



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Studio sulla mitigazione delle conseguenze di incidenti stradali che coinvolgono veicoli a due ruote**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Studio sulla mitigazione delle conseguenze di incidenti stradali che coinvolgono veicoli a due ruote / R. Capitani; G. Masi; M. Roggi. - ELETTRONICO. - (2008), pp. 100-118. (Intervento presentato al convegno XXXVII Congresso Nazionale AIAS tenutosi a Roma nel 10-13 settembre 2008).

*Availability:*

This version is available at: 2158/396468 since: 2018-11-23T15:32:36Z

*Publisher:*

Comitato Organizzatore

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)

## STUDIO SULLA MITIGAZIONE DELLE CONSEGUENZE DI INCIDENTI STRADALI CHE COINVOLGONO VEICOLI A DUE RUOTE

R. Capitani, G. Masi, M. Roggi

*Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali,  
via Santa Marta, 3 – 50139 Firenze  
e-mail: renzo.capitani@unifi.it, guido.masi@unifi.it, marco.roggi@unifi.it*

### Sommario

Nell'ambito degli studi sulla sicurezza stradale in atto nel Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali dell'Università di Firenze sono state individuate e sviluppate alcune soluzioni innovative per la protezione dei motociclisti sia per quanto riguarda il motoveicolo, sia per quanto riguarda l'abbigliamento protettivo. L'efficacia di tali soluzioni è stata verificata all'interno di scenari di incidente effettivamente accaduti e ricostruiti attraverso modelli di simulazione. In particolare la presente memoria descrive la modellazione di uno scenario di incidente e la verifica dell'efficacia di alcune tipologie di airbag inseriti nel veicolo.

### Abstract

The Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali is performing a research activity to improve motorcyclist road safety. The motorcyclist are the road user category with the higher risk of suffering injuries. Moreover the possible dynamics of motorcycle road accidents are really various if compared with four wheels. For this reasons the motorcyclist safety has different and specific needs in comparison to automotive safety.

The DMTI research activity has considered several facets involving airbag technology applied both to motorcycle and rider, and has developed several numerical simulation of real car-motorcycle collision.

**Parole chiave:** sicurezza stradale, airbag, sistemi di protezione, ricostruzione incidenti.

### 1. INTRODUZIONE

I veicoli motorizzati a due ruote, ciclomotori e motocicli, sono largamente utilizzati sia come valido strumento per la mobilità che per il divertimento. Essi sono però caratterizzati da una pericolosità intrinseca elevata che fa inserire i motociclisti tra gli utenti deboli della strada. Le ultime statistiche ISTAT [1] riguardo gli incidenti stradali tra veicoli sottolineano che nel 2006 in Italia il 21,4% degli incidenti ha coinvolto un veicolo a due. Inoltre, se il numero di incidenti mortali per gli autoveicoli è percentualmente diminuito, per i veicoli a due ruote l'andamento è opposto. Infatti osservando il tasso di incidenti mortali per 10.000 motoveicoli tra il 2000 e il 2004 nei paesi della UE15, il miglioramento è stato segnalato in tutti i paesi, salvo che in Italia che rappresenta il 31% del parco circolante [2].

Alla luce di questi dati emerge l'importanza di sviluppare dispositivi di protezione attiva e passiva al fine di ridurre gli incidenti e le lesioni subite dai motociclisti. Nell'ambito degli studi sulla sicurezza stradale in atto nel Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali sono state individuate e sviluppate alcune soluzioni innovative che coinvolgono l'uso della tecnologia airbag nella protezione dei motociclisti. L'efficacia di tali soluzioni è stata verificata all'interno di scenari di incidente reali la cui dinamica è stata ricostruita mediante simulazioni numeriche.

## 2. COSTRUZIONE E VALIDAZIONE DEI MODELLI

Il primo passo verso la ricostruzione mediante simulazione numerica degli incidenti stradali che coinvolgono motocicli è stata la modellazione del motoveicolo e degli altri elementi che prendono parte all'urto: il pilota, le infrastrutture stradali ed eventuali altri veicoli.

Il presente lavoro si è centrato principalmente sulla modellazione del motoveicolo; per quanto riguarda l'auto è stato fatto riferimento ai database presenti in letteratura [3] (Figura 1); il pilota è stato modellato tramite il manichino, presente nel database del software utilizzato, che simula il comportamento di un Dummy Hybrid III (Figura 2).

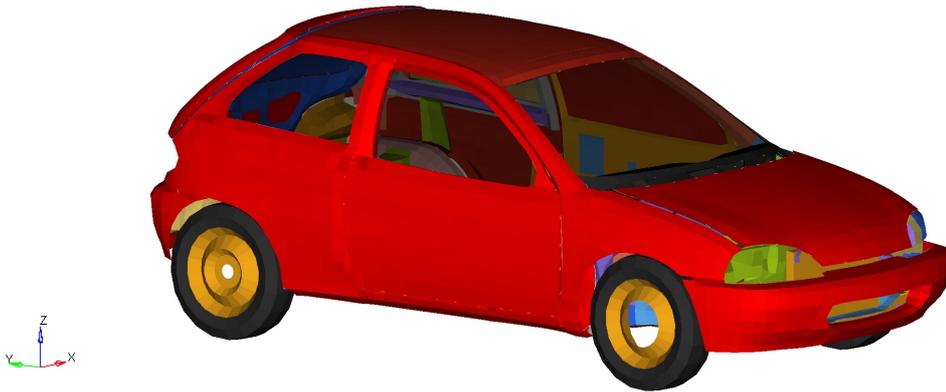


Figura 1 Modello di autoveicolo.

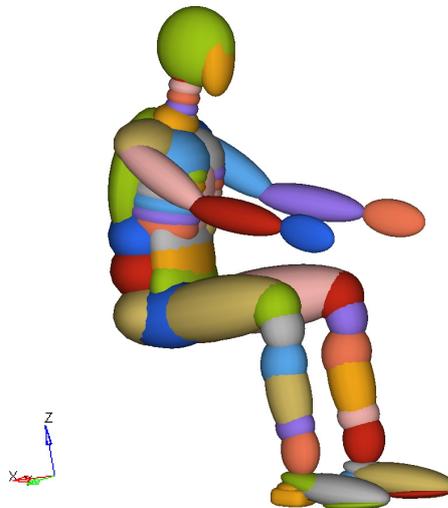


Figura 2 Dummy utilizzato nelle simulazioni

I motocicli modellati all'interno della presente attività di ricerca sono costituiti da elementi multibody ovvero da elementi rigidi collegati attraverso l'utilizzo di opportuni vincoli. Le superfici rigide, associate a masse e inerzie, provengono da mesh di superfici reali (Figura 3). Le superfici del motociclo sono costruite mediante superfici Facet, ovvero tramite superfici che replicano la geometria reale (con masse e inerzie reali), anche se non deformabili. La rigidità di un componente, con tale metodologia di simulazione, non viene prodotta dalla deformazione della mesh, ma, tramite l'assegnazione di un'adeguata caratteristica di rigidità, dalla compenetrazione tra le parti [4].

Questa tecnica permette una attenta valutazione dei contatti motoveicolo – auto e motoveicolo – manichino, particolarmente importanti nel caso di simulazione di urto, pur mantenendo ragionevoli i tempi computazionali.



Figura 3 Modello di motoveicolo

Particolare attenzione è stata posta nella modellazione della forcella e del pneumatico anteriore del motoveicolo interessati dagli urti frontali. Per quanto riguarda il pneumatico anteriore la caratteristica di rigidità è stata ottenuta attraverso una prova sperimentale di compressione di un pneumatico 120/70 R15, tipicamente utilizzato su maxiscooter, montato su cerchio (Figura 4).



Figura 4 Prova di compressione per il pneumatico anteriore

Della forcella anteriore, oltre alla normale caratteristica di molla e smorzatore a compressione ed estensione, è stata valutata, attraverso simulazioni numeriche, la flessione della forcella in caso d'urto ed implementata nel modello numerico.

La validazione del modello numerico di motoveicolo completo è stata quindi eseguita mediante una campagna di prove simulate che hanno riprodotto un crash test frontale del motociclo contro parete rigida ad una velocità di 10 m/s. Il confronto è stato eseguito mediante l'utilizzo di dati provenienti da crash test reali disponibili all'interno delle collaborazioni sviluppate nell'ambito del progetto APROSYS finanziato dalla CE. Per effettuare il confronto tra simulazione e crash test reale il modello è stato strumentato come il motoveicolo reale ed in particolare sono stati inseriti quattro sensori di accelerazione triassiali (Figura 5):

- Sensore posto nel sottosella
- Sensore posto nella forcella anteriore
- Sensore posto nello sterzo
- Sensore posto nella pedana

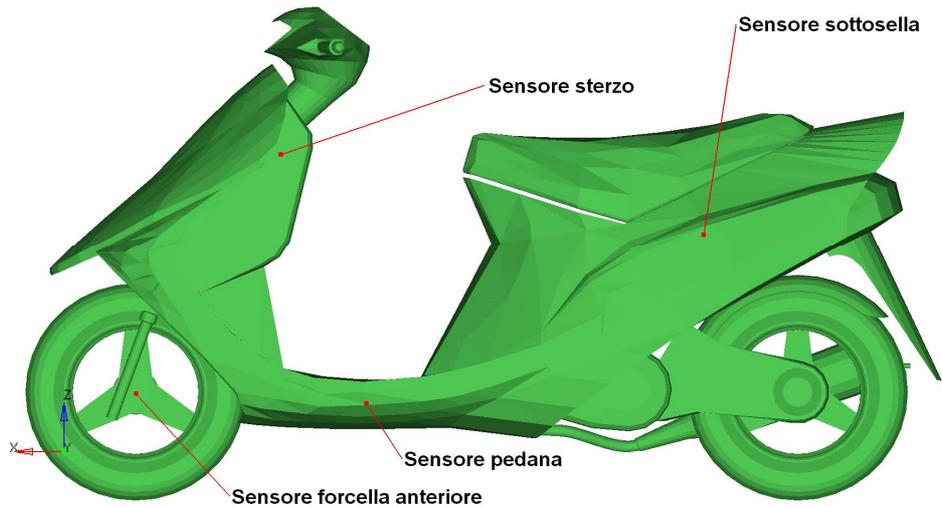


Figura 5 Disposizione dei sensori di accelerazione

Al termine della campagna di validazione la risposta del modello di motociciclo in termini di accelerazioni è risultata essere sufficientemente accurata ed in linea con quanto riportato nella bibliografia di riferimento e con modelli analoghi sviluppati da altri gruppi di ricerca [5, 6, 7].

In Figura 6 viene mostrato, a titolo di esempio, il grafico dell'accelerazione risultante in direzione della velocità del motociciclo, rilevata dal sensore posto nella zona sottosella, sia del motociciclo reale che del modello realizzato nell'ambito del presente lavoro. Tale sensore è di particolare importanza per il confronto tra caso reale e modello: risulta infatti interessante conoscere e affinare il comportamento del modello del motoveicolo nella zona di contatto con il manichino dal momento che, per l'intervallo di tempo analizzato, la zona della sella risulta essere quella che più influenza la dinamica del manichino durante la fase di urto.

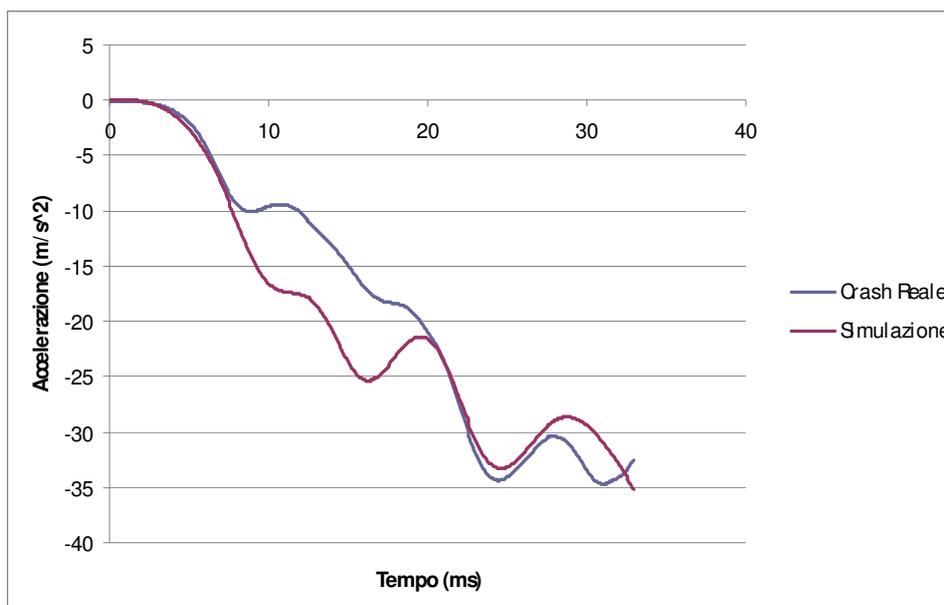


Figura 6 Confronto della accelerazione del sensore sottosella

### 3. ANALISI DELLA EFFICACIA DEI DISPOSITIVI DI SICUREZZA DI TIPO AIRBAG

La protezione del motociclista in caso di incidente è un tema complesso in quanto la dinamica dell'incidente stradale che coinvolge il motociclo è influenzata da molteplici variabili che rendono difficilmente prevedibili i movimenti del corpo umano durante l'incidente stesso ed il modo con cui si determinano le lesioni sul pilota. Tali incertezze rendono difficile la valutazione oggettiva della efficacia dei sistemi di protezione e evidenziano la necessità di riscontri sperimentali ai risultati della simulazione dinamica dell'incidente. Considerati gli elevati costi ed i tempi lunghi legati alla sperimentazione è stato deciso di fare riferimento ad incidenti reali ed eseguire la simulazione di tali scenari per verificare l'efficacia dei dispositivi di protezione per motociclisti.

Nell'ambito di una collaborazione con l'Amministrazione Comunale di Firenze, sono stati analizzati incidenti realmente accaduti nell'area metropolitana utilizzando i filmati video acquisiti dal sistema Telecamera Amica, mediante telecamere posizionate in alcuni punti del territorio urbano. Il video permette infatti di stimare con sufficiente approssimazione gli angoli di impatto e le velocità dei veicoli coinvolti e di ottenere informazioni sulla postura e sul comportamento del pilota nella fase immediatamente precedente all'impatto. Queste informazioni sono particolarmente utili perché tali parametri possono influenzare in maniera sensibile la dinamica dell'urto.

Alcuni di questi incidenti, considerati particolarmente significativi, in quanto analoghi agli scenari di incidente più frequenti, sono stati simulati utilizzando i modelli validati descritti in precedenza. Per motivi di privacy non è possibile riportare la sequenza di fotogrammi ricavati dai filmati degli incidenti e verrà quindi mostrata soltanto una sequenza ricavata dalle simulazioni numeriche relative alla ricostruzione di uno degli incidenti oggetto di studio. Sia la dinamica del mezzo, che quella del corpo del pilota riproducono, con un buon grado di approssimazione, il comportamento rilevato dai filmati reali.

Le collaborazioni con la Azienda Sanitaria di Firenze e con il Dipartimento di Anestesia e Rianimazione dell'Azienda Ospedaliero Universitaria di Careggi a Firenze, che centralizza i casi di traumatismo maggiore nell'ambito dell'area metropolitana, hanno inoltre permesso di accedere ai dati clinici dei motociclisti coinvolti nell'incidente in esame. Tali informazioni hanno permesso di valutare la congruenza delle lesioni effettivamente riportate dal motociclista con gli indici di danno che risultano dall'esame dei risultati della simulazione. Sono state in questo modo realizzate simulazioni sufficientemente accurate di alcuni incidenti reali considerati particolarmente significativi. E' a questo punto possibile valutare con una certa oggettività la capacità dei dispositivi di protezione di mitigare le lesioni subite dal pilota negli scenari di incidenti considerati. In particolare, nell'ambito della attività descritta nella presente memoria, è stata verificata l'efficacia dell'utilizzo della tecnologia airbag applicata a veicoli a due ruote in caso di incidente frontale contro la fiancata di un autoveicolo. Questo tipologia di incidente è descritta dallo scenario n. 413 riportato dalla norma ISO 13232 [8] e rappresenta circa il 60% degli scenari di incidente stradale che coinvolgono veicoli a due ruote in ambito urbano come rilevato da uno studio finanziato dalla CE [9].

Al fine di approfondire il comportamento dell'airbag installato sul manubrio del motoveicolo durante l'incidente è stato preliminarmente simulato l'urto di un maxiscooter contro una barriera rigida e indeformabile a varie velocità. L'urto contro barriera fissa consente di verificare, con una prova semplificata dal punto di vista numerico e di modellazione, l'efficacia della tecnologia airbag. In questa simulazione il mezzo viene lanciato contro la barriera a velocità costante pari a 36 km/h; l'airbag entra in funzione 8 ms dopo la rilevazione dell'impatto e impiega circa 25 ms per gonfiarsi. E' stata quindi valutata l'ergonomia del dispositivo oltre che la pressione e le dimensioni dei fori per ottimizzare la riduzione del grado di lesione del pilota in seguito all'impatto [10, 11, 12, 13].

E' stato verificato, che per un urto a tale velocità contro una barriera fissa è possibile ridurre di oltre l'80% l'HIC (l'indice di danno per la testa) e di oltre il 50% il CTI (l'indice di danno del torace) [14, 15, 16] rispetto al medesimo urto senza protezioni. Entrambi gli indici di danno, per questa tipologia di urto, si riducono da lesioni classificate come severe dalla scala AIS a lesioni classificate come minori, evidenziando l'effettiva efficacia del dispositivo airbag in questa tipologia di incidente.

Da sottolineare che in questa tipologia di incidente il corpo del pilota subisce generalmente un urto primario degli arti inferiori contro lo scudo del mezzo. Successivamente a questo primo urto, a seconda della velocità di impatto, il pilota può rimanere a contatto con lo scooter oppure essere sbalzato oltre la vettura. Nel caso più frequente che il pilota scavalchi il mezzo non è possibile prevedere con precisione la dinamica dell'urto e quindi la tipologia e la gravità delle lesioni dal momento che le condizioni intorno al luogo dell'incidente possono variare. Nel caso che il pilota rimanga sul mezzo, l'impatto più gravoso viene in genere distribuito tra il torace e la testa. In questo ultimo scenario di incidente l'utilizzo di un dispositivo di tipo airbag risulta determinante nella riduzione del grado di lesioni riportate.

Nelle Figure 7 e 8 vengono riportate alcune simulazioni dell'urto descritto dallo scenario n. 413 riportato dalla già citata norma ISO 13232 che evidenziano l'efficacia di tali tipologie di airbag nella riduzione delle lesioni.

L'utilizzo dell'airbag comporta infatti vantaggi poiché consente di aumentare la superficie di impatto distribuendo la forza scambiata durante l'urto su tutta la superficie del torace e non solo in zone concentrate (impatto manubrio-torace); inoltre, la presenza dell'airbag consente di aumentare il tempo di impatto diminuendo il valore di picco della forza trasmessa nell'urto e la decelerazione media del pilota. Inoltre, se l'airbag è dotato di fori, è possibile dissipare una quota parte dell'energia di impatto, che altrimenti verrebbe interamente dissipata dal corpo umano attraverso l'urto. Nel caso specifico di incidente motociclistico, l'airbag ha anche la funzione di mantenere il pilota sulla moto e di impedirgli di essere sbalzato oltre il veicolo. Infine, l'ergonomia studiata per questa tipologia di airbag permette di evitare che la testa entri in contatto con l'autoveicolo, in modo da ridurre il grado di lesioni riportate dalla testa.

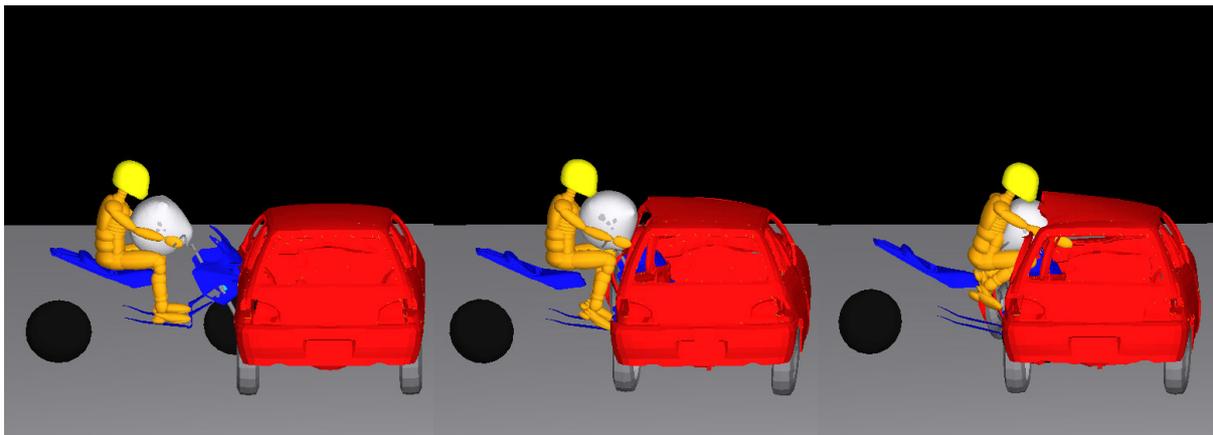


Figura 7 Simulazione di una collisione a 90° tra un maxi scooter, munito di airbag, e un autoveicolo.

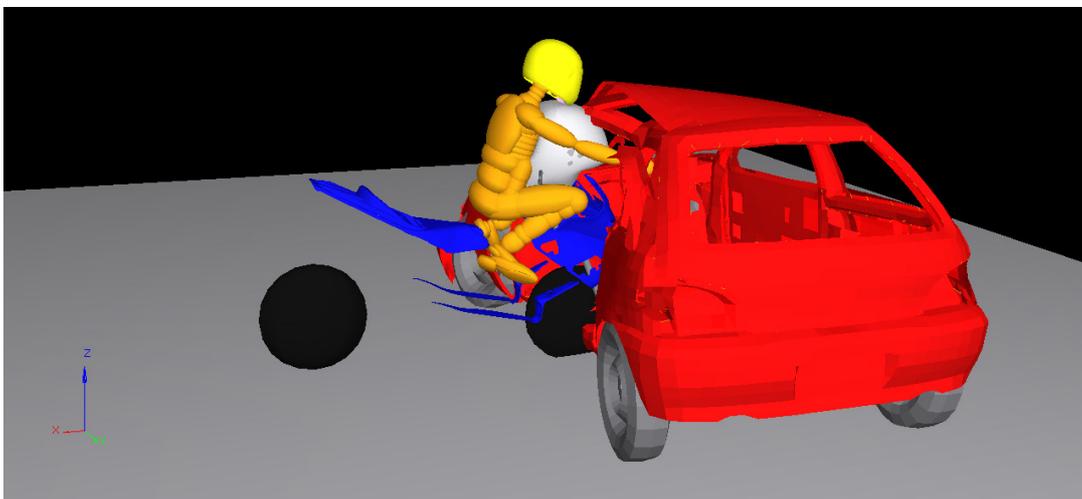


Figura 8 Particolare della collisione a 90° moto-auto

Successivamente alla fase di validazione dei modelli e di messa a punto dei sistemi airbag è stata verificata l'efficacia di questa tipologia di dispositivi tramite le simulazioni di incidenti reali. In particolare è stato esaminato un urto frontale di uno scooter contro la fiancata di un autoveicolo del segmento B con lo scenario riportato in Figura 9. In tale incidente il motociclo impatta con la vettura con un angolo di circa  $100^\circ$  ad una velocità di circa 35 km/h. L'esame dei video mostra che il pilota urta inizialmente con violenza lo scudo dello scooter e, successivamente, la fiancata dell'auto. Le cartelle cliniche esaminate evidenziano alcuni ematomi nella regione toracica e lombare, e la frattura del femore della gamba sinistra del pilota dello scooter.

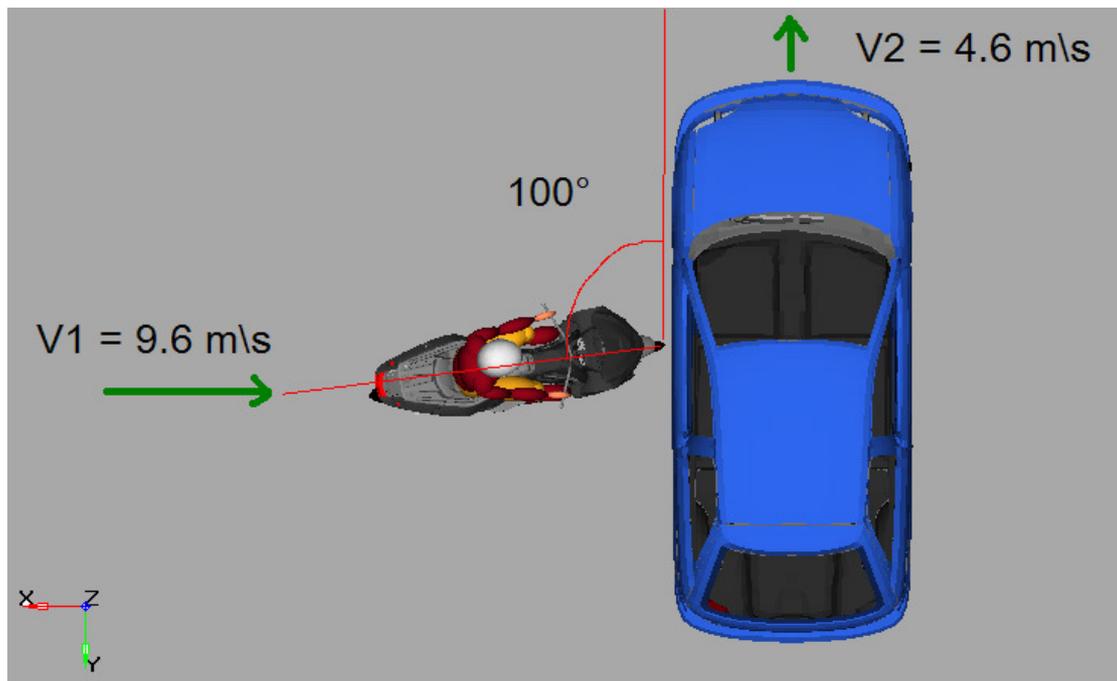


Figura 9 Scenario dell'incidente reale

La simulazione dell'incidente è stata messa a punto sulla base della dinamica rilevata dal video e verificata sulla base della congruenza del tipo e della gravità delle lesioni effettivamente riportate, con i valori degli indici rilevati sul modello di pilota (Figura 10). Una volta messa a punto la simulazione dell'incidente reale, lo stesso incidente è stato simulato inserendo un airbag sul manubrio dello scooter ed ipotizzando il completamento del gonfiaggio dopo 40 ms dalla rilevazione dell'impatto. L'airbag considerato presenta una pressione precedente all'impatto di circa  $150 \text{ kN/m}^2$  ed un volume di 40 litri.

Le analisi svolte ed i risultati delle due simulazioni permettono di concludere che l'uso di un airbag montato sul motoveicolo, in caso di collisione contro un autoveicolo, può avere notevoli benefici in termini di riduzione del grado di lesioni riportate da parte del pilota. (Tabella 1). Come prevedibile questa tipologia di protezione porta ad una notevole diminuzione dei danni per quanto riguarda la zona relativa alla testa e al collo a fronte di un leggero aumento dei danni subiti dal torace che, tuttavia, rimangono sempre ben al di sotto dei limiti.

Per quanto riguarda gli arti inferiori, le simulazioni hanno rilevato, in accordo con i referti medici, una frattura del femore della gamba sinistra. L'utilizzo dell'airbag, in questo caso, può ridurre l'entità del danno, anche se non sembra impedire la probabile frattura del femore; è d'altra parte da tenere presente che la tipologia di airbag utilizzata in questa prova è stata progettata per proteggere le zone vitali del corpo umano (testa e torace) e non per ridurre le lesioni agli arti inferiori.

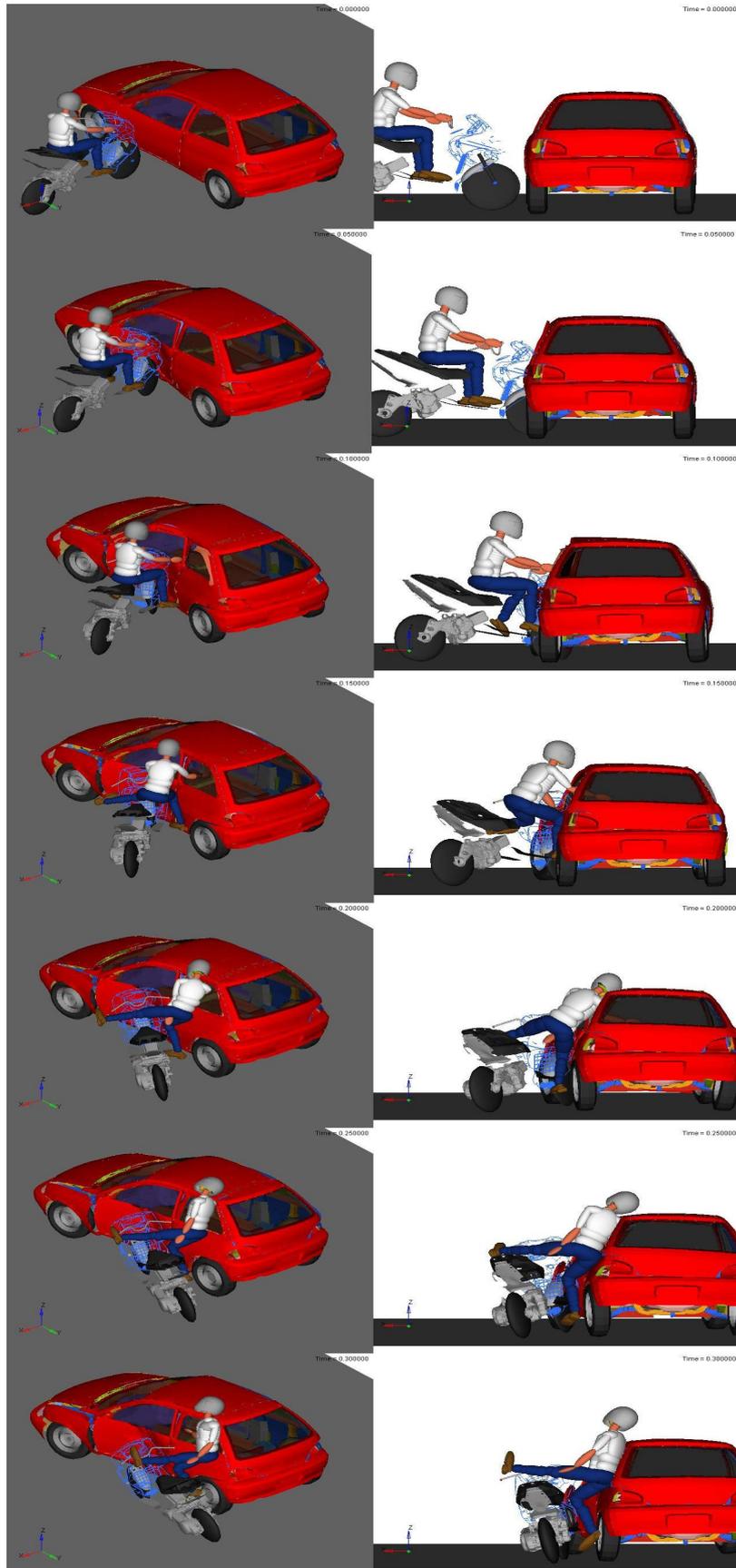


Figura 10 Ricostruzione dell'incidente

Tabella 1 Confronto degli indici di danno con - senza airbag

Zona di lesione	Parametro	Valore limite	Valore rilevato con la simulazione dell'incidente reale		Valore rilevato con l'inserimento dell'airbag	
Testa	HIC	1000	109		49	
Collo	Nij	>1.0 rischio danni seri 15% >1.4 rischio danni seri 30%	0.75		0.55	
	Trazione	3300N	831		236	
	Compressione	4000N	232		505	
	Disallineamento	3300N	408		491	
Torace	CTI	CTI=1 prob danni seri 25% CTI=2 prob danni seri 99%	0.21		0.26	
	VC	1 m/s	0.01		0.01	
			Destro	Sinistro	Destro	Sinistro
Femore	FFC	7700N	5453	19466	3170	17360
Tibia	TCFC	8000N	739	2143	2264	837
	Ti	1.3	0.6	0.6	0.5	1.1

In parallelo allo studio di airbag applicati sul motoveicolo, sono state svolte delle analisi per verificare l'efficacia degli airbag inseriti all'interno dell'abbigliamento protettivo del motociclista (Figura 11).

In particolare sono stati simulati airbag destinati alla protezione della spina dorsale e della spina cervicale. La particolare ergonomia di questo airbag, solidale con il pilota, lo rende particolarmente efficace durante la durata della collisione in quanto segue il motociclista per tutti gli urti secondari. Di contro, però, gli airbag di questo tipo attualmente in commercio hanno un volume relativamente piccolo che li rende particolarmente efficaci nella riduzione di ferite da abrasioni, in caso di scivolata, ma relativamente poco efficaci per la riduzione delle lesioni in caso di urto frontale.

Lo studio di questo tipo di protettori applicati nella tipologia di urto descritta in precedenza è attualmente in corso per la definizione di una forma in grado di avere una certa efficacia anche in caso di urti frontali contro altri veicoli.

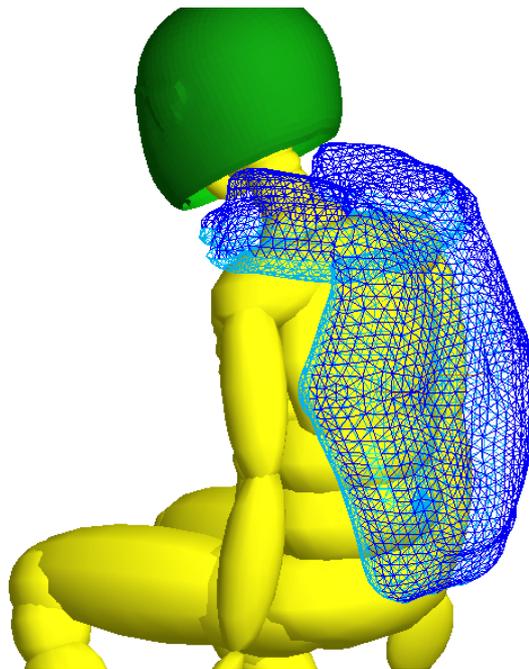


Figura 11 Airbag per la protezione della spina dorsale, delle spalle e del collo

#### 4. CONCLUSIONI

In conclusione è stata valutata l'efficacia della tecnologia airbag per la mitigazione delle conseguenze di un incidente stradale motociclistico. In particolare la valutazione è stata effettuata facendo riferimento ad uno scenario specifico di incidente, ovvero l'impatto a circa 90° tra uno scooter ad un autoveicolo che rappresenta una delle configurazioni più frequenti negli urti urbani. Mediante le simulazioni di tale incidente è emerso che i maggiori benefici dell'utilizzo dell'airbag installato sul motoveicolo riguardano la riduzione delle lesioni alla testa ed al collo. L'airbag inserito all'interno dell'abbigliamento protettivo del motociclista risulta particolarmente efficace durante la durata della collisione in quanto segue il motociclista per tutti gli urti secondari, ma è caratterizzato da un volume relativamente piccolo che lo rende poco efficace per la riduzione delle lesioni in caso di urto frontale. Gli studi attualmente in corso mirano alla ottimizzazione delle forme e dei volumi di tali tipologie per renderli efficaci anche in tali scenari. L'utilizzo della tecnologia airbag può quindi risultare determinante nella riduzione del grado di lesioni subite dal motociclista in caso di incidente stradale.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] “*Incidenti stradali Anno 2006*”, ISTAT, 2007.
- [2] “*Mid Term Review Report on the implementation of the Road Safety Action Plan*”, The European Commission, 2006.
- [3] *MADYMO Model Manual Version 6.4*, p. 25-50, TNO MADYMO BV, 2007.
- [4] *MADYMO Application Manual Version 6.4*, p. 163-166, TNO MADYMO BV, 2007.
- [5] M. Deguchi, “Modeling of a motorcycle for collision simulation”, *18th ESV*, Paper No.157-O, 2003.
- [6] M. Deguchi, “Simulation of motorcycle-car collision”, *19th ESV* Paper No. 05-0041, 2005.
- [7] A. Chawla et al., “FE simulations of motorcycle – car frontal crashes, validation and observations”, *18th ESV*, 2003.
- [8] International Standard ISO 13232:1996 (E), “Motorcycles - Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles”, Parts 1 to 8, *International Standards Organization*, Geneva, 1996.
- [9] ACEM –MAIDS : *Motorcycle Accidents In Depth Study*, 2000  
Report in <http://www.maids-study.eu/index.php?error=hastolog>
- [10] R. Capitani, G. Masi, “Studi sul comportamento degli airbag per motociclisti”, *36th AIAS Conference*, Paper No. 52, 2007.
- [11] S. Kanbe, M. Deguchi, Y. Hannya, “Basic research for a new airbag system for motorcycle”, *20th ESV*, Paper No.07-0095-O, 2007.
- [12] T. Kuroe et al., “Exploratory Study of an Airbag for a Large Scooter-Type Motorcycle”, *5th International Motorcycle Conference 2004*, Munchen, Germany, 2004.
- [13] T. Kuroe, H. Namiki, S. Iijima, “Exploratory Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle: further research second report”, *19th ESV*, Paper No. 05-0316-O, 2005.
- [14] F. Kramer, H. Appel, “Evaluation of protection criteria on the basis of statistical biomechanics.”, *Proc. of IRCOBI Conference*, Bron-Lyon, France, 1990.
- [15] M. Kleinberger, E. Sun, R Eppinger, “Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems”, NHTSA, 1998.
- [16] M. Segui-Gomez, “Driver Air Bag Effectiveness by Severity of the Crash”, *American Journal of Public Health*, Volume 90, Number 10, 2000.