

PROGETTAZIONE DI UNA CARENA AERODINAMICA E DI UN ROLL BAR DI SICUREZZA PER UN GO KART DA LAND SPEED RECORD

M.E. Biancolini, G. Manieri, F. Renzi, M. Urbinati

*Università di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria Meccanica,
viale Politecnico, 1 – 00133 Roma, e-mail: biancolini@ing.uniroma2.it, renzi@ing.uniroma2.it,
marco@urbinatidesign.it, glucaman@yahoo.it*

Sommario

In questo lavoro viene presentato l'iter di progettazione e costruzione della carena aerodinamica e del roll bar per un go kart da Land Speed Record. In tale progetto il team di sviluppo e progettazione si è proposto di adattare un kart di produzione, di cilindrata 125cc, allo scopo di renderlo adatto ai fini dell'ottenimento del record, senza però stravolgerne la natura di fondo. A tal fine sono stati aggiunti due nuovi componenti: una carena aerodinamica per minimizzare la resistenza all'avanzamento del veicolo, ed un roll bar per proteggere il pilota in caso di ribaltamento del mezzo. In questo articolo si illustra il ciclo di progettazione di entrambi i componenti dimostrando come sia stato possibile definire la configurazione definitiva mediante tecniche numeriche (CAD FEM CFD). Si presentano inoltre i dettagli sulla fabbricazione dei nuovi componenti e del loro montaggio sul veicolo completo.

Abstract

In this work the design and manufacturing process of the aerodynamic bodywork and the safety roll cage for a Land Speed Record go-kart is presented. Design and developing team decided to adapt a 125cc displacement kart with the aim to make it fast enough for the record but preserving the main features and the background nature of the original vehicle. Two new components were so introduced: the aerodynamic bodywork for drag loss minimization and a roll cage for safety purpose. Design loop of both the new components is addressed in this paper showing how numerical techniques (CAD FEM CFD) are employed to obtain the final configuration. Details of manufacturing process of components and assembly are also given.

Parole chiave: Kart, Land Speed Record, CFD, FEM, roll bar

1. INTRODUZIONE

Lo studio presentato in questo articolo si inserisce nel progetto Top Speed Record [1] ad oggi in fase di sviluppo presso il nostro Dipartimento da parte del gruppo di Ricerca TorVergataKarting [2].

L'idea di progettare e realizzare un record di velocità per il go kart è nato grazie alla trascorsa collaborazione [2b,2c] con il Centre of Automotive Research della Ohio State University relativa alla progettazione del BuckeyeBullet2 (BB2) [3] il veicolo elettrico a Fuel Cells più veloce del mondo.

La lunga esperienza maturata sui go-kart in questi ultimi anni [4,5,6] ha fatto nascere l'esigenza di trasferire le conoscenze acquisite sul BB2 in un nuovo progetto dedicato ai go-kart.

Il progetto, ad oggi in fase di conclusione, si è articolato in più fasi. La prima fase è consistita in una intensa attività sperimentale in pista mirata alla determinazione quantitativa dei coefficienti di perdita dei go-kart abbinata ad una analisi CFD della perdita aerodinamica del veicolo originale [7].

Avvalendosi dei parametri rilevati è stato quindi messo a punto un simulatore di missione con il

duplice scopo di definire le specifiche di progetto dei componenti (motore, pneumatici, carena) e di progettare lo svolgimento del record sul tracciato disponibile.

Per battere il record di riferimento [8] sono state pianificate alcune modifiche del mezzo: aggiunta di una carena aerodinamica per ridurre la resistenza all'avanzamento, uso di pneumatici speciali per contenere le perdite di rotolamento, ottimizzazione del motore per aumentare la potenza massima, modifica del posizionamento del sedile per ridurre la sezione frontale.

In questo articolo si presentano le attività di progettazione ottimizzazione e realizzazione della carena aerodinamica e del roll bar di sicurezza. Quest'ultimo componente diventa necessario passando da un veicolo aperto in cui in caso di urto è prevista la separazione pilota- veicolo, ad un veicolo chiuso da una carena.

2. IL ROLLBAR DI SICUREZZA

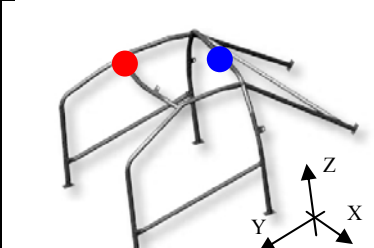
Un punto chiave in un progetto in cui si deve portare un veicolo ad elevata velocità risulta essere la sicurezza ed al fine di garantirne un ampio margine si è deciso di creare una struttura apposita per la protezione del pilota in caso di incidente.

Il primo passo, compiuto ancor prima di dare vita a delle forme strutturali, ha riguardato un'accurata ricerca di strutture simili utilizzate per scopi analoghi ed eventuali normative che ne definissero sia i vincoli geometrici realizzativi sia quelli strutturali per le prove di carico.

Una documentazione piuttosto completa in ogni sua parte è stata pervenuta tra le normative vigenti per la realizzazione di rollbar per vetture da competizione [9] e sulla normativa specifica per le vetture Formula SAE [10].

Dalla prima delle due è stato possibile ottenere una chiara indicazione delle modalità con cui vengono effettuate le prove di carico per l'omologazione dei rollbar a gabbia, di cui si riporta una esemplificazione nella tabella e nella figura che seguono.

Tabella 1: Definizione dell'entità e dell'orientazione delle forze utilizzate per il test dei rollbar

	Carico (N)	Direzione					
		X	Y	Z	$\Delta\theta_x$	$\Delta\theta_y$	$\Delta\theta_z$
	$3.5 \cdot (Peso_{veicolo} + 150)$	0	0	-1	5°	-25°	0
	$7.5 \cdot (Peso_{veicolo} + 150)$	0	0	-1	0	0	0

Dal regolamento della Formula SAE è stato possibile avere un'indicazione sui vincoli realizzativi del rollbar al fine di garantire l'incolumità del pilota in caso di ribaltamento, come si può osservare nella figura sottostante.

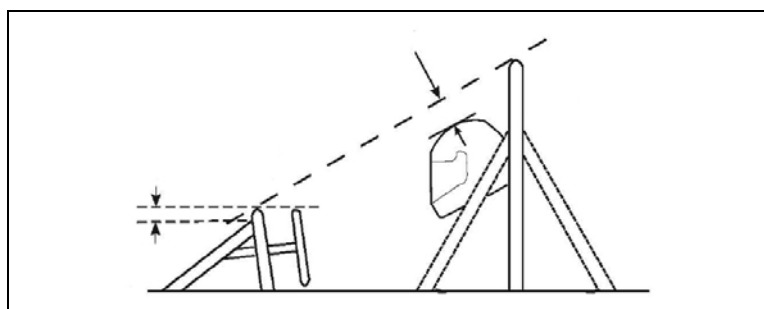


Figura1: Immagine riguardante i vincoli di sicurezza imposti dalla FSAE

L'unione di queste documentazioni ha permesso di identificare la corretta impostazione dei carichi per mettere a punto una simulazione del collaudo mediante analisi strutturale FEM. Per quanto riguarda

l'ambito specifico del karting, l'unica informazione presente è risultata essere quella riguardante i rollbar per disabili, di cui si riporta di seguito la citazione, tratta dall'Annuario Karting Internazionale:

“N.S.K. 10 art. 2.2 – Roll bar

Il roll-bar, di forme e misure riportate nel disegno in un'apposita scheda, deve essere registrato dalla FISAPS. La scheda di registrazione deve recare un numero identificativo che deve essere riportato, in maniera visibile, sul roll-bar”

2.1 Il Design della Forma

Il percorso evolutivo seguito per giungere alla forma finale del rollbar ha avuto come linea guida quella di ottimizzare e semplificare al massimo la forma mantenendo inalterato il livello di sicurezza che si intende garantire.

Il primo modello è stato prodotto seguendo le nozioni di base per la realizzazione di una struttura reticolare solida e compatta che avvolgesse completamente il pilota in una vera e propria cellula di sicurezza.

La forma pensata, oltre al compito di salvaguardare l'incolumità del pilota deve anche garantire il sostegno del fondo piatto del veicolo ed una certa libertà di manovra al pilota stesso non diventandone un ostacolo pericoloso. Tutto ciò ha portato ad una prima forma estremamente complessa (fig. 2) sulla quale è stato messo in moto un processo di “snellimento” mirato attraverso un percorso di semplificazioni progressive; questo ha permesso, grazie anche ad opportune scelte realizzative-progettuali atte a garantire il rispetto sia dei canoni di sicurezza richiesti che di rapporto con gli ingombri del veicolo e di ergonomia globale, di giungere ad una struttura più “leggera” sia dal punto di vista del peso, passando da 16 Kg a 6 Kg, sia dal punto di vista costruttivo (fig. 2).

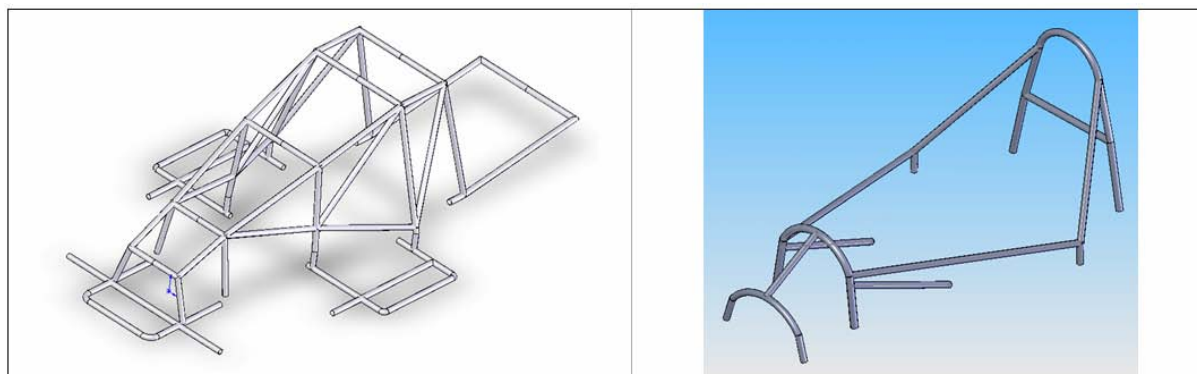


Figura 2: La forma complessa di primo tentativo e la successiva forma “alleggerita” del rollbar di sicurezza

Una scelta importante che ha permesso di operare un'ottimizzazione della forma è stata quella di considerare le strutture ausiliarie, prima rigidamente connesse ad essa, delle appendici separatamente realizzate e ad essa collegate tramite opportuni fissaggi: così è stato per i supporti laterali del fondo piatto e per il puntone posteriore di sostegno e regolazione dell'estrattore posteriore riportati nelle figure che seguono.



Figura 3: Soluzioni semplificate per il puntone posteriore e per il sostegno dei lati del fondo piatto

2.2 Analisi Strutturale

Per poter compiere un'analisi che avesse un corretto significato ingegneristico si è fatto riferimento alle normative di carico precedentemente citate, adattandole opportunamente alla forma identificata. E' stato infatti imposto che il carico venisse ripartito in percentuali pari al 75% sulla centina posteriore ed al 75% sulla seconda anteriore e disporlo su entrambe perpendicolare rispetto alla ipotetica linea di congiungimento dei vertici delle suddette centine, coincidente con la linea di contatto al ribaltamento (come rappresentato in figura 3.6 riferito in quel caso all'FSAE).

Per quanto riguarda il materiale di riferimento è stato scelto lo stesso materiale con cui l'azienda partner del progetto, la CRG [11], realizza i suoi telai e con cui, quindi è stato realizzato il rollbar: tubi in acciaio al cromo in 3 diversi diametri, 32mm 30mm e 28mm.

Di seguito vengono riportate le proprietà strutturali del materiale adottato.

Tabella 2: Proprietà Meccaniche dell'acciaio utilizzato per il rollbar

Materiale		Acciaio 4130
Densità		7.85 g/cc
Durezza	Brinel	197
	Knoop	219
	Rockwell B	92
	Rockwell C	13
Vickers		207
Carico di Rottura		670 MPa
Carico di Snervamento		435 MPa
Allungamento a Rottura		25.5%
Strizione		59.5%
Modulo Elastico		205 GPa
Coefficiente di Poisson		0.29

La prima campagna di analisi è stata svolta al fine portare a termine la fase di ottimizzazione della forma nel rispetto dei canoni di sicurezza ed è quindi stata condotta immaginando la struttura del rollbar interamente realizzata con tubi da 32mm di diametro e 2mm di spessore.

In una seconda fase, una volta identificata la forma finale, è stata condotta una nuova campagna di prove con lo scopo di ottimizzare lo sfruttamento del materiale garantendo al tempo stesso un soddisfacente margine di sicurezza, valutato anche in relazione al relativo risparmio di peso.

Tutto lo studio strutturale è stato condotto con il metodo degli elementi finiti utilizzando il software di pre e post processing Femap abbinato al solutore Nastran. Importante, per poter ottenere una risposta del modello il più possibile coerente con il comportamento della struttura reale, è stata l'adozione di una property modificata opportunamente e definita per i soli segmenti di mesh del modello presenti nei punti di giunzione della forma. Definendo, infatti, un materiale identico a quello standard di cui sopra ma con un valore di Modulo di Young maggiorato di un ordine di grandezza, è stato possibile definire l'effetto dei giunti saldati sul comportamento globale della struttura. La scelta, inoltre, di definire i punti di fissaggio tra telaio e rollbar come vincoli fissi e non cedevoli ha reso molto più severe le prove, accentuando le criticità strutturali del solo rollbar e garantendo un margine di sicurezza di molto superiore a quello realmente ricavato dalle simulazioni. A seguire si riportano le immagini delle prove svolte sul modello finale con le tre soluzioni di tubi adottabili, seguite da una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti.

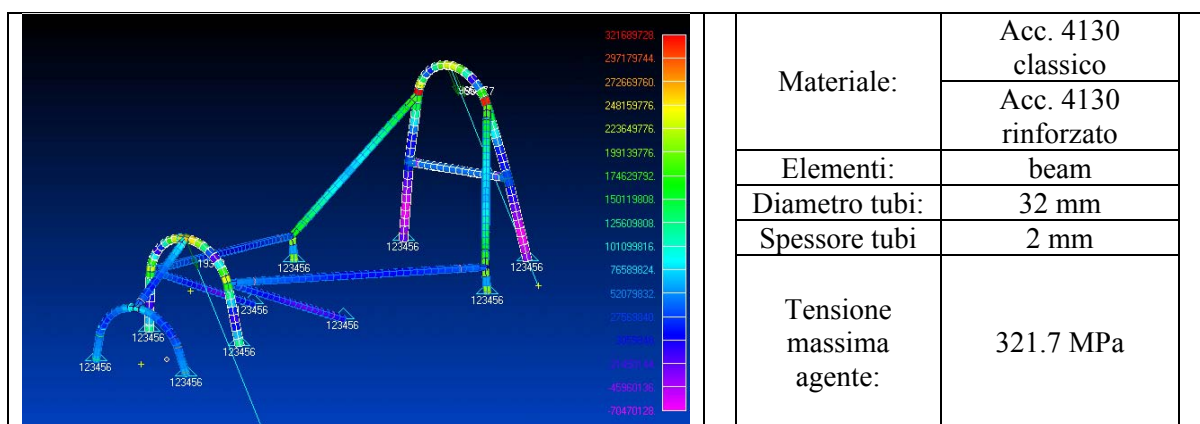


Figura 4: Risultato dell'analisi strutturale svolta su tubo da 32mm

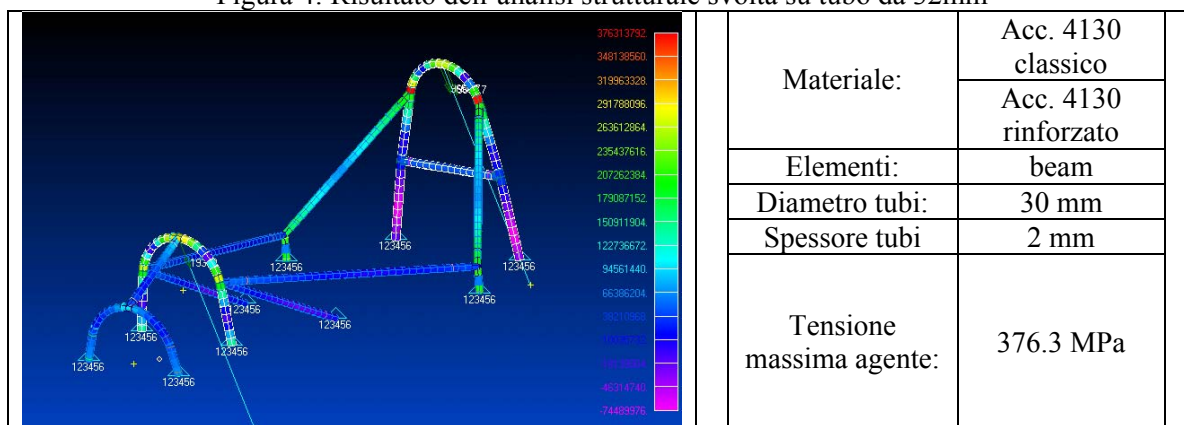


Figura 5: Risultato dell'analisi strutturale svolta su tubo da 30mm

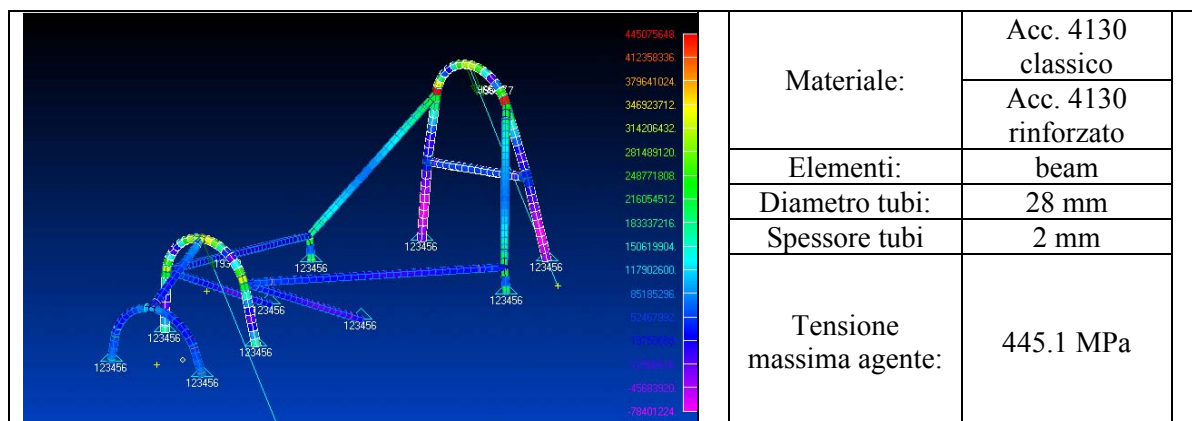


Figura 6: Risultato dell'analisi strutturale svolta su tubo da 28mm

In base a questi dati è stato possibile fare una stima di come la variazione del diametro incida sul margine di sicurezza e sul peso, come di seguito riportato.

Tabella 3: Confronto dei dati ottenuti dalle tre simulazioni

Modello	Max Stress	Peso	Sicurezza
Tubi 32mm	321.7 MPa	13.4 Kg	30 %
Tubi 30mm	376.3 MPa	12.5 Kg	18.3 %
Tubi 28mm	445.1 MPa	11.8 Kg	3.3 %

Tenendo in considerazione quanto si è ottenuto, riportato in tabella 3.6, e valutando direttamente con il responsabile progettazione telai della CRG quale fosse il diametro per loro più comodo da lavorare, si è giunti alla seguente conclusione: il tubo da 32 mm, nonostante presenti le migliori caratteristiche, avrebbe portato problemi nella lavorazione delle centine, cosa che non si sarebbe presentata adottando il 30mm. Avendo scartato a priori il 28mm per lo scarso limite di sicurezza, la scelta è ricaduta, quindi, sulla realizzazione di una struttura interamente in tubo da 30mm di diametro e spessore 2mm. Il lavoro è stato affidato alla CRG, che, grazie all'esperienza ed alla competenza dei suoi tecnici da anni coinvolti nella lavorazione dei telai dei kart, è riuscita nell'arco di pochi giorni a consegnare il prodotto finito così come è rappresentato nelle foto a seguire.

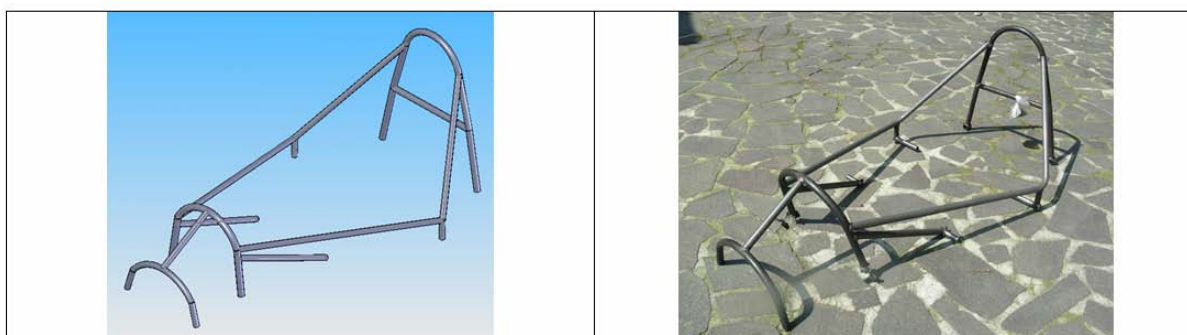


Figura 7: Modello CAD e prototipo del Rolbar

3. LA CARENA AERODINAMICA

Come già illustrato nell'introduzione, il progetto Top Speed Kart è iniziato con dei test preliminari per definire le specifiche di progetto. L'analisi di sensibilità [15] [16], effettuata sulla base dei dati ricavati dal coast down test, ha indicato come fattori determinanti per il raggiungimento di una alta velocità il valore del $C_X \cdot A_{FRONTALE}$ e la potenza massima del motore.

Il C_X è un parametro aerodinamico adimensionale il cui valore stima la qualità della penetrazione di un oggetto in un fluido:

$$C_X = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho A V_\infty^2} \quad (1)$$

In cui D è la forza di resistenza o DRAG, V_∞ è la velocità del fluido indisturbato, ρ la densità del fluido, A l'area frontale. I corpi che hanno una buona finezza aerodinamica presentano bassi valori del C_X , anche prossimi allo zero.

Il primo passo dello sviluppo aerodinamico [12] [13] [14] è stato quello di stabilire, quindi, il valore del parametro $C_X \cdot A_{FRONTALE}$ per un kart standard tramite la simulazione fluidodinamica di una galleria del vento. La simulazione fluidodinamica permette di rappresentare una reale galleria del vento in ambiente virtuale. Per il go-kart originale guidato da un pilota alto 1.70 m si è osservata un'area frontale pari a 0.57484 m^2 ed un valore del C_X pari a 0.804. Valore in buon accordo con la stima sperimentale pari a 0.899, ottenuta in questo caso con un pilota alto 1.90 m.

3.1 Brevi cenni di Aerodinamica

Le forze aerodinamiche che agiscono su un corpo che si muove in un fluido dipendono da:

- *Geometria del corpo*: forma e dimensioni.
Infatti, come evidenzia anche l'analisi di sensibilità da noi effettuata, l'area frontale è un parametro da minimizzare. Inoltre il valore del C_X è dovuto alla somma di diversi contributi, tra cui quello legato alla forma del veicolo.
- *Caratteristiche del moto*: direzione e velocità
- *Caratteristiche del fluido*
- *Interferenza con altri corpi*: data la natura della nostra competizione, questo fattore non viene considerato nel nostro caso.

L'origine delle forze agenti su un corpo sono conseguenza dell'attrito, agente parallelamente alla superficie del corpo, e della pressione, agente perpendicolarmente al corpo. La risultante estesa a tutta la superficie del veicolo, di queste due componenti è rispettivamente la forza di resistenza F_{DRAG} e la forza portante/deportante F_{LIFT} .

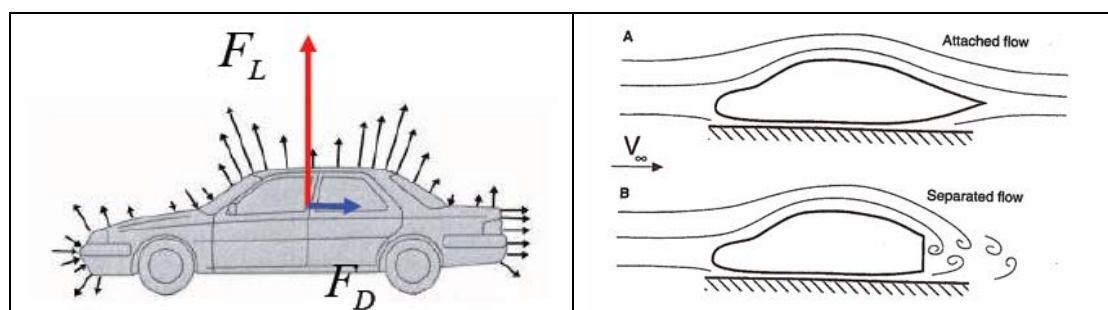


Figura 8: rappresentazione delle forze in gioco in funzione del moto del fluido attorno alla forma

Obiettivo principale dello sviluppo aerodinamico del kart è quello di realizzare una carena che generi ad alte velocità un valore di F_{DRAG} basso e un valore della F_{LIFT} neutro o leggermente portante in modo da poter contrastare l'aumento di peso dovuto alla presenza del roll bar e della carena. Contenendo le

forze verticali sui pneumatici si ottiene infatti una riduzione della resistenza al rotolamento dei pneumatici.

Fondamentale è individuare il regime del fluido in studio. Il regime laminare è caratterizzato da uno strato limite, ovvero quello strato che aderisce alla superficie del mezzo, di spessore limitato e costante su tutta la superficie in cui le particelle di aria presentano un movimento ordinato, mentre quello turbolento è caratterizzato da un moto caotico delle particelle. Il parametro che dà informazioni sul tipo di regime del moto è in numero di Reynolds. Per avere un C_x basso è fondamentale che il flusso si mantenga laminare, ma nel caso in cui lo strato limite si distacca dalla superficie è preferibile trovarsi in regime turbolento perché questo facilita il ricongiungimento del flusso alla superficie.

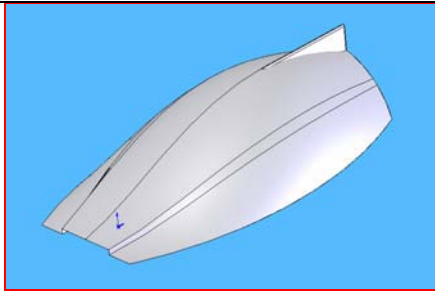
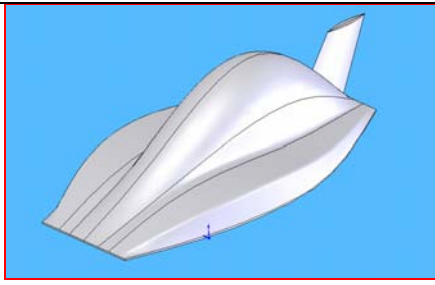
La stabilità di un veicolo dipende dalla posizione del baricentro C_G e del centro delle pressioni C_P , ovvero il centro di applicazione della forza aerodinamica totale. È importante alle alte velocità che il C_P si trovi in una posizione più arretrata e bassa del C_G . Per la stabilità longitudinale del veicolo è inoltre fondamentale il valore delle forze verticali agenti sulle ruote anteriori e posteriori, nonché il calcolo del momento di beccheggio agente sull'avantreno. Per la stabilità laterale, conseguente ad un una condizione di vento laterale, è importante calcolare il momento di rollio e di imbardata i cui valori riferiti al C_G devono essere il più possibili vicino allo zero.

3.2 Il progetto della carena

I progetti preliminari della carena sono stati sviluppati sulla base dei seguenti vincoli:

- Coast down test e analisi di sensibilità
- Teoria aerodinamica
- Fattibilità costruttiva
- Sicurezza: presenza di un roll-bar
- Raffreddamento del motore: posizionamento del radiatore

Di seguito viene riportata l'evoluzione della carena in base ai vincoli suddetti, il software utilizzato è il *C.A.D. Solid Works*:

	<p>Questa prima forma è stata abbandonata perché l'analisi di sensibilità ha evidenziato un ruolo fondamentale del parametro $C_x \cdot A_{FRONTALE}$ nel raggiungimento della velocità finale massima. Si noti la ricerca di una forma di buona finezza aerodinamica, la presenza di una pinna posteriore per la stabilità laterale, e la presenza di un tunnel sulla superficie del fondo del veicolo per generare un effetto Venturi.</p>
	<p>Questa seconda geometria è stata modellata sul corpo del pilota nel tentativo di diminuire il valore di $A_{FRONTALE}$. Purtroppo la carena non rispetta il fattore sicurezza in quanto non si può inserire il rollbar per la protezione del pilota all'interno di essa.</p>

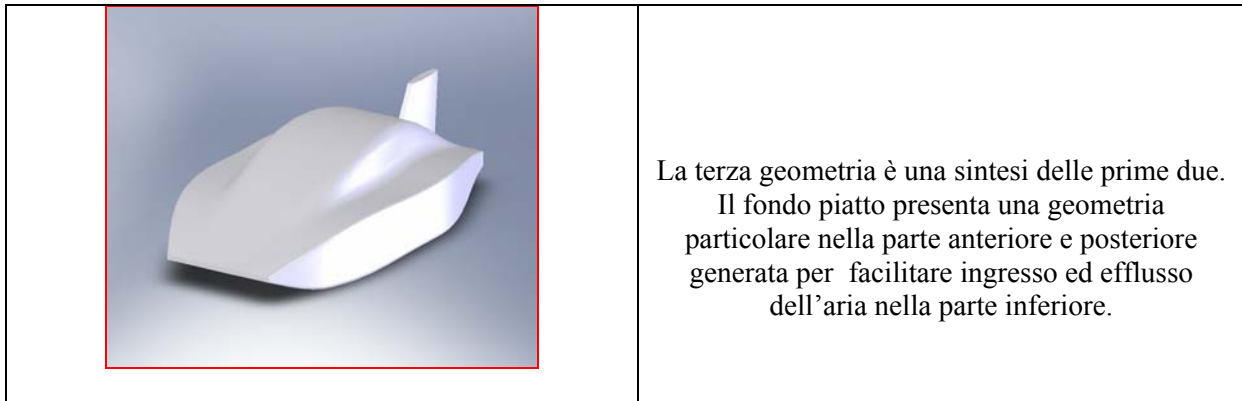


Figura 9: rappresentazione e spiegazione delle fasi di sviluppo della forma aerodinamica

3.3 La simulazione della galleria del vento

Un *osservatore fisso* sul ciglio della strada vede un'automobile passare ad una determinata velocità; da un punto di vista fisico è quindi la macchina che, nel suo moto, incontra le particelle d'aria e imprime, in dipendenza della sua geometria, una determinata forza ad esse, inoltre le ruote rotolano sull'asfalto con una velocità angolare dipendente dal coefficiente di attrito. La galleria del vento è una struttura in cui invece viene ricreato il punto di vista di un osservatore a bordo del veicolo; infatti l'automobile è ferma, il flusso di aria viene generato e indirizzato verso il veicolo, per cui ora sono le particelle di aria che imprimono una sollecitazione sul veicolo, e la superficie su cui è posizionato il veicolo è un tappeto mobile. La galleria del vento permette di studiare i parametri fondamentali del comportamento aerodinamico di un veicolo ovvero il C_X , il C_L e verificare tramite le linee di fumo il comportamento del flusso di aria che lambisce un corpo.

La galleria del vento virtuale permette di simulare una galleria del vento reale ed ottenere oltre ai sopra citati parametri anche altre indicazioni sulla turbolenza, sulla pressione, sulla velocità delle particelle. I passi per la preparazione della galleria virtuale sono stati i seguenti:

- Creazione di un parallelepipedo, ovvero la galleria
- Inserimento della geometria CAD del veicolo, comprese le ruote
- *Mesh* di superficie triangolare, software utilizzato *ANSA 12.0.3*
- *Mesh* di volume *hybrid mesh*, software utilizzato *TGrid 3.6.8*

La mesh è sostanzialmente la discretizzazione della superficie e del volume con dei nodi. Il software di simulazione risolve le equazioni fondamentali della fluidodinamica, della turbolenza e dell'energia per ogni punto, permettendoci, in fase di analisi dei risultati, di andare a individuare in ognuno di questi nodi il parametro di interesse. Il numero totale delle celle per l'intera galleria è di circa 2.5- 3 milioni di celle e il parametro di controllo è lo skewness, che indica il grado di variazione di un triangolo in 2D e di un tetraedro 3D rispetto alle rispettive forme perfette circoscritte rispettivamente ad un cerchio e ad una sfera.

La simulazione fluidodinamica svolta con il software ANSYS Fluent 6.3.26 è stata impostata nel seguente modo:

- Superficie di ingresso della galleria: velocity inlet
- Superficie di uscita della galleria: pressure outlet
- Pavimento della galleria: translational wall
- Ruote: rotational wall
- Modello di turbolenza: k- ϵ , Realizable, non equilibrium wall functions.

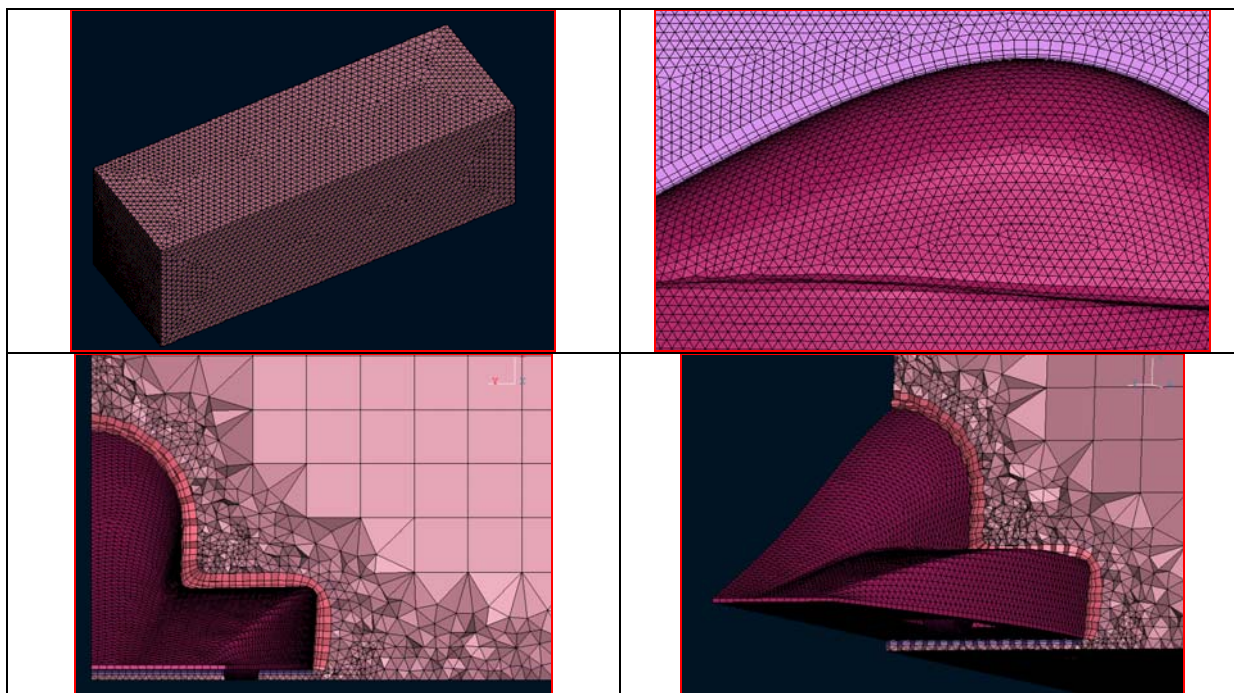


Figura 10: particolari della mesh della galleria del vento virtuale utilizzata per gli studi aerodinamici della carena

3.4 Analisi dei risultati.

La simulazione fluidodinamica effettuata sulla geometria tre ha evidenziato un valore del C_x pari a 0.256, ottimo rispetto al valore iniziale del kart di 0.804, ma il muso rialzato del veicolo comporta dei problemi di instabilità in quanto genera un momento di beccheggio rispetto al C_G che tende ad impennare il mezzo.

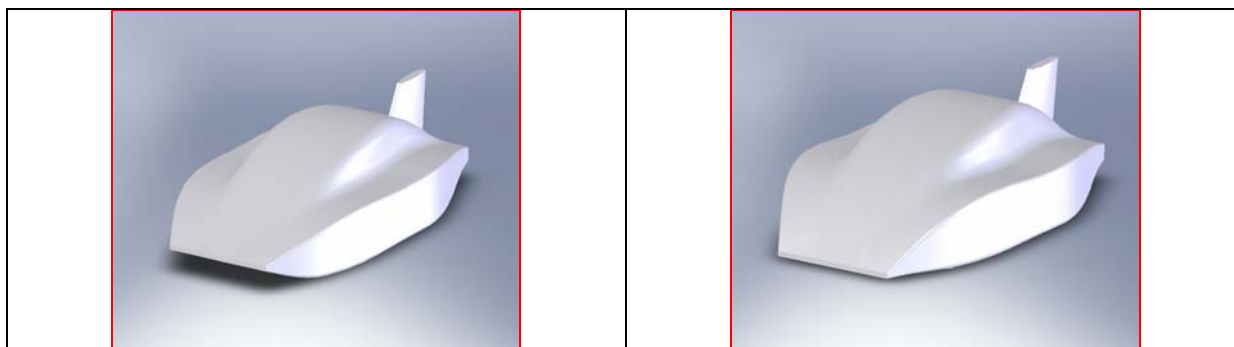


Figura 11: rappresentazione dei due modelli analizzati con differente conformazione del muso

Lo studio successivo viene quindi effettuato su una geometria con fondo piatto ed un parte posteriore con un angolo di 6° rispetto all'orizzontale, nel tentativo di generare un effetto "tubo Venturi".

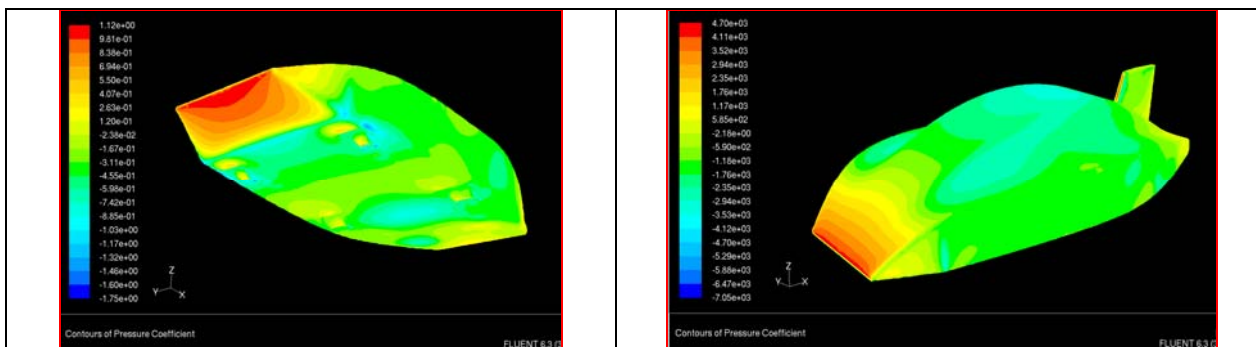


Figura 12: rappresentazione delle mappe di pressione sulle forma mostrate in figura 11

La seconda campagna di simulazioni è stata effettuata per confrontare le diverse condizioni di fondo Venturi 6°, fondo Venturi 3°, fondo piatto. I risultati sono mostrati nella seguente tabella:

Tabella 4: Risultati delle tre analisi effettuate con differente impostazione dell'estrattore posteriore

	F_D	C_D	F_L	C_L	C_P			M_{YCG}	M_{YRA}	M_{XRA}	M_{ZCG}
					X [m]	Y [m]	Z [m]				
	[N]	[N]	[N]	[N]	X [m]	Y [m]	Z [m]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
Piatto	500	0.183	832	0.069	4.6	6	0	-1405	-538	~0	-12
Venturi 3°	561	0.211	637	0.053	4.2	6	0	-869	133	~0	21
Venturi 6°	600	0.224	802	0.066	4	6	0	-914	-9.2	~0	-3.1

Si deduce chiaramente come il fondo piatto presenti le performance aerodinamiche migliori.

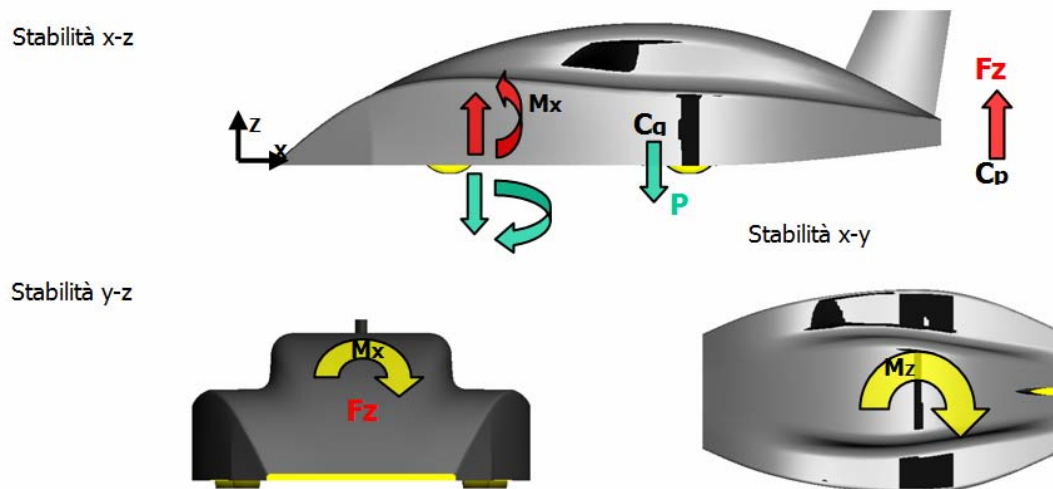


Figura 13: rappresentazione dei momenti e delle forze in gioco sulla carena utili alla lettura e valutazione dei dati in tabella 4

Dal punto di vista del comportamento dinamico e di stabilità, la migliore geometria è rappresentata dalla configurazione fondo piatto con parte posteriore inclinata di 6°, denominata appunto Venturi 6°, per la quale i momenti di rollio, imbardata, beccheggio sono prossimi allo zero. Questa configurazione presenta però una maggiore turbolenza, come evidenzia l'immagine che segue, fattore che giustifica un valore di C_x più alto.

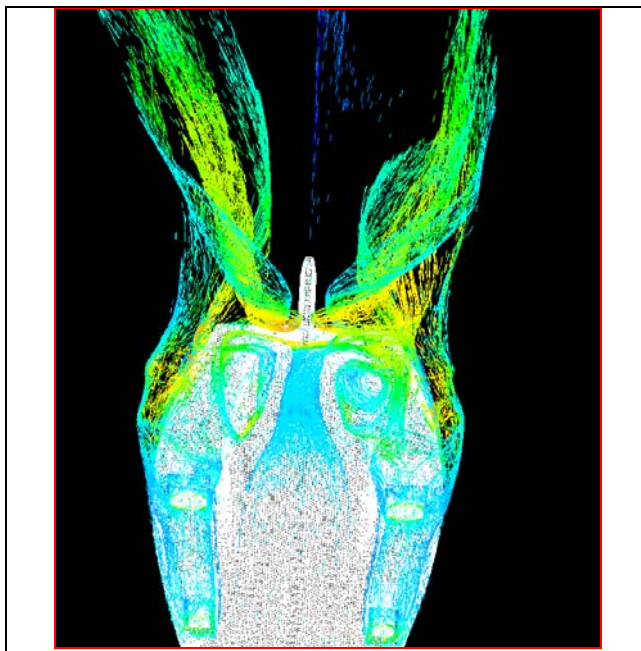


Figura 14: rappresentazione del flusso turbolento in coda al modello denominato “Venturi 6°”

La successiva campagna di simulazioni è stata effettuata per vedere se le ruote del kart dovessero essere coperte da un passaruota. La loro presenza permette di isolare completamente l’aerodinamica esterna della macchina e di evitare che il flusso di aria entri internamente. I risultati indicano un chiaro peggioramento della performance aerodinamica con un CX che sale a 0.222 nel caso di non utilizzo dei passaruota. Allo stesso modo sono state condotte opportune analisi di fluidodinamica interna della carena, alcune delle quali sono attualmente in fase di ottimizzazione, al fine di rendere il più efficiente possibile il flusso d’aria per il raffreddamento del radiatore.

3.3 Realizzazione della carena

Allo scopo di mantenere alto il livello tecnologico del progetto anche in questa fase, così come si è fatto in ogni altra, si è deciso di realizzare tutta la carena in fibra di carbonio. Il materiale utilizzato è un “tessuto” di carbonio biassiale (0° - 90°) con una grammatura di 600 g/m^2 , scelta appositamente perché molto adatta a realizzare superfici ampie ed elevati spessori con pochi strati sovrapposti richiesti. A tal riguardo, la carena è stata realizzata con soli due strati del suddetto tessuto, tranne opportune zone di rinforzo strutturale della monoscocca e nelle zone in cui sono stati applicati i sistemi di fissaggio tra carena e fondo.

A seguire si riportano, attraverso immagini e spiegazioni a margine, le varie fasi della lavorazione effettuata.



La prima fase è stata quella di realizzare lo stampo partendo dal disegno CAD della carena.

La realizzazione è avvenuta utilizzando centine in legno ricavate da opportune sezioni della geometria CAD, così come la sezione longitudinale su cui sono state incastrate per creare una forma solida e stabile.

I vuoti, con i quali conferire la forma finale, sono stati riempiti con del polistirolo comodo da lavorare con attrezzi di uso comune; si è utilizzato un polistirolo a 25 Kg/m^2 .

		
		<p>Una volta resa estremamente liscia e pulita la superficie del modello, deve essere applicato uno strato di distaccante, utile per poter separare agevolmente la forma in carbonio dallo stampo su cui lo si è laminato.</p> <p>In generale si tende a lavorare con due stampi, maschio e femmina, per una migliore resa superficiale del pezzo finito, ma viste le dimensioni ciò non è stato possibile realizzarlo.</p>
		<p>Per poter sfruttare al meglio il carbonio ed evitare di creare dei sormonti eccessivi tra gli strati, sono state tagliate delle sagome accuratamente misurate per le varie parti dello stampo.</p>
		<p>Prima di effettuare la laminazione vera e propria con l'applicazione della resina, le varie sagome tagliate vengono rifinite applicandole, asciutte, sullo stampo verificandone così la misura.</p>
		<p>Al completamento del processo di laminazione dei vari strati, l'oggetto assume la forma dello stampo, a meno dei lembi in eccesso sulla base, comunque necessari per la successiva operazione.</p>
		<p>Facendo leva sui lembi alla base e curandosi di non danneggiare la forma, si separa il pezzo dallo stampo, ottenendo così l'oggetto che deve subire poi tutto un processo di rifinitura e di taglio per arrivare ad assumere la lucentezza e la forma volute.</p>

Lo stesso procedimento è stato adottato per la realizzazione del fondo del kart e dei passaruota che vi verranno applicati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] www.torvergata-karting.it
- [2] <http://www.topspeedkart.com/>
- [2b] M. E. Biancolini, F. Renzi, G. Rizzoni, “Design of a lightweight chassis for the land speed record vehicle Buckeye Bullet 2”, *Int. J. Vehicle Design*, Vol. 44, Nos. 3/4, 2007.
- [2c] M. E. Biancolini, F. Renzi, G. Rizzoni, C. G. Cantemir “Multibody-fem analysis of a land speed record vehicle suspension”, Congresso FISITA 2006 F2006M233.
- [3] <http://www.buckeyebullet.com/>
- [4] R. Baudille, M.E.Biancolini, L. Reccia Integrated multi-body/fem analysis of vehicle dynamic behaviour, FISITA 2002 World Automotive Congress, Helsinki – Finland , June 2-7 2002
- [5] R. Baudille, M.E.Biancolini, L. Reccia, “Load transfers evaluation in competition go-kart” *Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing*, Vol. 2, No. 3, 2007.
- [6] M. E. Biancolini, A. Cerullo, L. Reccia, “ Design of a tuned sandwich chassis for competition go kart”, *Int. J. Vehicle Design*, Vol. 44, Nos. 3/4, 2007.
- [7] Biancolini M. E., Renzi F., Manieri G., Urbinati M., “Evaluation of aerodynamic drag of go kart by means of coast down test and CFD analysis”, XXXVI Convegno Nazionale dell’Associazione Italiana per l’Analisi delle Sollecitazioni (AIAS), Ischia 4-8 Settembre 2007.
- [8] http://www.mondokart.com/newsite/alta_velocit%E0.asp
- [9] www.fia.com
- [10] <http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/rules.pdf>
- [11] <http://www.kartcrg.com/>
- [12] Wilcox D.C.: *Turbulence modeling for CFD*, DCW Industries Inc., 1994.
- [13] J. Ferziger, M. Peric: *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 2002.
- [14] Anderson J D: *Computational fluid dynamics. The basics with applications*, McGraw-Hill, 1995.
- [15] W. F. Milliken, D. L. Milliken: *Race car vehicle dynamics*, SAE, 1995.
- [16] G. Manieri, M. Urbinati: *Design of a land speed record go kart*, 8th FISITA Student Congress, 22-27 October, Yokohama, Japan, 2006.