

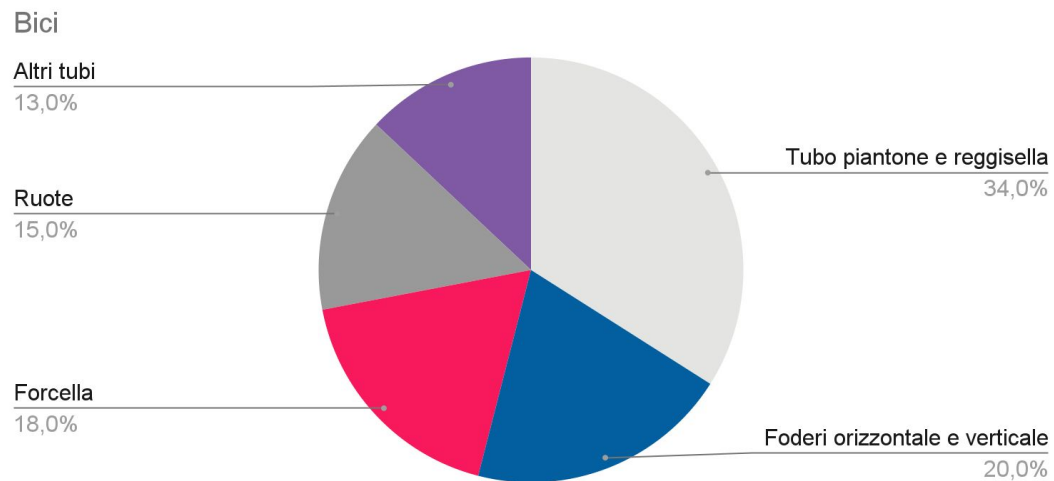
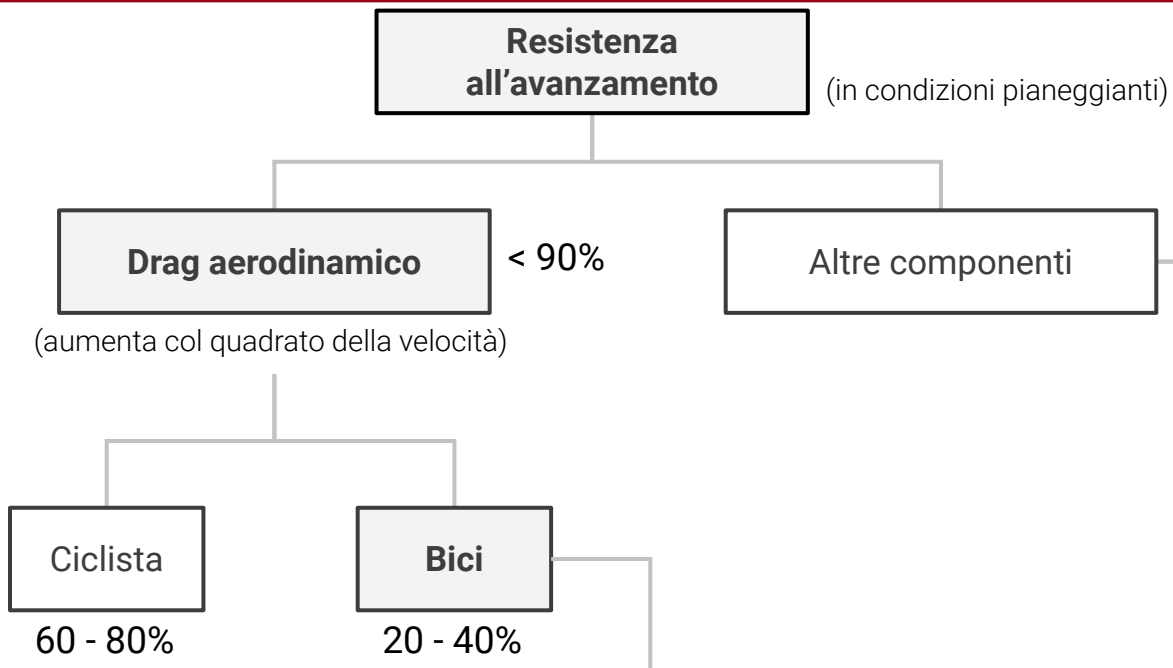
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Aerodinamica nel ciclismo: da
Moser a Ganna»***

Tutor universitario: Prof. Francesco Picano

Laureando: *Leonardo Tonon*

Padova, 14/03/2024



Fornire una panoramica su:

- + metodi di test
- + caratteristiche aerodinamiche delle bici da corsa
- + stato dell'arte in materia di telai
- + comportamento di differenti tipi di ruote
- + posizioni in bici e loro influenza sul drag aerodinamico

Confrontare due bici e le loro innovazioni:

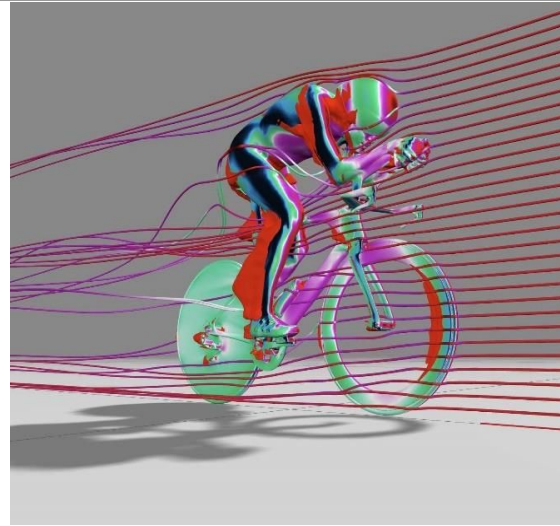
- + Francesco Moser, 1984
- + Pinarello Bolide F HR 3D, Filippo Ganna, 2022

Proporre nuove soluzioni aerodinamiche per i ciclocomputer



Galleria del vento

- + Ipotesi: forze misurate sul sistema colpito da un flusso d'aria = forze agenti sul sistema in movimento attraverso una massa d'aria ferma
- + Esperimenti effettuati a grandezza reale
- Restituisce solo il valore del drag totale
- Scarsa riproducibilità delle misurazioni



Fluidodinamica computazionale CFD

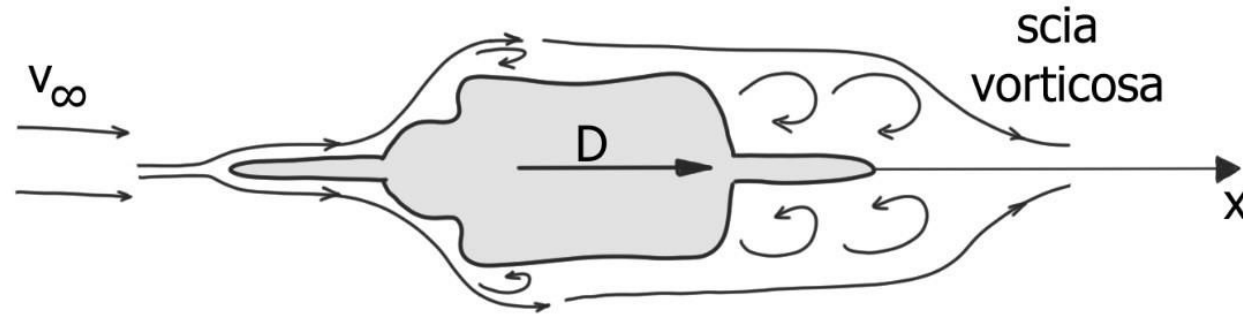
- + Risoluzione numerica delle equazioni di Navier - Stokes in forma approssimata
- + Metodo accurato e affidabile (confronto con dati "veri" per ridurre errori ed incertezze)
- + Fornisce i dati di ogni punto del campo
- Costo computazionale e tendenza all'errore ancora troppo elevate per il ciclismo



Test sul campo

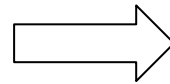
- + Esperimento effettuato in condizioni reali
- + Metodo più semplice e più utilizzato, ma meno accurato
- + Permette di combinare biomeccanica e aerodinamica
- Coast down test
- Modello della regressione lineare

Il sistema bici - ciclista può essere assimilato ad un insieme di corpi tozzi



Lo strato limite è caratterizzato da:

- + gradienti di pressione avversi che portano al suo distacco
- + grossa scia turbolenta costituita da vortici a bassa pressione



La componente principale del drag è costituita dalla **resistenza di forma**, proporzionale al salto di pressione tra zona frontale (di ristagno) e scia turbolenta

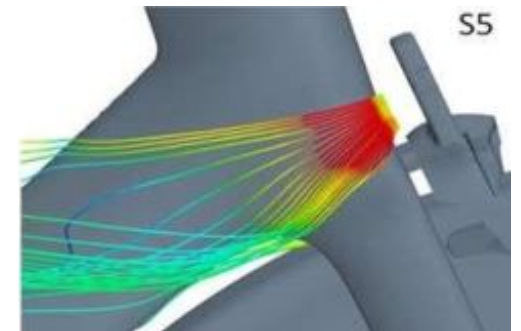
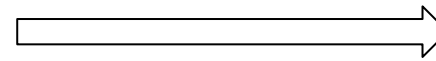
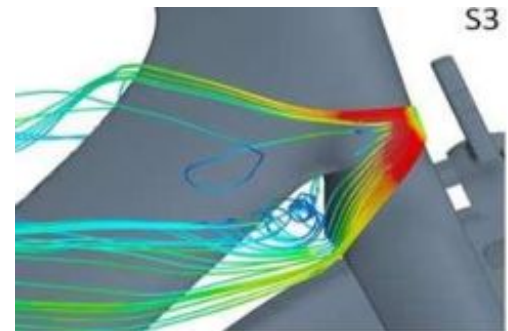
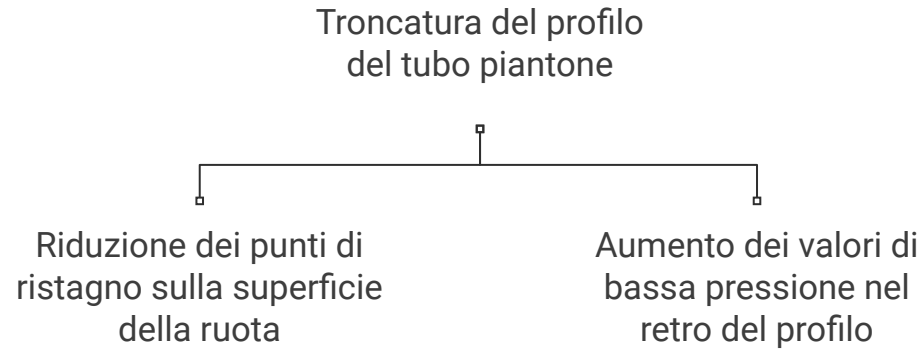
Accorgimenti per ridurre il salto di pressione:

1. minimizzare la superficie frontale
2. aumentare la pressione nella zona posteriore
3. ridurre l'ordine di grandezza della pressione nelle zone di ristagno anteriori

Cervélo S5



Principali soluzioni adottate:



Riempimento dello spazio tra tubo obliquo, forcella e ruota anteriore

Riduzione dei valori di alta pressione sul bordo di attacco del tubo obliquo

Minor ampiezza della zona di bassa pressione sul bordo di uscita della forcella

Confronto fra sei differenti ruote:

	Basso profilo 24 mm	<ul style="list-style-type: none"> • 16 raggi • Copertoncino
	Profilo da 38 38 mm	<ul style="list-style-type: none"> • 20 raggi • Tubolare
	Profilo da 85 85 mm	<ul style="list-style-type: none"> • 20 raggi • Tubolare
	Tre raggi 55 mm	<ul style="list-style-type: none"> • 3 raggi • Tubolare
	Lenticolare piena	<ul style="list-style-type: none"> • Disco pieno • Tubolare

Ruote solo anteriori mantenute in rotazione alla stessa velocità del vento: 50 km/h

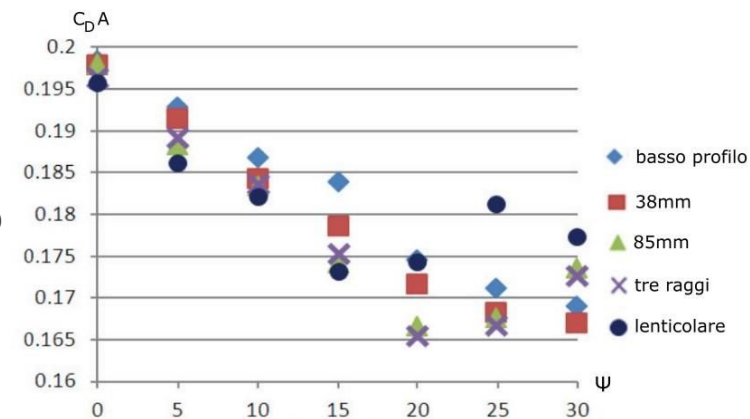
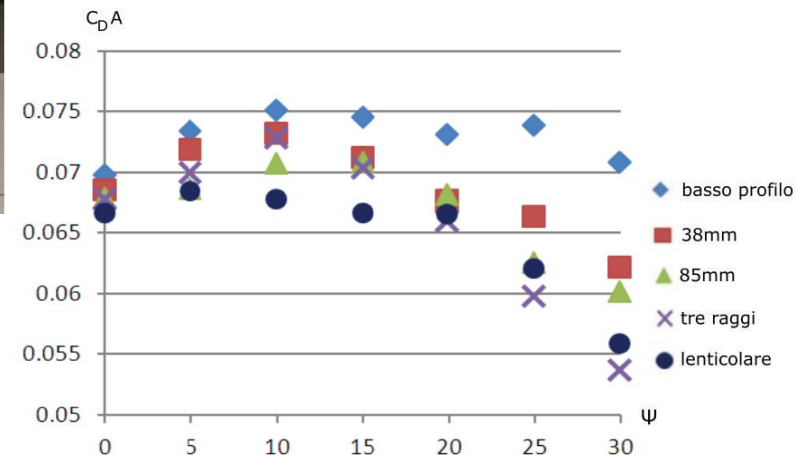


● Bici isolata

Test in
galleria del
vento



● Bici + manichino



Riduzione del drag nelle tre posizioni:

Mani sui comandi
(valore di riferimento)

Presenza bassa
15 - 20%

Posizione a cronometro
30 - 35%



Confronto di sei differenti configurazioni della posizione a cronometro (TTP):

TTP 30° up TTP 30°, 5cm up **TTP 5cm down** TTP 5cm up **TTP di riferimento** TTP 5 cm avanti



Simulazione effettuata tramite CFD: la velocità del flusso è 15 m/s (54 km/h), il corpo investito dal flusso è solo quello del ciclista

Posizione	C_{DA} [m ²]	Deviazione [%]
TTP 30° up	0,144	1,4
TTP 30°, 5 cm up	0,147	3,5
TTP 5 cm down	0,130	(-) 8,5
TTP 5 cm up	0,143	0,7
TTP di riferimento	0,142	referimento
TTP 5 cm avanti	0,140	(-) 1,4

Bici utilizzata da Francesco Moser per battere il Record dell'ora (1984) con la distanza di 50,808 km

Il retro della bici sostiene la maggior parte del peso per ridurre la resistenza al rotolamento della ruota anteriore

Manubrio a corno di toro per mantenere la posizione aerodinamica studiata in galleria del vento

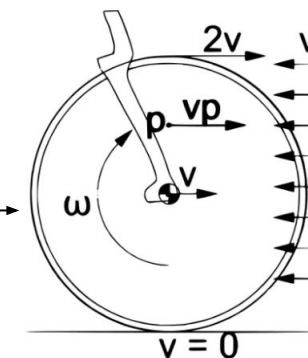
Ruote lenticolari in carbonio ispirate agli aerei Awacs



Tubolari (larghezza 22 mm) per ridurre la resistenza al rotolamento

Ruota posteriore da 28 in

Ruota anteriore da 26 in per ridurre l'effetto dovuto alla maggiore velocità relativa nella metà superiore della ruota



www.dii.unipd.it

museo del ciclismo
madonna del ghisallo
ph. guidorubino.com

Bici utilizzata da Filippo Ganna per battere il Record dell'ora (2022) con la distanza di 56,792 km

www.dii.unipd.it

Telaio in Scalmalloy realizzato
mediante stampa 3D

Tecnologia AirStream: piccole creste (AeroNodes) poste su tubo
piantone e reggisella per minimizzare la separazione dovuta
all'interazione tra il flusso d'aria e le gambe del ciclista

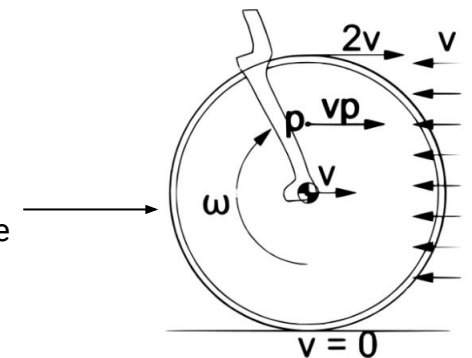


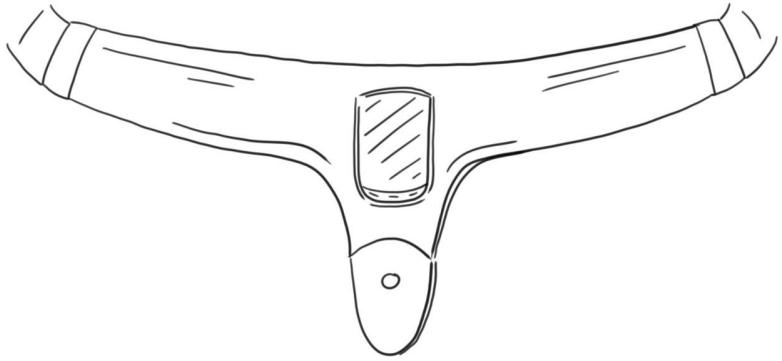
Ruote lenticolari in carbonio

Spazio tra disco e forcella minimizzato per impedire il
passaggio dell'aria e ridurre l'effetto dovuto alla maggiore
velocità relativa nella metà superiore della ruota

Riduzione della superficie frontale rispetto al
modello precedente:

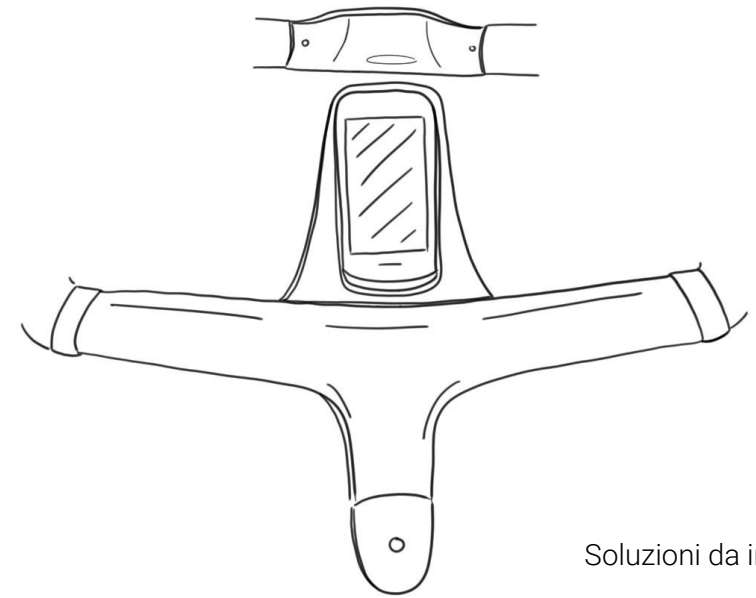
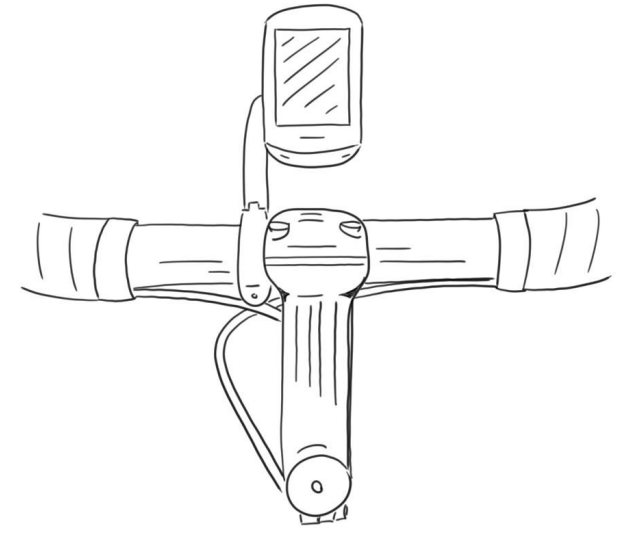
- + movimento centrale, 70 mm → 54 mm
- + asse posteriore, 120 mm → 89 mm
- + asse anteriore, 100 mm → 69 mm





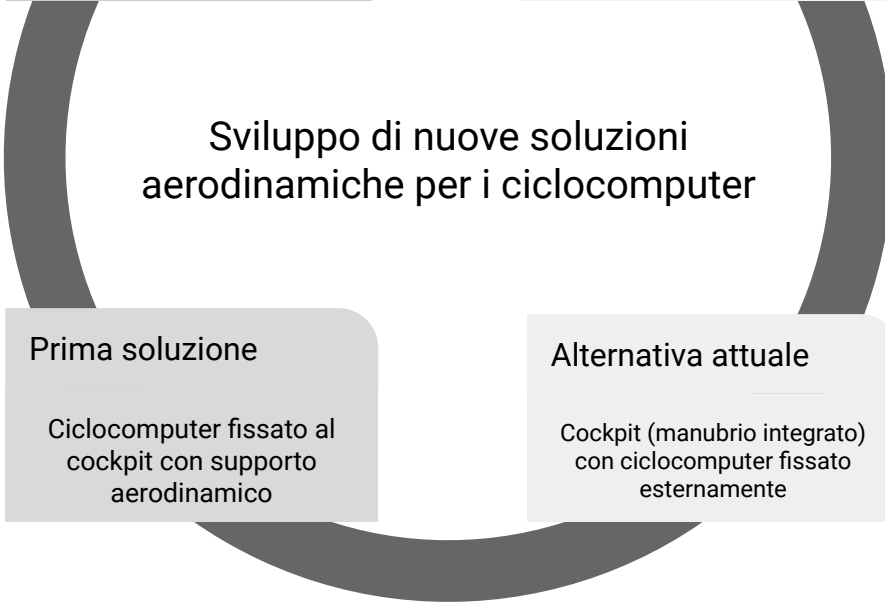
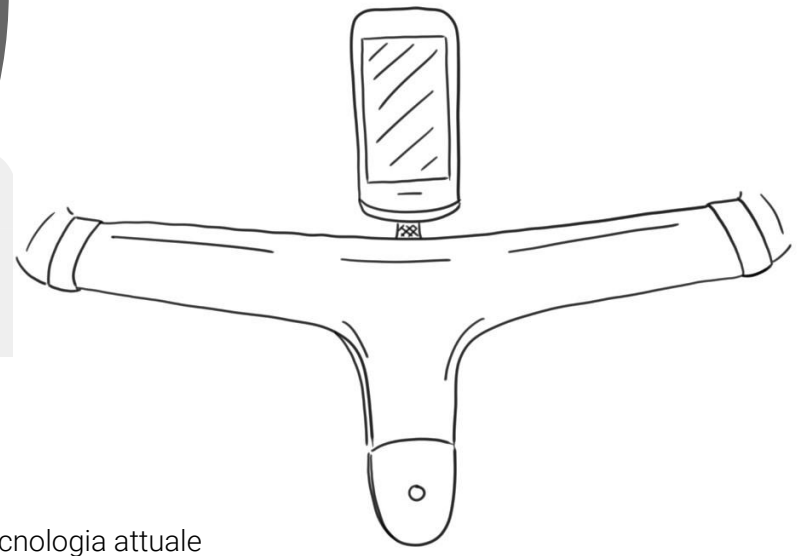
Seconda soluzione
Ciclocomputer
completamente integrato
nel cockpit

Soluzione tradizionale
Manubrio non integrato con
cavi esposti e ciclocomputer
fissato esternamente



Prima soluzione
Ciclocomputer fissato al
cockpit con supporto
aerodinamico

Alternativa attuale
Cockpit (manubrio integrato)
con ciclocomputer fissato
esternamente



Soluzioni da indagare mediante CFD per verificare le riduzioni del drag rispetto alla tecnologia attuale