



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

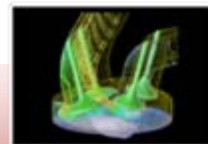
tor vergata karting

www.torvergata-karting.it

ANSYS®
FLUENT®

Valutazione della resistenza aerodinamica di un go kart utilizzando test di coast down ed analisi CFD

Ing. Marco Urbinati
Gruppo di Ricerca Tor Vergata Karting
Dipartimento di Ingegneria Meccanica
Università di Roma Tor Vergata



Alumotive 2007
Modena, 18-10-2007

www.torvergata-karting.it

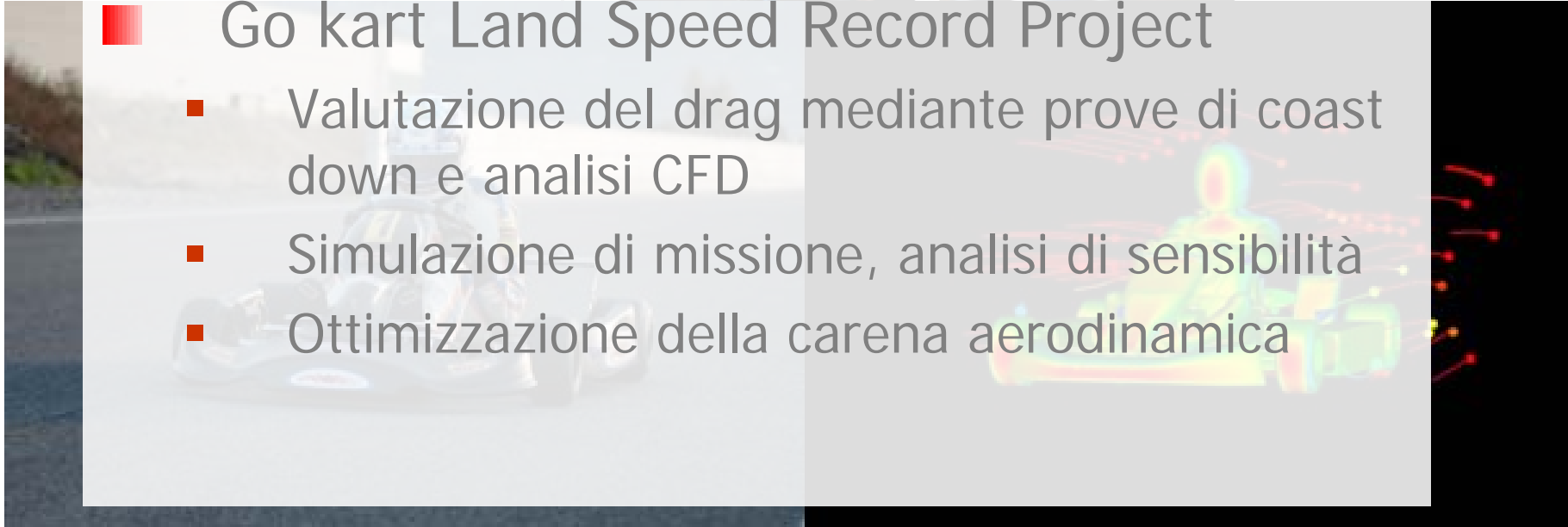
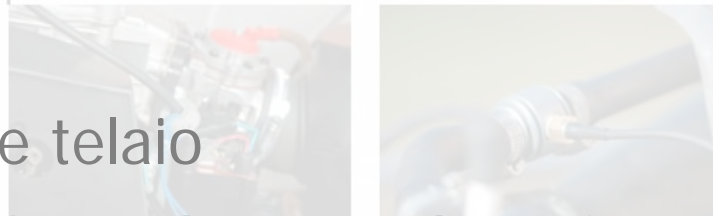
Land Speed Record

- 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/h
- Analisi forze resistenti
 - Risultante
 - Distribuzione sui componenti del veicolo

Il modello Geometrico



Alumotive 2007
Modena, 18-10-2007

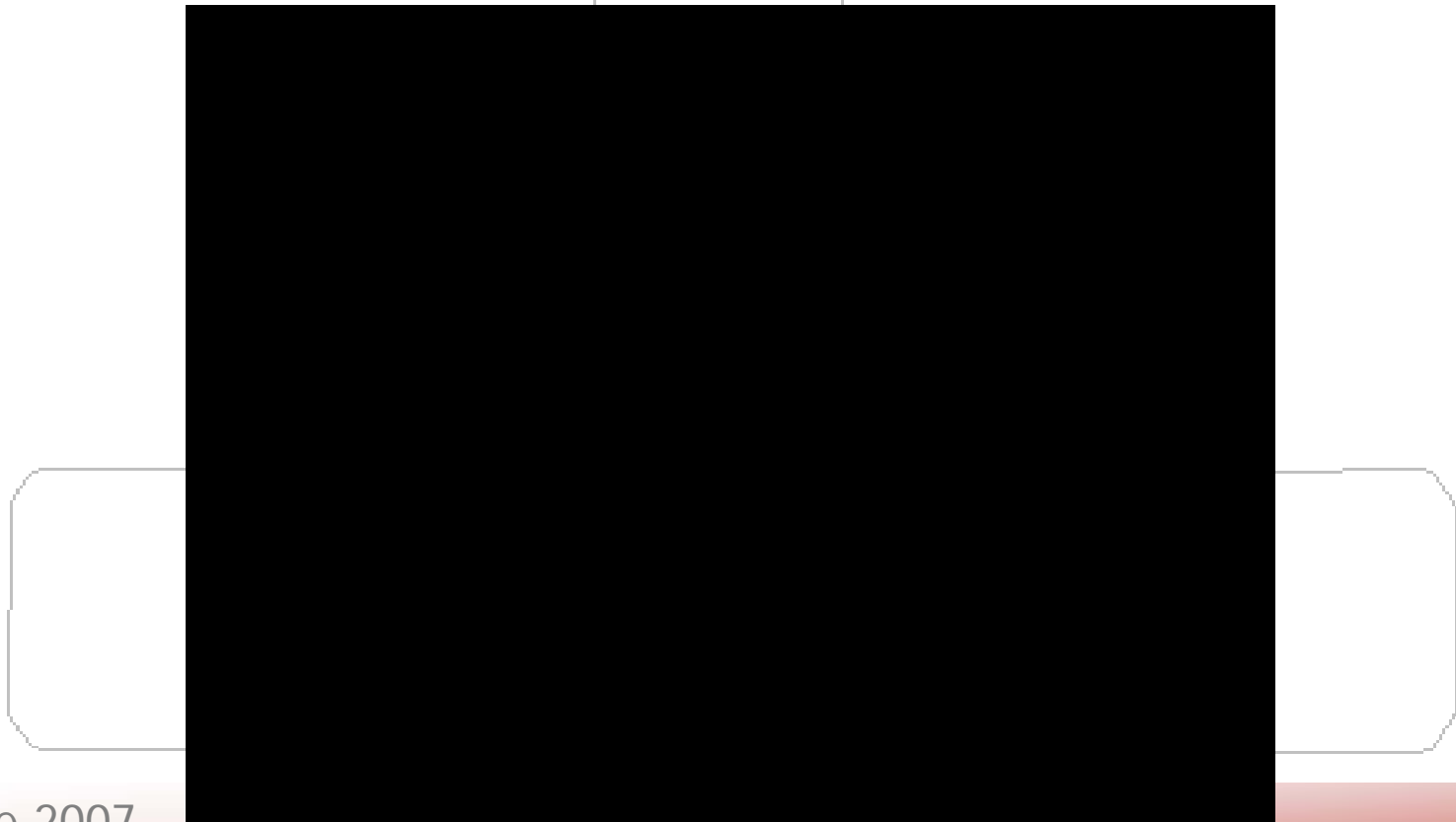


www.torvergata-karting.it



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

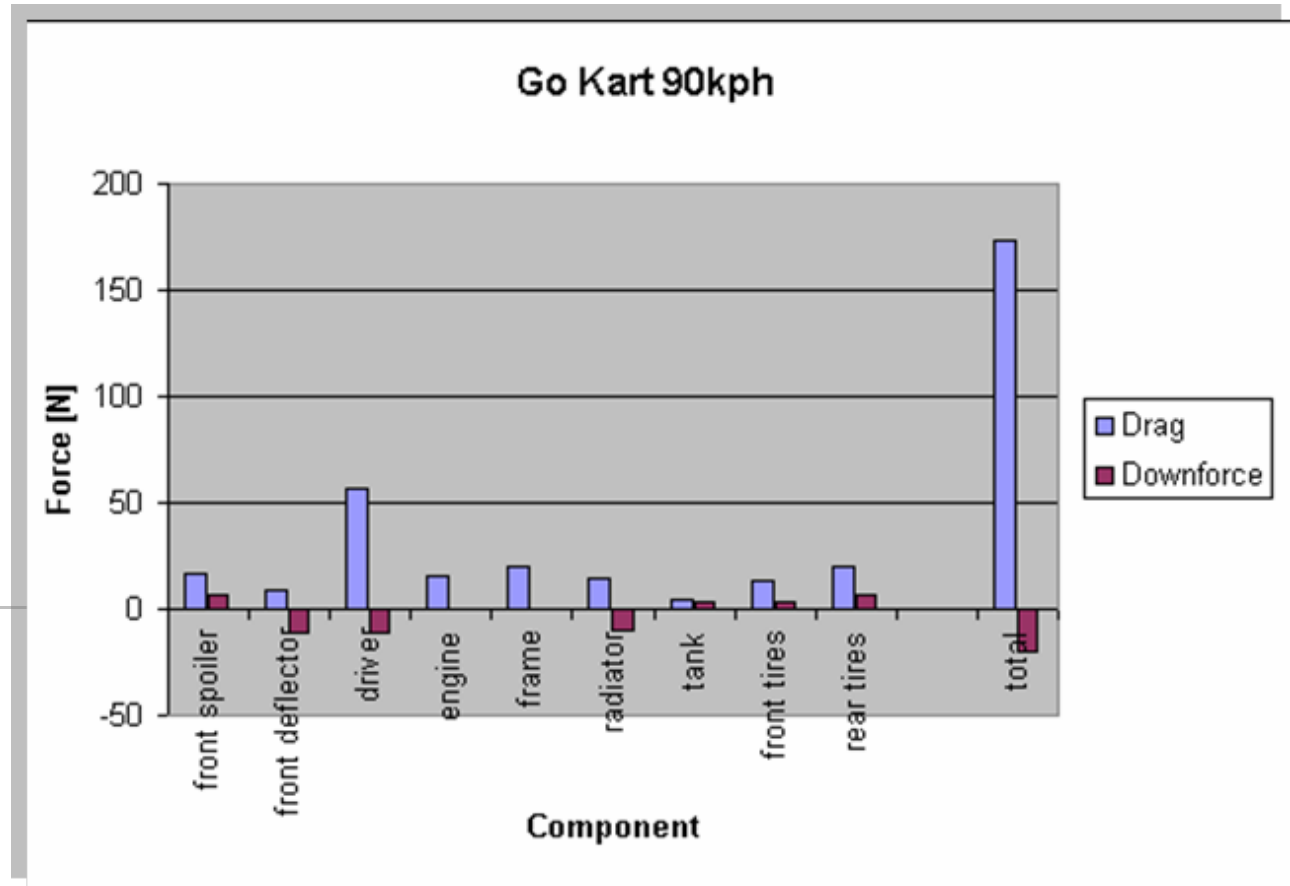
$$F_{drag}(v) = \frac{1}{2} \rho v^2 C_x A_{front}$$

$$A_{front} = 0.57484 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

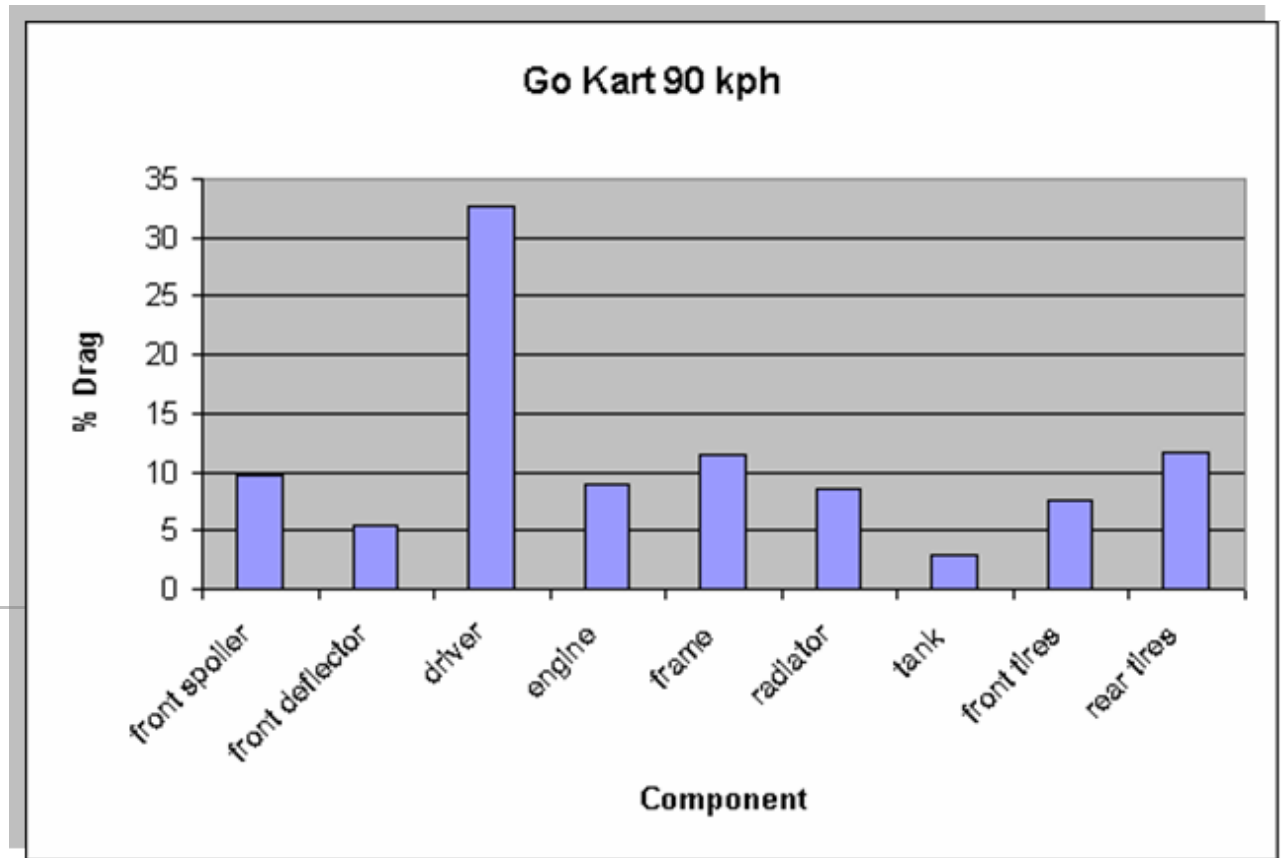
$$v = 90 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$C_x = 0.804$$



Risultati CFD: distribuzione resistenza

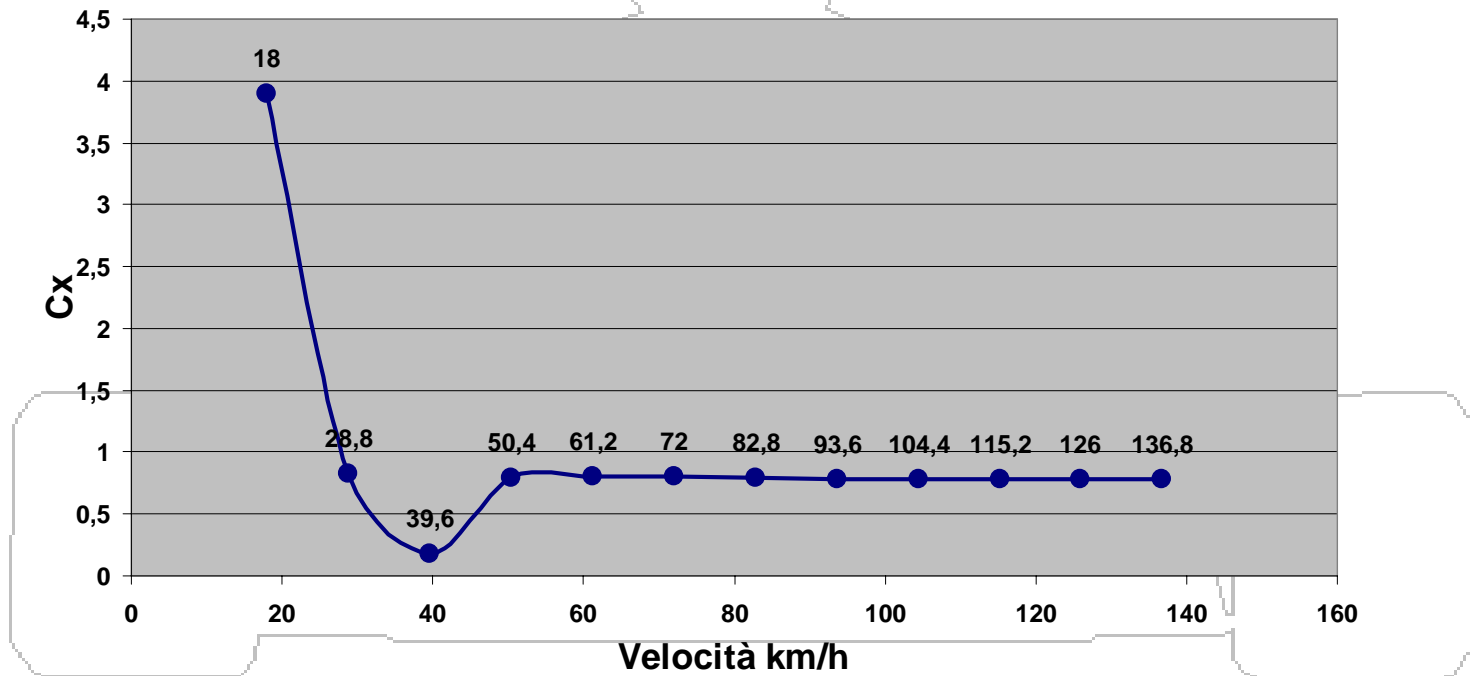
- Contributo percentuale dei componenti
- 33% il solo pilota
- 20% le ruote
- 15% carena frontale
- 10% radiatore



Risultati CFD: verifica stabilizzazione Cx

- Un'analisi CFD alle diverse velocità ha permesso di determinare la stabilizzazione del Cx ad un valore prossimo a 0,778

Stabilizzazione Cx



Misura delle resistenze passive...

- 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



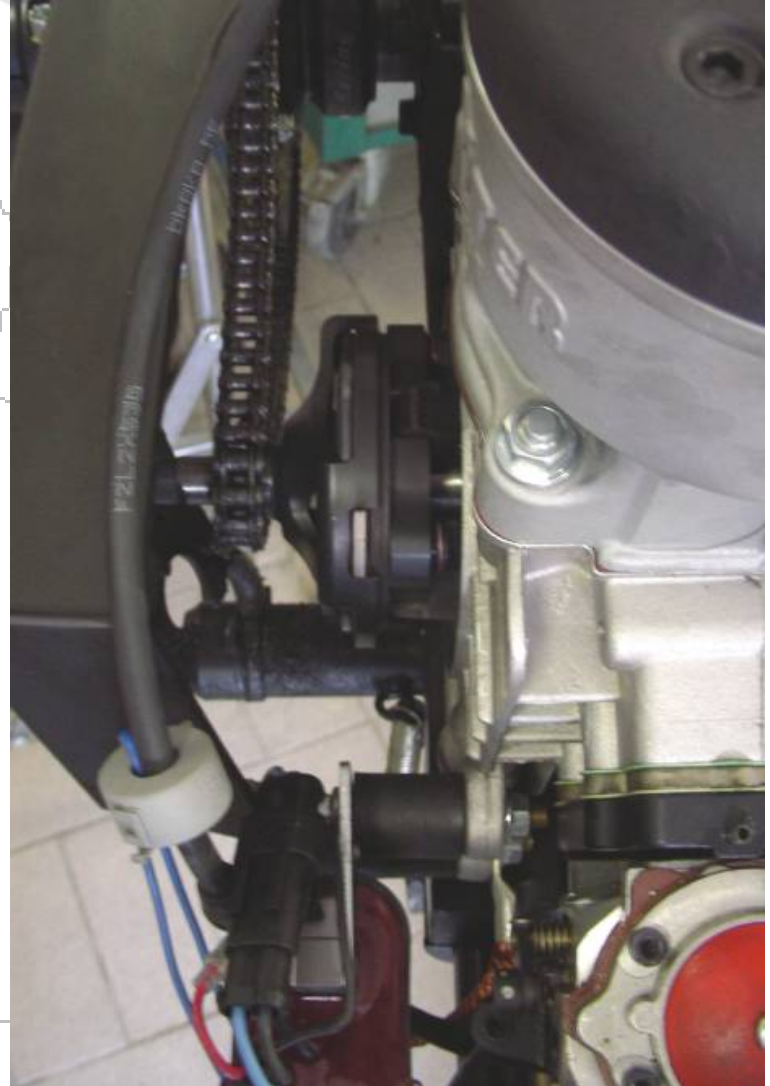
Dettagli strumentazione

- 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



...in pista.

Test Sperimentali

Circuito: ISAM (Anagni)

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

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

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

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

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

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

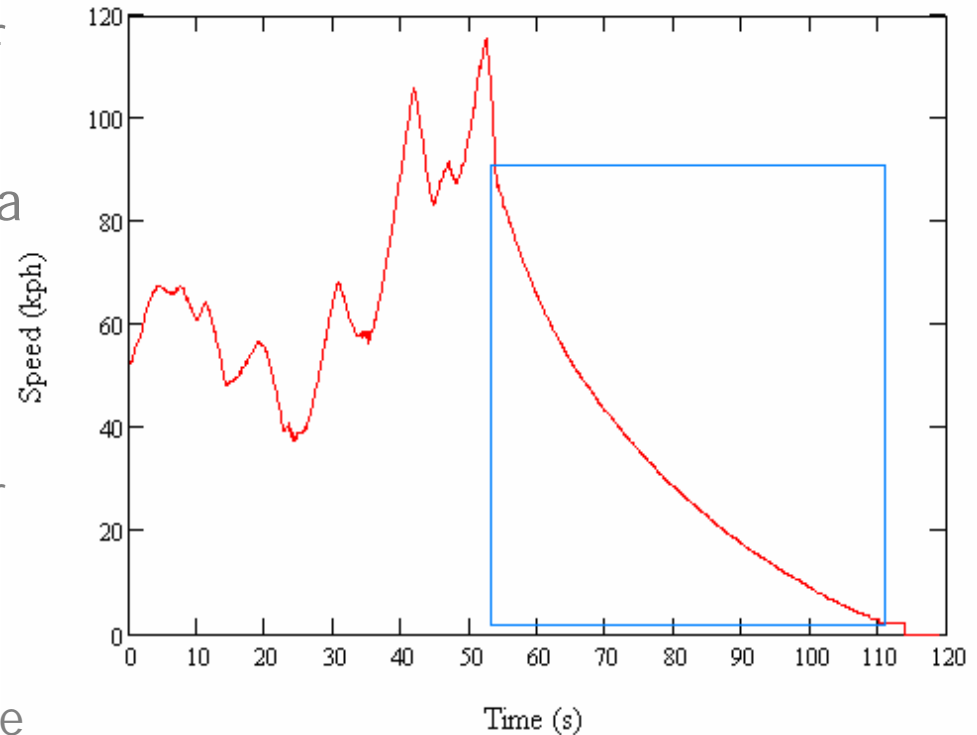
Decelerazione libera

- 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

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

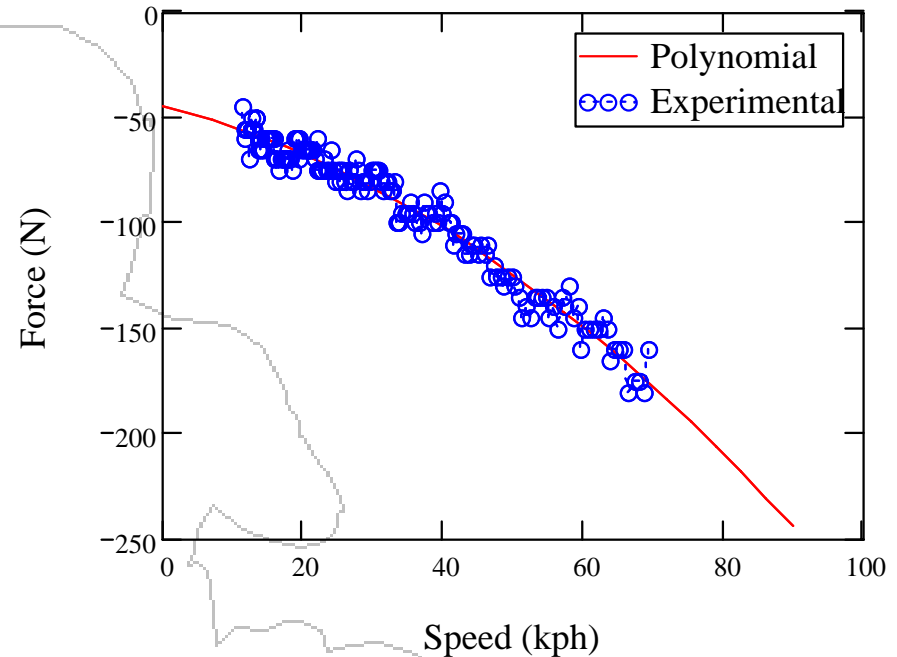
Risultati: decelerazione

- 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

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

Analisi di sensibilità

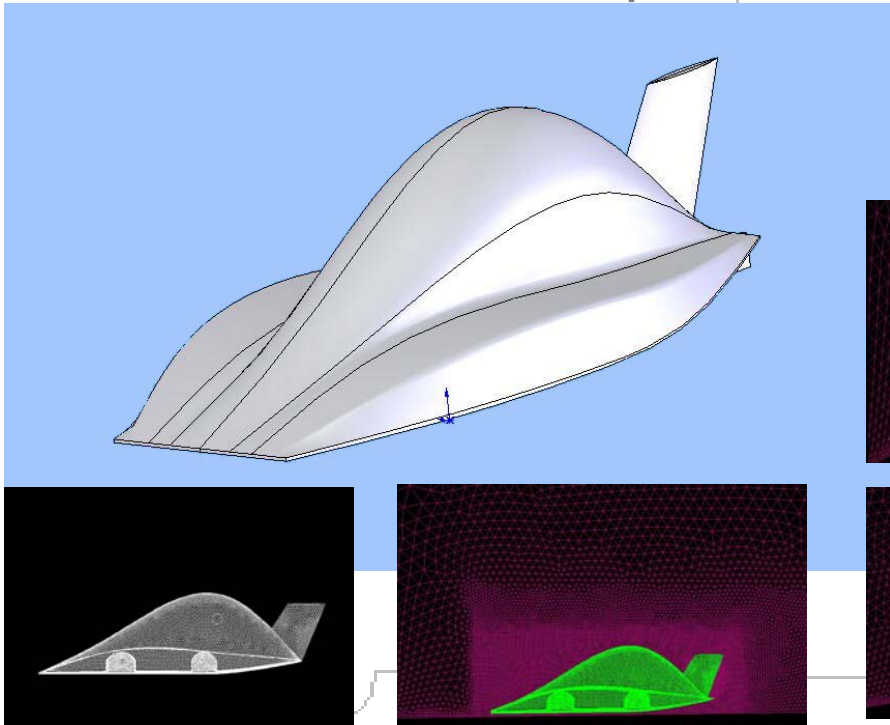
- Il modello matematico esposto, completato dallo studio dell'accelerazione per la stime della curva di coppie e di potenza realmente erogate, può essere usato come simulatore della missione LSR per stimare:
 - Sensibilità della velocità massima rispetto ai parametri del modello
 - Spazi necessari a raggiungere la velocità massima
 - Pianificare le azioni migliorative sul veicolo per eseguire il record

Conclusioni fase sperimentale

- Mediante l'analisi CFD è possibile stimare in maniera quantitativa la resistenza aerodinamica ($C_x=0.778$)
- 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

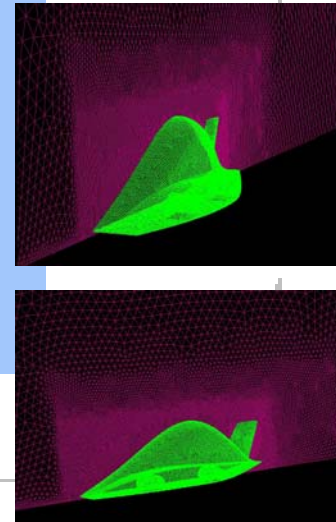
Ottimizzazione di forma: il punto di partenza

- Una prima campagna di simulazioni ha portato alla determinazione dei parametri aerodinamici iniziali della carena di primo tentativo.



■ Alcuni risultati d'interesse:

- $C_x=0,198$
- Portanza= 40 kg



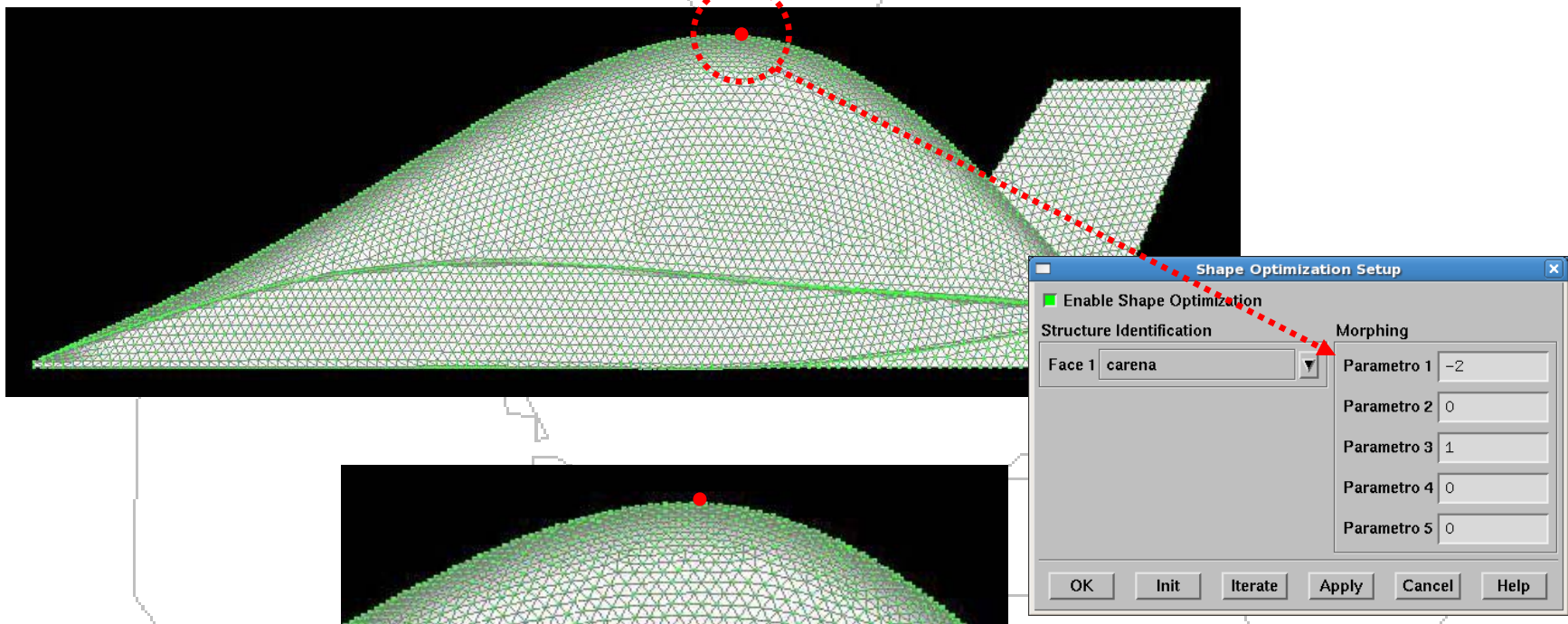
Ottimizzazione di forma: l'obiettivo

- Il modello matematico sviluppato permette di intervenire in modo *dinamico* sulla forma variandone i parametri geometrici dirigendo tale alterazione verso l'ottimo stabilito. Si può in questo modo ottenere una forma ottimale, vincolata nei limiti di ingombro, ma che rispetti a pieno le richieste specifiche del progetto:

- Basso valore di C_x
- Condizione "neutra" della carena

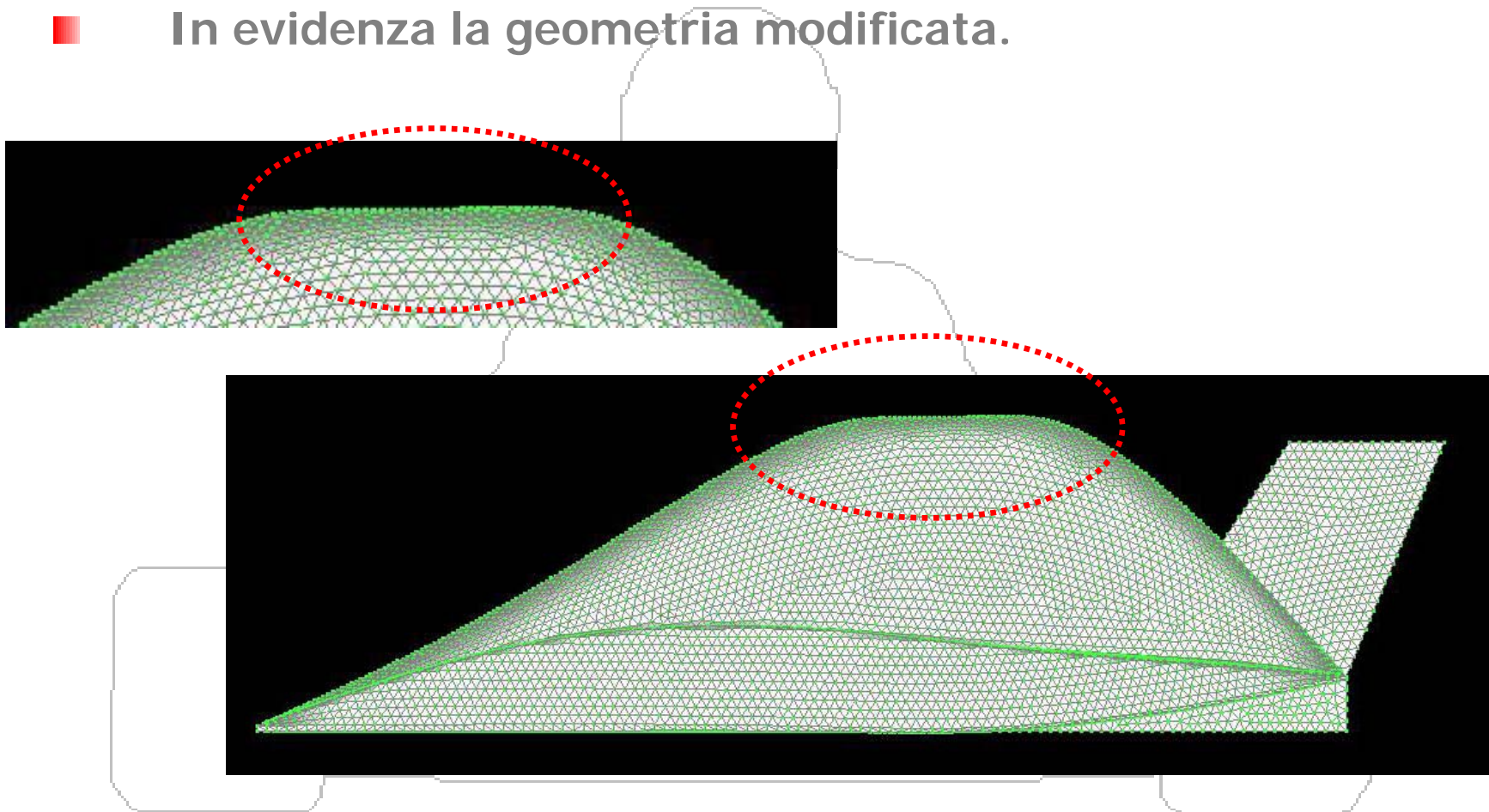
Ottimizzazione di forma: il modello di calcolo

- Parametrizzazione della mesh per mezzo di modificatori che interagiscono direttamente con i nodi di interesse sulla geometria.



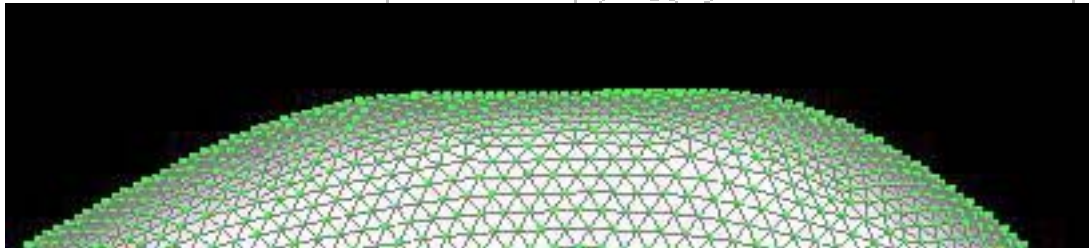
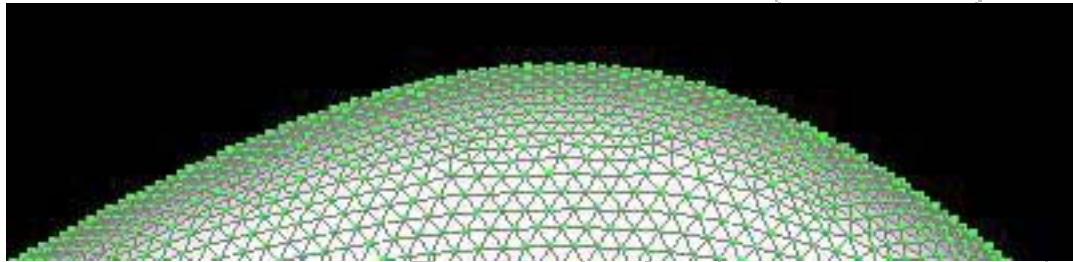
Ottimizzazione di forma: il modello di calcolo

- In evidenza la geometria modificata.



Ottimizzazione di forma: il modello di calcolo

- La mesh viene automaticamente adattata alla modifica
- Sistema pronto per eseguire la simulazione della nuova forma

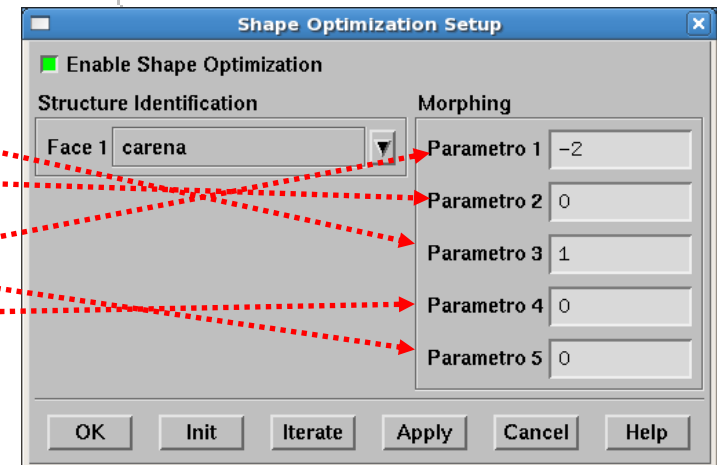
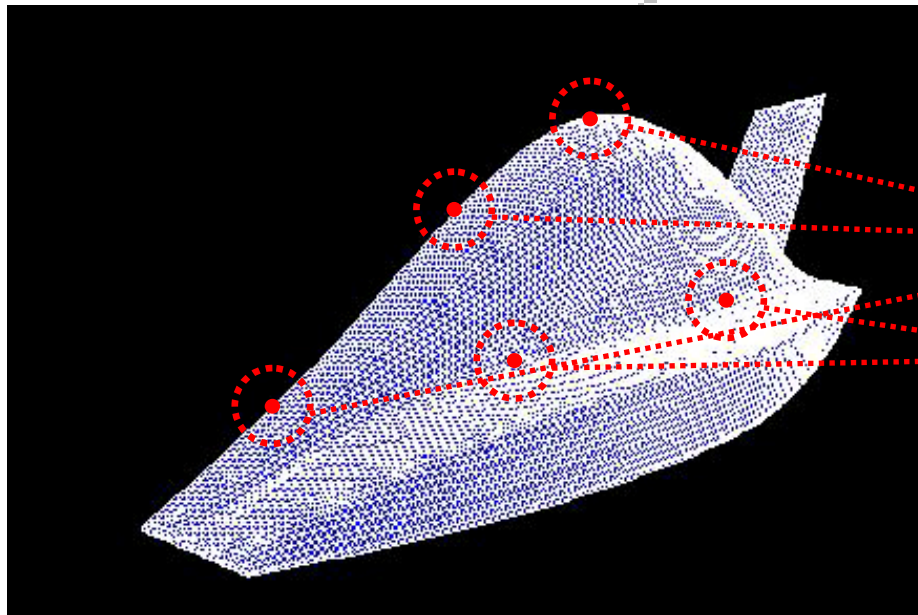


Confronto valori ottenuti nei due casi

Carena Base	Carena Mod1
$C_x = 0,198$	$C_x = 0,191$
Portanza 40 kg	Portanza 33 Kg

Ottimizzazione di forma: il modello di calcolo

- Possibilità di creare differenti "set" di modificatori, per definire una campagna di simulazioni atta a definirne la migliore combinazione
- Completo controllo dei modificatori da parte dell'utente



Conclusioni

- Tutto il processo rimane *interno* al solutore CFD ed è direttamente *controllato* dall'utente, che può interagire concretamente con l'opera di ottimizzazione
- Il modello prevede una gestione della mesh ottimizzata e coerente rispetto alle modifiche apportate alla geometria
- Definiti i parametri di limite geometrico ed i parametri obiettivo da raggiungere, il modello matematico presentato permette di convergere rapidamente alla forma ottimizzata

Eventi futuri

- Un'analisi in galleria del vento provvederà ad integrare i dati sperimentali ottenuti a fine ottimizzazione
- Il Kart con propulsore e carena ottimizzati effettuerà i primi test nel mese di Novembre
- Il Kart effettuerà la prova di Record all'inizio del mese di Dicembre presso l'Aeroporto di Pratica di Mare

Ringraziamenti

- **ANSYS**, <http://www.ansys.com/>
per la sponsorizzazione del progetto e la fornitura dei software di analisi fluidodinamica, adottati per lo studio della carena e per l'ottimizzazione di forma
- **CRG**, <http://www.kartcrg.com/>
per la fornitura del kart e del propulsore (Maxter) che verranno adottati per il record
- **PI-Research**, <http://www.piresearch.com/>
per la fornitura del sistema di telemetria e rilevamento dati
- **ISAM**, <http://www.isam-spa.it/>
- **Aviacompositi**, <http://www.aviacompositi.com/>
per la realizzazione della carena in materiale composito

Il team LSR Go Kart

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





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

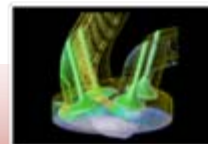
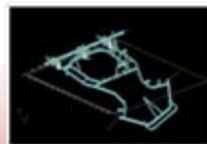
tor vergata karting

www.torvergata-karting.it

ANSYS®
FLUENT®

Valutazione della resistenza aerodinamica di un go kart utilizzando test di coast down ed analisi CFD

Ing. Marco Urbinati
Gruppo di Ricerca Tor Vergata Karting
Dipartimento di Ingegneria Meccanica
Università di Roma Tor Vergata



Alumotive 2007
Modena, 18-10-2007

www.torvergata-karting.it