1,56	640	315	0,172	22	15,86	92,2	85	50,17	291,69	193	11,50	66,86	274	53,71	312,27	301,98	-3,54	2,01	43,0	0,9	5,1	32,13	662	-358	1,63	674	-425	1,65	1,44	1,26	
CoRy	92,3	1,54	650	326	0,172	22	11,95	69,5	104	50,83	295,52	197	11,53	67,03	276	56,70	320,93	356,59	-5,87	0,42	42,0	14,0	10,0	34,12	474	-423	1,12	572	-522	1,35	0,83	0,89	
CoSi	90,4	1,51	664	404	0,172	22	17,72	103,0	93	61,45	357,27	203	15,17	89,20	269	63,39	368,55	362,91	-1,94	2,55	46,0	4,2	5,5	37,67	616	-467	1,32	634	-401	1,58	0,97	1,17	
CuS2	90,9	1,67	601	464	0,172	22	19,59	113,9	87	72,84	423,49	207	20,36	118,69	267	72,82	423,37	423,43	0,07	-0,79	62,8	6,0	5,4	44,47	819	-456	1,60	607	-463	1,74	1,02	0,99	
DuS1	92,6	1,54	648	306	0,172	22	13,69	79,6	93	49,13	285,64	203	9,41	54,71	290	51,50	299,42	386,53	-2,37	4,28	38,8	6,1	11,0	31,31	499	-361	1,38	484	-411	1,18	1,03	0,88	
DuS2	91,5	1,53	655	314	0,172	22	10,92	63,5	97	56,24	326,98	199	10,77	62,82	267	56,84	321,93	387,81	0,40	0,15	45,2	0,9	0,3	32,67	694	-446	1,36	663	-391	1,70	0,91	1,14	
DeEn	87,7	1,46	684	371	0,172	22	23,55	136,9	97	62,41	362,65	199	11,20	65,12	289	63,95	371,80	367,33	-1,54	12,35	45,8	3,4	27,0	40,37	518	-457	1,13	659	-434	1,52	0,79	1,05	
DuM2	91,8	1,53	654	373	0,172	22	17,87	103,9	105	61,57	357,97	207	16,93	84,3	286	61,18	355,70	356,83	0,39	0,94	44,0	0,9	2,1	38,11	527	-438	1,20	560	-451	1,24	0,94	0,97	
EJAl	92,6	1,54	648	355	0,172	22	20,21	117,5	83	60,08	349,30	177	21,23	123,43	269	52,50	305,23	327,27	7,58	-1,02	36,6	21,3	2,9	39,25	654	-413	1,58	551	-278	1,26	1,88	1,48	
FRCh1	92,8	1,55	647	424	0,172	22	19,51	113,4	82	67,19	390,64	205	19,27	112,03	271	67,99	395,29	392,97	-0,80	0,24	48,2	1,7	0,5	42,83	795	-390	2,04	738	-437	1,69	1,08	0,89	
FRCh2	92,4	1,54	649	454	0,172	22	18,97	110,3	89	69,82	405,93	205	21,42	123,53	273	67,28	391,33	385,55	2,54	-2,45	48,4	5,3	5,1	44,03	759	-417	1,82	674	-443	1,52			

oggettivamente pedalate che esprimono picchi massimi numericamente diversi.

I dati riportati di seguito rappresentano una parte dei dati calcolati (fino a 49 gradi), per meglio comprendere come siano stati elaborati i dati. I due grafici rappresentano l'andamento della Torque in funzione dell'angolo; nel secondo si trova un'area evidenziata, che rappresenta la Torque media calcolata durante l'intero ciclo di pedalata. La colonna "normalizzata" rappresenta i punti percentuali del valore di Torque ad ogni angolo della rivoluzione. I primi dati si riferiscono a un atleta che presenta una pedalata efficace e potente, mentre gli altri due si riferiscono ai gruppi creati (scalatori e passisti).

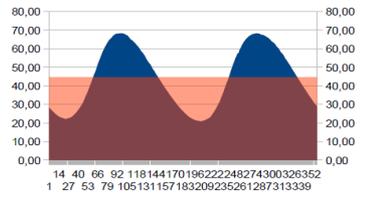
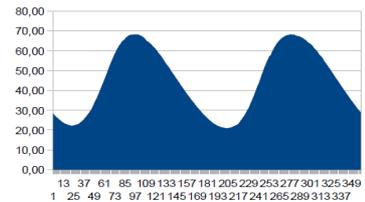
CuSt2

Angolo	Torque	Media	Normalizzata
0	25,18	44,47	34,57
1	24,64	44,47	33,83
2	24,37	44,47	33,46
3	23,91	44,47	32,83
4	23,44	44,47	32,18
5	23,16	44,47	31,80
6	22,68	44,47	31,14
7	22,22	44,47	30,51
8	21,91	44,47	30,08
9	21,60	44,47	29,65
10	21,19	44,47	29,09
11	20,94	44,47	28,75
12	20,74	44,47	28,47
13	20,43	44,47	28,05
14	20,24	44,47	27,79
15	20,13	44,47	27,64
16	19,96	44,47	27,40
17	19,85	44,47	27,25
18	19,77	44,47	27,14
19	19,67	44,47	27,00
20	19,62	44,47	26,94
21	19,60	44,47	26,91
22	19,59	44,47	26,89
23	19,59	44,47	26,88
24	19,67	44,47	27,00
25	19,75	44,47	27,11
26	19,85	44,47	27,25
27	19,93	44,47	27,36
28	20,16	44,47	27,66
29	20,32	44,47	27,90
30	20,44	44,47	28,06
31	20,86	44,47	28,64
32	21,17	44,47	29,06
33	21,36	44,47	29,32
34	21,85	44,47	30,00
35	22,13	44,47	30,38
36	22,37	44,47	30,71
37	23,12	44,47	31,74
38	23,65	44,47	32,47
39	24,00	44,47	32,95
40	24,97	44,47	34,28
41	25,72	44,47	35,31
42	26,11	44,47	35,85
43	27,31	44,47	37,49
44	28,27	44,47	38,81
45	28,81	44,47	39,55
46	30,41	44,47	41,75
47	31,52	44,47	43,27
48	32,09	44,47	44,06
49	33,95	44,47	46,61



min sx	22	19,59	Angolo	Torque	rapp.	Angolo To
max dx	87	72,84	65	53,25	0,82	
min dx	202	20,38	115	-52,46	-0,46	
max sx	267	72,82	65	52,44	0,81	
			115	-53,23	-0,46	

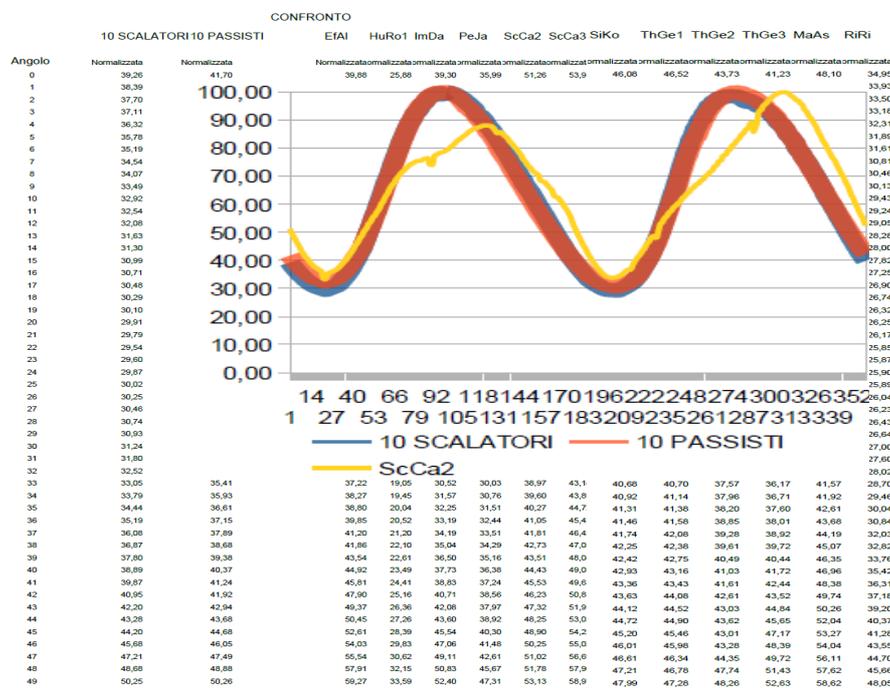
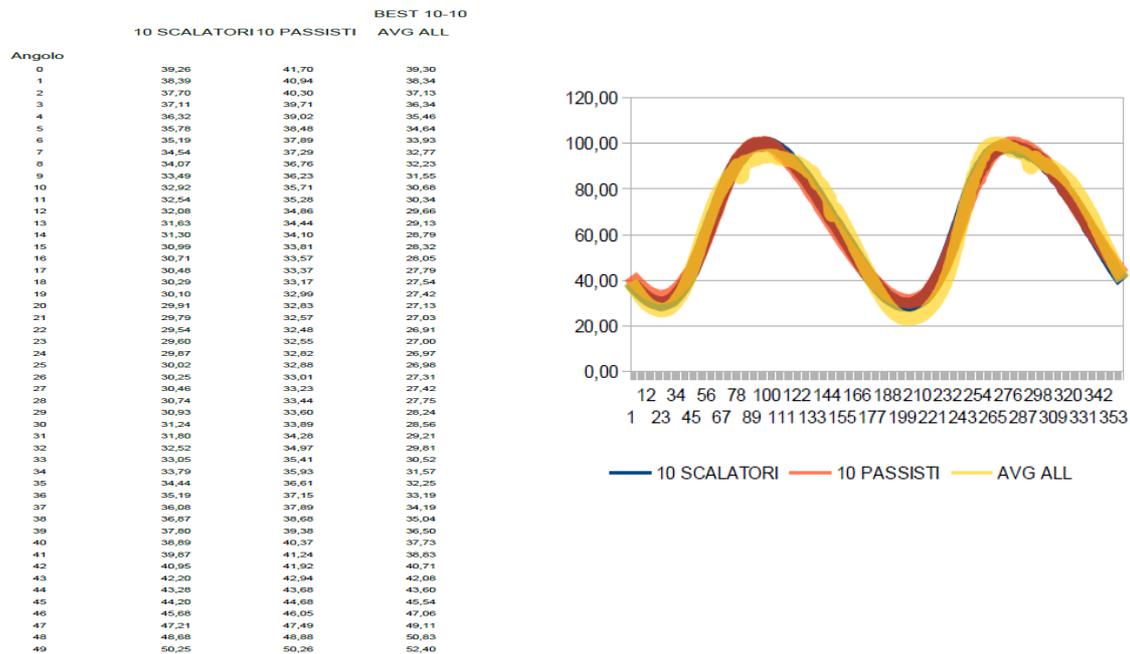
10 PASSISTI													
	BoLa	CuSt2	FrCh2	ThGe3	LoBoPaSaUg2	BeRa	CeLu	RoEn	SoMa2	AVG	ALMedia	Normalizzata	
Angolo													
0	31,43	25,18	24,75	29,05	31,45	26,04	29,05	29,74	28,31	29,84	28,48	44,72	41,70
1	31,64	24,64	24,64	29,03	30,63	26,75	29,79	29,79	27,97	28,38	27,94	44,72	39,94
2	30,75	24,37	23,57	27,85	30,50	25,25	28,19	29,06	27,32	28,42	27,53	44,72	40,30
3	30,53	23,91	23,19	27,45	29,92	24,97	27,84	28,70	26,88	27,84	27,12	44,72	39,71
4	30,17	23,44	22,69	27,04	29,37	24,65	27,42	28,35	26,44	26,98	26,86	44,72	39,02
5	29,97	23,16	22,25	26,72	28,93	24,23	27,06	27,95	25,94	26,63	26,28	44,72	38,48
6	29,73	22,68	21,94	26,36	28,39	24,04	26,66	27,53	25,55	25,93	25,98	44,72	37,89
7	29,40	22,22	21,61	26,02	28,00	23,62	27,26	27,26	24,99	26,30	25,48	44,72	37,29
8	29,11	21,91	21,21	25,58	27,54	23,32	26,04	27,00	24,56	24,87	25,11	44,72	36,76
9	28,78	21,60	20,96	25,27	27,13	22,98	25,79	26,75	24,24	24,02	24,75	44,72	36,23
10	28,36	21,19	20,62	25,06	26,84	22,49	25,47	26,52	23,85	23,55	24,40	44,72	35,71
11	28,14	20,94	20,26	24,80	26,26	22,17	25,27	26,30	23,61	23,24	24,10	44,72	35,28
12	27,95	20,74	19,99	24,52	25,83	21,90	25,05	26,18	23,37	22,51	23,81	44,72	34,85
13	27,73	20,43	19,80	24,24	25,58	21,48	24,69	25,99	23,12	22,23	23,53	44,72	34,44
14	27,54	20,24	19,61	24,00	25,16	21,19	24,50	25,90	22,95	21,88	23,30	44,72	34,10
15	27,27	20,13	19,46	23,85	25,00	21,03	24,27	25,81	22,77	21,40	23,10	44,72	33,81
16	27,16	19,96	19,26	23,74	24,75	20,81	24,13	25,71	22,66	21,16	22,93	44,72	33,57
17	27,02	19,85	19,16	23,60	24,66	20,60	24,06	25,58	22,59	20,81	22,79	44,72	33,37
18	26,96	19,77	19,11	23,55	24,52	20,38	23,89	25,49	22,49	20,55	22,66	44,72	33,17
19	26,83	19,67	19,04	23,47	24,27	20,10	23,79	25,48	22,54	20,37	22,53	44,72	32,99
20	26,55	19,62	18,99	23,36	24,12	19,96	23,64	25,40	22,49	20,16	22,43	44,72	32,83
21	26,51	19,60	19,01	23,35	24,04	19,90	23,60	25,30	21,13	20,04	22,25	44,72	32,57
22	26,45	19,59	18,97	23,35	24,03	19,79	23,60	25,25	20,88	19,93	22,18	44,72	32,48
23	26,48	19,59	19,08	23,36	24,07	19,80	23,62	25,27	21,17	19,94	22,24	44,72	32,55
24	26,55	19,67	19,16	23,38	24,13	19,87	23,69	25,33	22,48	19,95	22,42	44,72	32,82
25	26,59	19,75	19,23	23,47	24,15	19,91	23,69	25,33	22,64	19,96	22,46	44,72	32,88
26	26,68	19,85	19,31	23,69	24,19	20,06	23,88	25,32	22,54	19,99	22,55	44,72	33,01
27	26,89	19,93	19,47	23,98	24,35	20,21	24,03	25,43	22,61	20,09	22,70	44,72	33,23
28	27,02	20,16	19,66	24,07	24,48	20,36	24,15	25,51	22,68	20,36	22,85	44,72	33,44
29	27,41	20,32	18,81	24,30	24,74	20,58	24,36	25,56	22,82	20,63	22,95	44,72	33,60
30	27,78	20,44	18,82	24,58	25,01	20,86	24,52	25,61	23,02	20,91	23,15	44,72	33,89
31	27,94	20,86	19,36	24,75	25,22	21,21	24,79	25,67	23,18	21,20	23,42	44,72	34,28
32	28,57	21,17	20,90	25,17	25,57	21,57	25,07	25,84	23,36	21,64	23,89	44,72	34,97
33	29,03	21,36	21,22	25,48	25,82	22,00	25,28	25,97	23,65	22,06	24,19	44,72	35,43
34	29,40	21,85	21,71	25,86	26,16	22,50	25,59	26,01	23,82	22,55	24,55	44,72	35,93
35	30,41	22,13	22,21	26,49	26,64	23,04	25,95	26,05	24,05	23,14	25,91	44,72	36,81
36	30,87	22,37	22,82	26,78	27,01	23,62	26,32	26,10	24,30	23,59	25,38	44,72	37,15
37	31,59	23,12	23,53	27,42	27,52	24,17	26,62	26,16	24,53	24,18	25,88	44,72	37,69
38	32,55	23,65	24,02	27,98	27,98	24,90	27,03	26,32	25,06	24,72	26,42	44,72	38,68
39	33,19	24,00	24,81	28,49	28,33	25,73	27,38	26,43	25,43	25,22	26,90	44,72	39,38
40	34,49	24,97	25,65	29,39	28,73	26,38	27,71	26,48	25,89	26,10	27,58	44,72	40,37
41	35,43	25,72	26,30	29,80	29,35	27,09	28,28	26,59	26,35	26,88	28,17	44,72	41,24
42	35,11	27,19	30,66	29,86	29,85	28,12	28,69	27,06	28,68	27,06	28,63	44,72	41,82
43	35,84	27,31	28,05	31,59	30,46	28,83	29,23	26,85	27,22	27,93	29,33	44,72	42,94
44	36,81	28,27	28,60	32,16	30,96	29,05	29,77	26,21	27,73	28,62	29,84	44,72	43,68
45	39,94	28,81	30,11	33,23	31,41	28,39	30,16	25,85	28,09	29,19	30,52	44,72	44,68
46	41,73	30,41	30,92	34,09	32,11	29,26	31,00	26,13	28,78	30,12	31,46	44,72	46,05
47	42,98	31,52	31,94	35,03	32,67	31,52	31,60	27,27	29,34	32,44	32,84	44,72	47,49
48	44,25	32,09	33,24	36,23	33,09	33,59	32,12	27,63	30,02	31,67	33,39	44,72	48,88
49	45,72	33,95	34,01	37,08	33,70	34,62	32,97	27,95	30,91	32,45	34,34	44,72	50,26



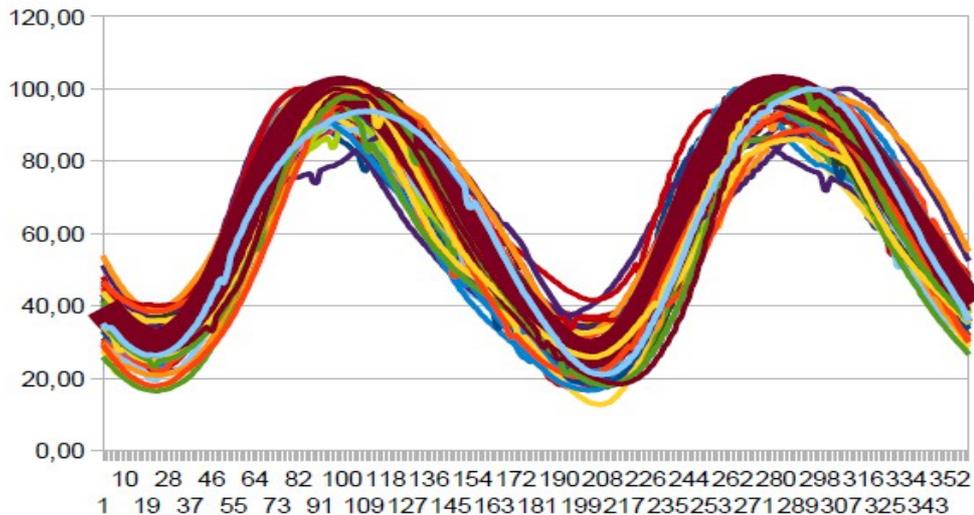
min sx	22	22,18	Angolo	Torque	rapp.	Angolo	Torque
max dx	98	68,31	76	46,13	0,61		
min dx	203	20,90	105	47,41	-0,45		
max sx	279	68,29	76	47,39	0,62		
			103	46,11	-0,45		

10 SCALATORI													
	AuJLeBeRa	CuSt2	FrCh2	GeMa	ImDa	NoAn	RiRi	SaUg2	SoMa2	AVG	ALMedia	Normalizzata	
Angolo													
0	29,05	29,05	25,18	24,75	20,96	26,13	23,18	20,02	26,04	29,84	25,42	42,32	39,26
1	28,63	28,63	24,64	24,19	20,37	25,49	22,57	19,44	25,75	26,88	24,86	42,32	38,39
2	28,19	28,19	24,37	23,57	20,05	24,69	22,18	19,19	25,25	26,42	24,41	42,32	37,70
3	27,84	27,84	23,91	23,19	19,72	24,16	21,81	19,01	24,97	27,84	24,03	42,32	37,11
4	27,42	27,42	23,44	22,69	19,13	23,55	21,34	18,51	24,05	26,98	23,52	42,32	36,32
5	27,06	27,06	23,16	22,25	18,95	23,03	21,04	18,27	24,23	26,63	23,17	42,32	35,78
6	26,66	26,66	22,68	21,94	18,55	22,56	20,74	18,11	24,04	25,93	22,79	42,32	35,19
7	26,34	26,34	22,22	21,61	18,27	21,79	20,51	17,65	23,72	25,20	22,37	42,32	34,54
8	26,04	26,04	21,91	21,21	18,15	21,43	20,18	17,45	23,32	24,87	22,86	42,32	34,07
9	25,79	25,79	21,60	20,96	17,77	20,98	19,72	17,22	22,98	24,02	21,69	42,32	33,49
10	25,47	25,47	21,19	20,62	17,63	20,40	19,46	16,86	22,49	23,55	21,31	42,32	32,92
11	25,27	25,27	20,94	20,26	17,46	20,17	19,15	16,75	22,17	23,24	21,07	42,32	32,54
12	25,05	25,05	20,74	19,99	17,24	19,72	18,88	16,64	21,90	22,51	20,77	42,32	32,08
13	24,69	24,69	20,43	19,80	17,24	19,37	18,66	16,20	21,48	22,23	20,48	42,32	31,63
14	24,50	24,50	20,24	19,61	17,17	19,14	18,42	16,04	21,19	21,88	20,27	42,32	31,30
15	24,27	24,27	20,13	19,46	17,24	18,83	18,12	15,94	21,03	21,40	20,07	42,32	30,99
16	24,13	24,13	19,96	19,26	17,22	18,65	17,90	15,81	20,81	21,16	19,88	42,32	30,71
17	24,06	24,06	19,85	19,16	17,20	18,48	17,76	15,41	20,60	20,81	19,74	42,32	30,48
18	23,89	23,89	19,77	19,11	17,27	18,31	17,61	15,32	20,38	20,55	19,61	42,32	30,29
19	23,79	23,79	19,67	19,04	17,35	18,23	17,45	15,08	20,10	20,37	19,49	42,32	30,10
20	23,64	23,64	19,62	18,99	17,31	18,04	17,29	15,04	19,96	20,16	19,49	42,32	29,81
21	23,60	23,60	19,60	18,91	16,96	17,87	17,22	14,99	19,80	20,04	19,29	42,32	29,79
22	23,60	23,60	19,59	18,97	15,88	17,89	17,21	14,81	19,79	19,93	19,13	42,32	29,54
23	23,62	23,62	19,59	19,06	16,03	17,95	17,23	14,82	19,80	19,94	19,17	42,32	29,60
24	23,69	23,69	19,67	19,16	17,39	17,83	17,22	14,84	19,87	19,95	19,24	42,32	29,87
25	23,69	23,69	19,76	19,23	18,10	17,84	17,26	14,83	19,81	19,86	19,44	42,32	30,02
26	23,68	23,68	19,85	19,31	18,45	18,16	17,37	14,82	20,06	19,99	19,59	42,32	30,25
27	24,03	24,03	19,93	19,47	18,78	18,23	17,41	15,03	20,21	20,09	19,72	42,32	30,46
28	24,15	24,15	20,16	19,66	19								

normalizzati dei due gruppi e i dati dei singoli atleti che presentano delle pedalate poco efficaci. Per ogni atleta è stato creato un grafico che integra i dati dei gruppi con i dati di ogni singolo atleta per individuare visivamente i punti all'interno della rivoluzione che sono scorretti.



Nel seguente grafico sono riportati tutti i valori normalizzati di ogni singolo atleta rapportati ai valori normalizzati della media tra tutti gli atleti durante una rivoluzione completa.



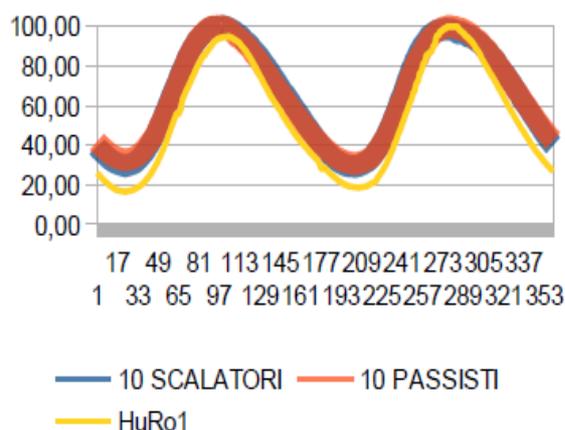
RISULTATI E DISCUSSIONE

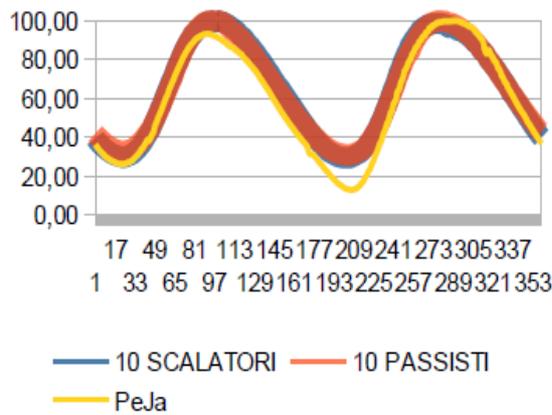
Dai dati ottenuti è possibile suddividere gli atleti in tre principali categorie in base al tipo di errore durante la pedalata:

- 1-Pedalata in cui si ha un picco minimo troppo basso
- 2-Pedalata in cui si riscontra una grande asimmetria tra picco massimo destro e picco massimo sinistro
- 3-Pedalata con andamento scomposto

PICCO MINIMO BASSO

All'interno di questa categoria individuiamo atleti che hanno solamente uno dei due picchi minimi basso oppure con entrambi i picchi minimi bassi. Mediamente il picco minimo ha un valore che si aggira intorno al 30% (29,54% e 29,26% per il gruppo scalatori, 32,48 e 30,59 per il gruppo dei passisti) rispetto al picco massimo assoluto.





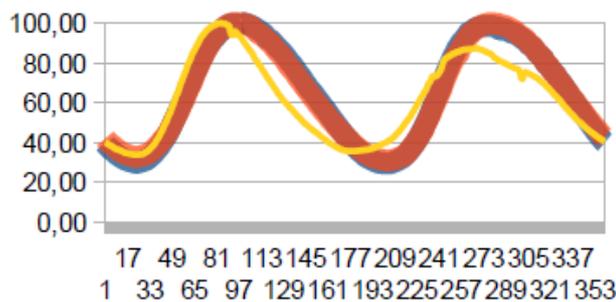
Nel caso dell'atleta HuRo osserviamo entrambi i picchi minimi bassi, con valore che si aggira al 20% (16,48% al ventiduesimo grado e 18,60% al grado 206) del picco massimo assoluto. È altresì possibile riscontrare una lieve asimmetria tra i due picchi massimi.

Nel secondo caso, l'atleta PeJa mantiene dei valori di Torque accettabili durante l'intera fase destra della pedalata, un'altrettanto accettabile picco massimo sinistro, mentre il picco minimo destro è estremamente basso (12,74% all'angolo 206).

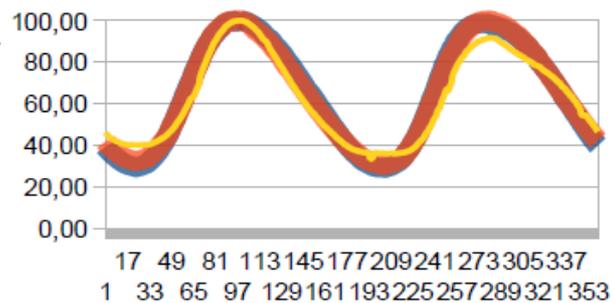
ASIMMETRIA TRA PICCHI MASSIMI

Affinchè la pedalata sia il meno dispendiosa e più efficiente possibile è bene che i picchi massimi siano simili. Uno dei due picchi massimi rappresenta il Torque massimo della rivoluzione (in percentuale avrà il valore di 100%). Quanto più l'altro picco massimo si avvicina al valore di 100% (valori che si discostano meno del 5% sono da considerarsi buoni), tanto meno dispersiva sarà la pedalata. Una eccessiva differenza di valori sarà sicuramente da attribuirsi a una posizione non ottimale in bici tale da non permettere il giusto movimento delle gambe, finendo per creare questi scompensi. Difficilmente questi scompensi sono dovuti a differenze puramente muscolari tra atleti professionisti, in quanto questi atleti devono avere una forma fisica al top per poter competere ad alti livelli. All'interno di questa categoria evidenziamo i casi di EfAl e di SiKo, che presentano una asimmetria nel picco massimo della pedalata sinistra. Per questi due casi il valore percentuale di picco massimo si ferma a 87,38% (a 266gradi) per EfAl e a 91,58% (a 280 gradi) per SiKo. Nel caso di EfAl notiamo inoltre come, dopo il

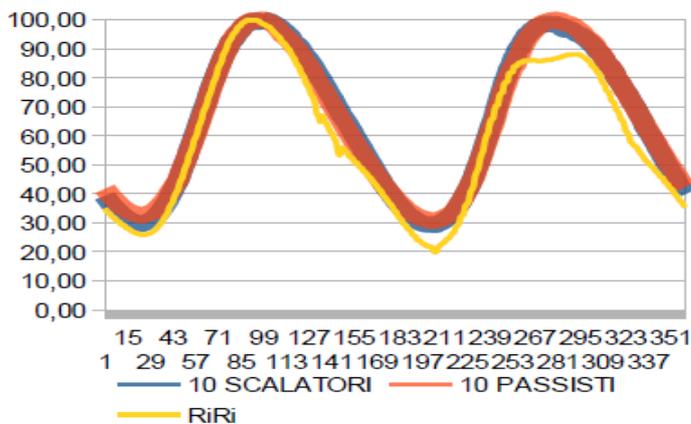
raggiungimento del picco massimo destro, vi sia un anticipo di forze rispetto agli andamenti guida. Per entrambi i casi si può ipotizzare che la gamba destra lavori bene, a differenza della sinistra che non riesce ad imprimere tutta la forza nella spinta. Un caso che meglio rappresenta la differenza di lavoro tra arto destro ed arto sinistro è quello di RiRi, dove notiamo degli ottimi valori per le fasi di incremento e decremento di Torque per la fase destra, mentre l'intera parte sinistra esprime valori "sottotono" rispetto alla prima metà di pedalata. In questo caso il picco minimo destro si ferma a 19,85% (angolo 205), mentre il picco massimo sinistro non arriva nemmeno al 90% (86,07% all'angolo 265).



— 10 SCALATORI — 10 PASSISTI
— EfAI

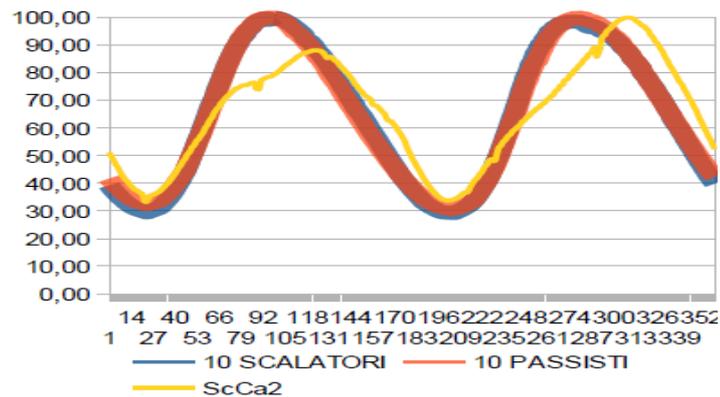


— 10 SCALATORI — 10 PASSISTI
— SiKo

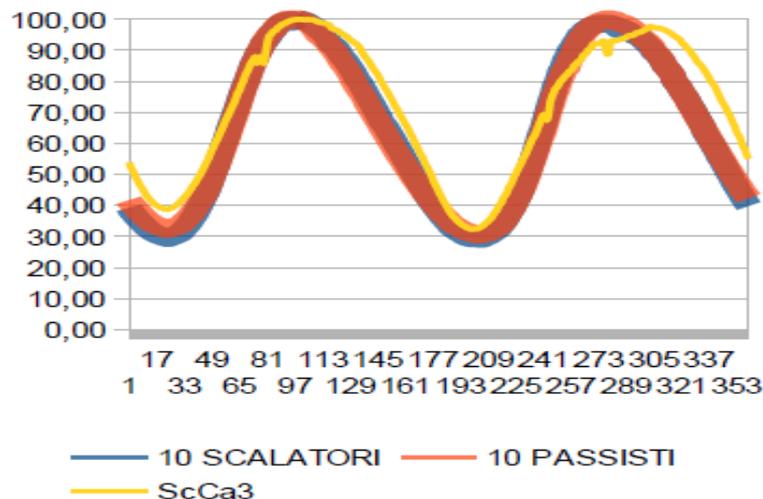


L'ultimo caso (ScCa2) di questo gruppo è molto particolare. Si tratta di una pedalata molto irregolare, che sale in modo corretto fino al raggiungimento del 60/70% del torque massimo, dopo di che l'inclinazione della retta subisce una

netta variazione che porta al raggiungimento del picco massimo circa 25 gradi in ritardo rispetto a quanto ci si dovrebbe attendere. Il raggiungimento del picco massimo destro inoltre si ferma al valore di 88,14% rispetto al picco massimo assoluto, raggiunto al grado 123, mentre il picco massimo sinistro è raggiunto al grado 307 (ricordiamo che i valori attesi di raggiungimento del picco massimo sono 98 e 278 gradi). In questo caso entrambi gli arti non esprimono i loro migliori valori, a causa di una possibile tecnica di pedalata errata o a una posizione sbagliata sul mezzo.



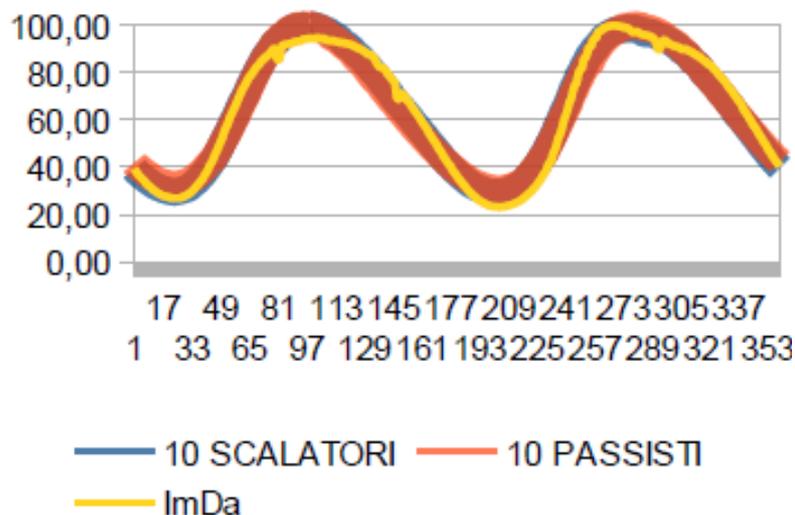
ANDATURA SCOMPOSTA



Lo stesso atleta dell'ultimo caso esaminato presenta ancora qualche problematica al ripetere il test l'anno successivo. Vediamo come non ci sia più l'assimmetria tra picchi massimi e come durante la prima metà della pedalata non ci siano grandi errori. L'unica possibile osservazione nella prima metà della pedalata può essere fatta per il leggero ritardo che assume la curva nella fase discendente. La seconda parte della pedalata (quella sinistra), presenta ancora lo stesso problema, ovvero la modificazione dell'inclinazione della retta in fase

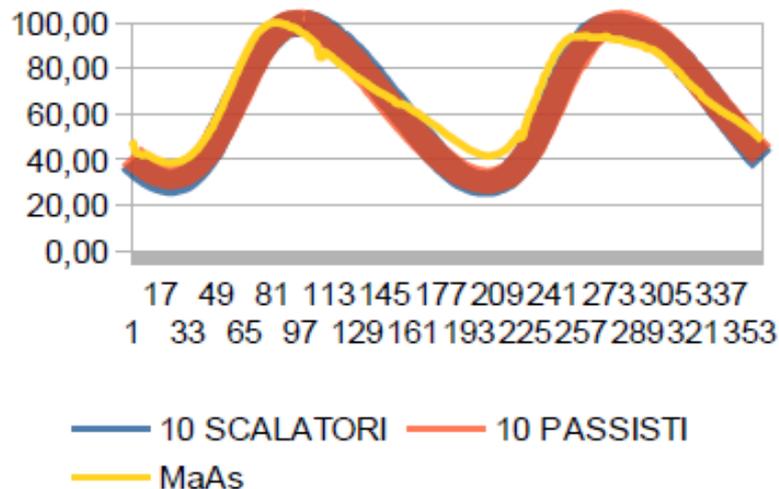
ascendente, che porta al raggiungimento del picco massimo sinistro dopo l'angolo atteso (raggiungimento picco all'angolo 302). Sicuramente tra la pedalata ScCa2 e la pedalata ScCa3 è da preferirsi quest'ultima, anche se un miglioramento di questa porterebbe a dei vantaggi in termini di Watt prodotti e a un possibile miglior picco massimo sinistro.

Un altro caso particolare è quello di ImDa. Questo atleta ha diversi punti che possono essere analizzati. Innanzitutto entrambi i valori dei picchi minimi sono al limite minimo per essere considerati accettabili (26,91 al grado 22 e 23,16% al grado 203). Una volta raggiunti i 78 gradi la pedalata cessa quasi di aumentare in Torque, subendo un appiattimento che porta al raggiungimento del picco massimo destro del 94,60% al grado 102. Si può presumere che, con un andamento regolare e una crescita costante, il picco si sarebbe potuto ottenere qualche grado prima con l'espressione di un Torque più elevato, e di conseguenza una percentuale più prossima al 100%. Per quanto riguarda il raggiungimento del picco massimo di torque sinistro, notiamo come l'inclinazione della retta sia esasperata, il che porta a un raggiungimento precoce (10 gradi prima di quanto ci si attendesse) del picco massimo.

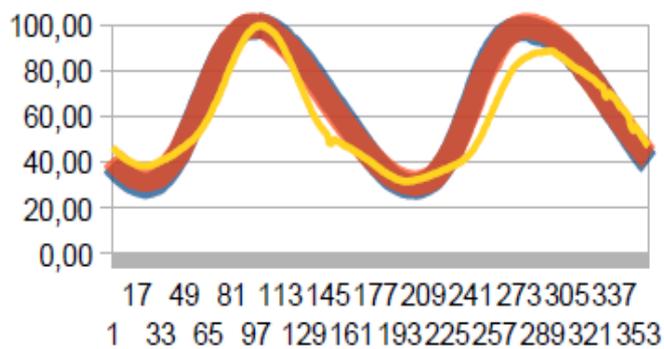


Un altro atleta che raggiunge precocemente il picco massimo (in questo caso sia destro che sinistro) è MaAs. Esso raggiunge il picco massimo destro a 83 gradi e il picco massimo sinistro a 259. Inoltre i valori minimi di picco destro e sinistro sono curiosamente entrambi elevati. (38,45% a 22 gradi e 42,17% a 199 gradi). Questo ci porta a pensare che l'atleta, con l'adozione di una tecnica di pedalata

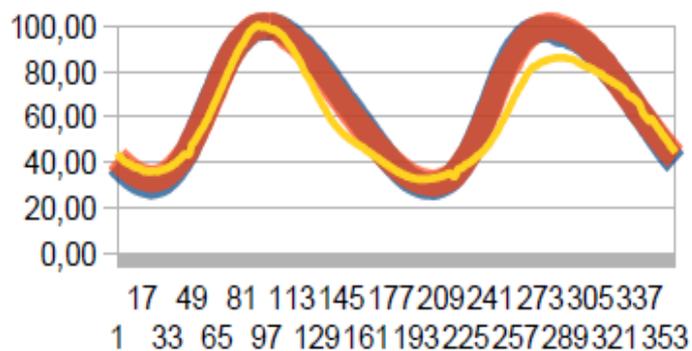
più adeguata, potrebbe raggiungere picchi massimi di Torque maggiori ad angoli successivi rispetto a quelli ottenuti (e più in linea con i dati modello) così da avere anche dei picchi minimi di uguale valore di Torque ma rapporto percentuale minore. Dopo il raggiungimento dei picchi massimi, la fase in discesa dai picchi massimi ai picchi minimi avanza abbastanza lineare ma con inclinazione troppo poco accentuata.



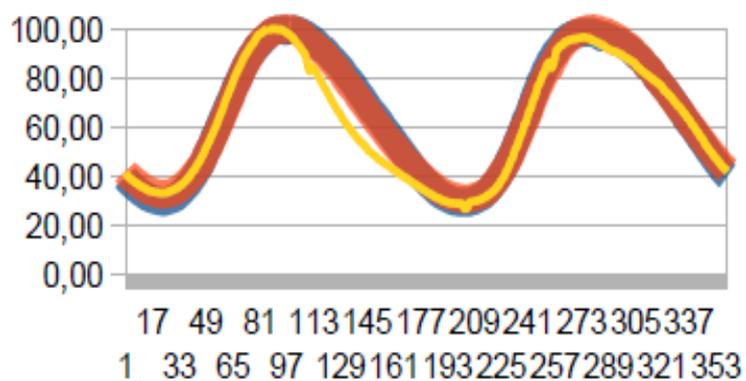
L'ultimo caso che andiamo ad analizzare è particolare e merita una considerazione a parte. Questo atleta ha iniziato e protratto la sua carriera per lunghi anni con gare su pista. Queste gare richiedono una forza esplosiva molto maggiore, in quanto sono caratterizzate da velocità elevate e distanze di gara piuttosto brevi. Inoltre le competizioni su pista vedono gli atleti impegnati a correre su un ovale con curve sopraelevate di circa 250 metri, girando tutto il tempo in senso antiorario. Questa peculiarità potrebbe spiegare l'elevata asimmetria tra picchi massimi che si possono riscontrare nei primi due test effettuati da questo atleta. Dal primo anno in poi, l'atleta in questione si è dedicato sempre meno alla pista concentrandosi sempre maggiormente alle competizioni stradali. Questo cambiamento porta l'atleta a modificare il suo tipo di pedalata, che negli anni vede migliorare l'asimmetria tra picco massimo destro e sinistro. Osserviamo inoltre come la fase discendente assuma un'inclinazione molto marcata. Ciò è spiegabile assegnando all'atleta una spinta molto potente e "quadrata", che prevede raggiungimenti di picchi massimi elevati grazie a una ottima spinta nella prima nella terza fase della pedalata, ma vede una seconda e quarta fase di pedalata in cui l'atleta non riesce a mantenere la rotondità e fluidità di pedalata.



— 10 SCALATORI — 10 PASSISTI
— ThGe1



— 10 SCALATORI — 10 PASSISTI
— ThGe2



— 10 SCALATORI — 10 PASSISTI
— ThGe3

CONCLUSIONE

Vincere una gara è un modo per ripagare gli sforzi di tanti sacrifici, ore ed ore in sella passate sotto ogni condizione meteorologica, rinunce a mangiare in compagnia di amici o vacanze; si ha una sensazione di appagamento incredibile, ci si sente realizzati ed imbattibili.

Per poter ottenere una o più vittorie non bisogna lasciare nulla al caso. Abbiamo visto come la pedalata sia in grado di esprimere la forza prodotta per creare la propulsione. È quindi necessario che anche questo aspetto vada allenato e perfezionato alla miglior tecnica possibile. Sicuramente non tutti hanno a disposizione il materiale tecnico per effettuare tali test, ma tra professionisti, dove si cura il grammo di pasta per essere più forti possibile, un test come questo potrebbe essere fondamentale per migliorare il rendimento di un atleta. Bisognerà cercare quindi di avere una pedalata il più simmetrica possibile, con picchi di forza raggiunti al giusto grado di rivoluzione, per sfruttare al meglio le componenti verticali delle forze impresse sui pedali ed esprimere la massima forza rotatoria possibile. Gli incrementi e i decrementi dovranno avere le loro giuste ampiezze ma soprattutto le giuste inclinazioni, in quanto fasi di spinta con bassa inclinazione porteranno al raggiungimento del picco massimo troppo in ritardo, mentre fasi di decremento con elevata inclinazione culmineranno col raggiungimento del picco minimo troppo precocemente. Per le stesse considerazioni appena fatte, anche le variazioni di velocità di incremento e decremento a metà della salita o della discesa della retta (a metà tra i due picchi) sono preferibili da evitare. Un solo test potrà essere in grado di evidenziare lacune tecniche alle quali cercare di porre rimedio, ma effettuando altri test successivi si avranno le prove numeriche di eventuali miglioramenti. I test non vanno ripetuti a breve tempo l'uno dall'altro, in quanto i miglioramenti ottenuti modificando la pedalata o la posizione in bici si riscontrano solo dopo diversi mesi di allenamento, durante i quali i muscoli ricalibrano i loro parametri ed aggiustano i movimenti.

BIBLIOGRAFIA

- Bini, R. R. and P. A. Hume. "Assessment of Bilateral Asymmetry in Cycling Using a Commercial Instrumented Crank System and Instrumented Pedals." *Int J Sports Physiol Perform* 9, no. 5 (2014): 876-81.
- Bini, R. R., P. A. Hume and A. E. Kilding. "Saddle Height Effects on Pedal Forces, Joint Mechanical Work and Kinematics of Cyclists and Triathletes." *Eur J Sport Sci* 14, no. 1 (2014): 44-52.
- Candau, R. B., F. Grappe, M. Ménard, B. Barbier, G. Y. Millet, M. D. Hoffman, A. R. Belli and J. D. Rouillon. "Simplified Deceleration Method for Assessment of Resistive Forces in Cycling." *Med Sci Sports Exerc* 31, no. 10 (1999): 1441-7.
- Capelli, C. "Physiological Determinants of Best Performances in Human Locomotion." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80, no. 4 (1999): 298-307.
- Capelli, C., G. Rosa, F. Butti, G. Ferretti, A. Veicsteinas and P. E. di Prampero. "Energy Cost and Efficiency of Riding Aerodynamic Bicycles." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 67, no. 2 (1993): 144-9.
- Carpes, F. P., M. Rossato, I. E. Faria and C. Bolli Mota. "Bilateral Pedaling Asymmetry During a Simulated 40-Km Cycling Time-Trial." *J Sports Med Phys Fitness* 47, no. 1 (2007): 51-7.
- Coyle, E. F., M. E. Feltner, S. A. Kautz, M. T. Hamilton, S. J. Montain, A. M. Baylor, L. D. Abraham and G. W. Petrek. "Physiological and Biomechanical Factors Associated with Elite Endurance Cycling Performance." *Med Sci Sports Exerc* 23, no. 1 (1991): 93-107.
- Davis, R. R. and M. L. Hull. "Measurement of Pedal Loading in Bicycling: II. Analysis and Results." *J Biomech* 14, no. 12 (1981): 857-72.
- de Groot, G., A. Sargeant and J. Geysel. "Air Friction and Rolling Resistance During Cycling." *Med Sci Sports Exerc* 27, no. 7 (1995): 1090-5.
- di Prampero, P. E. "Cycling on Earth, in Space, on the Moon." *Eur J Appl Physiol* 82, no. 5-6 (2000): 345-60.
- Ericson, M. "On the Biomechanics of Cycling. A Study of Joint and Muscle Load During Exercise on the Bicycle Ergometer." *Scand J Rehabil Med Suppl* 16, (1986): 1-43.
- Ericson, M. O. "Mechanical Muscular Power Output and Work During Ergometer Cycling at Different Work Loads and Speeds." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 57, no. 4 (1988): 382-7.
- Gardner, A. S., S. Stephens, D. T. Martin, E. Lawton, H. Lee and D. Jenkins. "Accuracy of Srm and Power Tap Power Monitoring Systems for Bicycling." *Med Sci Sports Exerc* 36, no. 7 (2004): 1252-8.
- Hull, M. L. and R. R. Davis. "Measurement of Pedal Loading in Bicycling: I. Instrumentation." *J Biomech* 14, no. 12 (1981): 843-56.
- Hull, M. L. and M. Jorge. "A Method for Biomechanical Analysis of Bicycle Pedalling." *J Biomech* 18, no. 9 (1985): 631-44.
- Jobson, S. A., L. Passfield, G. Atkinson, G. Barton and P. Scarf. "The Analysis and Utilization of Cycling Training Data." *Sports Med* 39, no. 10 (2009): 833-44.
- Mognoni, P. and P. E. di Prampero. "Gear, Inertial Work and Road Slopes as Determinants of Biomechanics in Cycling." *Eur J Appl Physiol* 90, no. 3-4 (2003): 372-6.

- Olds, T. S., K. I. Norton and N. P. Craig. "Mathematical Model of Cycling Performance." *J Appl Physiol* (1985) 75, no. 2 (1993): 730-7.
- Paton, C. D. and W. G. Hopkins. "Tests of Cycling Performance." *Sports Med* 31, no. 7 (2001): 489-96.
- Redfield, R. and M. L. Hull. "Prediction of Pedal Forces in Bicycling Using Optimization Methods." *J Biomech* 19, no. 7 (1986): 523-40.
- Sanderson, D. J., E. M. Hennig and A. H. Black. "The Influence of Cadence and Power Output on Force Application and in-Shoe Pressure Distribution During Cycling by Competitive and Recreational Cyclists." *J Sports Sci* 18, no. 3 (2000): 173-81.
- Sargeant, A. J., A. Charters, C. T. Davies and E. S. Reeves. "Measurement of Forces Applied and Work Performed in Pedalling a Stationary Bicycle Ergometer." *Ergonomics* 21, no. 1 (1978): 49-53.
- Sargeant, A. J. and C. T. Davies. "Forces Applied to Cranks of a Bicycle Ergometer During One- and Two-Leg Cycling." *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 42, no. 4 (1977): 514-8.

RINGRAZIAMENTI

Ciò che mi ha spinto a scrivere la tesi su questo argomento è la passione che nutro per il ciclismo su strada e per il lato scientifico in grado di migliorare le performance. Scrivendo questa tesi ho avuto modo di confrontarmi con il professor Mantovani, ampliando le mie conoscenze grazie alle sue molteplici esperienze in campo professionistico. Un ringraziamento aggiuntivo va a tutte le persone che mi hanno supportato, economicamente e non, durante tutti gli anni di studio.