



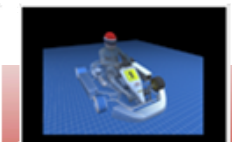
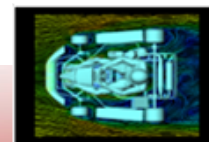
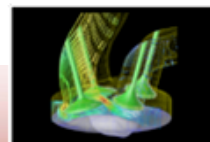
Università degli Studi di Roma Tor Vergata
Corso di Laurea e Dipartimento di Ingegneria Meccanica

tor vergata karting
www.torvergata-karting.it

Evaluation of aerodynamic drag of go kart by means of coast down test and CFD analysis

Ing. Marco Evangelos Biancolini
Dipartimento di Ingegneria Meccanica
Università di Roma Tor Vergata

AIAS 2007
Ischia, 09-09-2007

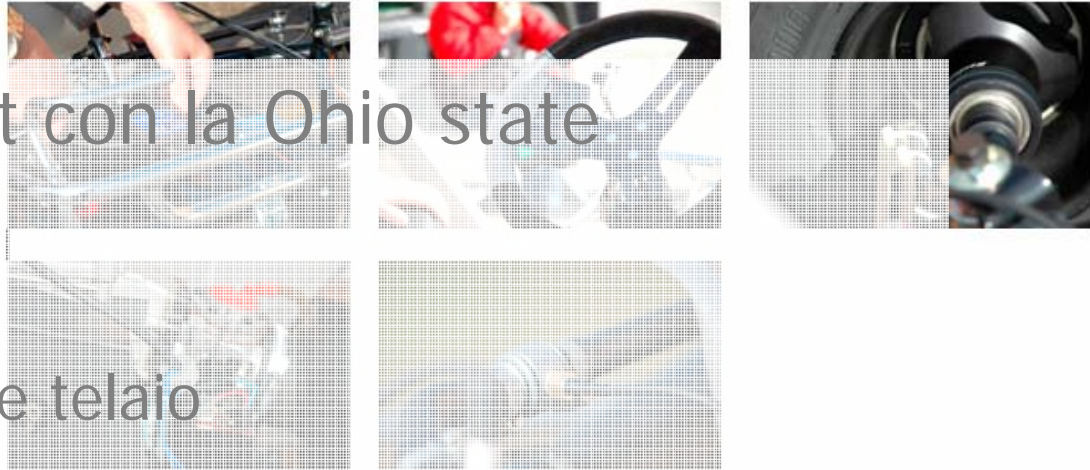


www.torvergata-karting.it

Land Speed Record

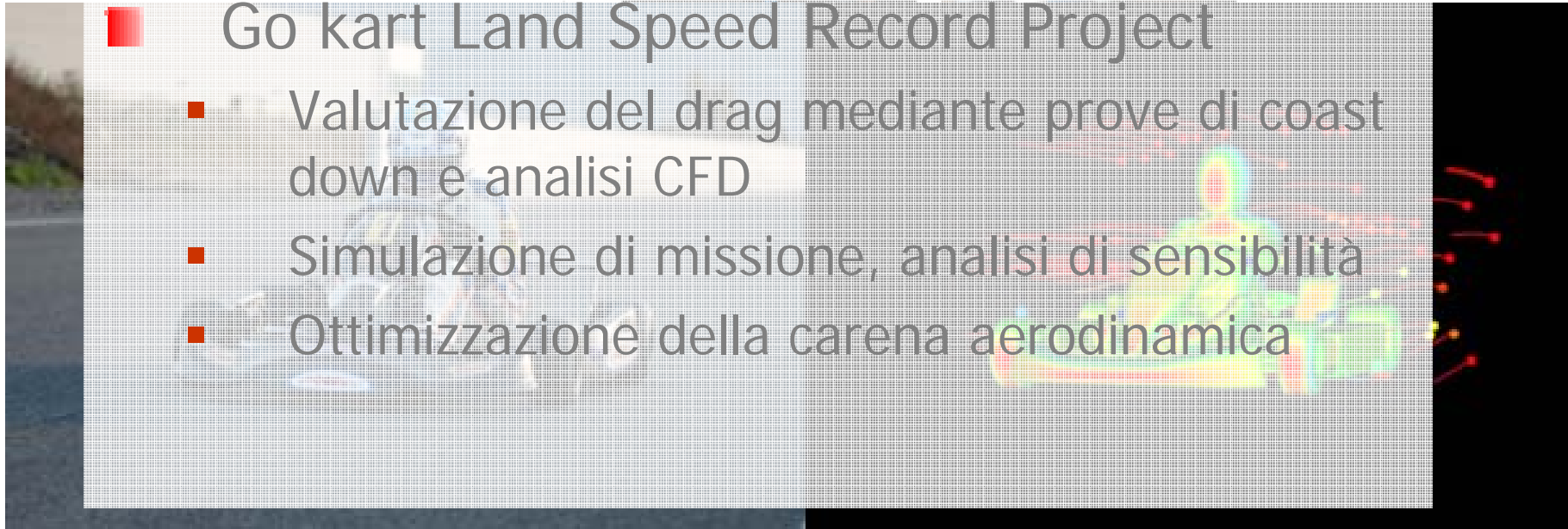
■ Buckeye bullet con la Ohio state University

- Sospensioni
- Ottimizzazione telaio



■ Go kart Land Speed Record Project

- Valutazione del drag mediante prove di coast down e analisi CFD
- Simulazione di missione, analisi di sensibilità
- Ottimizzazione della carena aerodinamica



Obiettivi

- Valutazione quantitativa mediante analisi CFD della resistenza aerodinamica
- Valutazione sperimentale delle resistenze passive
- Previsione della missione del veicolo
- Analisi di sensibilità per decidere la strategia di ottimizzazione del veicolo

Analisi CFD

- Modello geometrico TVK 2003
- Modello CFD Fluent pieno dettaglio
 - Galleria del vento virtuale
 - Velocità della strada e delle ruote
 - Velocità del flusso indisturbato 90 km/hr
- Analisi forze resistenti
 - Risultante
 - Distribuzione sui componenti del veicolo

Modello geometrico



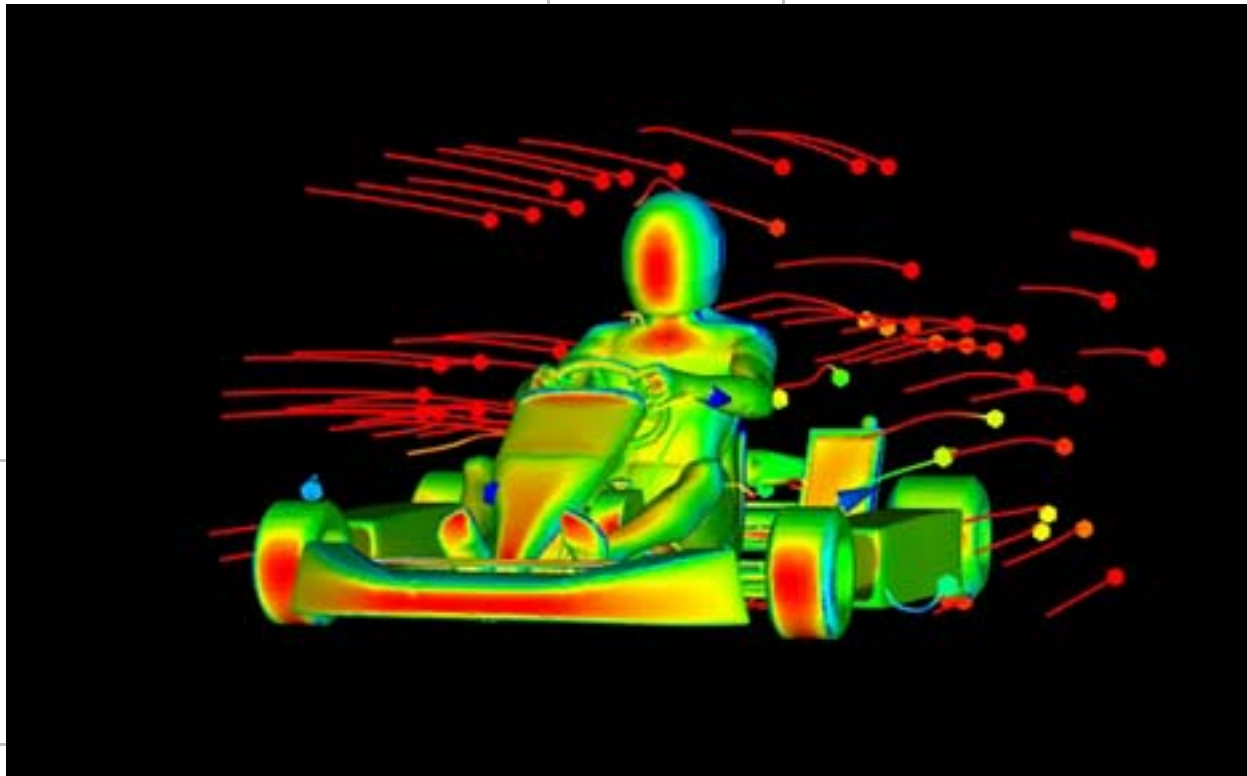
AIAS 2007
Ischia, 09-09-2007

www.torvergata-karting.it



Modello CFD

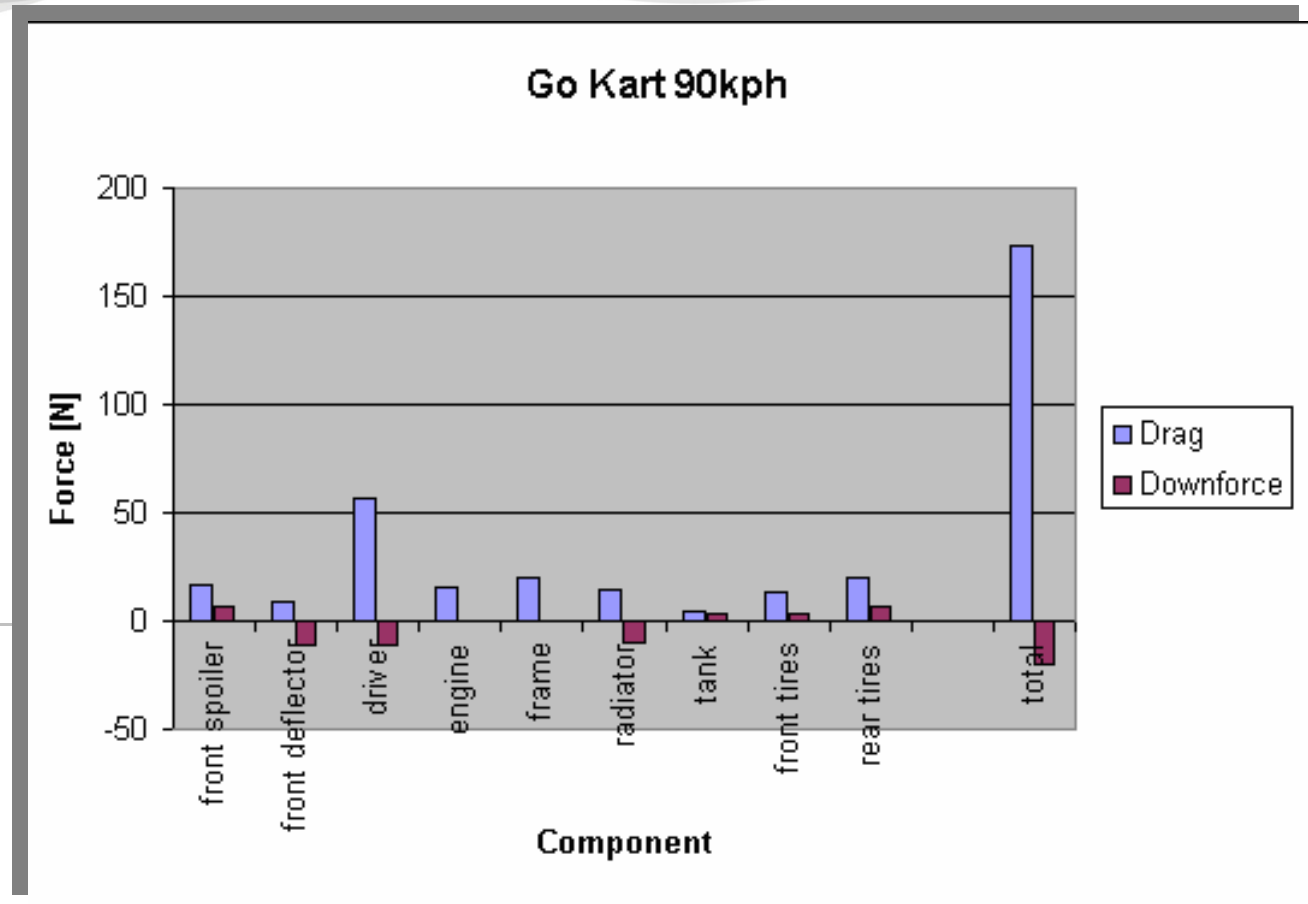
- Pressioni agenti sulle superfici bagnate
- Linee di flusso del campo di moto



Risultati CFD: forze resistenti e deportanti

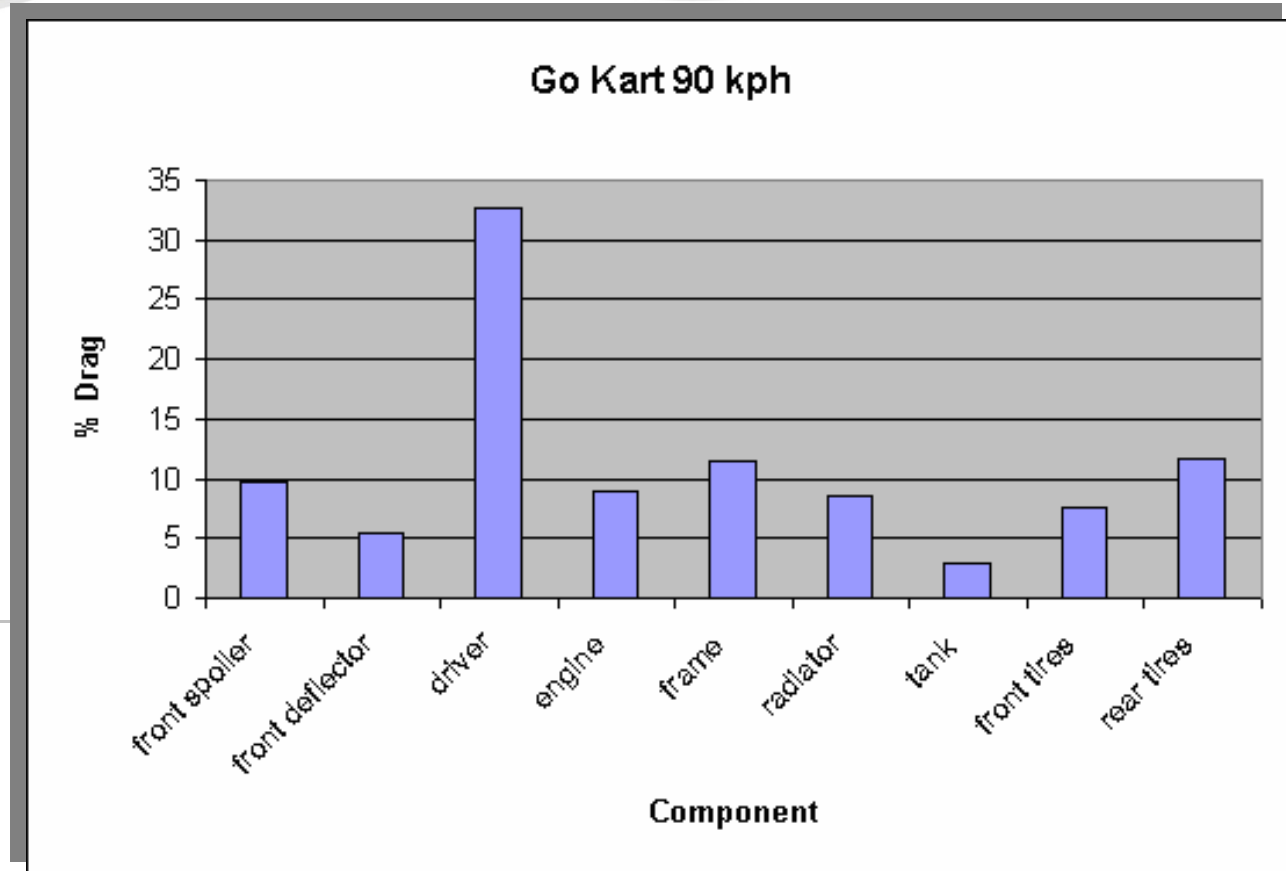
- Forze sui componenti
- 3 kg di portanza
- 173N di resistenza
- Stima del CX

$$F_{drag}(v) = \frac{1}{2} \rho v^2 C_x A_{front}$$
$$A_{front} = 0.57484 \text{ m}^2$$
$$\rho = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$v = 90 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$
$$C_x = 0.804$$



Risultati CFD: distribuzione resistenza

- Contributo percentuale dei componenti
- 33% il solo pilota
- 20% le ruote
- 15% carena frontale
- 10% radiatore



Misura delle resistenze passive in pista

- Go kart: CRG 100
Black Star
- Motore: Maxter 100 2T
- Circuito: ISAM Anagni
- Pilota: Gianmaria
Gabbiani
- Strumentazione: PI
Delta Clubman Kart Kit
- Supporto tecnico:
Racing Team CIK, PI
Research



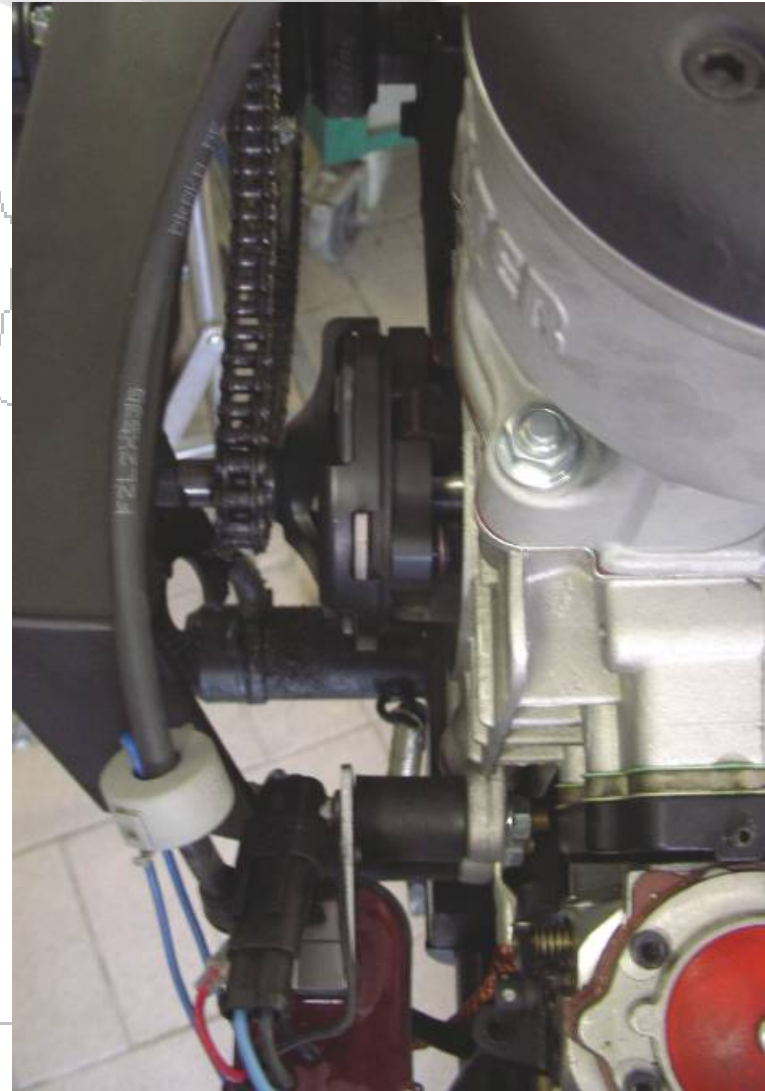
Dettagli strumentazione

- Nell'ordine la centralina di acquisizione PI "Delta Clubman", il cruscotto PI "X-Kart", il sensore di velocità sistemato sulla ruota anteriore, il sensore del numero di giri del motore ed il sensore per la temperatura dell'acqua di raffreddamento.



Dettagli strumentazione

- Frizione centrifuga
 - Sicurezza ad alta velocità
 - Consente di disconnettere il motore a go-kart lanciato per eseguire prove di decelerazione libera



Metodo di misura indiretta delle resistenze e della spinta

- Analizzando i dati di decelerazione è possibile identificare i parametri del modello di resistenza passiva.
- La prova viene eseguita disinnestando il motore a veicolo lanciato lungo il rettilineo.
- Analizzando i dati di accelerazione è possibile stimare la spinta effettiva alla ruota e quindi la curva di coppia del motore.
- La prova viene eseguita accelerando il veicolo lungo il rettilineo.

Teoria usata nel trattamento dati

- Equazione del moto del veicolo
- La spinta dipende dalla coppia dinamica erogata dal motore e dal rapporto di trasmissione
- Si considera la resistenza di rotolamento e la resistenza aerodinamica
- Si ipotizza che nel range di interesse il C_x sia stabile rispetto alla velocità

$$F_{.tot}(v) = Ma$$

$$F_{.tot}(v) = F_{thrust}(v) - F_{drag}(v) - F_{roll}(v)$$

$$F_{thrust}(v) = T \left(\frac{v}{2\pi R_{rot} Z_{tot}} \right) \frac{1}{R_{rot} Z_{tot}}$$

$$F_{roll}(v) = Mg(f_0 + f_1 v)$$

$$F_{drag}(v) = \frac{1}{2} \rho v^2 C_x A_{front}$$

Decelerazione libera

- L'accelerazione osservata e le resistenze passive formano un polinomio di secondo grado nella velocità
- I coefficienti del polinomio sono legati ai parametri incogniti del modello di resistenza
- Usando un algoritmo di regressione si calcolano i coefficienti del polinomio

$$\begin{cases} -Ma = Mg(f_0 + f_1v) + \frac{1}{2}\rho v^2 C_x A_{front} \\ -Ma = av^2 + bv + c \\ \frac{1}{2}\rho C_x A_{front} = a \\ Mgf_1 = b \\ Mgf_0 = c \end{cases}$$

Accelerazione

- Si utilizzano i coefficienti del modello di perdita ottenuti analizzando le curve di decelerazione
- Si utilizza l'equazione completa considerando i valori osservati di velocità e accelerazione
- Si separa l'unico termine incognito (la spinta)
- Si calcola la curva di coppia

$$F_{.tot}(v) = Ma$$

$$F_{.tot}(v) = F_{thrust}(v) - F_{drag}(v) - F_{roll}(v)$$

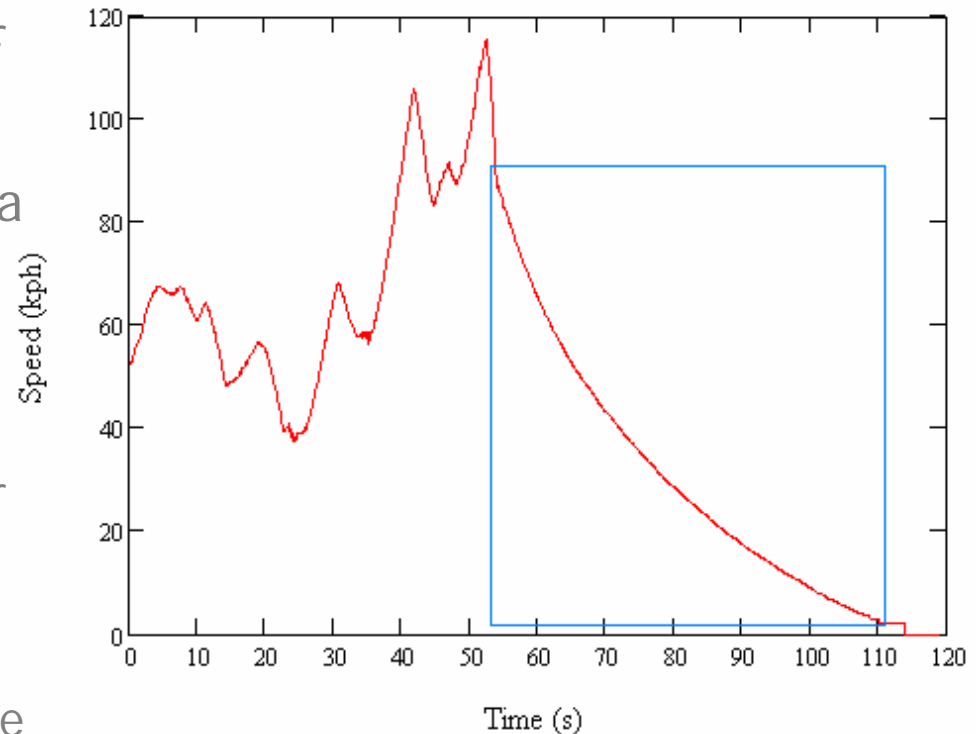
$$F_{thrust}(v) = T \left(\frac{v}{2\pi R_{rot} Z_{tot}} \right) \frac{1}{R_{rot} Z_{tot}}$$

$$F_{roll}(v) = Mg(f_0 + f_1 v)$$

$$F_{drag}(v) = \frac{1}{2} \rho v^2 C_x A_{front}$$

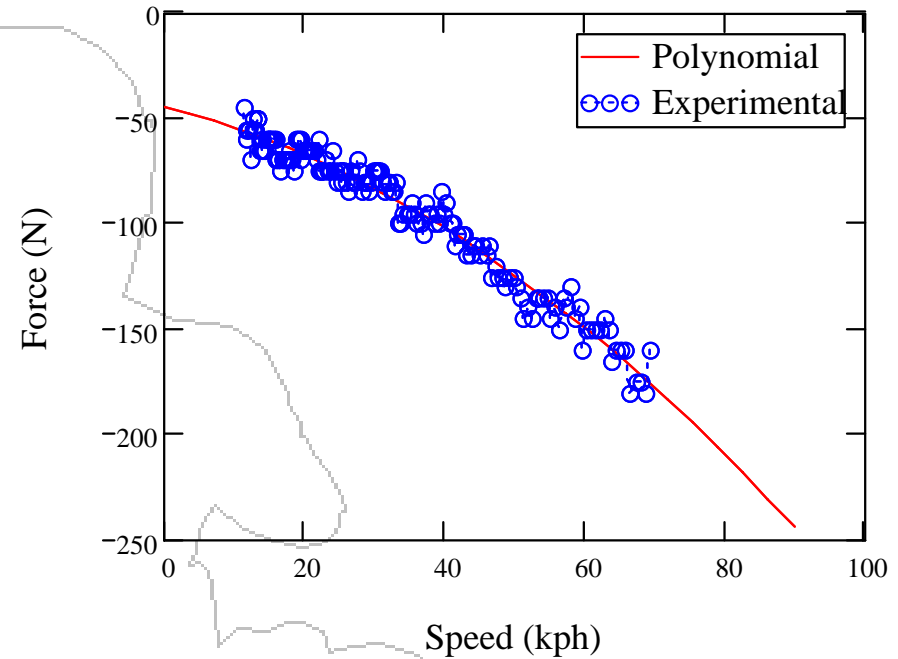
Risultati: decelerazione

- Viene eseguito un test per giro
- Si isola la curva velocità/tempo relativa alla decelerazione libera
- Si filtrano i dati (media mobile)
- Fase 1
 - Derivazione numerica per ottenere decelerazione
 - Regressione polinomiale
- Fase 2
 - Uso i risultati Fase 1 come Guess
 - Algoritmo di identificazione (basato sulla forma integrale)



Coefficienti ottenuti per il set-up di riferimento

■ Confronto fra dati sperimentali e regressione polinomiale

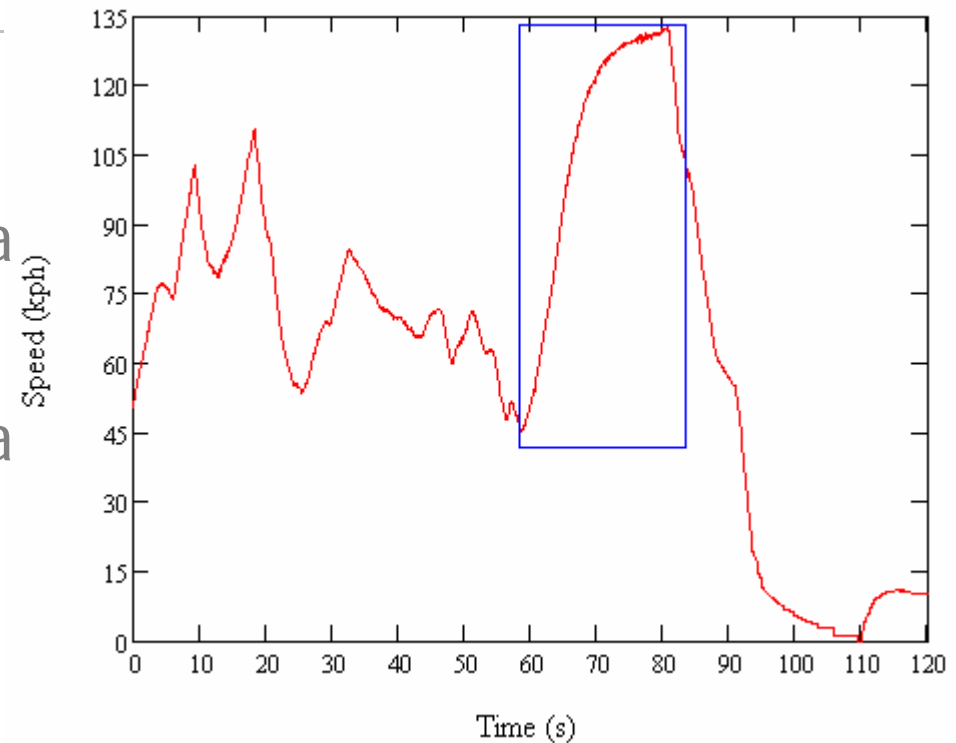


■ Valori ottenuti per i coefficienti di perdita

$$\begin{cases} C_x = 0.899 \\ f_1 = -5.114 \cdot 10^{-4} \\ f_0 = 0.027 \end{cases}$$

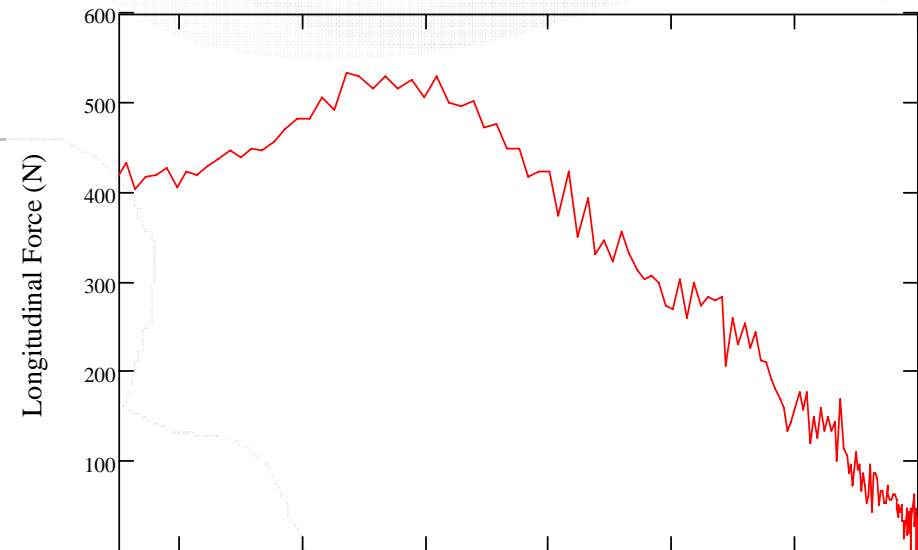
Risultati: accelerazione

- Viene eseguito un test per giro
- Si isola la curva velocità/tempo relativa alla prova di accelerazione
- Si filtrano i dati (media mobile)
- Derivazione numerica per ottenere accelerazione
- Si calcola la spinta
- Si calcola la coppia

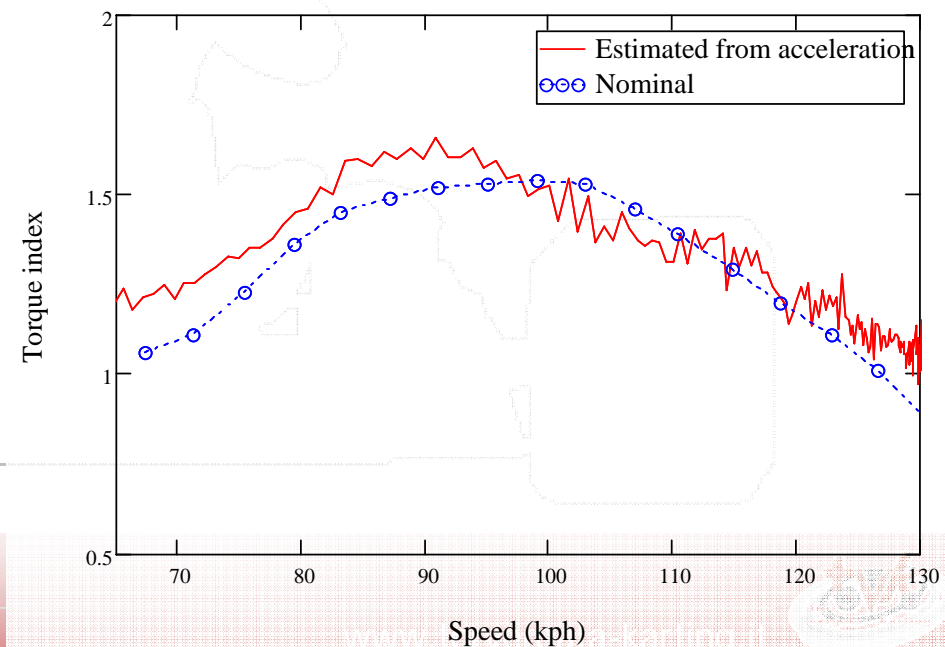


Spinta e curva di coppia

■ Risultante delle forze longitudinali ottenuta dalla curva di accelerazione



■ Confronto fra curva di coppia stimata dai dati sperimentali e curva di coppia fornita dal costruttore



Analisi di sensibilità

- Il modello matematico esposto può essere usato come simulatore della missione LSR per stimare:
 - Sensibilità della velocità massima rispetto ai parametri del modello
 - Spazi necessari a raggiungere la velocità massima
 - Pianificare le azioni migliorative sul veicolo per eseguire il record (attualmente 185 km/hr per la categoria in esame)

Calcolo della velocità massima

- La velocità massima teorica si ottiene imponendo l'equilibrio fra potenza passiva e potenza massima del motore
- Il rapporto di velocità massima si ottiene imponendo che a tale velocità il motore giri al regime di massima potenza

$$P_{\max} = \left(Mg(f_0 + f_1 v) + \frac{1}{2} \rho v^2 C_x A_{\text{front}} \right) v$$

$$Z_{V_{\max}} = \frac{RPM_{P_{\max}} 2\pi R_{\text{rot}}}{v_{\max}}$$

Risultati

- Variazione +/- 40% di ogni parametro
- Effetto di variazione (%) sulla velocità massima del veicolo

	-40%	-20%	20%	40%
Cx	18.9	7.8	-5.9	-10.7
f0		0.6	-0.6	-1.27
f1	-0.92	-0.46	0.46	0.93
Power	-16.3	-7.4	6.5	12.3
Peso	0.3	0.17	-0.17	-0.35
Cross section	18.9	7.8	-5.9	-10.7

Conclusioni

- Mediante l'analisi CFD è possibile stimare in maniera quantitativa la resistenza aerodinamica ($C_x=0.804$)
- Il metodo sperimentale proposto consente di stimare i parametri di perdita ($C_x=0.899$) e la spinta effettiva del motore
- La differenza osservata nelle stime del C_x può essere attribuita al diverso set-up (forme kart differenti, pilota di altezza molto diversa)
- L'analisi CFD consente inoltre di studiare i meccanismi di generazione della resistenza indicando le aree di intervento
- La simulazione di missione consente di guidare l'ottimizzazione del progetto

Attività in corso team LSR Go Kart

- Progettazione strutturale carena aerodinamica
- Ottimizzazione di forma mediante analisi CFD e algoritmi di morphing
- Ottimizzazione sistemi aspirazione e scarico motore per incrementare la potenza massima
- Simulazione della missione considerando i tracciati a disposizione (pista ISAM Anagni, pista aeroporto di Pratica di Mare)
- Nuova campagna misure in pista



Nuova campagna sperimentale

- Analisi parametrica per separare effetti di:
 - Rotolamento (variando la pressione di gonfiaggio)
 - Aerodinamica (variando la posizione del pilota, con pilota più basso)
 - Dimensione ruote (influisce su entrambi i termini)
 - Regolazione motore (trasmissione, carburatore, scarico)

Il team LSR Go Kart

- Marco E. Biancolini
- Fabio Renzi
- Marco Urbinati
- Gianluca Manieri
- Gianmaria Gabbiani



Sponsor Progetto LSR Go Kart

- PI Research, <http://www.piresearch.com/>
- Racing Team CIK, <http://www.centroitaliakart.it/>
- ISAM proving ground and track, <http://www.isam-spa.it/>
- CRG go-kart, <http://www.kartcrg.com/>
- MAXTER engines, <http://www.maxterengines.com/>





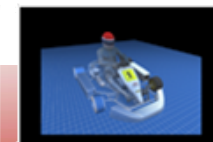
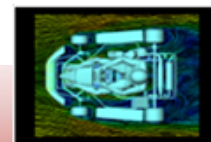
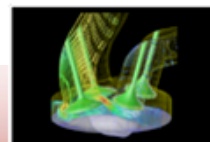
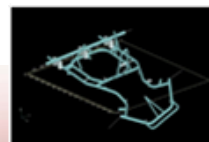
Università degli Studi di Roma Tor Vergata
Corso di Laurea e Dipartimento di Ingegneria Meccanica

tor vergata karting
www.torvergata-karting.it

Evaluation of aerodynamic drag of go kart by means of coast down test and CFD analysis

Ing. Marco Evangelos Biancolini
Dipartimento di Ingegneria Meccanica
Università di Roma Tor Vergata

AIAS 2007
Ischia, 09-09-2007



www.torvergata-karting.it