

Influenza della velocità angolare di pedalata sull'accuratezza della misura della potenza del ciclista

Riassunto (Abstract)

La quasi totalità dei misuratori di potenza per il ciclismo attualmente presenti sul mercato sono posizionati su parti rotanti della bicicletta (pedali, pedivelle, guarniture, movimenti centrali) e, indipendentemente dalle differenze tecnico-costruttive, tutti effettuano il calcolo della potenza sulla base di due grandezze: la coppia e la velocità angolare o di rotazione – cadenza).

Entrambe queste grandezze variano durante i 360 gradi di ogni rotazione.

Il valore della coppia / forza viene usualmente acquisito molte volte durante ogni rotazione, mentre la variazione della velocità angolare è comunemente trascurata considerandone solo il valore medio ad ogni giro (cadenza).

Così facendo però si introduce un **errore non prevedibile** nel calcolo della potenza. Utilizzare il valore medio della velocità angolare, vuol dire considerare ogni pedalata come perfettamente rotonda e uniforme: questo tipo di pedalata nella realtà non esiste.

La velocità angolare può variare per molteplici fattori: stile di pedalata e condizione fisica del ciclista, cadenza e sforzo, pendenza del terreno, tipo di corona utilizzata (tonda o ovale), ecc. Inoltre, in caso di utilizzo di un rullo di allenamento, essa varia a seconda dell'inerzia che lo stesso genera, e quindi può variare da rullo a rullo.

Favero Electronics, con l'obiettivo di assicurare la massima accuratezza dei propri misuratori di potenza in **tutte le condizioni di pedalata**, ha voluto effettuare un'analisi per verificare in che misura la variazione della velocità angolare durante una rotazione influisce sul calcolo della potenza.

L'analisi si è avvalsa della collaborazione di 5 ciclisti, che hanno effettuato nell'ultimo anno da 10'000km a 20'000km, e che sono rappresentativi per caratteristiche fisiche e preparazione atletica di una larga fascia di utilizzatori di misuratori di potenza. Per ogni ciclista sono stati eseguiti 24 test, con prove in diverse situazioni, sia su strada che su rulli di allenamento.

I risultati ottenuti mostrano che la variazione di velocità angolare all'interno di una rotazione influisce considerevolmente sugli errori di calcolo dell'algoritmo che non la contempla. Tali errori arrivano al **-1,6% utilizzando corone tonde** e al **+4,5% utilizzando corone ovali**. Si notano anche differenti comportamenti tra i due rulli da allenamento che sono stati utilizzati.

L'errore può risultare maggiore di quanto rilevato nell'analisi, anche considerevolmente, per i seguenti motivi:

- il test è stato limitato a soli 5 ciclisti: ve ne saranno sicuramente altri che hanno stili di pedalata con variazioni di velocità angolare maggiori di quelle considerate;
- sono stati considerati solo 2 modelli di rullo da allenamento: è possibile che altri modelli evidenzino errori maggiori;
- pendenze in salita maggiori del 5% (unico valore testato) possono comportare disomogeneità di rotazione maggiori e conseguentemente errori maggiori.

Si precisa che l'errore considerato in questa analisi si riferisce solo al fatto che il misuratore, per il calcolo della potenza, considera la velocità angolare media di ogni rotazione. A tale errore si dovrà quindi aggiungere anche l'accuratezza dichiarata dal produttore del misuratore se quest'ultimo esegue il calcolo in tale modo.

Il misuratore di potenza è spesso utilizzato dal ciclista per valutare il miglioramento nel tempo delle proprie prestazioni e quindi la sua accuratezza è importante e non deve essere influenzata da fattori che cambiano col tempo, come lo stile di pedalata (variabile anche con la cadenza e lo sforzo e la condizione fisica), il tipo di rullo o corona che si utilizza, ecc.

Questo studio fa parte di una più ampia ricerca che ha portato **Favero Electronics** all'implementazione del nuovo sistema **IAV Power** di Assioma, il quale unisce soluzioni software proprietarie, atte a sfruttare appieno il giroscopio tre assi integrato, ad algoritmi di calcolo della potenza capaci di gestire la reale variazione di velocità angolare di ogni pedalata. L'accuratezza complessiva di Assioma è stata quindi aumentata al $\pm 1\%$ ed è garantita in **tutte le condizioni di pedalata**, indipendentemente dallo stile, tipo di corona tonda o ovale, tipo di rullo, ecc.

Con il nuovo sistema **IAV Power**, ancora una volta **Favero Electronics** segna un importante avanzamento nell'elettronica per lo sport, grazie all'uso del giroscopio per la rilevazione della velocità angolare istantanea nei misuratori di potenza per il ciclismo, soluzione che a nostro avviso diventerà uno standard tecnologico.

Introduzione

Negli ultimi anni è notevolmente cresciuta la richiesta di misuratori di potenza per il ciclismo, sia nell'ambito tecnico e professionistico, sia in quello amatoriale. Di pari passo è aumentata anche la domanda di accuratezza nella misura della potenza che il ciclista applica durante la pedalata. Assumono quindi importanza le modalità di acquisizione dei segnali necessari alla misura, come pure la successiva elaborazione numerica che produce il risultato finale.

Nel mercato attuale, i misuratori di potenza situati su parti rotanti si possono suddividere in due classi: quelli che nel calcolo usano la media della velocità di rotazione all'interno di una pedalata e quelli che invece tengono conto delle sue variazioni.

Utilizzare il valore medio della velocità angolare, vuol dire considerare ogni pedalata come perfettamente rotonda e uniforme: questo tipo di pedalata nella realtà non esiste.

Favero Electronics, nell'obiettivo di migliorare costantemente la qualità dei propri prodotti, ha voluto indagare quanto le due diverse modalità di calcolo influiscano sull'accuratezza del risultato finale in diverse condizioni di corsa.

Modello matematico

La forza F_A impressa dal ciclista sul pedale non è mai sfruttata totalmente, in quanto solo la parte di essa tangenziale F_T alla rotazione della pedivella produce la coppia propulsiva M e quindi risulta efficace al movimento della bicicletta; la componente centrifuga F_C della forza applicata viene persa ai fini del movimento. La coppia propulsiva M è tanto maggiore quanto più lungo è il braccio b_C della pedivella:

$$M = F_T \cdot b_C$$

La potenza utile che il ciclista applica al meccanismo di propulsione dipende, oltre che dalla coppia, anche dalla velocità di rotazione della pedivella ω (legata alla cadenza):

$$P = M \cdot \omega = F_T \cdot b_C \cdot \omega$$

Questa potenza, detta istantanea, varia lungo i 360° di giro di una pedalata, in quanto variano sia la forza tangenziale F_T , sia la velocità di rotazione ω ; normalmente, per rendere usufruibile il dato misurato, viene considerata la potenza media P_M di un intero ciclo di pedalata. L'acquisizione delle grandezze in questione, F_T e ω , avviene, mediante opportuni sensori, ad intervalli regolari sufficientemente piccoli rispetto alla durata totale di un giro di pedalata, ed i valori rilevati sono detti campioni.

Di seguito sono esaminati i due algoritmi di calcolo della potenza attualmente impiegati dai misuratori di potenza presenti sul mercato, li identificheremo con:

- algoritmo **AAVpwr** – Average Angular Velocity Power;
- algoritmo **IAVpwr** – Instantaneous Angular Velocity Power.

Da notare che tutte le seguenti considerazioni, pur se riferite al pedale, restano valide anche quando i punti in cui si rivela la coppia M e la velocità di rotazione ω sono situati sulla pedivella o sulla garnitura o sul movimento centrale.

Algoritmo AAVpwr (Average Angular Velocity Power)

In questo metodo per il calcolo della potenza media P_{M1} di una completa rotazione, sono misurate la velocità di rotazione media ω_M dell'intera pedalata e la forza tangenziale media F_{TM} ; successivamente è eseguito il calcolo finale:

$$P_{M1} = F_{TM} \cdot b_C \cdot \omega_M$$

Per il calcolo di F_{TM} , la somma dei campioni $F_T(k)$ della forza tangenziale, acquisiti lungo l'intera pedalata, è divisa per il numero totale dei campioni N :

$$F_{TM} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N F_T(k)$$

Normalmente la velocità di rotazione media ω_M è derivata dalla durata completa (periodo) T di una pedalata:

$$\omega_M = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$



Fig. 1: Forze applicate al pedale. FT: forza tangenziale, FC: forza centrifuga, M: coppia propulsiva.

Algoritmo IAVpwr (Instantaneous Angular Velocity Power)

In questo secondo metodo per il calcolo della potenza media P_{M2} di una completa rotazione, i campioni della forza tangenziale $F_T(k)$ e della velocità di rotazione $\omega(k)$ sono acquisiti insieme, ne viene eseguito il prodotto che viene sommato progressivamente; al termine della pedalata si ottiene il risultato finale operando la divisione per il numero di campioni N .

$$P_{M2} = \frac{b_C}{N} \cdot \sum_{k=1}^N F_T(k) \cdot \omega(k)$$

Vi è quindi una maggiore aderenza dell'algoritmo alle variazioni istantanee della forza tangenziale F_T e della velocità di rotazione ω all'interno della pedalata.

In appendice si può trovare la trattazione teorica del calcolo della potenza.

Procedura di prova

Sono state acquisite e registrate la forza tangenziale F_T e la velocità di rotazione ω durante le pedalate di più ciclisti, in varie situazioni di corsa. Ai dati acquisiti sono stati successivamente applicati entrambi gli algoritmi di calcolo della potenza AAVpwr e IAVpwr (usando l'integrazione trapezoidale) per confrontarne i risultati.

Modalità di acquisizione ed elaborazione dei dati

L'acquisizione dei segnali fisici, forza tangenziale F_T e velocità di rotazione ω , è stata eseguita ogni 5 ms con il misuratore di potenza **ASSIOMA**®, dotato di un firmware opportunamente realizzato; questo, in tempo reale e mediante il protocollo radio **Bluetooth® low energy technology**, comunicava i dati ad un PC portatile per la loro registrazione in un file in formato csv.

Ogni riga di questo file riporta la data, l'orario e l'istante di campionamento, un contatore progressivo del messaggio radio per la rivelazione dei pacchetti persi, quindi i valori a 24 bit dei segnali menzionati in grammi forza [*gf*] e millesimi di gradi al secondo [*mdps*].

Tale metodologia, sviluppata appositamente, consente di acquisire i segnali nelle più svariate condizioni d'uso, sia in ambiente interno e controllato, sia all'esterno.

Poiché lo scopo della ricerca non era quello di misurare la potenza totale applicata dal ciclista, sono stati acquisiti solo i segnali relativi al pedale sinistro; in tutte le tabelle successive, per simulare la potenza applicata dal ciclista con entrambe le gambe, viene raddoppiata la potenza misurata dal singolo pedale.

Successivamente i file con i dati acquisiti sono stati elaborati off-line mediante il pacchetto software di computazione numerica **SCILAB** per isolare le singole pedalate e calcolare la potenza con i due algoritmi AAVpwr e IAVpwr.

Attrezzature utilizzate

Per tutte le prove è stata impiegata sempre la stessa bicicletta dotata di pedivelle di lunghezza 172.5mm, equipaggiata con una coppia di dispositivi **ASSIOMA**®, dotati di un apposito firmware ed aventi le seguenti caratteristiche:

- giroscopio interno, calibrato con accuratezza 0.1% mediante encoder e dispositivo di misura NI-6211 – costruttore **National Instruments**, per la misura della velocità angolare;
- otto estensimetri applicati al perno del pedale per la misura delle forze impresse sul pedale calibrate con un'accuratezza dello 0.1% mediante masse tarate con classe di accuratezza M1; da notare che le eventuali variazioni dovute alla temperatura agiscono su entrambi gli algoritmi e quindi non influiscono sul risultato del loro confronto;
- comunicazione radio mediante protocollo **Bluetooth® low energy technology**.

Per la comunicazione radio il PC portatile è stato dotato di chiavetta Bluetooth 4.0 USB, modello **USB-BT400**, costruttore ASUS.

Nei test in laboratorio sono stati usati i seguenti due rulli per l'allenamento, rappresentativi delle varie tipologie presenti nel mercato:

- **Qubo Power Mag**, costruttore Elite;
- **NEO Smart**, costruttore Tacx.

Sono state usate le seguenti due corone di trasmissione:

- circolare: **PRAXIS 110BCD 50/34 10/11SP 7075-T6**;
- ovale: **OSYMETRIC 110mm – 50R**.

Caratteristiche dei ciclisti

Nella seguente Tabella 1 sono riportati i dati generali di ogni ciclista che ha eseguito la prova completa (24 test); questi sono stati selezionati affinché avessero almeno 10'000 km di corsa per anno e coprissero una larga fascia di possibili utilizzatori dei misuratori di potenza.

Tabella 1: Caratteristiche generali dei ciclisti impegnati nella prova (FTP: potenza alla soglia funzionale).

Ciclista	Genere	Età	Altezza [cm]	Peso [kg]	FTP [W]	FTP / peso	km / anno	tipologia	categoria
C01	maschio	39	172	65	330	5.1	20'000	ex professionista	2
C02	maschio	42	176	71	260	3.7	10'000	ciclo amatore	5
C03	maschio	32	180	68	360	5.3	10'000	MTB elite	2
C04	maschio	50	170	67	270	4.0	10'000	ciclo amatore	4
C05	maschio	19	177	62	280	4.5	20'000	under 23	3

Protocollo di misura

La prova completa, somministrata ai 5 ciclisti, è stata suddivisa in una serie di **24 test**, in ognuno dei quali è stata impostata una particolare condizione di pedalata per verificarne l'impatto sui risultati dei due algoritmi; in particolare sono state contemplate le 24 combinazioni elencate nella Tabella 2, ma l'ordine di esecuzione dei singoli test non è stato vincolante.

Prima dell'inizio della prova, ogni ciclista ha eseguito una fase di riscaldamento di circa 5 minuti e tra un test e l'altro una fase di recupero. Sono stati effettuati sia test all'interno sui rulli, sia test su strada all'esterno.

Test su strada all'esterno

È stato percorso sempre lo stesso itinerario in andata e ritorno, visualizzato in Fig. 2, composto di una parte in piano (circa 7 km) ed una in salita (circa 1 km con il 5% di pendenza) e successiva discesa; la salita è stata ripetuta due volte, prima in posizione da seduto e poi in piedi sui pedali. Nei tratti in piano è stato richiesto ai ciclisti di rimanere seduti e produrre una velocità di pedalata di circa 100 rpm all'andata e 90 rpm al ritorno. Nelle salite, oltre alla posizione sulla bici, non sono state date altre consegne particolari.

La potenza calcolata con i due algoritmi è stata ottenuta come media di un intervallo di almeno 90 secondi in cui ci fosse uniformità di pedalata; sono stati esclusi i tratti con forti variazioni dovuti a fermate, frenate, ripartenze e scatti.

Test sui rulli in laboratorio

Ai ciclisti è stato richiesto di raggiungere la configurazione di pedalata prevista, quindi di mantenerla per almeno 40 secondi continui mentre avveniva l'acquisizione dei segnali. La potenza di pedalata calcolata con i due algoritmi è la media dell'intera durata del test, individuando l'inizio e la fine di ciascuna pedalata.

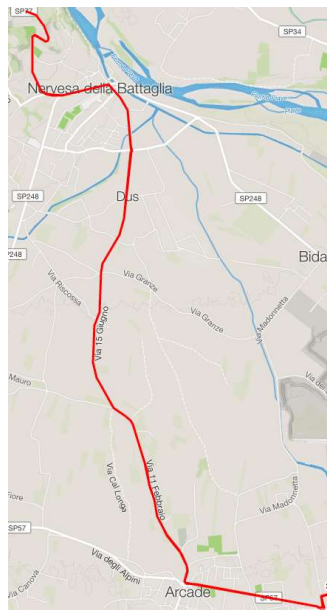


Fig. 2: Percorso stradale utilizzato nei test all'esterno e relativa altimetria.

Tabella 2: Lista e configurazione dei test eseguiti da ciascun ciclista.

Test	corona	modalità	posizione	FTP [%]	cadenza [rpm]
T.1.1.1	circolare	su rullo Elite Qubo Power Mag	seduto	70	90
T.1.1.2					110
T.1.1.3				95	90
T.1.1.4					70
T.1.2.1	circolare	su rullo Tacx Neo Smart	seduto	70	90
T.1.2.2					110
T.1.2.3				95	90
T.1.2.4					70
T.1.3.1	circolare	su strada, pianura	seduto	Libera scelta del ciclista	100
T.1.3.2		su strada, in salita 5%	seduto	Libera scelta del ciclista	Libera scelta
T.1.3.3		su strada, in salita 5%	in piedi	Libera scelta del ciclista	Libera scelta
T.1.3.4		su strada, in pianura	seduto	Libera scelta del ciclista	90
T.2.1.1	ovale	su rullo Elite Qubo Power Mag	seduto	70	90
T.2.1.2					110
T.2.1.3				95	90
T.2.1.4					70
T.2.2.1	ovale	su rullo Tacx Neo Smart	seduto	70	90
T.2.2.2					110
T.2.2.3				95	90
T.2.2.4					70
T.2.3.1	ovale	su strada, pianura	seduto	Libera scelta del ciclista	100
T.2.3.2		su strada, in salita 5%	seduto	Libera scelta del ciclista	Libera scelta
T.2.3.3		su strada, in salita 5%	in piedi	Libera scelta del ciclista	Libera scelta
T.2.3.4		su strada, in pianura	seduto	Libera scelta del ciclista	90

Risultati

I risultati di tutti i 24 test, ciascuno eseguito con 5 ciclisti, sono riportati in appendice nelle 24 tabelle 9 ~ 32.

Le conclusioni di tali test sono state raggruppate in gruppi da 4 nelle seguenti 6 tabelle 3 ~ 8, ciascuna delle quali si riferisce ad una specifica condizione di prova.

Per ogni test, eseguito da 5 ciclisti, viene riportato l'errore medio, ottenuto come media dei 5 ciclisti, e l'errore massimo riscontrato tra i 5 ciclisti.

Per errore si intende la differenza percentuale della potenza calcolata con l'algoritmo AAVpwr rispetto a quella calcolata con IAVpwr.

Si ricorda che AAVpwr considera, erroneamente, la velocità di rotazione media dell'intera pedalata, mentre IAVpwr esegue correttamente il calcolo considerandone le variazioni.

Test con corona circolare e rullo Elite Qubo

Nella seguente Tabella 3 si osserva che, nelle varie situazioni, l'algoritmo di calcolo AAVpwr mediamente tende a sottostimare tra -0.22% e -0.86% il valore della potenza, ma si osserva anche un errore massimo di -1.59%.

Tabella 3: Risultati ottenuti con corona circolare e rullo Elite Qubo.

test	descrizione	FTP [%]	cadenza [rpm]	errore medio [%]	errore massimo [%]
T.1.1.1	Round ring	70	90	-0.36	-0.71
T.1.1.2	Elite Qubo		110	-0.22	-0.66
T.1.1.3	trainer	95	90	-0.51	-1.15
T.1.1.4	Seated		70	-0.86	-1.59

Test con corona circolare e rullo Tacx NEO smart

Anche in questa situazione, i cui risultati sono riportati in Tabella 4, si osserva un errore di sottostima della potenza calcolata con l'algoritmo AAVpwr.

Tabella 4: Risultati ottenuti con corona circolare e rullo Tacx NEO Smart.

test	descrizione	FTP [%]	cadenza [rpm]	errore medio [%]	errore massimo [%]
T.1.2.1	Round ring	70	90	-0.13	-0.22
T.1.2.2	Tacx NEO		110	-0.12	-0.52
T.1.2.3	Smart	95	90	-0.17	-0.31
T.1.2.4	trainer		70	-0.30	-0.45

Test con corona circolare, su strada

Dalla Tabella 5 si evince un errore di sovrastima della potenza calcolata AAVpwr che può arrivare a +0.84%.

Tabella 5: Risultati ottenuti con corona circolare, su strada

test	descrizione	errore medio [%]	errore massimo [%]
T.1.3.1	round ring, flat road, seated, 100rpm	+0.04	+0.15
T.1.3.2	round ring, climb 5%, seated	+0.47	+0.63
T.1.3.3	round ring, climb 5%, standing	+0.48	+0.84
T.1.3.4	round ring, flat road, seated, 90rpm	+0.10	+0.20

Test con corona ovale e rullo Elite Qubo

Con la corona ovale l'errore di sovrastima della potenza AAVpwr risulta mediamente del +2,5%, col massimo che arriva a +3,3%.

Tabella 6: Risultati ottenuti con corona ovale e rullo Elite Qubo.

test	descrizione	FTP [%]	cadenza [rpm]	errore medio [%]	errore massimo [%]
T.2.1.1	Oval ring	70	90	+2.73	+2.98
T.2.1.2	Elite Qubo		110	+2.97	+3.30
T.2.1.3	trainer	95	90	+2.51	+2.95
T.2.1.4	Seated		70	+1.97	+2.27

Test con corona ovale e rullo Tacx NEO smart

In questa situazione, la corona ovale porta l'algoritmo AAVpwr a sovrastimare la potenza mediamente del +3.1%, con il massimo che arriva al +3.79%.

Tabella 7: Risultati ottenuti con corona ovale e rullo Tacx NEO Smart.

test	descrizione	FTP [%]	cadenza [rpm]	errore medio [%]	errore massimo [%]
T.2.2.1	Oval ring	70	90	+3.15	+3.32
T.2.2.2	Tacx NEO		110	+3.21	+3.79
T.2.2.3	Smart	95	90	+3.25	+3.76
T.2.2.4	trainer		70	+2.71	+3.14

Test con corona ovale, su strada

Su strada l'effetto della corona ovale sull'errore commesso con l'algoritmo AAVpwr viene esaltato, in quanto mediamente risulta del +3.9%, col massimo che arriva al +4.54%.

Tabella 8: Risultati ottenuti con corona ovale, su strada.

test	descrizione	errore medio [%]	errore massimo [%]
T.2.3.1	Oval ring, flat road, seated, 100rpm	+3.85	+4.16
T.2.3.2	Oval ring, climb 5%, seated	+3.90	+4.54
T.2.3.3	Oval ring, climb 5%, standing	+3.93	+4.51
T.2.3.4	Oval ring, flat road, seated, 90rpm	+3.90	+4.29

Discussione

Dall'analisi delle varie prove e dei relativi risultati emergono alcune interessanti conclusioni; la prima di queste, e che risalta immediatamente, è la differenza sostanziale di risposta degli algoritmi di calcolo a seconda della corona di trasmissione circolare o ovale utilizzata.

La discussione segue distinguendo i risultati in base al tipo di corona.

Errori nel calcolo della potenza utilizzando corone circolari

Con la corona di trasmissione circolare, l'errore medio commesso dall'algoritmo AAVpwr rispetto a IAVpwr varia dal -0.86% (test T.1.1.4, Tabella 3) al +0,48% (test T.1.1.3, Tabella 5), arrivando ad un valore massimo di -1.59%. Osservando la Tabella 5 che si riferisce a prove su strada, l'errore di misura in pianura risulta trascurabile (massimo +0,2%), mentre con salita 5% vi è una sovrastima media di circa il +0,5% e ciò è giustificato dalla maggiore irregolarità della pedalata sotto sforzo. Si presume che aumentando la pendenza della salita, aumenti l'errore.

Osservando invece le tabelle 3 e 4, relative ai test sui rulli, si ha invece una sottostima, che è anche differente per i 2 tipi di rullo che arriva al -1,59% (test T.1.1.4, Tabella 3).

Desiderando verificare l'intervallo dell'errore per lo stesso ciclista contemplando tutte le sue prove su strada e su rulli, si può andare (vedi Tabella 37 del ciclista C.03) da un -1,59% del test T.1.1.4 ad un +0.62% del test T.1.3.2, per cui vi è una differenza di ben il 2.21%. Ciò significa che se il misuratore utilizza l'algoritmo AAVpwr, esso può visualizzare la stessa potenza anche se nella realtà vi è il 2.21% di differenza.

Errori nel calcolo della potenza utilizzando la corona ovale

Si desidera far presente che la corona ovale utilizzata (OSYMETRIC 110mm - 50R) è probabilmente una delle più ovalizzate attualmente nel mercato e quindi corone con ovalizzazione inferiore causano errori minori.

L'algoritmo AAVpwr, che quindi non contempla l'andamento della velocità di rotazione all'interno della pedalata, mediamente sovrastima la potenza di circa 2 ~ 4 % (Tabelle 6, 7 e 8) arrivando ad un valore massimo del +4.54%. L'errore di sovrastima viene evidenziato soprattutto nei test realizzati su strada, rispetto a quelli eseguiti sui rulli (circa 1% in più), e per di più si osserva una differenza tra le risposte negli stessi rulli (Tabelle 6 e 7).

Si fa notare che questa analisi non ha lo scopo di trovare la ragione del differente comportamento tra strada e rulli e tra rullo e rullo, che si presume possa essere dovuta ad un differente comportamento inerziale e metodologia di frenata nei rulli, ma solo di constatarne la differenza.

Desiderando anche qui verificare l'intervallo dell'errore per lo stesso ciclista contemplando tutte le sue prove su strada e su rulli, si può andare (vedi Tabella 34 del ciclista C.01) da un +1,85% del test T.2.1.4 ad un +4.51% del test T.2.3.3, con una differenza di ben il 2.65%. Ciò significa che se il misuratore utilizza l'algoritmo AAVpwr, esso può visualizzare la stessa potenza anche se nella realtà vi è il 2.65% di differenza.

Considerazioni generali

Considerando che l'analisi ha riguardato solamente un limitato numero di situazioni, e, soprattutto, le prove sono state eseguite da solo 5 ciclisti e usando solamente 2 rulli, si presume che ampliando la casistica, l'errore può solo aumentare.

Anche con salite di maggiore pendenza a quella considerata del 5%, l'errore può aumentare.

In tutti i casi contemplati, sia quelli con corona circolare che con corona ovale, oltre agli errori riscontrati, occorre aggiungere l'accuratezza dichiarata del misuratore di potenza che non considera nel calcolo la variazione della velocità di rotazione, e che generalmente si assesta attorno a 1%.

La dipendenza dell'errore percentuale dell'algoritmo AAVpwr dalla variazione percentuale della velocità di rotazione della pedalata (massimo - minimo, rispetto alla media) è evidenziata nel grafico di Fig. 3, in cui è anche visualizzata una linea di tendenza di tipo polinomiale del 4° grado, avente un elevato indice di correlazione $R^2 = 0.93$. In tale grafico sono riportati i risultati di tutti i test suddivisi per ciclista, mentre la linea di tendenza fa riferimento alla totalità di questi. È evidente che tutte le condizioni di corsa che producono un aumento della disomogeneità della velocità di rotazione all'interno della pedalata, influiscono in modo crescente sull'errore di calcolo della potenza; tali condizioni dipendono dai mezzi utilizzati (corone trasmissione), situazione di corsa (rulli o strada, pianura o salita), ma anche dalle modalità di pedalata del singolo ciclista.

È bene far presente che tutti gli errori qui rilevati, causati quando non viene considerata nel calcolo della potenza la variazione della velocità all'interno del ciclo di pedalata, sono esattamente gli stessi per tutti i misuratori di potenza installati su pedale, pedivella, guarnitura/corona, movimento centrale, poiché sono tutti soggetti alle stesse variazioni di velocità.

Con questa ricerca si è dimostrata l'importanza di dotare i misuratori di potenza di un giroscopio per poter rilevare con precisione la velocità angolare istantanea.

Dato che l'algoritmo IAVpwr esegue la misura corretta della potenza indipendentemente si utilizzi una corona circolare oppure ovale, un misuratore di potenza che lo utilizzi può aiutare un ciclista a valutare il tipo di corona con cui riesce a esprimere maggiore potenza.

Ringraziamenti

Si ringraziano i ciclisti che hanno eseguito la prova per la loro disponibilità, considerando la fatica a cui si sono sottoposti.

Riferimenti

1. www.scilab.org
2. www.elite-it.com
3. www.tacx.com
4. www.thisisant.com
5. www.bluetooth.com

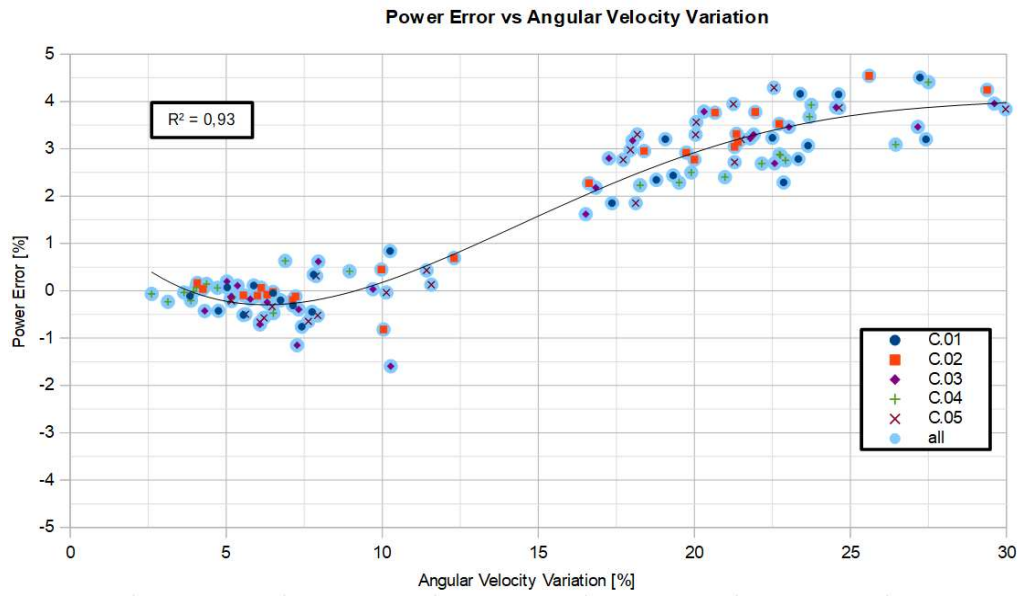


Fig. 3: Correlazione tra la variazione della velocità angolare ed errore dell'algoritmo AAVpwr nel calcolo della potenza.

Risultati suddivisi per tipologia di test

In questa sezione, si elencano in 24 tabelle, dalla n.9 alla n.32, i risultati ottenuti dei 24 test. Nelle colonne sono riportati: **(a)** l'identificativo del ciclista, **(b)** il file csv registrato durante il test, **(c)** la variazione massimo-minimo di velocità di rotazione all'interno di una pedalata rapportata alla velocità media, **(d)** la potenza calcolata con l'algoritmo IAVpwr, **(e)** la potenza ottenuta con l'algoritmo AAVpwr, **(f)** l'errore relativo percentuale commesso dal secondo algoritmo.

I valori di potenza visualizzati sono quelli raddoppiati ottenuti dal solo pedale sinistro. Per il calcolo della coppia si è utilizzata come lunghezza di pedivella il valore di 172.5 mm. Ogni tabella rimanda ad un grafico di una pedalata tipica dei ciclisti.

Tabella 9: Test **T.1.1.1** - corona circolare, nullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm ([grafico T.1.1.1 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.1.1.1 - C01 - 01 (2018.02.05 10.03.27).csv	4.8	258.5	257.4	-0.42
C02	T.1.1.1 - C02 - 01 (2018.02.09 11.33.13).csv	4.3	180.6	180.7	+0.04
C03	T.1.1.1 - C03 - 01 (2018.02.15 03.46.22).csv	6.1	261.3	259.4	-0.71
C04	T.1.1.1 - C04 - 01 (2018.02.16 03.54.31).csv	3.1	216.1	215.6	-0.23
C05	T.1.1.1 - C05 - 01 (2018.02.19 03.31.24).csv	5.6	234.8	233.7	-0.49

max = -0.71
med = -0.36

Tabella 10: Test **T.1.1.2** - corona circolare, nullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm ([grafico T.1.1.2 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.1.1.2 - C01 - 01 (2018.02.05 10.05.04).csv	3.8	225.6	225.4	-0.11
C02	T.1.1.2 - C02 - 01 (2018.02.09 11.34.39).csv	4.1	188.7	189.0	+0.16
C03	T.1.1.2 - C03 - 01 (2018.02.15 03.48.03).csv	4.3	256.2	255.1	-0.43
C04	T.1.1.2 - C04 - 01 (2018.02.16 03.56.33).csv	2.6	172.8	172.7	-0.06
C05	T.1.1.2 - C05 - 01 (2018.02.19 03.33.06).csv	6.1	222.6	221.1	-0.66

max = -0.43
med = -0.22

Tabella 11: Test **T.1.1.3** - corona circolare, nullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 90 rpm ([grafico T.1.1.3 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.1.1.3 - C01 - 01 (2018.02.05 10.06.35).csv	5.6	306.8	305.3	-0.51
C02	T.1.1.3 - C02 - 01 (2018.02.09 11.36.31).csv	5.6	264.1	263.8	-0.09
C03	T.1.1.3 - C03 - 01 (2018.02.15 03.50.03).csv	7.3	326.3	322.6	-1.15
C04	T.1.1.3 - C04 - 01 (2018.02.16 03.58.53).csv	3.9	276.6	276.0	-0.21
C05	T.1.1.3 - C05 - 01 (2018.02.19 03.35.16).csv	6.2	262.7	261.2	-0.57

max = -1.15
med = -0.51

Tabella 12: Test **T.1.1.4** - corona circolare, nullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm ([grafico T.1.1.4 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.1.1.4 - C01 - 01 (2018.02.05 10.09.40).csv	7.4	286.0	283.8	-0.76
C02	T.1.1.4 - C02 - 01 (2018.02.09 11.39.26).csv	10.0	234.1	232.1	-0.82
C03	T.1.1.4 - C03 - 01 (2018.02.15 03.52.03).csv	10.3	335.4	330.0	-1.59
C04	T.1.1.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.01.28).csv	6.5	261.1	259.9	-0.47
C05	T.1.1.4 - C05 - 01 (2018.02.19 03.37.31).csv	7.6	234.1	232.6	-0.64

max = -1.59
med = -0.86

Tabella 13: Test **T.1.2.1** – corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm ([grafico T.1.2.1 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.1.2.1 - C01 - 01 (2018.02.05 10.14.09).csv	6.7	227.3	226.8	-0.20	max = -0.22 med = -0.13
C02	T.1.2.1 - C02 - 01 (2018.02.09 11.44.28).csv	6.3	186.2	186.0	-0.08	
C03	T.1.2.1 - C03 - 01 (2018.02.15 03.57.01).csv	5.2	258.0	257.7	-0.12	
C04	T.1.2.1 - C04 - 01 (2018.02.16 04.06.48).csv	3.7	200.5	200.4	-0.04	
C05	T.1.2.1 - C05 - 01 (2018.02.19 03.43.16).csv	5.2	224.2	223.7	-0.22	

Tabella 14: Test **T.1.2.2** – corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm ([grafico T.1.2.2 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.1.2.2 - C01 - 01 (2018.02.05 10.15.39).csv	6.5	247.2	247.1	-0.05	max = -0.52 med = -0.12
C02	T.1.2.2 - C02 - 01 (2018.02.09 11.46.03).csv	6.1	206.4	206.5	+0.06	
C03	T.1.2.2 - C03 - 01 (2018.02.15 03.58.58).csv	5.8	273.5	273.0	-0.18	
C04	T.1.2.2 - C04 - 01 (2018.02.16 04.09.10).csv	4.0	209.9	210.1	+0.07	
C05	T.1.2.2 - C05 - 01 (2018.02.19 03.45.09).csv	7.9	250.1	248.8	-0.52	

Tabella 15: Test **T.1.2.3** – corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 90 rpm ([grafico T.1.2.3 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.1.2.3 - C01 - 01 (2018.02.05 10.17.51).csv	7.1	310.7	309.7	-0.31	max = -0.31 med = -0.17
C02	T.1.2.3 - C02 - 01 (2018.02.09 11.48.28).csv	7.2	231.8	231.6	-0.12	
C03	T.1.2.3 - C03 - 01 (2018.02.15 04.00.38).csv	6.3	333.4	332.6	-0.24	
C04	T.1.2.3 - C04 - 01 (2018.02.16 04.11.35).csv	4.0	252.7	252.7	-0.01	
C05	T.1.2.3 - C05 - 01 (2018.02.19 03.47.08).csv	5.1	274.1	273.6	-0.19	

Tabella 16: Test **T.1.2.4** – corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm ([grafico T.1.2.4 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.1.2.4 - C01 - 01 (2018.02.05 10.19.52).csv	7.8	304.2	302.8	-0.45	max = -0.45 med = -0.30
C02	T.1.2.4 - C02 - 01 (2018.02.09 11.50.29).csv	7.1	228.6	228.2	-0.20	
C03	T.1.2.4 - C03 - 01 (2018.02.15 04.03.04).csv	7.3	330.8	329.5	-0.39	
C04	T.1.2.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.13.47).csv	5.2	243.2	242.9	-0.13	
C05	T.1.2.4 - C05 - 01 (2018.02.19 03.49.14).csv	6.5	272.8	271.9	-0.33	

Tabella 17: Test **T.1.3.1** – corona circolare, su strada, pianura, seduto, cadenza 100 rpm ([grafico T.1.3.1 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.1.3.1 - C01 - 01 (2018.02.05 10.46.08).csv	5.0	205.8	205.9	+0.07	max = +0.15 med = +0.04
C02	T.1.3.1 - C02 - 01 (2018.02.09 10.44.12).csv	6.0	161.3	161.2	-0.10	
C03	T.1.3.1 - C03 - 01 (2018.02.15 02.45.51).csv	5.4	245.7	246.0	+0.11	
C04	T.1.3.1 - C04 - 01 (2018.02.16 02.55.38).csv	4.4	168.8	169.0	+0.15	
C05	T.1.3.1 - C05 - 01 (2018.02.19 02.38.43).csv	10.1	178.8	178.8	-0.04	

Tabella 18: Test **T.1.3.2** – corona circolare, su strada, salita 5%, seduto ([grafico T.1.3.2 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione cadenza angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.1.3.2 - C01 - 01 (2018.02.05 11.02.14).csv	7.8	331.4	332.5	+0.34
C02	T.1.3.2 - C02 - 01 (2018.02.09 11.01.29).csv	10.0	268.9	270.1	+0.45
C03	T.1.3.2 - C03 - 01 (2018.02.15 03.05.54).csv	8.0	357.2	359.4	+0.62
C04	T.1.3.2 - C04 - 01 (2018.02.16 03.11.41).csv	6.9	258.8	260.4	+0.63
C05	T.1.3.2 - C05 - 01 (2018.02.19 02.54.52).csv	7.9	259.5	260.3	+0.31

max = +0.63
med = +0.47

Tabella 19: Test **T.1.3.3** – corona circolare, su strada, salita 5%, in piedi ([grafico T.1.3.3 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.1.3.3 - C01 - 01 (2018.02.05 11.02.14).csv	10.3	350.9	353.8	+0.84
C02	T.1.3.3 - C02 - 01 (2018.02.09 11.06.37).csv	12.3	286.7	288.7	+0.69
C03	T.1.3.3 - C03 - 01 (2018.02.15 03.15.11).csv	9.7	360.6	360.7	+0.03
C04	T.1.3.3 - C04 - 01 (2018.02.16 03.17.11).csv	9.0	306.0	307.3	+0.41
C05	T.1.3.3 - C05 - 01 (2018.02.19 03.00.28).csv	11.4	292.2	293.5	+0.43

max = +0.84
med = +0.48

Tabella 20: Test **T.1.3.4** – corona circolare, su strada, pianura, seduto, cadenza 90rpm ([grafico T.1.3.4 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.1.3.4 - C01 - 01 (2018.02.05 11.11.14).csv	5.9	241.6	241.9	+0.11
C02	T.1.3.4 - C02 - 01 (2018.02.09 11.11.38).csv	6.5	215.1	215.1	-0.02
C03	T.1.3.4 - C03 - 01 (2018.02.15 03.20.22).csv	5.0	262.1	262.6	+0.20
C04	T.1.3.4 - C04 - 01 (2018.02.16 03.22.57).csv	4.7	165.8	165.9	+0.06
C05	T.1.3.4 - C05 - 01 (2018.02.19 03.06.14).csv	11.6	179.9	180.1	+0.13

max = +0.20
med = +0.10

Tabella 21: Test **T.2.1.1** – corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm ([grafico T.2.1.1 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.2.1.1 - C01 - 01 (2018.02.05 09.50.29).csv	19.3	251.4	257.5	+2.44
C02	T.2.1.1 - C02 - 01 (2018.02.09 12.06.38).csv	19.7	180.7	186.0	+2.92
C03	T.2.1.1 - C03 - 01 (2018.02.15 04.21.03).csv	17.3	270.3	277.9	+2.80
C04	T.2.1.1 - C04 - 01 (2018.02.16 04.31.26).csv	19.9	213.5	218.8	+2.50
C05	T.2.1.1 - C05 - 01 (2018.02.19 04.08.29).csv	18.0	221.4	228.0	+2.98

max = +2.98
med = +2.73

Tabella 22: Test **T.2.1.2** – corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm ([grafico T.2.1.2 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.2.1.2 - C01 - 01 (2018.02.05 09.51.57).csv	19.1	227.3	234.6	+3.20
C02	T.2.1.2 - C02 - 01 (2018.02.09 12.07.59).csv	20.0	193.7	199.1	+2.77
C03	T.2.1.2 - C03 - 01 (2018.02.15 04.24.02).csv	18.0	260.3	268.5	+3.17
C04	T.2.1.2 - C04 - 01 (2018.02.16 04.33.38).csv	21.0	195.3	200.0	+2.40
C05	T.2.1.2 - C05 - 01 (2018.02.19 04.10.12).csv	18.2	187.8	194.0	+3.30

max = +3.30
med = +2.97

Tabella 23: Test **T.2.1.3** – corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 90 rpm ([grafico T.2.1.3 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.2.1.3 - C01 - 01 (2018.02.05 09.53.59).csv	18.8	325.1	332.7	+2.34	max = +2.95 med = +2.51
C02	T.2.1.3 - C02 - 01 (2018.02.09 12.10.26).csv	18.4	226.1	232.7	+2.95	
C03	T.2.1.3 - C03 - 01 (2018.02.15 04.25.44).csv	16.8	340.9	348.3	+2.18	
C04	T.2.1.3 - C04 - 01 (2018.02.16 04.35.20).csv	19.5	291.4	298.0	+2.29	
C05	T.2.1.3 - C05 - 01 (2018.02.19 04.12.56).csv	17.7	280.6	288.4	+2.77	

Tabella 24: Test **T.2.1.4** – corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm ([grafico T.2.1.4 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.2.1.4 - C01 - 01 (2018.02.05 09.55.59).csv	17.4	309.0	314.8	+1.85	max = +2.27 med = +1.96
C02	T.2.1.4 - C02 - 01 (2018.02.09 12.12.00).csv	16.6	235.8	241.2	+2.27	
C03	T.2.1.4 - C03 - 01 (2018.02.15 04.29.55).csv	16.5	312.6	317.7	+1.62	
C04	T.2.1.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.37.22).csv	18.3	278.4	284.6	+2.23	
C05	T.2.1.4 - C05 - 01 (2018.02.19 04.15.42).csv	18.1	258.5	263.3	+1.85	

Tabella 25: Test **T.2.2.1** – corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm ([grafico T.2.2.1 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.2.2.1 - C01 - 01 (2018.02.05 09.25.05).csv	23.6	224.2	231.1	+3.07	max = +3.32 med = +3.15
C02	T.2.2.1 - C02 - 01 (2018.02.09 11.56.05).csv	21.4	193.8	200.2	+3.32	
C03	T.2.2.1 - C03 - 01 (2018.02.15 04.09.36).csv	21.9	257.6	266.1	+3.30	
C04	T.2.2.1 - C04 - 01 (2018.02.16 04.19.53).csv	22.7	202.6	208.4	+2.88	
C05	T.2.2.1 - C05 - 01 (2018.02.19 03.55.25).csv	21.5	221.9	229.0	+3.20	

Tabella 26: Test **T.2.2.2** – corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm ([grafico T.2.2.2 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.2.2.2 - C01 - 01 (2018.02.05 09.34.20).csv	23.3	267.7	275.2	+2.79	max = +3.79 med = +3.21
C02	T.2.2.2 - C02 - 01 (2018.02.09 11.57.52).csv	21.3	208.6	214.9	+3.04	
C03	T.2.2.2 - C03 - 01 (2018.02.15 04.11.04).csv	20.3	268.6	278.8	+3.79	
C04	T.2.2.2 - C04 - 01 (2018.02.16 04.22.07).csv	22.8	214.5	220.6	+2.86	
C05	T.2.2.2 - C05 - 01 (2018.02.19 03.57.13).csv	20.1	244.4	253.1	+3.56	

Tabella 27: Test **T.2.2.3** – corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 90 rpm ([grafico T.2.2.3 – A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]	
C01	T.2.2.3 - C01 - 01 (2018.02.05 09.38.42).csv	22.5	230.6	238.0	+3.23	max = +3.76 med = +3.25
C02	T.2.2.3 - C02 - 01 (2018.02.09 12.00.23).csv	20.7	234.5	243.3	+3.76	
C03	T.2.2.3 - C03 - 01 (2018.02.15 04.13.10).csv	21.8	329.5	340.1	+3.22	
C04	T.2.2.3 - C03 - 01 (2018.02.16 04.24.24).csv	22.9	258.2	265.4	+2.76	
C05	T.2.2.3 - C05 - 01 (2018.02.19 04.00.10).csv	20.0	272.7	281.7	+3.30	

Tabella 28: Test **T.2.2.4** – corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm ([grafico T.2.2.4 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.2.2.4 - C01 - 01 (2018.02.05 09.45.31).csv	22.9	306.7	313.7	+2.29
C02	T.2.2.4 - C02 - 01 (2018.02.09 12.02.29).csv	21.4	226.2	233.3	+3.14
C03	T.2.2.4 - C03 - 01 (2018.02.15 04.15.27).csv	22.6	333.1	342.1	+2.69
C04	T.2.2.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.26.43).csv	22.2	247.3	253.9	+2.69
C05	T.2.2.4 - C05 - 01 (2018.02.19 04.02.24).csv	21.3	268.2	275.5	+2.72

max = +3.14
med = +2.71

Tabella 29: Test **T.2.3.1** – corona ovale, su strada, pianura, seduto, cadenza 100 rpm ([grafico T.2.3.1 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.2.3.1 - C01 - 01 (2018.02.05 11.28.00).csv	23.4	209.5	218.2	+4.16
C02	T.2.3.1 - C02 - 01 (2018.02.09 09.44.07).csv	22.0	160.7	166.7	+3.78
C03	T.2.3.1 - C03 - 01 (2018.02.15 01.57.39).csv	23.0	257.7	266.6	+3.46
C04	T.2.3.1 - C04 - 01 (2018.02.16 02.07.33).csv	23.8	180.2	187.3	+3.93
C05	T.2.3.1 - C05 - 01 (2018.02.19 01.46.54).csv	21.3	191.3	198.8	+3.95

max = +4.16
med = +3.86

Tabella 30: Test **T.2.3.2** – corona ovale, su strada, salita 5%, seduto ([grafico T.2.3.2 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.2.3.2 - C01 - 02 (2018.02.05 11.43.40).csv	27.4	325.9	336.4	+3.20
C02	T.2.3.2 - C02 - 01 (2018.02.09 10.12.57).csv	25.6	255.0	266.6	+4.54
C03	T.2.3.2 - C03 - 01 (2018.02.15 02.12.10).csv	27.2	350.2	362.3	+3.46
C04	T.2.3.2 - C04 - 01 (2018.02.16 02.23.41).csv	27.5	275.0	287.1	+4.41
C05	T.2.3.2 - C05 - 01 (2018.02.19 02.09.44).csv	24.6	263.5	273.6	+3.87

max = +4.54
med = +3.90

Tabella 31: Test **T.2.3.3** – corona ovale, su strada, salita 5%, in piedi ([grafico T.2.3.3 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.2.3.3 - C01 - 01 (2018.02.05 11.47.45).csv	27.2	349.1	364.9	+4.51
C02	T.2.3.3 - C02 - 01 (2018.02.09 10.18.13).csv	29.4	303.3	316.2	+4.25
C03	T.2.3.3 - C03 - 01 (2018.02.15 02.23.30).csv	29.6	383.3	398.5	+3.96
C04	T.2.3.3 - C01 - 01 (2018.02.16 02.29.29).csv	26.5	308.5	318.0	+3.09
C05	T.2.3.3 - C05 - 01 (2018.02.19 02.15.59).csv	30.0	310.5	322.4	+3.84

max = +4.51
med = +3.93

Tabella 32: Test **T.2.3.4** – corona ovale, su strada, pianura, seduto, cadenza 90 rpm ([grafico T.2.3.4 - A01.png](#))

ciclista	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
C01	T.2.3.4 - C01 - 01 (2018.02.05 11.52.20).csv	24.6	222.6	231.9	+4.15
C02	T.2.3.4 - C02 - 01 (2018.02.09 10.23.07).csv	22.7	232.4	240.6	+3.53
C03	T.2.3.4 - C03 - 01 (2018.02.15 02.28.33).csv	24.5	276.5	287.3	+3.88
C04	T.2.3.4 - C04 - 01 (2018.02.16 02.34.49).csv	23.7	159.7	165.6	+3.68
C05	T.2.3.4 - C05 - 01 (2018.02.19 02.21.44).csv	22.6	178.1	185.8	+4.29

max = +4.29
med = +3.91

Risultati suddivisi per ciclista

Si elencano i risultati ottenuti da ogni singolo ciclista nei vari test. Nelle colonne delle seguenti tabelle sono riportati: **(a)** l'identificativo del test, **(b)** la variazione massimo-minimo di velocità di rotazione all'interno di una pedalata rapportata alla velocità media, **(c)** il file csv registrato durante il test, **(d)** la

potenza calcolata con l'algoritmo IAVpwr, **(e)** la potenza ottenuta da AAVpwr, **(f)** l'errore relativo percentuale commesso dal secondo algoritmo. Per il calcolo della coppia si è utilizzata come lunghezza di pedivella il valore di 172.5 mm.

I valori di potenza visualizzati sono quelli raddoppiati ottenuti dal solo pedale sinistro.

Tabella 33: Ciclista **C.01** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona circolare

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.1.1.1	T.1.1.1 - C01 - 01 (2018.02.05 10.03.27).csv	4.8	258.5	257.4	-0.42
T.1.1.2	T.1.1.2 - C01 - 01 (2018.02.05 10.05.04).csv	3.8	225.6	225.4	-0.11
T.1.1.3	T.1.1.3 - C01 - 01 (2018.02.05 10.06.35).csv	5.6	306.8	305.3	-0.51
T.1.1.4	T.1.1.4 - C01 - 01 (2018.02.05 10.09.40).csv	7.4	286.0	283.8	-0.76
T.1.2.1	T.1.2.1 - C01 - 01 (2018.02.05 10.14.09).csv	6.7	227.3	226.8	-0.20
T.1.2.2	T.1.2.2 - C01 - 01 (2018.02.05 10.15.39).csv	6.5	247.2	247.1	-0.05
T.1.2.3	T.1.2.3 - C01 - 01 (2018.02.05 10.17.51).csv	7.1	310.7	309.7	-0.31
T.1.2.4	T.1.2.4 - C01 - 01 (2018.02.05 10.19.52).csv	7.8	304.2	302.8	-0.45
T.1.3.1	T.1.3.1 - C01 - 01 (2018.02.05 10.46.08).csv	5.0	205.8	205.9	+0.07
T.1.3.2	T.1.3.2 - C01 - 01 (2018.02.05 11.02.14).csv	7.8	331.4	332.5	+0.34
T.1.3.3	T.1.3.3 - C01 - 01 (2018.02.05 11.02.14).csv	10.3	350.9	353.8	+0.84
T.1.3.4	T.1.3.4 - C01 - 01 (2018.02.05 11.11.14).csv	5.9	241.6	241.9	+0.11

Tabella 34: Ciclista **C.01** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona ovale

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.2.1.1	T.2.1.1 - C01 - 01 (2018.02.05 09.50.29).csv	19.3	251.4	257.5	+2.44
T.2.1.2	T.2.1.2 - C01 - 01 (2018.02.05 09.51.57).csv	19.1	227.3	234.6	+3.20
T.2.1.3	T.2.1.3 - C01 - 01 (2018.02.05 09.53.59).csv	18.8	325.1	332.7	+2.34
T.2.1.4	T.2.1.4 - C01 - 01 (2018.02.05 09.55.59).csv	17.4	309.0	314.8	+1.85
T.2.2.1	T.2.2.1 - C01 - 01 (2018.02.05 09.25.05).csv	23.6	224.2	231.1	+3.07
T.2.2.2	T.2.2.2 - C01 - 01 (2018.02.05 09.34.20).csv	23.3	267.7	275.2	+2.79
T.2.2.3	T.2.2.3 - C01 - 01 (2018.02.05 09.38.42).csv	22.5	230.6	238.0	+3.23
T.2.2.4	T.2.2.4 - C01 - 01 (2018.02.05 09.45.31).csv	22.9	306.7	313.7	+2.29
T.2.3.1	T.2.3.1 - C01 - 01 (2018.02.05 11.28.00).csv	23.4	209.5	218.2	+4.16
T.2.3.2	T.2.3.2 - C01 - 02 (2018.02.05 11.43.40).csv	27.4	325.9	336.4	+3.20
T.2.3.3	T.2.3.3 - C01 - 01 (2018.02.05 11.47.45).csv	27.2	349.1	364.9	+4.51
T.2.3.4	T.2.3.4 - C01 - 01 (2018.02.05 11.52.20).csv	24.6	222.6	231.9	+4.15

Tabella 35: Ciclista **C.02** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona circolare.

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.1.1.1	T.1.1.1 – C02 – 01 (2018.02.09 11.33.13).csv	4.3	180.6	180.7	+0.04
T.1.1.2	T.1.1.2 – C02 – 01 (2018.02.09 11.34.39).csv	4.1	188.7	189.0	+0.16
T.1.1.3	T.1.1.3 – C02 – 01 (2018.02.09 11.36.31).csv	5.6	264.1	263.8	-0.09
T.1.1.4	T.1.1.4 – C02 – 01 (2018.02.09 11.39.26).csv	10.0	234.1	232.1	-0.82
T.1.2.1	T.1.2.1 – C02 – 01 (2018.02.09 11.44.28).csv	6.3	186.2	186.0	-0.08
T.1.2.2	T.1.2.2 – C02 – 01 (2018.02.09 11.46.03).csv	6.1	206.4	206.5	+0.06
T.1.2.3	T.1.2.3 – C02 – 01 (2018.02.09 11.48.28).csv	7.2	231.8	231.6	-0.12
T.1.2.4	T.1.2.4 – C02 – 01 (2018.02.09 11.50.29).csv	7.1	228.6	228.2	-0.20
T.1.3.1	T.1.3.1 – C02 – 01 (2018.02.09 10.44.12).csv	6.0	161.3	161.2	-0.10
T.1.3.2	T.1.3.2 – C02 – 01 (2018.02.09 11.01.29).csv	10.0	268.9	270.1	+0.45
T.1.3.3	T.1.3.3 – C02 – 01 (2018.02.09 11.06.37).csv	12.3	286.7	288.7	+0.69
T.1.3.4	T.1.3.4 – C02 – 01 (2018.02.09 11.11.38).csv	6.5	215.1	215.1	-0.02

Tabella 36: Ciclista **C.02** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona ovale.

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.2.1.1	T.2.1.1 – C02 – 01 (2018.02.09 12.06.38).csv	19.7	180.7	186.0	+2.92
T.2.1.2	T.2.1.2 – C02 – 01 (2018.02.09 12.07.59).csv	20.0	193.7	199.1	+2.77
T.2.1.3	T.2.1.3 – C02 – 01 (2018.02.09 12.10.26).csv	18.4	226.1	232.7	+2.95
T.2.1.4	T.2.1.4 – C02 – 01 (2018.02.09 12.12.00).csv	16.6	235.8	241.2	+2.27
T.2.2.1	T.2.2.1 – C02 – 01 (2018.02.09 11.56.05).csv	21.4	193.8	200.2	+3.32
T.2.2.2	T.2.2.2 – C02 – 01 (2018.02.09 11.57.52).csv	21.3	208.6	214.9	+3.04
T.2.2.3	T.2.2.3 – C02 – 01 (2018.02.09 12.00.23).csv	20.7	234.5	243.3	+3.76
T.2.2.4	T.2.2.4 – C02 – 01 (2018.02.09 12.02.29).csv	21.4	226.2	233.3	+3.14
T.2.3.1	T.2.3.1 – C02 – 01 (2018.02.09 09.44.07).csv	22.0	160.7	166.7	+3.78
T.2.3.2	T.2.3.2 – C02 – 01 (2018.02.09 10.12.57).csv	25.6	255.0	266.6	+4.54
T.2.3.3	T.2.3.3 – C02 – 01 (2018.02.09 10.18.13).csv	29.4	303.3	316.2	+4.25
T.2.3.4	T.2.3.4 – C02 – 01 (2018.02.09 10.23.07).csv	22.7	232.4	240.6	+3.53

Tabella 37: Ciclista **C.03** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona circolare.

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.1.1.1	T.1.1.1 – C03 – 01 (2018.02.15 03.46.22).csv	6.1	261.3	259.4	-0.71
T.1.1.2	T.1.1.2 – C03 – 01 (2018.02.15 03.48.03).csv	4.3	256.2	255.1	-0.43
T.1.1.3	T.1.1.3 – C03 – 01 (2018.02.15 03.50.03).csv	7.3	326.3	322.6	-1.15
T.1.1.4	T.1.1.4 – C03 – 01 (2018.02.15 03.52.03).csv	10.3	335.4	330.0	-1.59
T.1.2.1	T.1.2.1 – C03 – 01 (2018.02.15 03.57.01).csv	5.2	258.0	257.7	-0.12
T.1.2.2	T.1.2.2 – C03 – 01 (2018.02.15 03.58.58).csv	5.8	273.5	273.0	-0.18
T.1.2.3	T.1.2.3 – C03 – 01 (2018.02.15 04.00.38).csv	6.3	333.4	332.6	-0.24
T.1.2.4	T.1.2.4 – C03 – 01 (2018.02.15 04.03.04).csv	7.3	330.8	329.5	-0.39
T.1.3.1	T.1.3.1 – C03 – 01 (2018.02.15 02.45.51).csv	5.4	245.7	246.0	+0.11
T.1.3.2	T.1.3.2 – C03 – 01 (2018.02.15 03.05.54).csv	8.0	357.2	359.4	+0.62
T.1.3.3	T.1.3.3 – C03 – 01 (2018.02.15 03.15.11).csv	9.7	360.6	360.7	+0.03
T.1.3.4	T.1.3.4 – C03 – 01 (2018.02.15 03.20.22).csv	5.0	262.1	262.6	+0.20

Tabella 38: Ciclista **C.03** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona ovale

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.2.1.1	T.2.1.1 - C03 - 01 (2018.02.15 04.21.03).csv	17.3	270.3	277.9	+2.80
T.2.1.2	T.2.1.2 - C03 - 01 (2018.02.15 04.24.02).csv	18.0	260.3	268.5	+3.17
T.2.1.3	T.2.1.3 - C03 - 01 (2018.02.15 04.25.44).csv	16.8	340.9	348.3	+2.18
T.2.1.4	T.2.1.4 - C03 - 01 (2018.02.15 04.29.55).csv	16.5	312.6	317.7	+1.62
T.2.2.1	T.2.2.1 - C03 - 01 (2018.02.15 04.09.36).csv	21.9	257.6	266.1	+3.30
T.2.2.2	T.2.2.2 - C03 - 01 (2018.02.15 04.11.04).csv	20.3	268.6	278.8	+3.79
T.2.2.3	T.2.2.3 - C03 - 01 (2018.02.15 04.13.10).csv	21.8	329.5	340.1	+3.22
T.2.2.4	T.2.2.4 - C03 - 01 (2018.02.15 04.15.27).csv	22.6	333.1	342.1	+2.69
T.2.3.1	T.2.3.1 - C03 - 01 (2018.02.15 01.57.39).csv	23.0	257.7	266.6	+3.46
T.2.3.2	T.2.3.2 - C03 - 01 (2018.02.15 02.12.10).csv	27.2	350.2	362.3	+3.46
T.2.3.3	T.2.3.3 - C03 - 01 (2018.02.15 02.23.30).csv	29.6	383.3	398.5	+3.96
T.2.3.4	T.2.3.4 - C03 - 01 (2018.02.15 02.28.33).csv	24.5	276.5	287.3	+3.88

Tabella 39: Ciclista **C.04** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona circolare.

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.1.1.1	T.1.1.1 - C04 - 01 (2018.02.16 03.54.31).csv	3.1	216.1	215.6	-0.23
T.1.1.2	T.1.1.2 - C04 - 01 (2018.02.16 03.56.33).csv	2.6	172.8	172.7	-0.06
T.1.1.3	T.1.1.3 - C04 - 01 (2018.02.16 03.58.53).csv	3.9	276.6	276.0	-0.21
T.1.1.4	T.1.1.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.01.28).csv	6.5	261.1	259.9	-0.47
T.1.2.1	T.1.2.1 - C04 - 01 (2018.02.16 04.06.48).csv	3.7	200.5	200.4	-0.04
T.1.2.2	T.1.2.2 - C04 - 01 (2018.02.16 04.09.10).csv	4.0	209.9	210.1	+0.07
T.1.2.3	T.1.2.3 - C04 - 01 (2018.02.16 04.11.35).csv	4.0	252.7	252.7	-0.01
T.1.2.4	T.1.2.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.13.47).csv	5.2	243.2	242.9	-0.13
T.1.3.1	T.1.3.1 - C04 - 01 (2018.02.16 02.55.38).csv	4.4	168.8	169.0	+0.15
T.1.3.2	T.1.3.2 - C04 - 01 (2018.02.16 03.11.41).csv	6.9	258.8	260.4	+0.63
T.1.3.3	T.1.3.3 - C04 - 01 (2018.02.16 03.17.11).csv	9.0	306.0	307.3	+0.41
T.1.3.4	T.1.3.4 - C04 - 01 (2018.02.16 03.22.57).csv	4.7	165.8	165.9	+0.06

Tabella 40: Ciclista **C.04** – riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona ovale.

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.2.1.1	T.2.1.1 - C04 - 01 (2018.02.16 04.31.26).csv	19.9	213.5	218.8	+2.50
T.2.1.2	T.2.1.2 - C04 - 01 (2018.02.16 04.33.38).csv	21.0	195.3	200.0	+2.40
T.2.1.3	T.2.1.3 - C04 - 01 (2018.02.16 04.35.20).csv	19.5	291.4	298.0	+2.29
T.2.1.4	T.2.1.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.37.22).csv	18.3	278.4	284.6	+2.23
T.2.2.1	T.2.2.1 - C04 - 01 (2018.02.16 04.19.53).csv	22.7	202.6	208.4	+2.88
T.2.2.2	T.2.2.2 - C04 - 01 (2018.02.16 04.22.07).csv	22.8	214.5	220.6	+2.86
T.2.2.3	T.2.2.3 - C03 - 01 (2018.02.16 04.24.24).csv	22.9	258.2	265.4	+2.76
T.2.2.4	T.2.2.4 - C04 - 01 (2018.02.16 04.26.43).csv	22.2	247.3	253.9	+2.69
T.2.3.1	T.2.3.1 - C04 - 01 (2018.02.16 02.07.33).csv	23.8	180.2	187.3	+3.93
T.2.3.2	T.2.3.2 - C04 - 01 (2018.02.16 02.23.41).csv	27.5	275.0	287.1	+4.41
T.2.3.3	T.2.3.3 - C01 - 01 (2018.02.16 02.29.29).csv	26.5	308.5	318.0	+3.09
T.2.3.4	T.2.3.4 - C04 - 01 (2018.02.16 02.34.49).csv	23.7	159.7	165.6	+3.68

Tabella 41: Ciclista C.05 - riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona circolare.

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.1.1.1	T.1.1.1 - C05 - 01 (2018.02.19 03.31.24).csv	5.6	234.8	233.7	-0.49
T.1.1.2	T.1.1.2 - C05 - 01 (2018.02.19 03.33.06).csv	6.1	222.6	221.1	-0.66
T.1.1.3	T.1.1.3 - C05 - 01 (2018.02.19 03.35.16).csv	6.2	262.7	261.2	-0.57
T.1.1.4	T.1.1.4 - C05 - 01 (2018.02.19 03.37.31).csv	7.6	234.1	232.6	-0.64
T.1.2.1	T.1.2.1 - C05 - 01 (2018.02.19 03.43.16).csv	5.2	224.2	223.7	-0.22
T.1.2.2	T.1.2.2 - C05 - 01 (2018.02.19 03.45.09).csv	7.9	250.1	248.8	-0.52
T.1.2.3	T.1.2.3 - C05 - 01 (2018.02.19 03.47.08).csv	5.2	274.1	273.6	-0.19
T.1.2.4	T.1.2.4 - C05 - 01 (2018.02.19 03.49.14).csv	6.5	272.8	271.9	-0.33
T.1.3.1	T.1.3.1 - C05 - 01 (2018.02.19 02.38.43).csv	10.1	178.8	178.8	-0.04
T.1.3.2	T.1.3.2 - C05 - 01 (2018.02.19 02.54.32).csv	7.9	259.5	260.3	+0.31
T.1.3.3	T.1.3.3 - C05 - 01 (2018.02.19 03.00.28).csv	11.4	292.2	293.5	+0.43
T.1.3.4	T.1.3.4 - C05 - 01 (2018.02.19 03.06.14).csv	11.6	179.9	180.1	+0.13

Tabella 42: Ciclista C.05 - riassunto dei risultati ottenuti nei test con corona ovale.

test	file	variazione velocità angolare [%]	IAVpwr [W]	AAVpwr [W]	errore di potenza [%]
T.2.1.1	T.2.1.1 - C05 - 01 (2018.02.19 04.08.29).csv	18.0	221.4	228.0	+2.98
T.2.1.2	T.2.1.2 - C05 - 01 (2018.02.19 04.10.12).csv	18.2	187.8	194.0	+3.30
T.2.1.3	T.2.1.3 - C05 - 01 (2018.02.19 04.12.56).csv	17.7	280.6	288.4	+2.77
T.2.1.4	T.2.1.4 - C05 - 01 (2018.02.19 04.15.42).csv	18.1	258.5	263.3	+1.85
T.2.2.1	T.2.2.1 - C05 - 01 (2018.02.19 03.55.25).csv	21.5	221.9	229.0	+3.20
T.2.2.2	T.2.2.2 - C05 - 01 (2018.02.19 03.57.13).csv	20.1	244.4	253.1	+3.56
T.2.2.3	T.2.2.3 - C05 - 01 (2018.02.19 04.00.10).csv	20.0	272.7	281.7	+3.30
T.2.2.4	T.2.2.4 - C05 - 01 (2018.02.19 04.02.24).csv	21.3	268.2	275.5	+2.72
T.2.3.1	T.2.3.1 - C05 - 01 (2018.02.19 01.46.54).csv	21.3	191.3	198.8	+3.95
T.2.3.2	T.2.3.2 - C05 - 01 (2018.02.19 02.09.44).csv	24.6	263.5	273.6	+3.87
T.2.3.3	T.2.3.3 - C05 - 01 (2018.02.19 02.15.59).csv	30.0	310.5	322.4	+3.84
T.2.3.4	T.2.3.4 - C05 - 01 (2018.02.19 02.21.44).csv	22.6	178.1	185.8	+4.29

Grafici della forza e velocità angolare

Di seguito sono riportati i grafici di una pedalata tipica per ogni tipo di test. Ai 5 ciclisti sono associati colori diversi: C.01 – rosso, C.02 – verde, C.03 – blu, C.04 – marrone, C.05 – celeste.

Da notare che l'angolo di partenza 0° non è associato ad una posizione definita della pedivella.

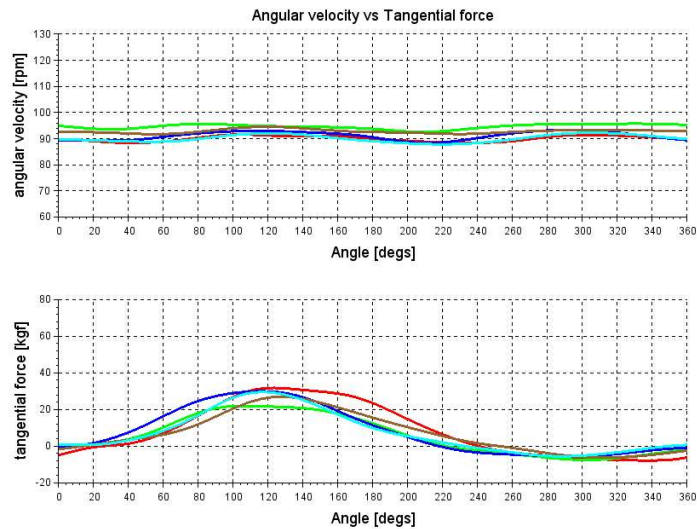


Fig. 4: T.1.1.1 – A01: corona circolare, nullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm – Esempio di pedalata singola

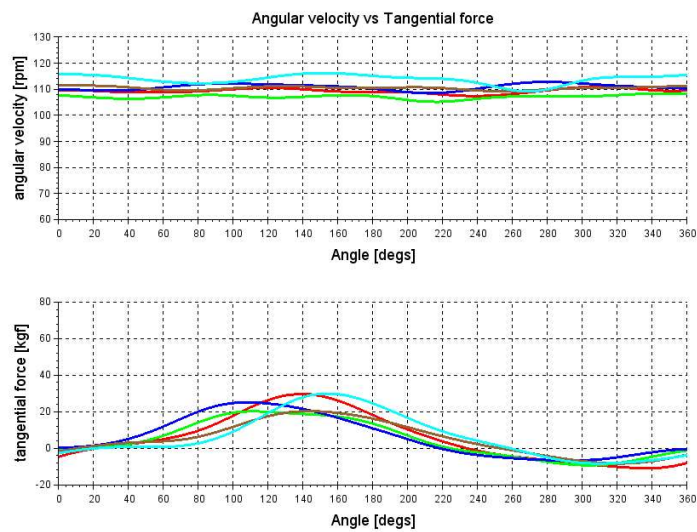


Fig. 5: T.1.1.2 – A01: corona circolare, nullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm – Esempio di pedalata singola

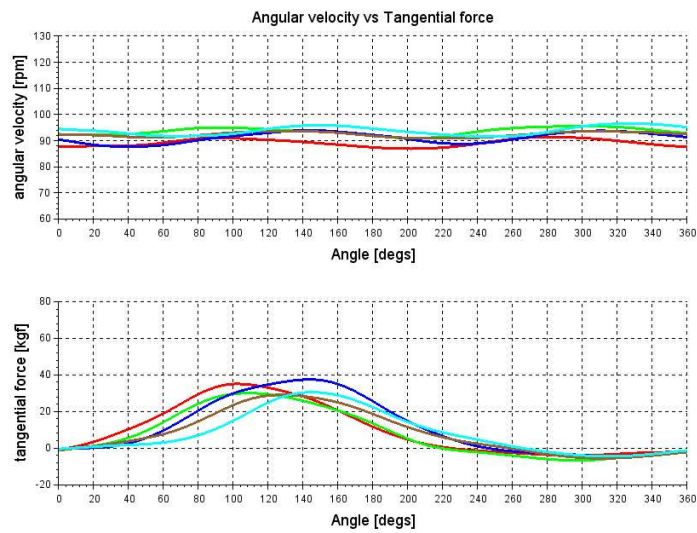


Fig. 6: T.1.1.3 - A01: corona circolare, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 90 rpm - Esempio di pedalata singola

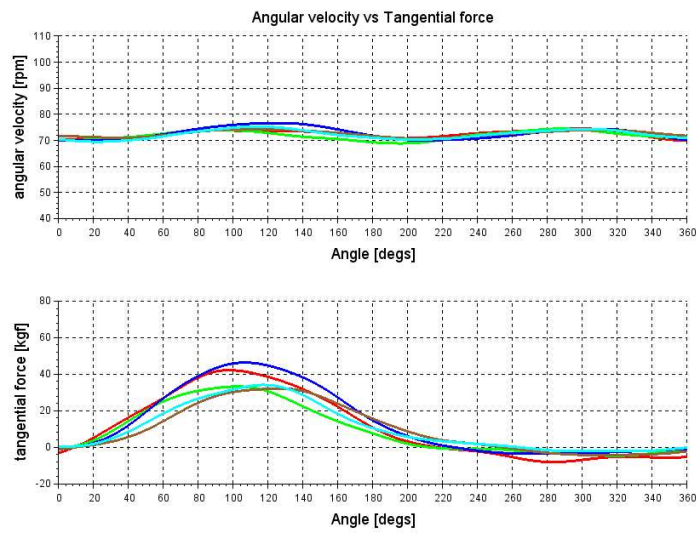


Fig. 7: T.1.1.4 - A01: corona circolare, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm - Esempio di pedalata singola

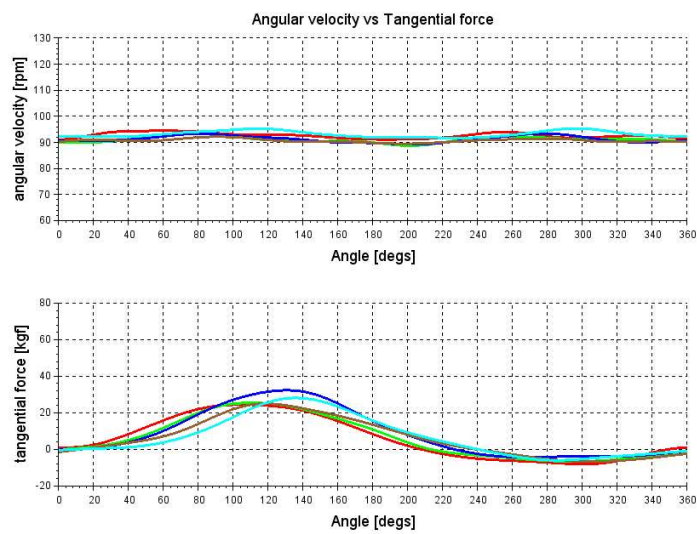


Fig. 8: T.1.2.1 - A01: corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm - Esempio di pedalata singola

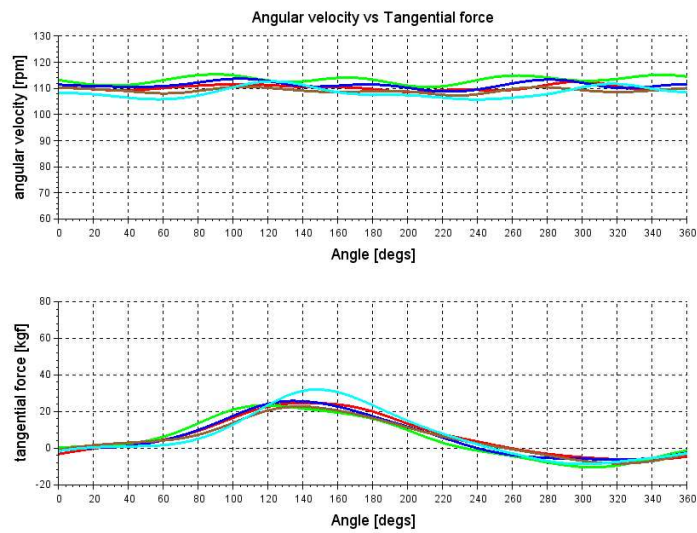


Fig. 9: T.1.2.2 – A01: corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm – Esempio di pedalata singola

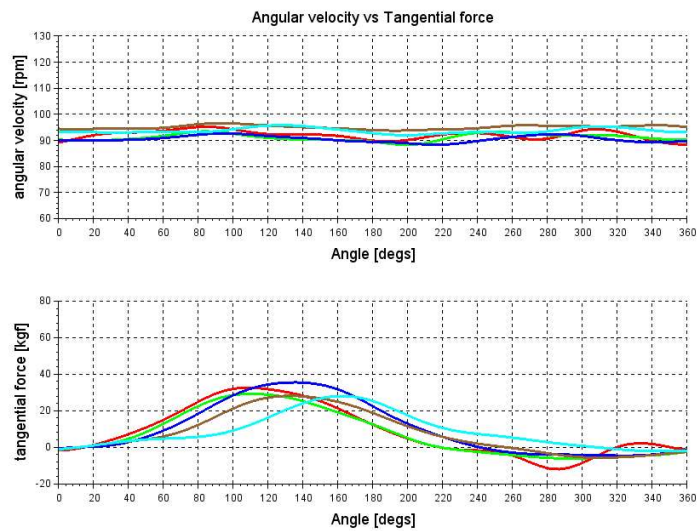


Fig. 10: T.1.2.3 – A01: corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 90 rpm – Esempio di pedalata singola

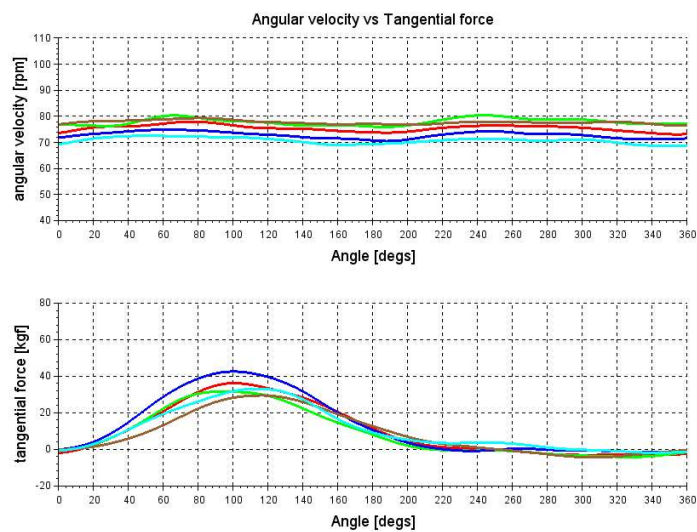


Fig. 11: T.1.2.4 – A01: corona circolare, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm – Esempio di pedalata singola

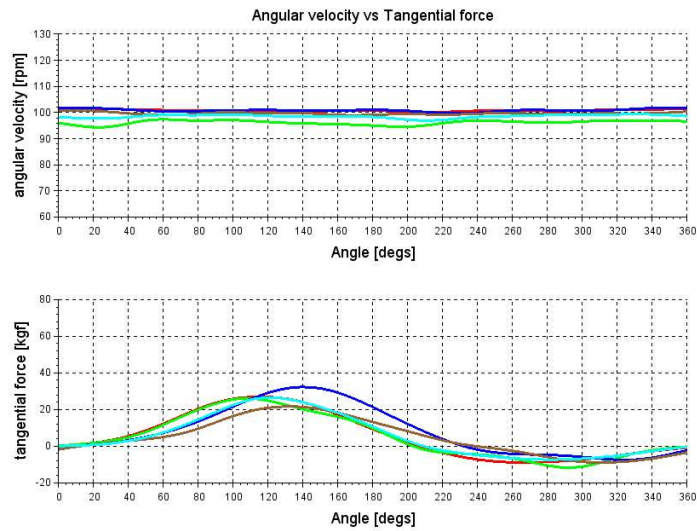


Fig. 12: T.1.3.1 – A01: corona circolare, su strada, pianura, seduto, cadenza 100 rpm – Esempio di pedalata singola

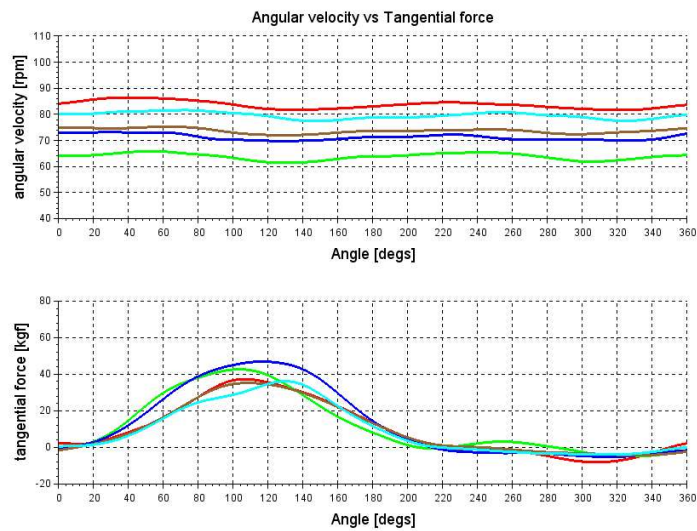


Fig. 13: T.1.3.2 – A01: corona circolare, su strada, salita 5%, seduto – Esempio di pedalata singola

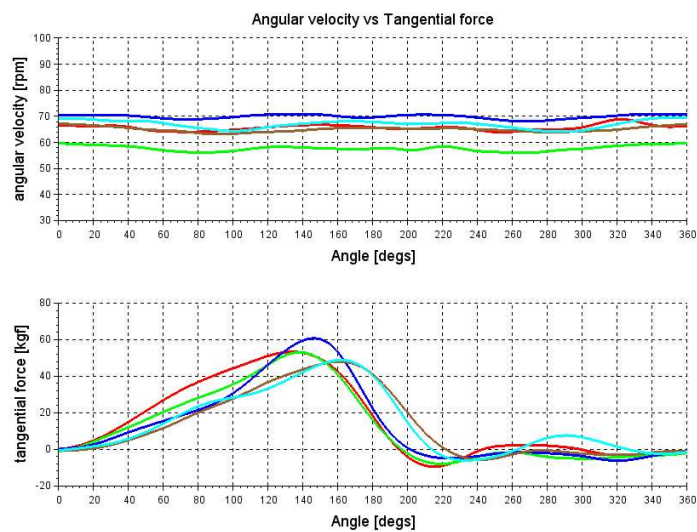


Fig. 14: T.1.3.3 – A01: corona circolare, su strada, salita 5%, in piedi – Esempio di pedalata singola

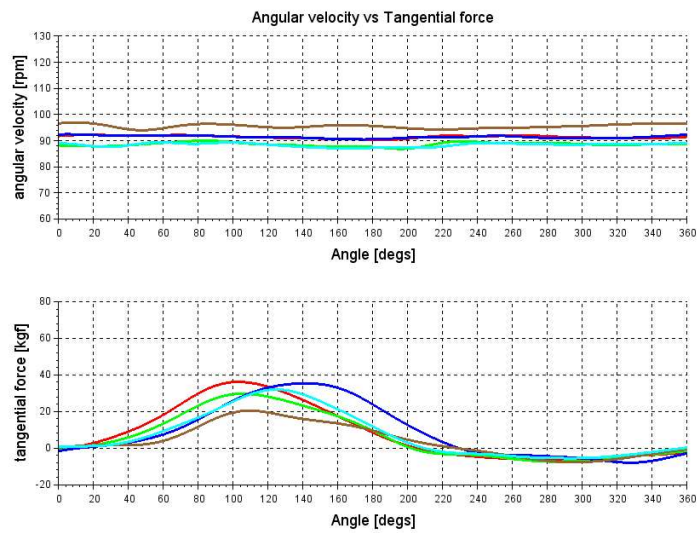


Fig. 15: T.1.3.4 - A01: corona circolare, su strada, pianura, seduto - Esempio di pedalata singola

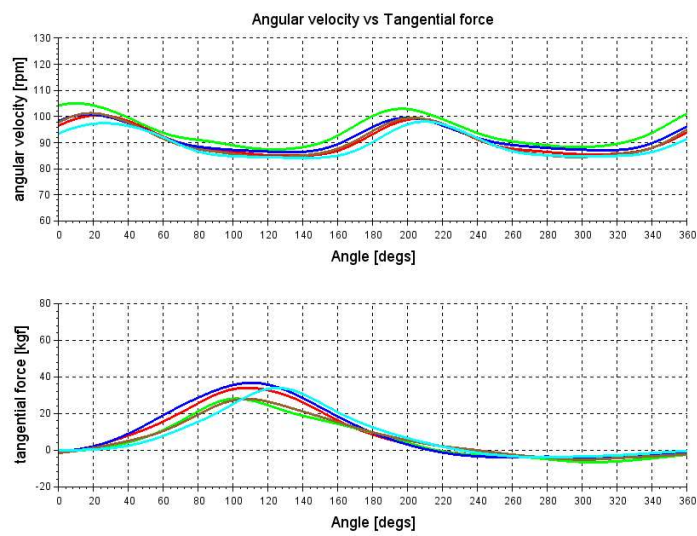


Fig. 16: T.2.1.1 - A01: corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm - Esempio di pedalata singola

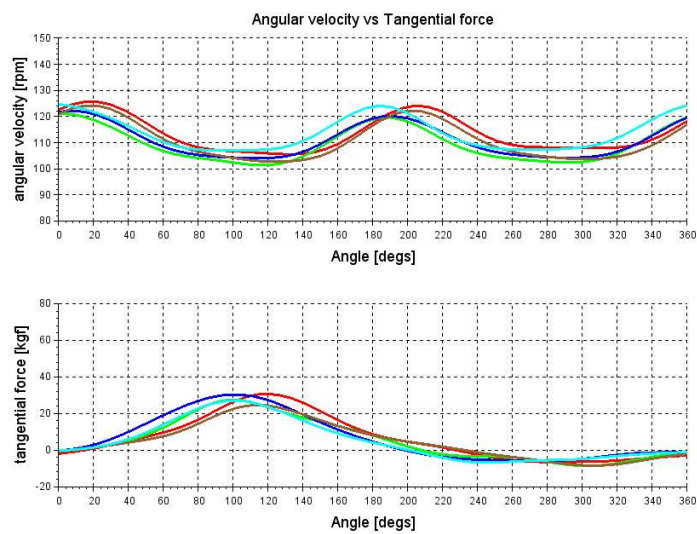


Fig. 17: T.2.1.2 - A01: corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm - Esempio di pedalata singola

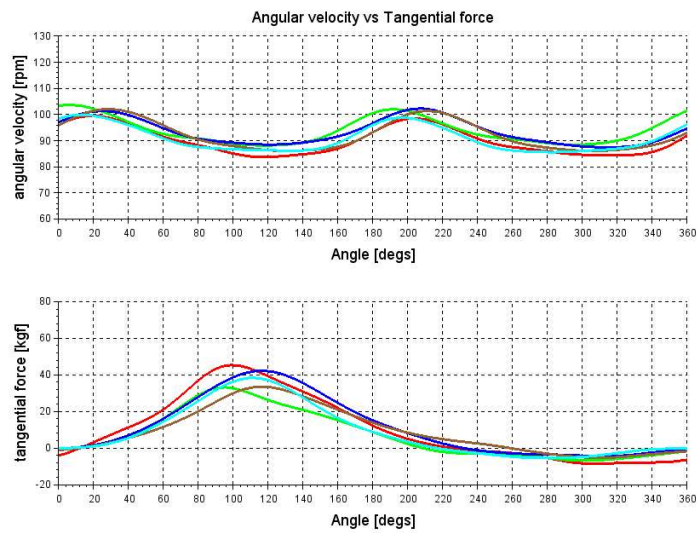


Fig. 18: T.2.1.3 - A01: corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 110 rpm - Esempio di pedalata singola

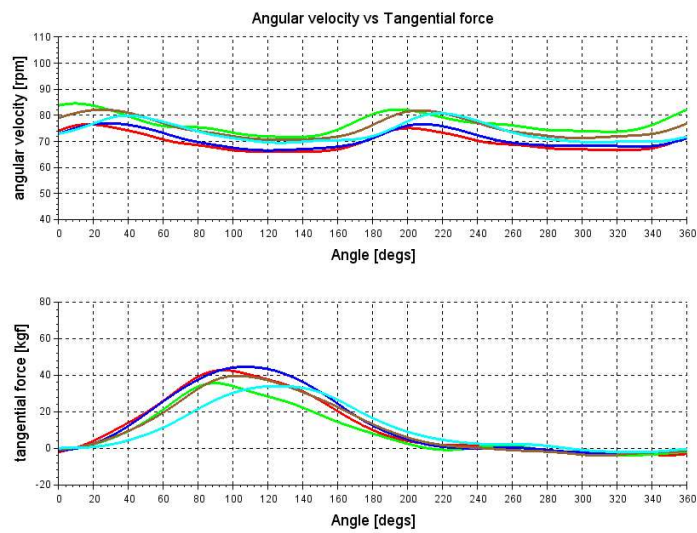


Fig. 19: T.2.1.4 - A01: corona ovale, rullo Elite Qubo, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm - Esempio di pedalata singola

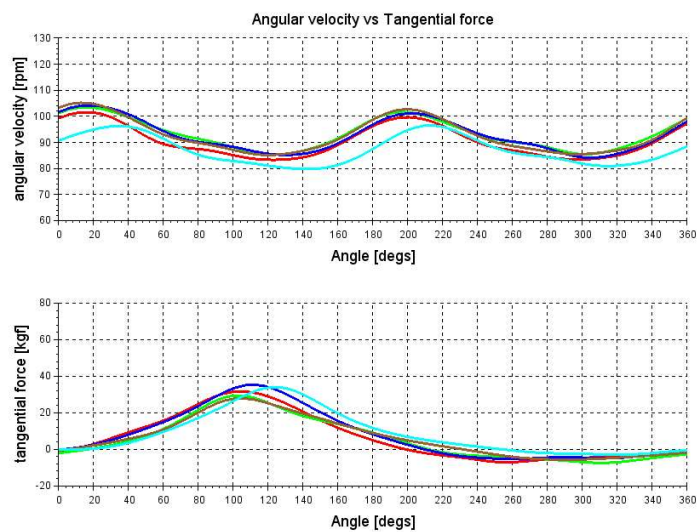


Fig. 20: T.2.2.1 - A01: corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 90 rpm - Esempio di pedalata singola

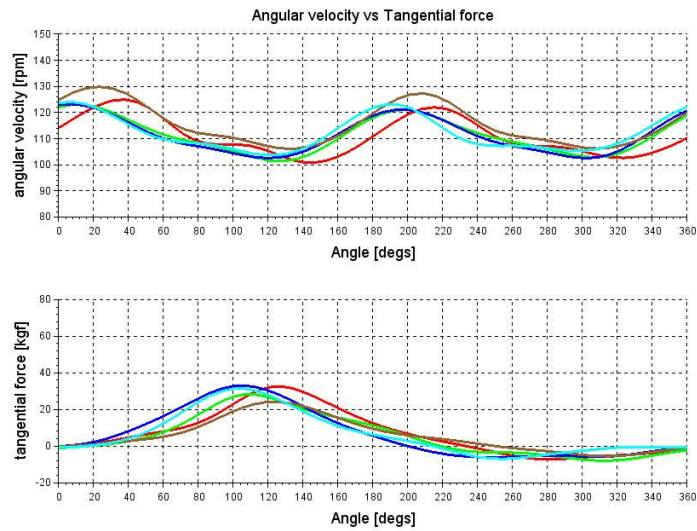


Fig. 21: T.2.2.2 - A01: corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 70%, cadenza 110 rpm - Esempio di pedalata singola

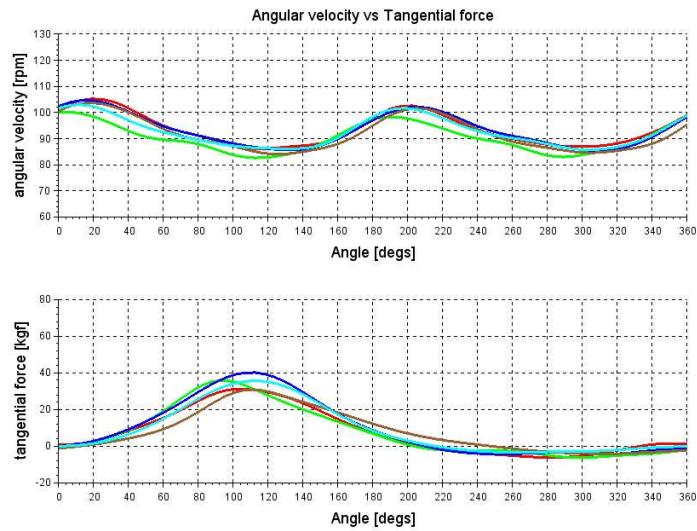


Fig. 22: T.2.2.3 - A01: corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 110 rpm - Esempio di pedalata singola

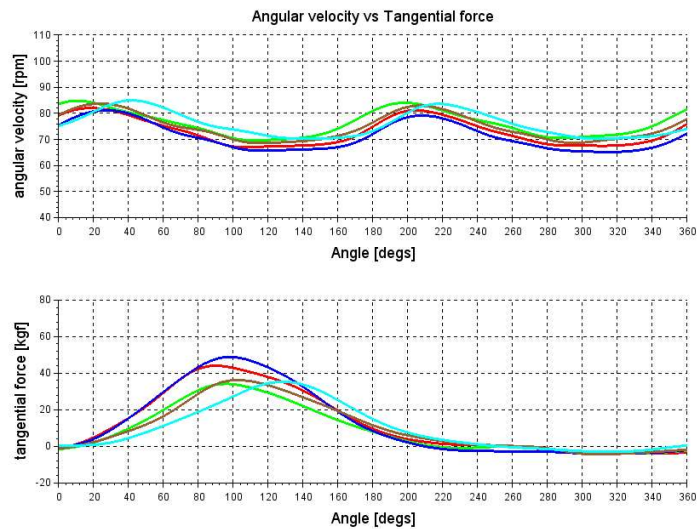


Fig. 23: T.2.2.4 - A01: corona ovale, rullo Tacx NEO Smart, seduto, FTP 95%, cadenza 70 rpm - Esempio di pedalata singola

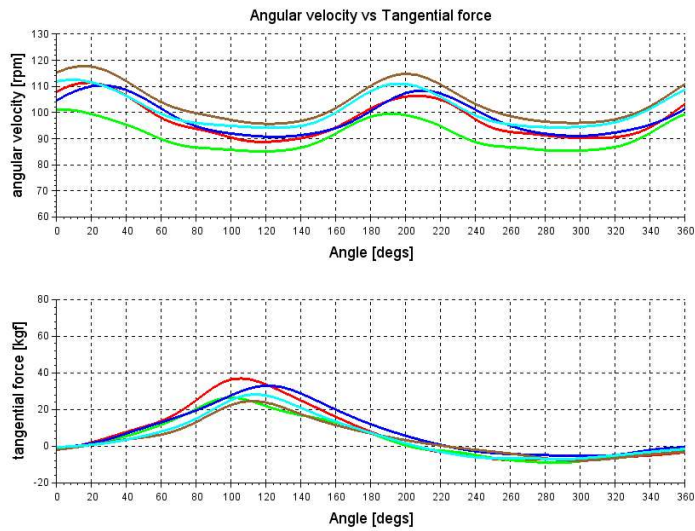


Fig. 24: T.2.3.1 - A01: corona ovale, su strada, pianura, seduto, cadenza 100 rpm - Esempio di pedalata singola

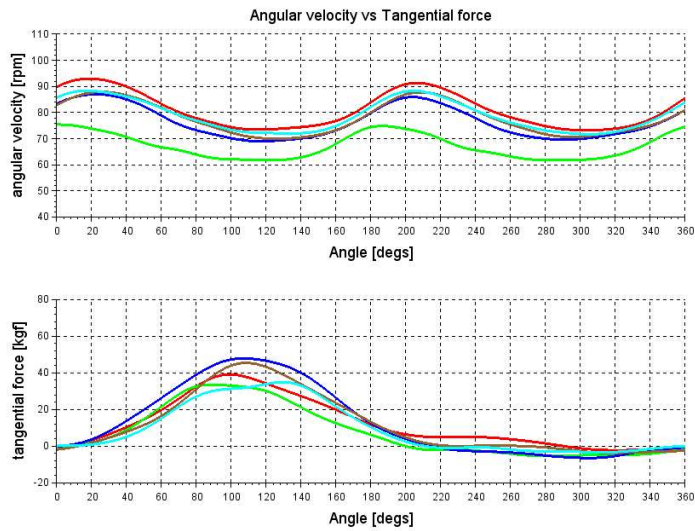


Fig. 25: T.2.3.2 - A01: corona ovale, su strada, salita 5%, seduto - Esempio di pedalata singola

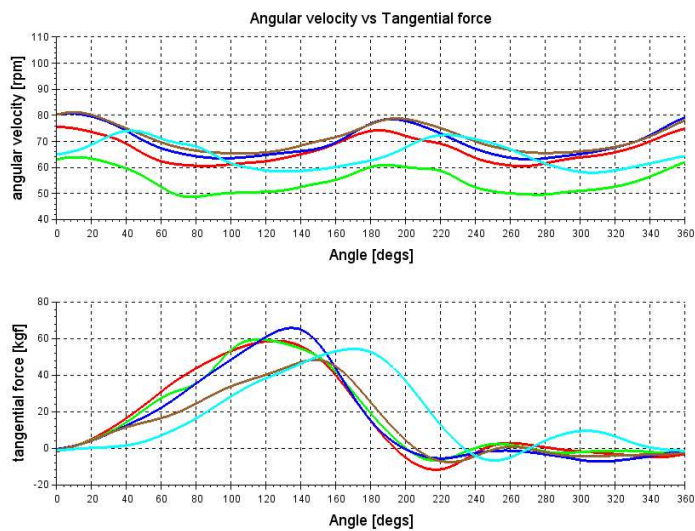


Fig. 26: T.2.3.3 - A01: corona ovale, su strada, salita 5%, in piedi - Esempio di pedalata singola

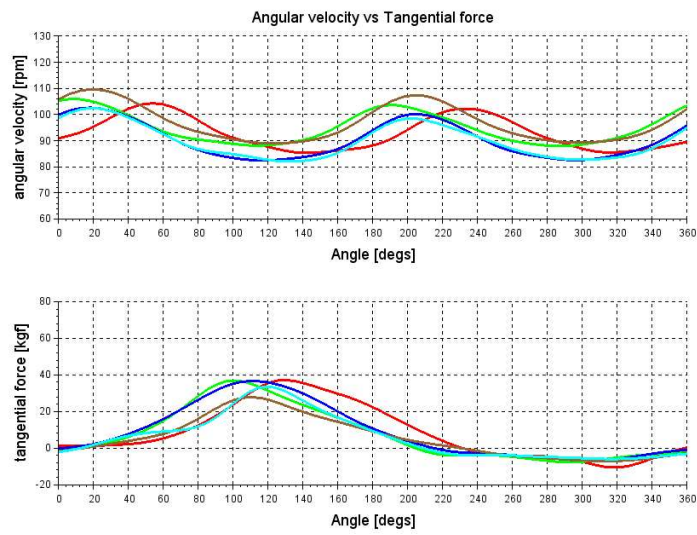


Fig. 27: T.2.3.4 - A01: corona ovale, su strada, pianura, seduto, cadenza 90 rpm - Esempio di pedalata singola

Appendice - Teoria

La potenza istantanea $P(t)$ (in watt) all'istante t (in secondi), all'interno di una pedalata è data da:

$$P(t) = F_T(t) \cdot \omega(t) \cdot b_C$$

dove:

- $F_T(t)$ è la forza tangenziale (in newton),
- $\omega(t)$ è la velocità angolare (in rad/s) e
- b_C è la lunghezza (in metri) della leva su cui è applicata la forza.

Per calcolare la potenza di una pedalata P_M (in watt) viene eseguita la media della potenza istantanea $P(t)$ in un periodo T di rotazione della pedivella:

$$P_M = \frac{1}{T} \int_T P(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_T F_T(t) \cdot \omega(t) \cdot b_C \cdot dt$$

Sia la forza tangenziale $F_T(t)$, sia la velocità angolare $\omega(t)$, non sono delle forme d'onda semplici, ma possono essere espresse mediante una serie di Fourier di onde sinusoidali (armoniche) prolungando per periodicità un singolo periodo.

$$F_T(t) = F_T(0) + \sum_{k=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \cos\left[\frac{2\pi kt}{T} + \phi(k)\right]$$

$$\omega(t) = \omega(0) + \sum_{n=1}^{\infty} \omega(n) \cdot \cos\left[\frac{2\pi nt}{T} + \theta(n)\right]$$

dove $F_T(0)$ e $\omega(0)$ sono i valori medi delle grandezze nel periodo T , $\phi(k)$ e $\theta(n)$ sono gli sfasamenti delle varie armoniche. La potenza istantanea è quindi:

$$\begin{aligned} P(t) &= F_T(t) \cdot \omega(t) \cdot b_C \\ &= b_C \cdot \left\{ F_T(0) + \sum_{k=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \cos\left[\frac{2\pi kt}{T} + \phi(k)\right] \right\} \\ &\quad \cdot \left\{ \omega(0) + \sum_{n=1}^{\infty} \omega(n) \cdot \cos\left[\frac{2\pi nt}{T} + \theta(n)\right] \right\} \end{aligned}$$

Operando i prodotti si ottiene una espressione composta di 4 termini:

$$\begin{aligned} P(t) &= \\ & b_C \cdot F_T(0) \cdot \omega(0) + \\ & b_C \cdot F_T(0) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \omega(n) \cdot \cos\left[\frac{2\pi nt}{T} + \theta(n)\right] + \\ & b_C \cdot \omega(0) \cdot \sum_{k=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \cos\left[\frac{2\pi kt}{T} + \phi(k)\right] + \\ & b_C \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \omega(n) \cdot \cos\left[\frac{2\pi kt}{T} + \phi(k)\right] \cdot \cos\left[\frac{2\pi nt}{T} + \theta(n)\right] \end{aligned}$$

Se si integra l'espressione in un periodo T , il primo termine fornisce:

$$P_{M1} = \frac{b_C}{T} \int_T F_T(0) \cdot \omega(0) dt = b_C \cdot F_T(0) \cdot \omega(0)$$

che corrisponde alla potenza ottenuta dal prodotto dei valori medi della forza tangenziale e della velocità angolare.

L'integrazione nel periodo del secondo e del terzo termine fornisce un risultato nullo ($P_{M2} = P_{M3} = 0$), essendo questi termini periodici di periodo T e quindi con media nulla.

Il quarto termine può essere riscritto come:

$$P_{M4} = \frac{b_C}{T} \int_T \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_T(k) \cdot \omega(n)}{2} \cdot \left\{ \cos\left[\frac{2\pi(k+n)t}{T} + \phi(k) + \theta(n)\right] + \cos\left[\frac{2\pi(k-n)t}{T} + \phi(k) - \theta(n)\right] \right\} dt$$

Portando l'integrazione all'interno delle somme, si ha:

$$P_{M4} = \frac{b_C}{2 \cdot T} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \omega(n) \cdot \int_T \left\{ \cos\left[\frac{2\pi(k+n)t}{T} + \phi(k) + \theta(n)\right] + \cos\left[\frac{2\pi(k-n)t}{T} + \phi(k) - \theta(n)\right] \right\} dt$$

Il primo elemento all'interno dell'integrale ha sempre periodo sottomultiplo di T , per cui il suo contributo è nullo. Il secondo elemento contribuisce con un valore diverso da zero solo quando $k = n$ (con $k \neq n$, il periodo è sottomultiplo di T), per cui si può proseguire con:

$$\begin{aligned} P_{M4} &= \frac{b_C}{2 \cdot T} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \omega(k) \cdot \int_T \cos[\phi(k) - \theta(k)] dt \\ &= \frac{b_C}{2} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \omega(k) \cdot \cos[\phi(k) - \theta(k)] \end{aligned}$$

Considerando i vari contributi, la potenza media di una pedalata è quindi:

$$P_M = b_C \cdot F_T(0) \cdot \omega(0) + \frac{b_C}{2} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} F_T(k) \cdot \omega(k) \cdot \cos[\phi(k) - \theta(k)]$$

Considerazioni

- Nel computo della potenza media di una pedalata, un contributo è dato dal prodotto delle armoniche della forza tangenziale $F_T(k)$ e della velocità angolare $\omega(k)$ purché abbiano uguale frequenza (periodo).
- Il contributo di queste armoniche è comunque nullo quando queste sono sfasate di 90° , cioè $\phi(k) - \theta(k) = \pm 90^\circ$.
- Normalmente la velocità angolare ha l'armonica fondamentale con frequenza doppia rispetto a quella della forza tangenziale, per cui il termine $\omega(1)$ risulta nullo.
- Calcolando la potenza media solo con il prodotto dei valori medi della forza tangenziale $F_T(0)$ e della velocità angolare $\omega(0)$, cioè considerando solo il primo addendo dell'espressione finale, si trascura il contributo delle armoniche di grado superiore.
- A priori non è possibile dire se le armoniche possono incrementare o diminuire il risultato ottenuto dai valori medi.