

TECNICA: IL TELAIO IN CARBONIO

MOTO

TECNICA

Anno 24 - Mensile N°2 - MARZO 2010 - € 6,00 (Italy only)

**IN OMAGGIO
STORICHE**
offerta valida solo
per l'acquisto in edicola

**INCHIESTA L'USATO:
CONSIGLI PER UN
ACQUISTO SICURO**

EVENTI

**VERONA
MOTOR BIKE
EXPO 2010**

SPECIAL

**DUCATI
MONSTER
S4 RS
BURSI**

NEW MODEL

**BMW
R1200 GS**

TEORIA E INNOVAZIONE

**IL COMFORT
AERODINAMICO**

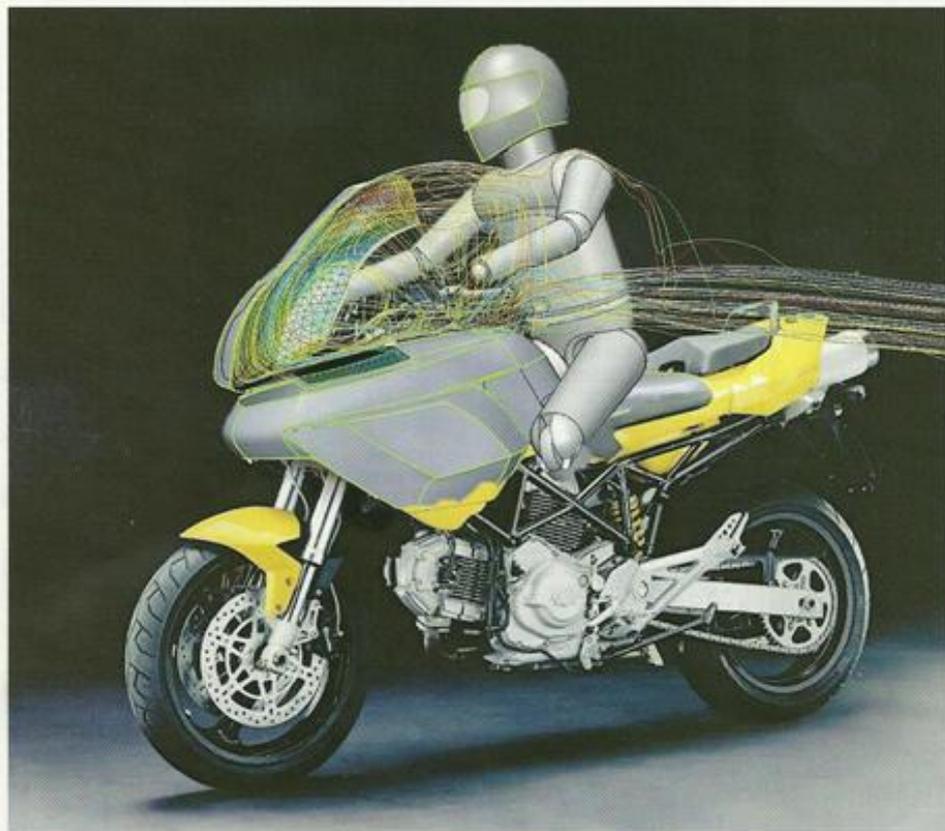
MONOGRAFIA MOTO

YAMAHA XJ6



Poste Italiane S.p.A. - Spedizione in Abb. Post. - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 - CNIS Commerciale Business - SALERNO/1417507

IL PARABREZZA VARIOTOURING



LE ATTUALI TECNICHE DI SIMULAZIONE ASSISTITA DAL CALCOLATORE CONSENTONO DI CONTENERE I COSTI CONNESSI ALLA SPERIMENTAZIONE AERODINAMICA DELLE SOVRASTRUTTURE MOTOCICLISTICHE. LO SCOPO FINALE È LA PROGETTAZIONE DI FORME COMPATTE, ESTETICAMENTE ACCATTIVANTI E IN GRADO DI GARANTIRE UN ADEGUATO COMFORT AERODINAMICO. IN QUESTO ARTICOLO SI CONFRONTANO DUE DIVERSI CUPOLINI DELLA DUCATI MULTISTRADA: L'ORIGINALE E IL VARIOTOURING.

Negli ultimi anni, le moto sportive sono diventate sempre più performanti, leggere, piccole e scomode. Discorso diverso per le Sport Tourer e le Enduro turistiche che hanno migliorato sia prestazioni che capacità di carico e comfort. Per aumentare il piacere di guida e favorire il moto turismo, oggi sono disponibili sul mercato diversi accessori come ad esempio borse, dispositivi per la navigazione assistita e parabrezza. Quest'ultimo accessorio, in particolare, costituisce l'argomento principale del presente articolo.

La proposta di studiare in dettaglio l'aerodinamica dei parabrezza è nata da un importante distributore italiano di ricambi, Bricomoto, che da diversi anni promuove le soluzioni della MRA, un'azienda tedesca specializzata nella progettazione e costru-

zione di parabrezza innovativi. La sfida tecnologica è stata accolta con entusiasmo dai Ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università di Tor Vergata che, grazie all'utilizzo dei più avanzati software di calcolo (Ansys Fluent, SolidWorks, RBF Morph) messi a disposizione da parte di alcuni partner tecnologici (Figura 1), hanno sviluppato uno studio di ottimizzazione fluidodinamica che consente di valutare e migliorare le prestazioni del parabrezza mediante una galleria del vento virtuale. L'obiettivo è quello di implementare una nuova metodologia di progettazione di que-

sti componenti tale da accelerare i tempi per la realizzazione di un nuovo prodotto o per il miglioramento di quello esistente. Il ciclo di progetto consta di diverse fasi successive ovvero l'acquisizione della geometria della moto e del cupolino originale mediante tecniche di ingegneria inversa, la definizione della nuova geometria per il cupolino, l'introduzione del pilota nel

ANSYS

BRICO moto



(rbf-morph)

Welcome to the World of Fast Morphing!

MRA
MOTORCYCLE WINDSHIELDS

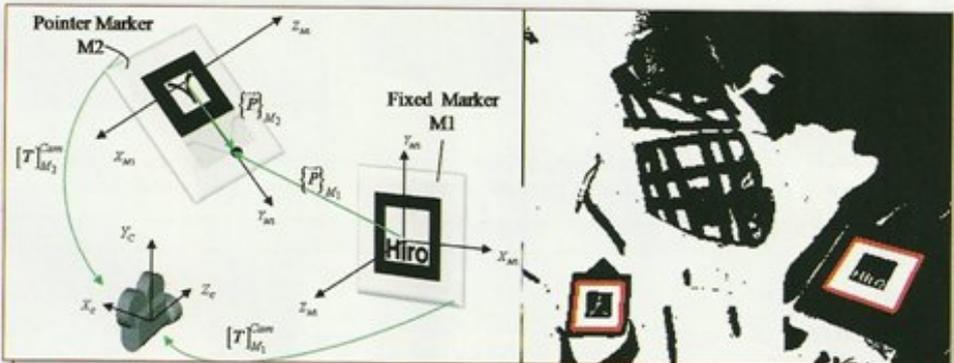
I partner del progetto di Ricerca



● Figura 2: Principio di funzionamento del Variotouring (destra). Il flusso d'aria viene diviso grazie alla presenza del canale compreso fra il cupolino e il deflettore che consente di ottenere delle condizioni di flusso ottimizzate attorno al casco.



● Figura 3: Modello CAD della moto con il cupolino originale (sinistra) e con il Variotouring (destra).



● Figura 4: Principio di funzionamento (sinistra) ed elaborazione video del movimento dei marker (destra).



● Figura 5: Acquisizione dei punti mediante la tecnica della Realtà Virtuale Aumentata.

tramite il calcolo delle azioni aerodinamiche agenti sul corpo e sul casco, e la buona penetrazione aerodinamica della moto. Visto che il cupolino ha un'inclinazione regolabile, esiste un angolo ottimale in funzione dell'altezza e

della postura del pilota. Interdipendenza tra i parametri caratteristici rende l'analisi multi-obiettivo, poiché la forma dei componenti deve essere tale da soddisfare le esigenze del maggior numero possibile di piloti.

IL CUPOLINO VARIOTOURING

Il comfort è una delle caratteristiche più importanti richieste dai motociclisti che scelgono le Sport Tourer e le Enduro turistiche. Per questo motivo sia i componenti originali che quelli di aftermarket puntano a migliorare il comfort del guidatore soprattutto per lunghe percorrenze. In questo contesto il cupolino riveste sicuramente un ruolo cruciale.

Poiché chi va in moto di solito indossa abiti speciali che coprono bene il corpo da intemperie, urti e vento, si è pensato di non deviare completamente il flusso d'aria, come per esempio in un abitacolo chiuso, ma di "addomesticarlo" per evitare i principali problemi, ovvero turbolenze ed alta pressione.

In una moto senza parabrezza l'aria investe completamente il guidatore e crea forti pressioni sul casco e sul petto. Oltre i 100 km/h queste pressioni rendono la guida molto faticosa ed obbligano il pilota ad accovacciarsi sul serbatoio. In una moto con carena o semi carena invece, il parabrezza devia parzialmente il flusso d'aria. Visto che per motivi di omologazione il parabrezza non può essere posto davanti agli occhi del pilota, nella normale postura quest'ultimo viene investito da due flussi. Il primo è il flusso principale che, deviato dal parabrezza, spinge sopra la visiera; il secondo viene generato dalla depressione nella zona del cruscotto. Se il pilota si abbassa, tale depressione si forma sopra il casco.

Nel caso in cui venga montato un parabrezza maggiorato, si risolve il problema della pressione sul casco ma non della turbolenza che risulta perfino maggiorata a causa della maggiore depressione. Oltretutto, i parabrezza maggiorati sono molto sensibili al vento laterale ed alle depressioni generate dai veicoli pesanti soprattutto durante i sorpassi.

La soluzione a queste problematiche proposta dalla MRA nel 2002 è rappresentata dal modello Variotouring costituito da due componenti: una lastra che presenta un profilo rientrante nella zona centrale atto a generare un canale aerodinamico, ed una lastra più piccola (deflettore) montata sopra al canale per mezzo di cerniere a quadrila-

modello CAD, la definizione del modello di calcolo fluidodinamico e l'ottimizzazione del nuovo componente.

Nello specifico, l'ottimizzazione è un compromesso fra il comfort del pilota, valutabile

tero che permettono di variarne l'angolo di incidenza. L'effetto finale prodotto dal sistema Variotouring-deflettore è la divisione del flusso principale e la creazione di un canale d'aria tra il parabrezza ed il deflettore. Con questo accorgimento il flusso che investe il casco ha quindi un'intensità inferiore, mentre il flusso che entra nel canale d'aria genera minore depressione e diminuisce quindi le turbolenze.

Nella Figura 2 si mostra, rispettivamente, l'effetto indotto dal cupolino tradizionale ed dal Variotouring per una velocità di crociera di 130 km/h. Nel primo caso il flusso produce delle azioni intense e fastidiose sul collo del pilota mentre, utilizzando il Variotouring, il flusso viene diviso e l'azione complessiva è quella di limitare il disturbo. Risulta evidente come sia importante l'ottimizzare della configurazione del Variotouring ovvero la regolazione dell'angolo del deflettore sulla base della statura e della postura di guida del pilota.

Come accennato in precedenza, lo studio presentato in questo articolo si riferisce ad un particolare modello di moto, la Ducati Multistrada. Il modello geometrico della moto, rispettivamente con cupolino tradizionale e cupolino Variotouring, è rappresentato nella Figura 3.

DIGITALIZZAZIONE DEL CUPOLINO E DELLA MOTO

L'ingegneria inversa (dall'inglese Reverse Engineering) è una tecnica progettuale utilizzata per duplicare un oggetto esistente ovvero la riproduzione virtuale dell'oggetto nelle sue forme, dimensioni e funzionalità. Le fasi tipiche del processo di ingegneria inversa sono, in ordine:

- fase di acquisizione dei punti;
- fase di elaborazione dei punti;
- fase di costruzione del modello 3D.

Il principio di funzionamento, costituito da due marker ed un sistema di acquisizione monoculare, è rappresentato nella Figura 4 (a sinistra). Un marker è fissato alla scena e serve per avere un riferimento fisso, l'altro è libero e viene usato come puntatore tridimensionale dall'operatore.

La telecamera consente di acquisire i fo-

Figura 6: Confronto fra la moto e il modello CAD digitalizzato.



togrammi in tempo reale e di trasferirli nella memoria del computer. Grazie ad un libreria di image processing, il computer elabora i fotogrammi (vedi Figura 4 a destra) consentendo il riconoscimento dei marker mediante un algoritmo di pattern recognition. A questo punto, grazie ad un algoritmo DLT (Direct Linear Transformation), il software è in grado di calcolare le posizioni spaziali dei marker e quindi le coordinate assolute del puntatore (vedi Figura 5).

Poiché il sistema si basa sull'analisi di immagini in tempo reale, è molto importante controllare le condizioni di illuminazione per garantire il riconoscimento dei marker. Per questo motivo è stata utilizzata una procedura di calibrazione iterativa dei parametri del sistema sfruttando dei campioni noti. Questa strategia consente di ottenere una precisione di posi-



Figura 7: Modello CFD: modello della moto inserito nella galleria del vento virtuale (sinistra), dettaglio dei componenti rappresentati nel modello (destra).



Figura 8: Set up di RBF Morph. L'azione del morpher è limitata al box "domain 1" (sinistra). Il movimento delle superfici interne al box (destra) viene imposto sui punti del cupolino (fissi), della carena (fissi) e del casco (spostamento verticale).

zionamento pari a 2 mm che è stata ulteriormente incrementata imponendo gli ingombri complessivi dell'oggetto misurato, garantendo alla fine una tolleranza pari a 0.1 mm.

Una volta tarato il sistema, si passa alla modellazione tridimensionale del cupolino. Grazie ad un sistema CAD dedicato è stato possibile disegnare la geometria

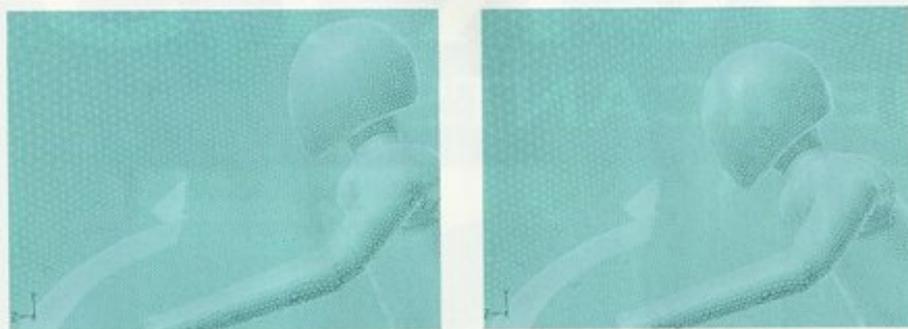


Figura 9: La mesh viene deformata per cambiare l'inclinazione del pilota di 15 gradi.



Figura 10: La mesh viene deformata per cambiare l'altezza del pilota di 5 cm, si parte in questo caso dalla posizione inclinata di 15 gradi.



Figura 11: Campo di moto sul piano di simmetria per il cupolino originale (sinistra) e per il Variotouring (destra).

effettiva dei componenti utilizzando come penna il puntatore tridimensionale. Per avere dei riscontri precisi, si è deciso di fissare delle guide di riferimento sul componente reale mediante del nastro adesivo. Come evidenziato in Figura 5 la modellazione delle superfici ha seguito un approccio tradizionale. Sfruttando le potenzialità di uno strumento di snap che consente di introdurre i punti direttamente dallo scenario fisico, l'approccio tradizionale prevede la definizione delle spline interne e di contorno con i punti tridimensionali acquisiti e la successiva generazione del modello matematico della superficie attraverso operazioni di lofting. Il risultato finale è illustrato nella Figura 6.

MODELLAZIONE CFD

Il modello CFD (acronimo di Computational Fluid Dynamics ovvero fluidodinamica computazionale) è stato generato seguendo le procedure ottime in uso per le analisi di aerodinamica esterna. Si parte dalla geometria CAD delle superfici della moto che viene trasformata in una mesh molto fitta di elementi triangolari. Tale mesh viene inserita in una galleria del vento virtuale considerando solo mezzo veicolo vista la simmetria del problema (Figura 7 sinistra). Poiché lo scopo dell'indagine numerica è l'analisi delle prestazioni del cupolino, si è deciso di modellare in dettaglio solo i componenti coinvolti (Figura 7 destra). Anche la galleria del vento viene discretizzata con

elementi di tipo triangolare rappresentando anche il piano di simmetria.

Le superfici così definite delimitano un volume chiuso all'interno del quale il solutore CFD simulerà virtualmente il fluido che investe la moto dopo aver risolto le classiche equazioni della meccanica dei fluidi per ognuna del milione circa di celle tetraedriche in cui è suddiviso.

Per finalizzare l'analisi CFD è necessario definire le idonee condizioni al contorno, ovvero si impone la velocità della moto sia all'ingresso della galleria virtuale che alla strada, e la pressione atmosferica all'uscita della galleria. La soluzione cercata è di tipo stazionario e sono necessarie circa 1000 iterazioni di calcolo per ottenere una soluzione convergente (la verifica di convergenza viene effettuata osservando l'andamento delle forze aerodinamiche agenti sulla moto). Le varianti rispetto al caso base richiedono un numero inferiore di iterazioni (300) per il raggiungimento della convergenza poiché il calcolo non inizia dalla condizione di flusso indisturbato ma da un campo sviluppato di moto della condizione di riferimento.

MORPHING

Per cambiare la forma del modello CFD senza esser costretti a rigenerare ogni volta la mesh, si è fatto uso di RBF Morph (l'addon per Ansys Fluent), considerando le seguenti tre modifiche:

- cambiamento dell'altezza del pilota;
- cambiamento della postura del pilota (angolo di inclinazione);
- variazione dell'angolo del deflettore del Variotouring.

Nel caso della variazione di altezza del pilota si usa un box per limitare l'azione del morpher (Figura 8 sinistra) e si impone poi un moto rigido a tutti i punti del casco per variare l'altezza del pilota ed uno spostamento nullo a tutti i punti della moto (Figura 8 destra). In questo modo si rende deformabile solo la porzione di modello all'interno del box (compreso il corpo del pilota) che cambierà forma seguendo i movimenti prescritti a casco e moto.

Prima di procedere con le analisi CFD, si è verificato che anche per le combinazioni più sfavorevoli di altezza pilota e postu-

Figura 15: Le tre immagini mostrano l'andamento delle linee di flusso sul piano di simmetria al variare dell'angolo del pilota: 0 deg (a), +7.5 deg (b), +15 deg (c).

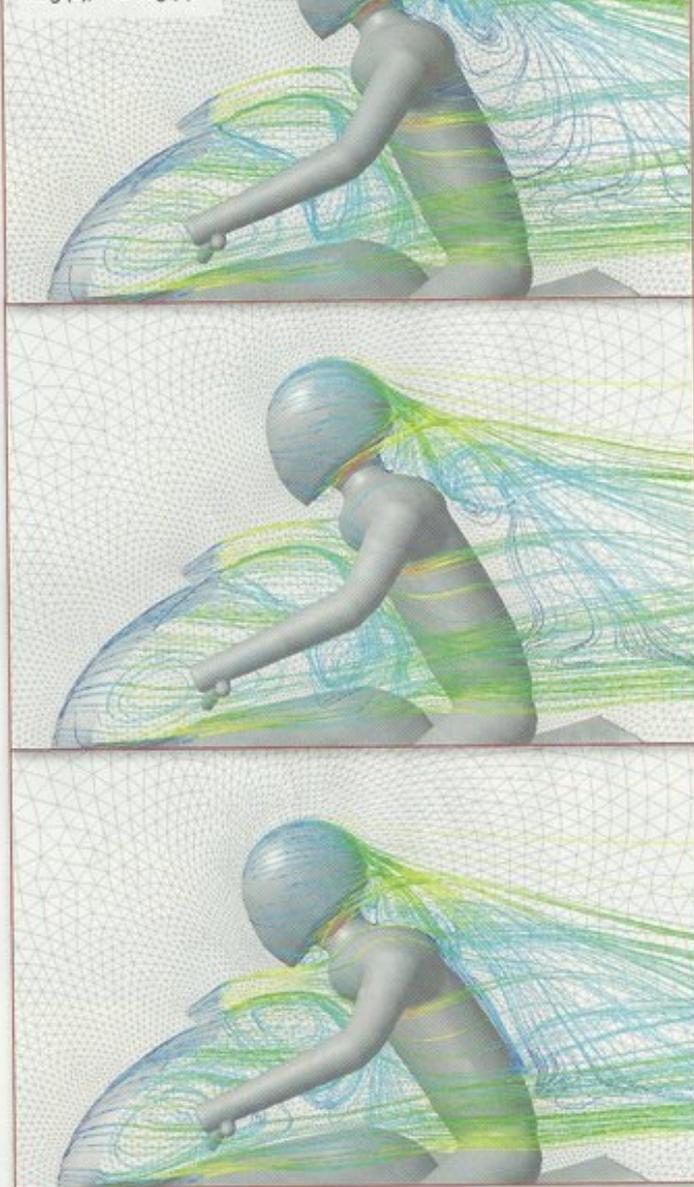
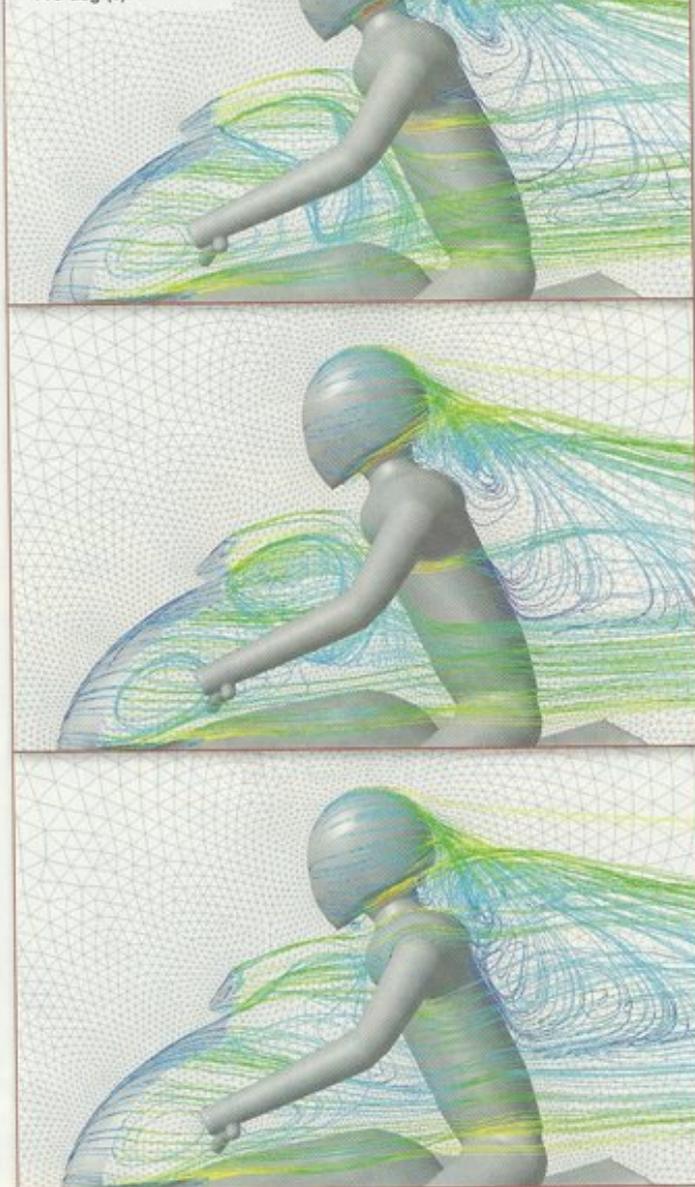


Figura 16: Le tre immagini mostrano l'andamento delle linee di flusso sul piano di simmetria al variare dell'angolo del deflettore: -10 deg (a), 0 deg (b), +10 deg (c).



ra (vedi Figure 9 e 10) la qualità della mesh risulta ancora accettabile (assenza di celle troppo irregolari).

RISULTATI

Le prime analisi condotte hanno consentito di confrontare le prestazioni del cupolino originale e del Variotouring (Figura 11). Malgrado le sue dimensioni ridotte, con l'utilizzo del Variotouring si ottiene un campo di moto e dei valori carichi confrontabili (il carico

orizzontale sul casco si riduce del 3.2% usando il Variotouring) con quelli ottenuti con il cupolino originale. Visto che il Variotouring è regolabile, le prestazioni dipenderanno dall'angolo del deflettore. Per questo motivo sono state esaminate 5 posizioni diverse ottenute variando l'angolo d'incidenza nell'intervallo +/- 10 gradi (0 gradi è la posizione di riferimento della Figura 11). Inoltre, per determinare l'effetto dell'altezza del pilota e della postura al variare dell'assetto del deflettore,

si è deciso di considerare tre altezze diverse (+/-5 cm rispetto al valore iniziale) e tre angoli diversi (0, 7.5 e 15 gradi rispetto alla posizione iniziale). Per incrociare tutti i valori dei parametri sono state necessarie 45 simulazioni ma, grazie alle potenzialità del morpher, tutto il calcolo è stato automatizzato in modo molto semplice utilizzando un solo modello CFD. I risultati sono quantitativi sono riassunti nelle Figure 12, 13 e 14. In ogni diagramma vengono riportate tre curve (una per ogni al-

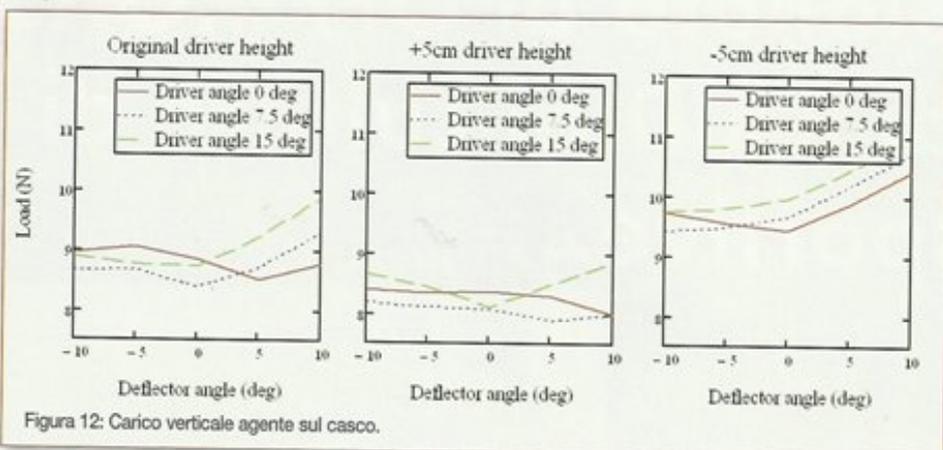


Figura 12: Carico verticale agente sul casco.

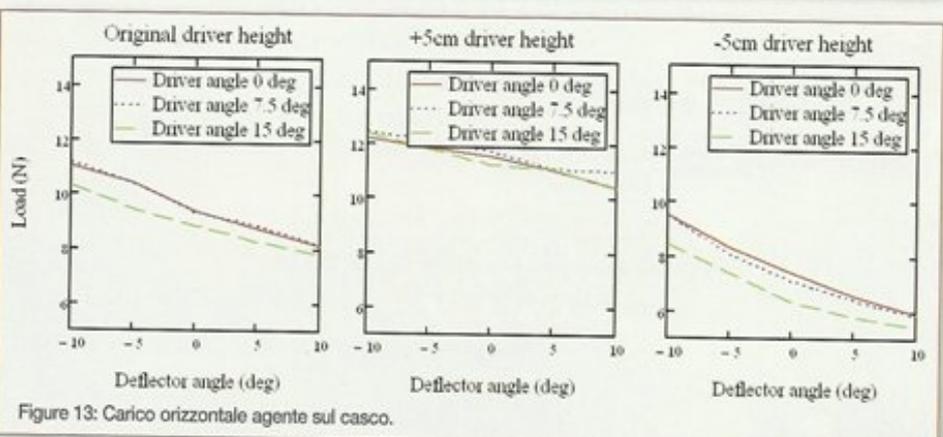


Figure 13: Carico orizzontale agente sul casco.

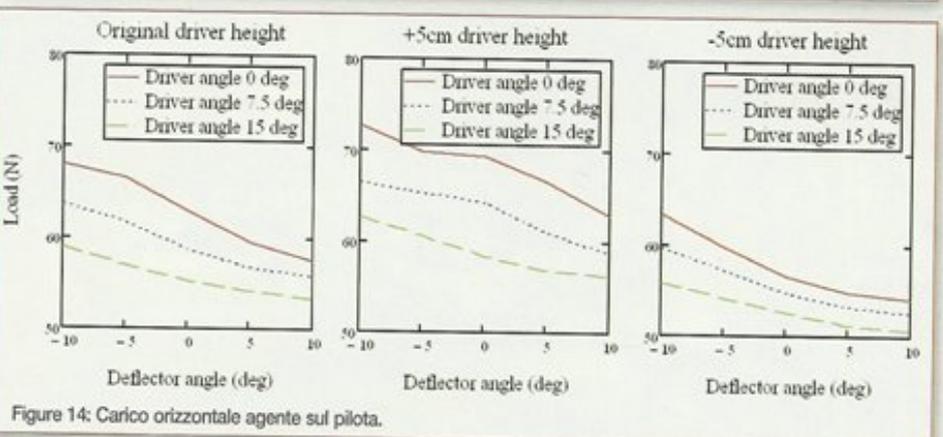


Figure 14: Carico orizzontale agente sul pilota.

tezza del pilota) che rappresentano l'andamento del carico al variare dell'angolo del deflettore. L'angolo del pilota viene considerato come parametro fisso, per cui sono necessari tre diagrammi di questo tipo per rappresentare tutti i risultati. L'effetto sulle linee di flusso è illustrato nelle figure 15 e 16, dalle quali si può notare come modeste variazioni geometriche producano una forte perturbazione del campo fluidodinamico. È interessante osservare che variando l'angolo del deflettore si ha una sensibile variazione dei carichi e quindi si possono ottenere dei

miglioramenti significativi. Il carico verticale sul casco può essere minimizzato ma l'angolo ottimo varia in funzione della postura e dell'altezza del pilota. Ovviamente il carico orizzontale aumenta con l'altezza del pilota (dipende da quanto il caso viene esposto al flusso) ma può essere parzialmente compensato agendo sull'angolo del deflettore.

CONCLUSIONI

In questo articolo si è dimostrato come combinando adeguatamente gli strumenti di progettazione allo stato dell'arte (CAD,

Reverse Engineering, CFD, Mesh Morphing) è possibile risolvere un problema industriale. I risultati sono molto promettenti e ci sono sicuramente margini di miglioramento sia per il metodo proposto che per i componenti esaminati. Per perfezionare il metodo di calcolo è necessario valutare la stabilità del flusso, ovvero verificare se l'approccio stazionario è adeguato o se è necessario ricorrere ad uno studio transitorio per cogliere la presenza di vortici di tipo periodico. Per rendere più efficiente la progettazione del componente è possibile prendere in considerazione ulteriori parametri nell'ottimizzazione al fine di includere anche la forma del cupolino componente. Il metodo proposto così integrato consentirebbe di garantire un progetto ottimale per piloti di stature diverse.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo Johannes Klement della MRA-Klement GmbH per il supporto tecnico fornito relativamente alla progettazione sperimentale dei vari outouring e la MRA per aver sponsorizzato con un finanziamento questo progetto. I cupolini materiali testati sono stati donati da Bricomoto. Il software Fluent è stato messo a disposizione da ANSYS Italia. Il software SolidWorks è stato messo a disposizione da Nuovamacut Centro Sud s.r.l. ■

BIBLIOGRAFIA

- Jakobsson, S.; Amoignon, O., Mesh deformation using radial basis functions for gradient-based aerodynamic shape optimization *Computers and Fluids* Volume: 36, Issue: 6, July, 2007, pp. 1119-1136.
 de Boer, A.; van der Schoot, M.S.; Bijl, H., Mesh deformation based on radial basis function interpolation *Computers and Structures* Volume: 85, Issue: 11-14, June - July, 2007, pp. 784-795.
 ARToolKit: www.hitl.washington.edu/artoolkit
 Richard Hartley and Andrew Zisserman (2003). *Multiple View Geometry in computer vision*. Cambridge University Press.
 Tor Vergata Karting www.torvergata-karting.it
 MRA-Klement GmbH: www.mra.de
 Bricomoto: www.bricomoto.it
 Ansys Fluent: www.ansys.com
 RBF Morph: www.rbf-morph.com
 SolidWorks www.solidworks.it