



# DAI RECORD MONDIALI ALLA MOBILITÀ QUOTIDIANA

*Paolo Baldissera, Cristiana Delprete*

*Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria  
Meccanica e Aerospaziale.*

*L'ampia categoria dei veicoli a propulsione umana (HPV da Human Powered Vehicle) comprende tutti quei mezzi meccanici guidati dall'uomo che utilizzano la potenza muscolare umana, in via esclusiva o assistita, per il trasporto di persone, animali o cose, su terra, acqua, sott'acqua e persino, in alcuni casi, in aria - Il ruolo fondamentale della CFD*



**P**er ragioni storiche e di mercato l'HPV terrestre più noto è la bicicletta che, pur non essendo il più efficiente e veloce, presenta notevoli vantaggi di praticità e gode, nelle sue varie declinazioni, di una popolarità diffusa sia in ambito sportivo sia nel campo del trasporto urbano, specialmente nei paesi del centro e nord Europa. Proprio in questi paesi, Olanda e Germania in testa, nell'ultimo decennio, a fianco della bicicletta tradizionale, hanno trovato crescente diffusione altre tipologie di HPV e in particolare biciclette e tricicli reclinati (recumbent) ovvero con postura di pedalata supina e supportata da un sedile anziché dal classico sellino. I principali vantaggi di queste soluzioni consistono nella migliore aerodinamica e nel maggior comfort, specialmente su lunghe percorrenze, dato dalla più naturale posizione di schiena, collo e braccia. La ricerca di prestazioni più elevate in ambito sportivo ne ha prodotto varianti carenate e semi-caredate (solo fronte o solo coda) fino agli attuali streamliner da record (due ruote, carenatura completa) e ai velomobili per la mobilità quotidiana (tricicli reclinati e carenati).

In Italia è l'associazione Propulsione Umana - Human Powered Vehicles Italia a occuparsi di promuovere, organizzare e regolamentare tutte le attività in ambito HPV, aggregando praticanti, appassionati, progettisti e costruttori e rappresentando il nostro paese presso la WHPVA (World Human Powered Vehicle Association).

#### **AERODINAMICA: LA CARTA VINCENTE**

Come può sperimentare chi utilizza abitualmente una bicicletta, per velocità superiori ai 25-30 km/h la resistenza aerodinamica diventa di gran lunga maggioritaria nel bilancio complessivo del ciclista e agire su questo aspetto mediante carenature parziali o totali può dare benefici sostanziali in termini di rapporto potenza-velocità. D'altronde è evidente che i record (*v. colonna a fianco*), tutti detenuti da ciclisti amatoriali, non sono immaginabili su biciclette tradizionali nemmeno con il più preparato dei professionisti. Dal 2012, grazie al supporto di Cd-Adapco, il Team Policumbent si avvale del codice CFD Star-CCM+ per l'analisi di questo aspetto fondamentale nella progettazione dei prototipi.

Rimandando a future pubblicazioni i dettagli tecnici delle analisi attualmente in corso sui nuovi progetti sopra menzionati, in questo arti-

#### **Il Team**

Policumbent è un Team studentesco, con base al Politecnico di Torino, focalizzato sulla progettazione, realizzazione e utilizzo di veicoli a propulsione umana. La squadra è attiva fin dal 2009, anno in cui, grazie ai fondi erogati dalla Commissione Progettualità Studentesca dell'Ateneo e al supporto tecnico di alcune piccole e medie imprese, ha avviato la progettazione del primo prototipo, al quale ne sono seguiti altri con cadenza annuale.

Il Team, cresciuto numericamente negli anni fino a dividersi in due gruppi di una decina di studenti ciascuno, è attualmente al lavoro su due ambiziosi obiettivi:

1. uno streamliner per sfidare il record del mondo di velocità in piano di 133,28 km/h (Sam Whittingham 2009) allo Human Powered Speed Challenge di Battle Mountain nel 2014 (l'obiettivo di partecipare all'edizione 2013 è stato rinviato per ragioni tecniche ed economiche) ed eventualmente in futuro il record di percorrenza in un'ora di 91,6 km (Francesco Russo su Eiviestretto presso il circuito del Lausitzring, DE);
2. un velomobile a pedalata assistita destinato alla mobilità quotidiana in ambito urbano ed extra-urbano, con l'obiettivo di tour dimostrativo di oltre 1000 km in Italia alla fine di settembre 2013.

Gli studenti, che si suddividono compiti di progettazione, simulazione e sperimentazione sotto la guida degli autori (Responsabile Scientifico: Prof. C. Delprete, Technical Advisor: Ing. P. Baldissera), hanno l'opportunità di dedicare le proprie tesi a un'attività dai risvolti concreti e in un contesto collaborativo, acquisendo al contempo esperienza circa le dinamiche di gruppo. Lavorando su tematiche human powered acquisiscono inoltre una maggiore sensibilità ai temi della mobilità nuova e una migliore percezione delle grandezze fisiche in gioco, affrontando l'analisi dei dati di potenza, energia e velocità su una scala "a misura d'uomo".



Fig. 1 - Proporzioni antropometriche del manichino CAD e del ciclista in forza al Team

mente un dettagliato manichino 3D CadHuman (Figura 1). Si è quindi potuto procedere alla definizione di una prima bozza CAD in Solidworks, realizzata tramite funzione loft a partire da alcune sezioni di riferimento e da curve longitudinali designate, in assenza di altre indicazioni in letteratura, con profili NACA simmetrici. Sulla base dei risultati ottenuti in simulazione, sono state disegnate due successive versioni della coda con l'obiettivo di massimizzarne l'efficacia. In tutti i casi, la carenatura disegnata ingloba anche parte del telaio sottostante al ciclista (Figura 2) e presenta una lunghezza complessiva di 1550 mm, 1700 mm e 1750 mm rispettivamente per le tre versioni confrontate.

Nel caso specifico, la sfida dell'ottimizzazione fluidodinamica è complicata dal fatto che l'aria giunge in coda dopo essere stata perturbata dalla parte anteriore in cui telaio, componenti e ciclista sono esposti direttamente. Una buona forma della coda, oltre a evitare ulteriori aumenti della drag force causati dalla zona di depressione dietro testa e schiena (Figure 3a e

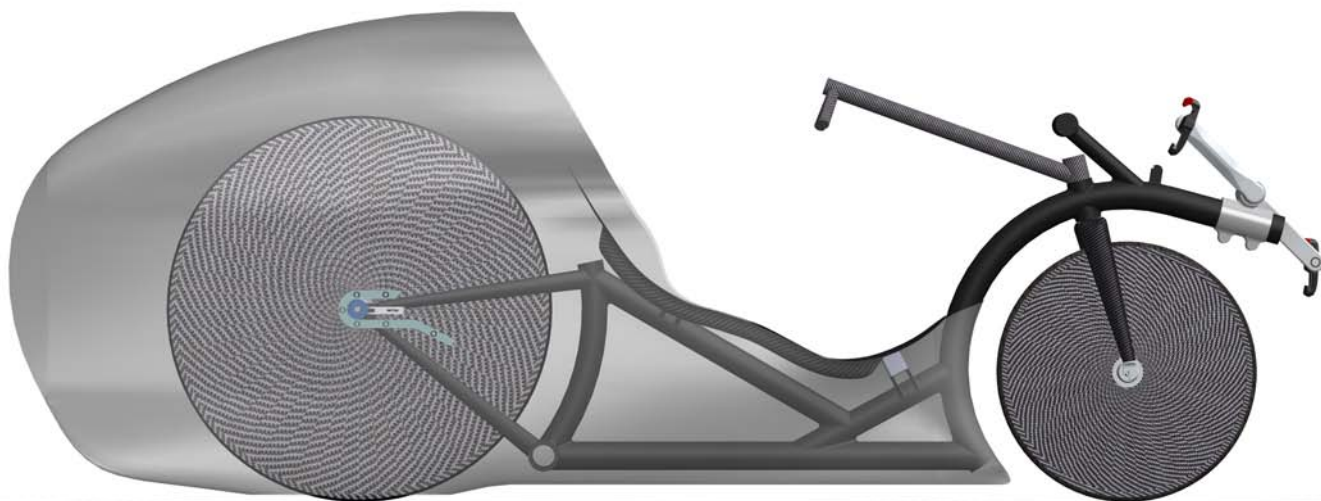


Fig. 2 - il prototipo COR-AL13 con la carenatura di coda progettata

colo si presentano i risultati di uno studio condotto all'interno del Team al fine di disegnare una carenatura di coda ottimale, valutandone numericamente gli effetti sulle prestazioni di un precedente prototipo non-careonato.

### PROGETTAZIONE E ANALISI CFD

Dopo un'analisi delle soluzioni già esistenti, la progettazione della coda aerodinamica per il prototipo COR-AL13 è stata affrontata a partire da un'accurata misurazione antropometrica dei ciclisti in forza al Team. In questo modo è stato possibile scalare e posizionare opportuna-

3b), può ambire a riportare in condizioni di laminarità almeno una parte del flusso, agevolando un recupero di pressione da cui scaturisca una spinta favorevole.

Un limite dell'approccio CFD in ambito ciclistico è rappresentato dal movimento delle gambe: mentre con opportune condizioni al contorno è facile tenere conto della rotazione delle ruote ed eventualmente della corona anteriore, introdurre nel modello il moto degli arti inferiori ne aumenta la complessità e l'onerosità computazionale in misura eccessiva. Si è quindi scelto di trascurare tale aspetto, come già avviene nella CFD di biciclette da corsa tra-

Fig. 3 - Velocità del flusso attorno al ciclista in diverse sezioni senza coda (a, b) e con la coda (c)

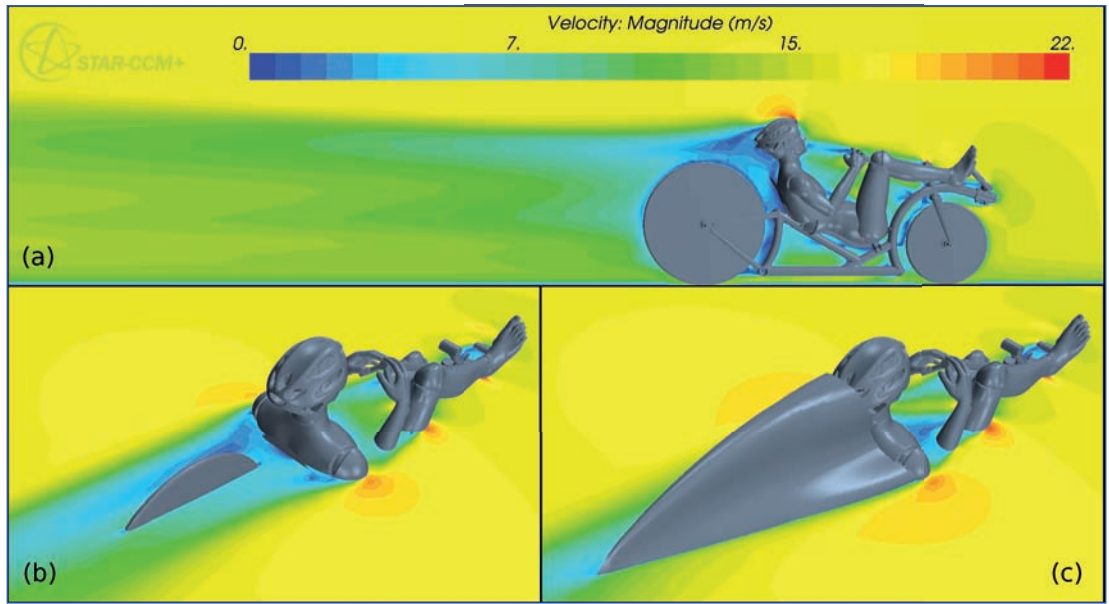
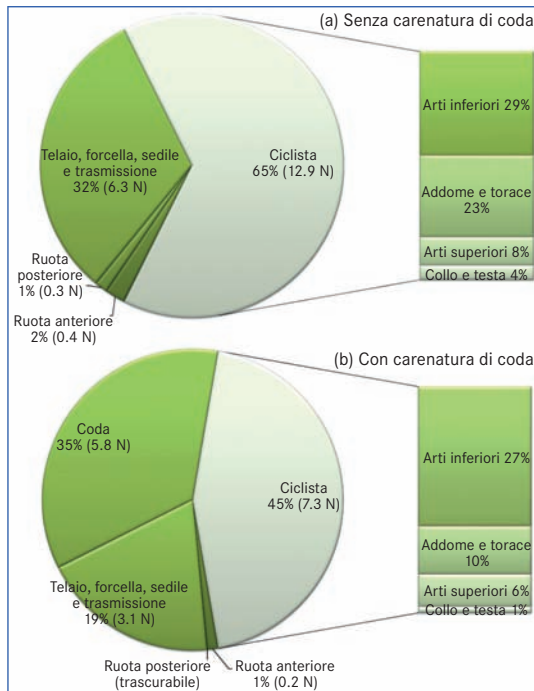


Fig. 4 - Contributo delle singole parti sul drag complessivo



dizionali, riservando a future prove in galleria del vento o su strada (coast-down) una quantificazione della sua influenza specifica.

Sono quindi state analizzate mediante CFD tre diverse geometrie della coda e i modelli realizzati contano circa 970.000 celle ciascuno. Sfruttando le potenzialità di calcolo parallelo di Star-CCM+, su una workstation dotata di 8 processori da 3 GHz e 16 GB RAM, la simulazione ha richiesto un totale di 3 ore per 1500 iterazioni, ma la convergenza è stata ampiamente raggiunta in circa un terzo del tempo con circa 430 iterazioni.

## RISULTATI A CONFRONTO

Nell'analisi comparativa delle diverse soluzioni disegnate ci si è concentrati su alcuni aspetti, in particolare sfruttando le potenzialità di visualizzazione e calcolo del software:

- la forza resistente parallela al flusso, scomposta nelle sue due componenti normale e tangenziale (e quindi l'analisi delle pressioni e delle tensioni tangenziali sull'insieme);
- la forza in direzione perpendicolare al flusso per valutare eventuali effetti di portanza o deportanza;
- l'analisi della scia posteriore in termini di velocità del flusso (Figure 3 e 5);
- l'analisi del contributo di ciascun elemento del manichino e del veicolo sulla resistenza complessiva per individuare possibili ulteriori interventi migliorativi (Figura 4).

Dai risultati delle simulazioni è emersa la maggiore efficacia del secondo modello di coda ( $L = 1700$  mm) in termini di drag e di coefficiente di forza aerodinamica  $C_F$  (Tabella 1).

L'asimmetria delle aree iso-velocità (Figure 3 e 5) suggerisce che la posizione di gambe e braccia del ciclista giochi un ruolo rilevante nell'insieme, andando a sbilanciare il flusso, che lavora dunque in condizioni diverse sui due lati della carenatura di coda. Resta da appurare se tali effetti siano mitigati o amplificati in condizioni cinematiche reali ovvero con le gambe in movimento. La vista laterale dei profili di velocità sul piano mediano (Figura 3a) evidenzia possibili zone di intervento anche nell'interstizio tra ruota anteriore e telaio e in quello tra telaio e manubrio, come d'altronde era già

Configurazione	Lunghezza coda [mm]	$C_F$	Drag [N]	Lift [N]
Senza coda	-	0.144	19.73	-4.68
Coda 1	1550	0.117	15.50	-2.70
Coda 2	1700	0.117	15.47	-2.70
Coda 3	1750	0.133	16.20	-2.65

Tab. 1 - risultati a confronto senza coda e con le diverse versioni.

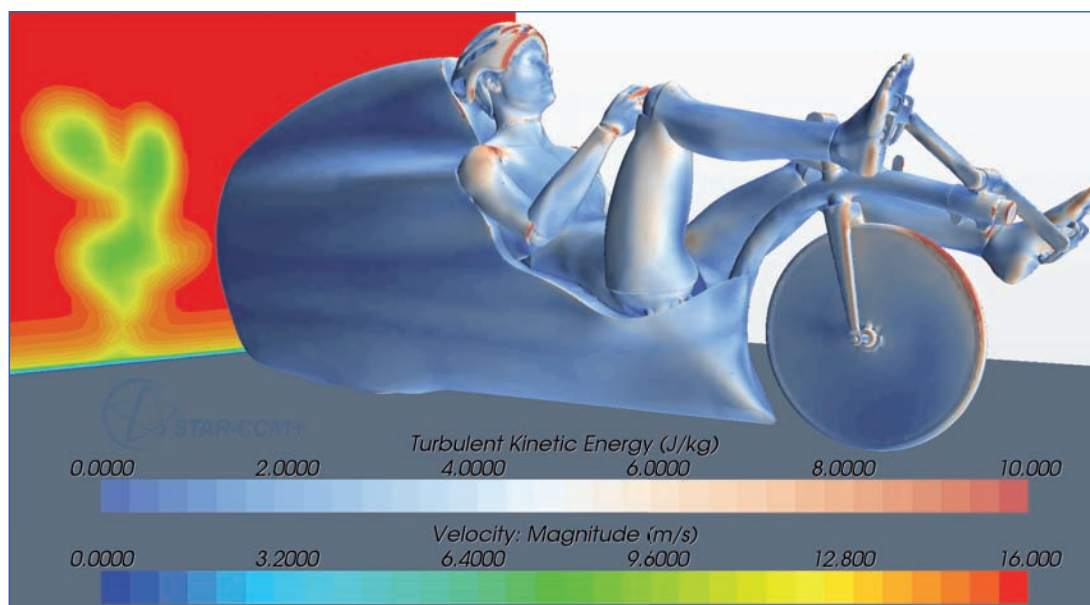


Fig. 5 - Analisi della scia in coda, turbolenza e velocità del flusso

stato intuito e direttamente implementato sul prototipo non carenato (immagine di apertura). È inoltre auspicabile un'accurata progettazione della zona di interfaccia tra il caschetto e la coda per garantire condizioni di tangenza che minimizzino i disturbi al flusso d'aria.

La possibilità offerta dal software di quantificare i contributi di ciascuna singola parte sulla resistenza complessiva non lascia spazio a dubbi anche nel caso dell'analisi senza carenatura di coda: il busto e la testa del ciclista rappresentano il contributo maggioritario (Figura 4) e dunque, in ottica record, la ricerca di una posizione reclinata più estrema è la direzione da seguire (v. record dell'ora non-careinato 56.597 km, Aurelién Bonneteau 2012). Altri contributi rilevanti arrivano da gambe e braccia: dunque pedivelle corte per limitare l'escursione delle ginocchia (115 mm Bonneteau rispetto ai 170 mm standard) e una posizione molto raccolta delle mani, possibilmente facendo rientrare i gomiti nell'area frontale del busto.

### CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'analisi CFD ha ampiamente confermato il contributo migliorativo di una carenatura di coda sull'aerodinamica del sistema veicolo-ciclista in

ambito recumbent e ha contribuito ad affinare il design dell'appendice aerodinamica. La diminuzione di drag force ottenuta con l'aggiunta della coda comporta un abbattimento di circa il 20% della potenza necessaria per un'andatura di 60 km/h, che diventa sostenibile anche per un atleta dilettante di medio livello.

Si è inoltre evidenziata una diminuzione (43%) della deportanza in presenza della coda, utile a migliorare le prestazioni di rotolamento degli pneumatici in ottica racing, senza però essere tale da compromettere sicurezza e guidabilità del veicolo. Il confronto a parità di condizioni simulate non solo ha permesso di individuare la geometria migliore tra quelle sviluppate, ma ha fornito utili suggerimenti e conferme circa le altre zone del veicolo e le possibili posture del ciclista su cui intervenire per abbattere la resistenza. Per ragioni di opportunità e di ridefinizione degli obiettivi del Team, la realizzazione della coda progettata è attualmente in sospenso. Le competenze acquisite in fase di analisi sono però tutt'altro che sprecate e continuano a supportare la crescita della squadra e lo sviluppo dei nuovi prototipi menzionati in precedenza, sia nella prospettiva dei record sportivi da battere sia nella progettazione di velomobili a supporto di una nuova mobilità a misura d'uomo.