

ANALISI DELLA LESIVITÀ E DEI MECANISMI DI CASUA NEGLI INCIDENTI STRADALI AUTO-MOTO IN MABITO URBANO

S. Piantini^a, M. Pierini^a, N. Baldanzini^a

^a *Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Ingegneria Industriale,
Via di Santa Marta 3, 50129 Firenze, e-mail: simone.piantini@unifi.it*

Sommario

Comunemente definiti utenti deboli della strada, i motociclisti rappresentano il 23% dei decessi da trauma stradale globali. Nel corso di questi anni, nonostante il loro decremento, il numero di morti non è diminuito tanto quanto gli occupanti delle auto. Lo studio approfondito degli incidenti stradali e delle relative cause sono strumenti necessari alla comprensione e allo sviluppo di contromisure volte alla riduzione della loro frequenza e severità.

Un set di 40 incidenti auto-moto occorsi in ambito urbano sono stati estratti dal database InSAFE ed analizzati. La principale tipologia di scontro è la frontale-laterale (45%), mentre nel 23% dei casi il motociclista cade a terra prima dell'impatto. Testa e torace sono le parti del corpo maggiormente lese. I risultati conseguiti mediante studi incidentologici approfonditi, consentono l'identificazione di possibili contromisure sia in termini di dispositivi di sicurezza che di parti del veicolo da riprogettare nell'ottica della riduzione della lesività.

Abstract

Motorcyclists are particularly vulnerable since worldwide they represent 23% of all road traffic deaths. Fatalities are decreasing but still not at the same rate of car occupants. Continuous monitoring of traffic accidents and their in-depth comprehension are necessary to develop effective countermeasures and to reduce the number of crashes as well as the injury severity. Forty powered two-wheeler to other vehicle urban accidents have been analysed from the InSAFE database. The main crash configuration found was the head-on side collision (45%). Twenty-three percent of motorcyclists fell over before the crash. Head and thorax were the body regions most seriously injured. The results allowed the identification of possible countermeasures in terms of safety devices or re-design of vehicle sections in order to reduce the injuries in this subset of accidents.

Parole chiave: sorgente lesione, motociclo, lesioni motociclistiche, incidenti stradali urbani.

1. INTRODUZIONE

Nel 2012, a livello mondiale, gli incidenti stradali sono stati la prima causa di morte tra le persone di età compresa tra i 15 e i 19 anni, rappresentando ben un quarto di tutte le morti da trauma stradale nella predetta categoria. Altro dato assai indicativo è il fatto che per ogni decesso almeno 20 persone riportano lesioni con gravità da lieve a severa, le quali, specie le serie e le severe, hanno in genere un considerevole impatto sia sulla qualità della vita del traumatizzato, degradandola in modo più o meno marcato, che sulla società stessa in termini di costi della disabilità stessa e di perdita della produttività rispetto a uno stesso individuo sano [1].

L'uso dei mezzi a due ruote motorizzate (PTW) è in continua espansione vista la loro maggiore sostenibilità in termini di mobilità. Il trend di urbanizzazione sta inoltre ampiamente supportando la loro

divulgazione. La dimensione del parco circolante è difatti leggermente cresciuta negli ultimi anni di crisi finanziaria [2].

Nel mondo, i motociclisti rappresentano il 23% di tutte le morti da trauma stradale [1], mentre in Italia la quota sale perfino al 24% [3]. Nonostante la minore mortalità (1.13) sulle strade urbane rispetto alle extra-urbane e autostrade, i dati nazionali (ISTAT) evidenziano comunque come nell'urbano si abbia comunque un elevato numero di incidenti e di persone ferite [3]. Pertanto, ed inevitabilmente, l'elevata sinistrosità, unita all'eccesso di velocità, fa crescere fortemente la probabilità di lesioni severe e di disabilità permanenti e quindi all'incremento dei costi sociali.

Per questo motivo, al fine di sviluppare efficaci contromisure volte alla riduzione sia del numero di incidenti che della relativa lesività, è essenziale aumentare la conoscenza della risposta del corpo umano agli effetti generati da un urto reale conseguente da un incidente stradale. E questo è possibile farlo mediante studi incidentologici approfonditi comunemente noti in letteratura come "*in-depth study*". Studi simili sono ben noti allo stato dell'arte: ne sono un esempio GIDAS [4], MAIDS [5] e DACOTA [6] per l'Europa e il CIREN [7] per gli USA. Tra i risultati emersi dallo studio MAIDS, si evidenzia il fatto che la maggioranza degli incidenti con PTW avvenga in ambito urbano e che le fratture alle estremità superiori ed inferiori risultano essere la lesione più comune [5, 8-10]. Focalizzandosi sugli incidenti gravi, si evince invece come il torace e la testa siano le regioni corporee più soggette a lesioni, e in particolare i relativi organi interni piuttosto che l'apparato scheletrico. I principali veicoli opposti sono le auto (64%), mentre circa nel 50% degli incidenti il PTW urta con la sua parte frontale [11-12]. L'obiettivo del presente articolo è l'analisi approfondita di 40 incidenti stradali gravi avvenuti in ambito urbano e coinvolgenti un PTW, al fine di incrementare la conoscenza della dinamica, delle cause e delle conseguenze di tale tipologia di sinistri. Tutti i casi provengono dal database InSAFE: banca dati incidentologica approfondita contenenti le informazioni sullo scenario, i veicoli, l'urto, le lesioni e le relative cause inerenti i principali incidenti stradali gravi occorsi nel territorio metropolitano fiorentino.

2. METODOLOGIA

L'*In-depth Study of road Accident in FlorencE* (InSAFE) è uno studio incidentologico condotto dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Firenze in collaborazione con il Dipartimento di Anestesia e Rianimazione d'Emergenza dell'Azienda Ospedaliera Universitaria di Careggi, Firenze (ICU).

Iniziato nel 2009, lo studio ha raccolto più di 300 incidenti stradali gravi studiandone in modo approfondito circa 120. La ricerca opera principalmente sull'area metropolitana di Firenze ma non solo [13-14].

Il team d'investigazione è composto da personale tecnico e medico. Entro le 24h successive all'ingresso del traumatizzato grave presso la rianimazione, l'ICU allerta il team InSAFE della presenza di un nuovo caso studio. Il team procede alla raccolta delle informazioni inerenti i veicoli (ispezione e misura delle deformazioni) e le persone coinvolte. Viene inoltre condotta un'osservazione retrospettiva sul sito dell'incidente al fine di identificare possibili eventi e manovre pre-urto quali frenate, ostruzioni della visuale, etc. A partire dai dati planimetrici del sinistro, nella quale si riportano le posizioni di quiete dei veicoli, eventuali segni di frenata, la zona d'impatto, etc., avvalendosi anche di testimonianze o interviste frontali (ove possibile), si procede alla stima delle traiettorie e delle velocità dei mezzi in ingresso all'urto. Dinamica dell'evento e parametri d'urto vengono infine ottimizzati e validati utilizzando il software multibody Virtual Crash [15].

La Abbreviated Injury Scale (AIS) [16] viene utilizzata per la codifica delle lesioni. Si conclude con la valutazione delle cause che hanno dato origine a ogni singola lesione. Quest'ultima fase viene condotta da un panel di medici ed ingegneri.

I criteri utilizzati per la selezione del campione oggetto di questo studio, sono i seguenti:

1. Scontro tra un PTW e un veicolo opposto (OV)
2. Veicolo opposto identificato come auto o van di peso inferiore alle 3,5t
3. Incidente avvenuto in ambito urbano
4. Almeno uno dei feriti nell'evento ricoverato presso l'ICU

Sulla base delle precedenti condizioni è stato estratto un campione di 40 incidenti stradali gravi.

L'analisi è stata condotta descrivendo le principali tipologie d'urto, gli aspetti legati ai veicoli, alle lesioni e loro severità e ai meccanismi di lesione.

Si è ricorso ai test del Chi quadrato di Pearson (χ^2) e del rapporto di verosimiglianza (L) per analizzare la presenza di differenze significative tra le proporzioni delle variabili correlate. La V di Cramer è infine stata utilizzata per stimare la forza della correlazione. Tutte le correlazioni con una p-value minore di 0.05 sono state considerate statisticamente significative.

3. RISULTATI

Il 90% (36/40) del campione ha coinvolto auto e il 10% (4/40) van. Le tipologie di scontro più frequenti sono la frontale-laterale (45%, 18/40), la frontale (20%, 8/40) e la tangenziale (15%, 6/40) (Figura 1). Il luogo dove più spesso si sono verificati è la condizione *lontano da intersezioni* (57.5%, 23/40), a fronte di un 42.5% (17/40) occorso presso *incroci*.

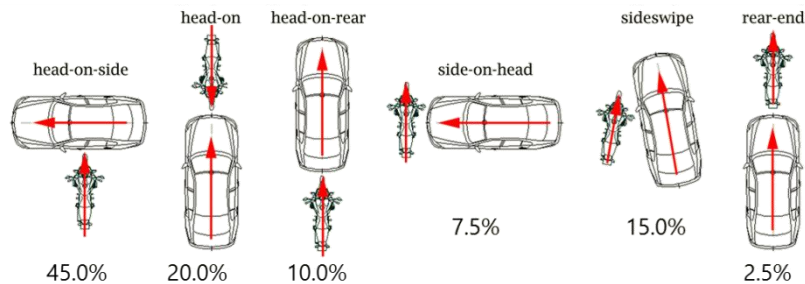


Figura 1. Tipologia di scontri tra PTW e OV (n=40)

3.1 PTW: tipologia e caratteristiche d'urto

La tipologia *scooter* risulta essere tra le più comuni (67,5%), seguita dalla *naked* (o standard) (12,5%) e dalla *sport* (10%) (figura 2). La maggioranza dei PTW (47,5%) risulta di cilindrata 50-150cc, ma la più frequente è la 125cc (10/40, 25.0%). Tra i conducenti dei 125cc l'età, normalmente distribuita (Shapiro-Wilk test, $p < 0.05$), variare tra i 17 ed i 56 anni (media 33.4, SD 5.03).

Nessun PTW risulta equipaggiato con sistema *anti-lock braking systems* (ABS), mentre il 47.5% (19/40) risulta dotato di parabrezza alto e il 37.5% (15/40) di bauletto posteriore.

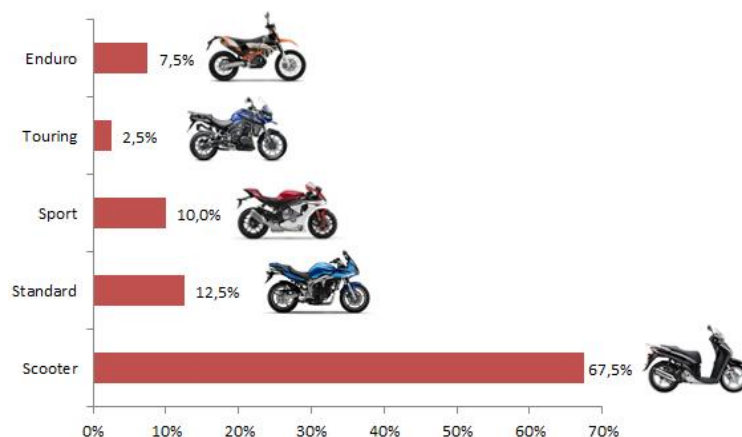


Figura 2. Tipologie di PTW

La zona del PTW più frequentemente urtata nel primo contatto con l'OV risulta essere il frontale (75%, 30/40). Gli impatti laterali sono invece meno frequenti (10% lato sinistro, 2.5% lato destro) (Figura 3). In accordo con la ISO 13232, l'angolo di collisione varia come indicato in figura 4. L'angolazione più frequente è quella compresa tra 315° e 360° (29%), seguita dal range 90°-135° (16%) e 225°-270° (13%).

Altro fattore non trascurabile è la caduta anticipata del motociclista prima che il PTW urti l'OV (22.5%, 9/40). Fenomeno che non coinvolge solo mezzi di grossa cilindrata: 4 motocicli (> 600 cc), 2 maxi scooter (> 300 cc), 2 scooter (125-150cc) ed un ciclomotore (50cc).

I PTW urtano l'OV con una velocità d'impatto che varia tra 20 km/h e 80 km/h (media 47 km/h, SD 1.88). Il range più frequente è 41-50 km/h (43.6%) (Figura 5). Il Delta-V nell'urto (ΔV) varia tra 1.5 e 128 km/h (media 30 km/h, SD 4.15). Il 55% dei PTW sperimenta un ΔV minore di 40 km/h, mentre il valore più ricorrente è 41-50 km/h (23%) (Figura 6).

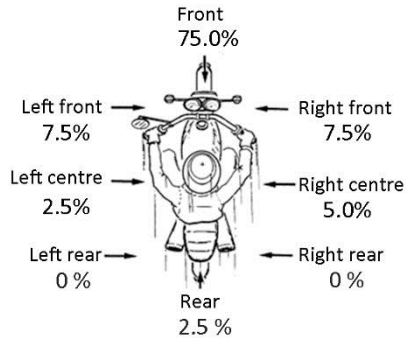


Figura 3. Zona di primo contatto del PTW

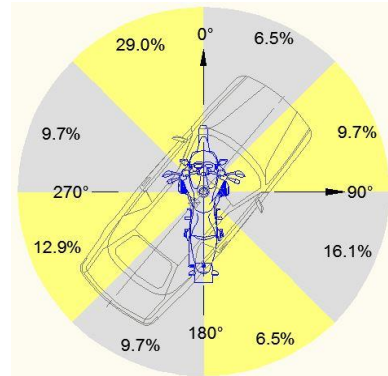


Figura 4. Angolo d'impatto (n=31)

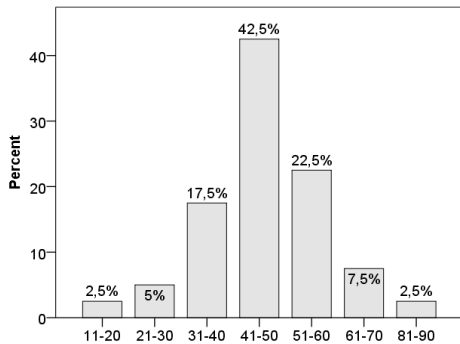


Figura 5. Distribuzione della velocità d'impatto (PTW)

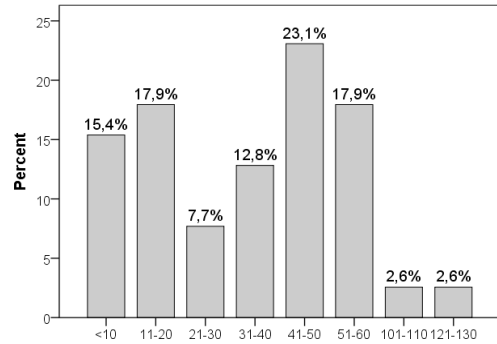


Figura 6. Distribuzione del Delta-V (PTW)

3.2 OV: tipologia e caratteristiche d'urto

Tra le auto (36) la tipologia più comune è la *small* (32.5%) e la *compact* (15.0%), mentre solo 1/8 sono *large* o *executive*. In accordo con la *Collision Deformation Classification* (CDC, SAE J224), il primo punto di contatto tra OV e PTW risulta piuttosto equidistribuito tra parte frontale (F: 27.5%) e parte laterale (Sx: 30.0%, Dx: 30.0%), mentre solo nel 12.5% dei casi l'impatto avviene posteriormente all'OV. Frontalmente le aree maggiormente coinvolte sono a sinistra la L0 (36.4%, 4/11) e a destra la R1 (36.4%, 4/11). Lateralmente, invece, il comparto anteriore F0 (50.0%, 6/12), il comparto del passeggero anteriore P1 (33.3%, 4/12), e il comparto del conducente e passeggero anteriore (P1) e del passeggero posteriore sinistro P2 (16.7%, 2/12) (Figure 7 e 8). La velocità d'impatto dell'OV è compresa tra 0 km/h e 65 km/h con una media di 27.5km/h (SD 2.85). Mentre il suo Delta-V all'urto (ΔV) è compreso tra 0.5 km/h e 22.4 km/h con una media di 4.6 km/h (SD 0.66).

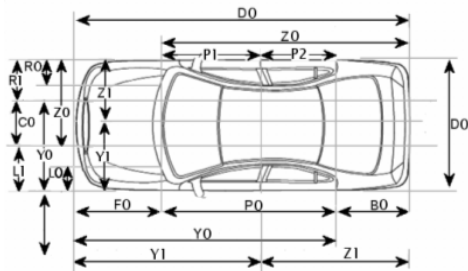


Figura 7. CDC – codifica punti impatto OV

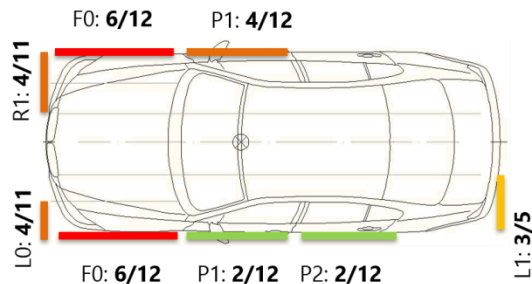


Figura 8. Zona di primo contatto (freq.>1)

3.3 Caratteristiche ed outcome dei motociclisti

I casi analizzati hanno coinvolto 40 motociclisti gravemente feriti e ammessi presso l'ICU partner dello studio. Il fattore comune tra questo gruppo di incidenti è l'ospedalizzazione del motociclista, conducente o passeggero che sia, per diagnosi di trauma maggiore. Tra le quaranta persone interessate 38 sono conducenti e 2 passeggeri. Il 97.5% del campione sono maschi e tutti indossano il casco: 55.0% di tipo jet e 15% integrale. A causa della metodologia d'indagine retrospettiva, si evidenzia un'elevata perdita d'informazioni sul casco: sul 40% non abbiamo dati.

L'età del campione, normalmente distribuita (Shapiro-Wilk test, $p < 0.05$), varia tra i 15 e i 72 anni con una media di 32.9 (SD 2.28). La mediana è 30 anni e la più frequente è 17 anni.

A 30 giorni dall'evento, tutti i motociclisti risultano sopravvissuti. Facendo ricorso all'Injury Severity Score (ISS), indicatore della severità complessiva del traumatizzato, si vede come il range varia tra 4 e 43, e il suo valore mediano sia 22.

3.4 Analisi delle lesioni

La figura 11 mostra per ciascun motociclista la percentuale delle parti del corpo illese e quelle lievemente e gravemente ferite. La distinzione è stata effettuata mediante il Maximum AIS (MAIS). Le lesioni leggere (o lievi) sono state codificate come MAIS1-2 e le gravi come MAIS3+. Torace (70.0%), testa (40.0%), gambe (37.5%), addome (20.0%) e colonna vertebrale (2.5%) sono i distretti anatomici con almeno una lesione severa (MAIS3+). Il 90% dei motociclisti (39/40) riporta lesioni toraciche di una qualche gravità, mentre la testa, nonostante sia protetta dal casco, è seconda in termini di frequenza di lesione (il 55% ne riporta almeno una). Il collo sembra non riportare lesioni, ma questo è vero solo in parte, poiché la codifica AIS include la colonna cervicale nella sezione *spine* anziché *neck*.

La figura 12 mostra frequenza e distribuzione della severità delle lesioni per parte corporea. La distribuzione, seppur significativa ($L = 294.3$, $p < 0.01$), risulta essere di forza modesta ($V = 0.43$, $p < 0.01$). Sul campione esaminato, sono state complessivamente raccolte 407 lesioni, la cui massima gravità è la critica (AIS5), localizzata su testa e addome. Il torace risulta avere la maggiore frequenza di lesioni (23%, 94/407), seguito dalla testa con il 20% (82/407). L'addome mostra invece un'elevata percentuale di lesioni severe (AIS4) e critiche (AIS5), rispetto alle altre parti del corpo.

Complessivamente la maggiore lesività si riscontra a livello scheletrico (57%) e degli organi interni (34%). Le strutture con più del 15% di lesioni sono i processi trasversi (12.0%), le costole (12.0%), la base cranica (7.7%) e l'orbita (6.9%) per lo scheletro; cervello (37%), polmoni (27.5%) e cavità pleurica (15.2%) per gli organi interni.

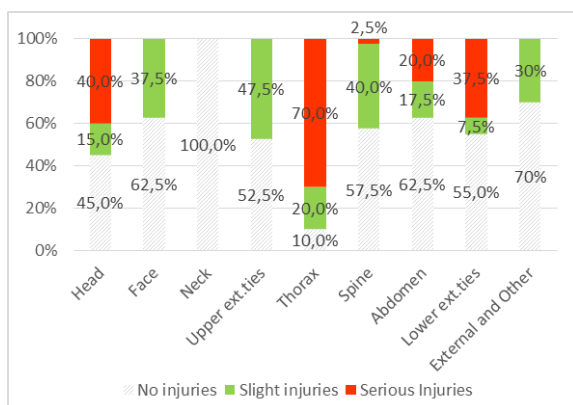


Figura 11. Percentuale di motociclisti illesi e lievemente e gravemente feriti (n=40)

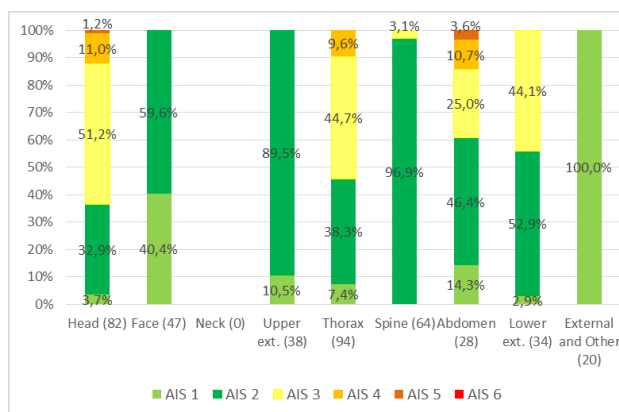


Figura 12. Distribuzione delle lesioni e della severità per parte corporea (n=407)

Le figure 13 e 14 mostrano la distribuzione di frequenza delle lesioni per parte corporea e tipo di veicoli, normalizzata sulla frequenza della tipologia di veicoli. Entrambe le distribuzioni sono significative al livello di 0.01 ($L=97.465$, $V=0.242$ e $L=56.774$, $V=0.180$, rispettivamente). Dividendo i PTW in due differenti categorie: *scooter* e *motocicli*, basate sul tipo di telaio, la figura 13 mostra che i PTW con telaio *motociclistico* sono più responsabili di lesioni a tutte le parti del corpo rispetto ai PTW con telaio tipo *scooter*. I PTW *standard* sembrano essere maggiormente correlati alla presenza di lesioni facciali,

mentre gli sport alla presenza di lesioni addominali e alle gambe. Per quanto concerne gli OV, nonostante una prevalenza della categoria *small*, le *compact* e *large* sono responsabili per il 50% delle lesioni alla testa e per oltre il 50% delle lesioni toraciche, spinali e addominali (Figura 14).

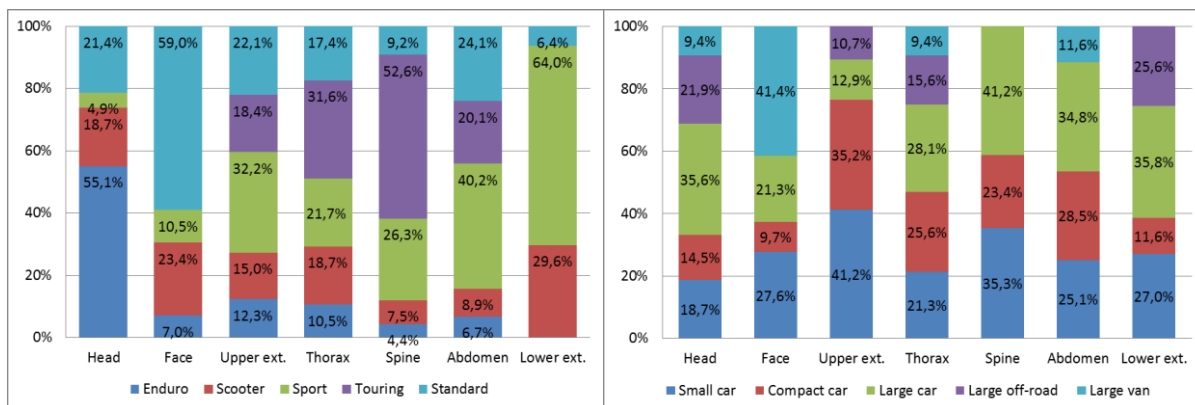


Figura 13. Perc.le di lesioni per parte corporea e tipo PTW (normalizzato per tipo di PTW)

Figura 14. Percent.le di lesioni per parte corporea e tipo di OV (normalizzato per tipo di OV)

La distribuzione normalizzata mostra che il range 315°-225° ha un elevato impatto sulle lesioni alla testa (39.7%) (Figura 15). Colonna vertebrale e addome sembrano essere le regioni più lese in impatti con angoli tra 135° e 225° (55.6% e 45.6%). Valore per il quale si ha la massima frequenza di lesioni severe (57.9%, AIS4) (Figura 16). La severità AIS3 risulta piuttosto equidistribuita salvo il range 315-45°. Le variabili non normalizzate risultano significative a livello 0.01 (L=24.714, V=0.164).

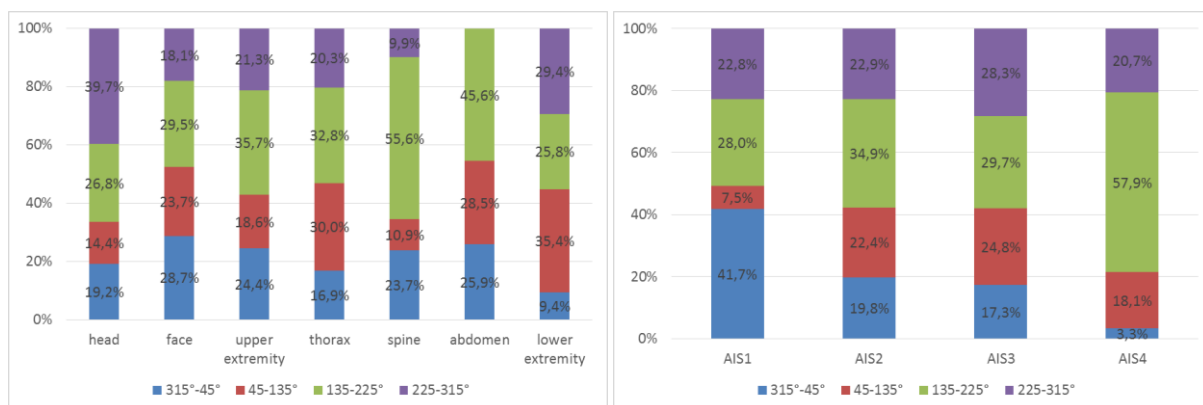


Figura 15. Freq. lesioni per parte corporea e angolo d’impatto (normalizzato per freq. angolo)

Figura 16. Freq. lesioni per severità e angolo d’impatto (normalizzato per freq. angolo)

La figura 17 mostra l’influenza della velocità d’impatto del PTW sulla localizzazione delle lesioni (significativa a livello 0.01, L=60.216, V=0.225). Le lesioni sono normalmente distribuite con una lieve asimmetria positiva all’interno di ciascuna parte del corpo.

La figura 18 mostra invece l’incidenza delle lesioni normalizzate sulla frequenza di casi in ciascuna fascia di velocità. Lesioni alla testa, faccia e torace crescono al crescere della velocità d’impatto del PTW. Le alte velocità sembrano essere più responsabili di lesioni addominali e agli arti superiori e inferiori (più del 60%).

Gli incidenti avvenuti alle intersezioni sono significativamente più severi rispetto a quelli occorsi su strade prive di incroci ($\chi^2=10.9$, V=0.162, p<0.01). Lesioni di severità AIS3+ sono più frequenti nei motociclisti coinvolti in incidenti alle intersezioni (Figura 19). Anche la loro diversa localizzazione corporea, tra incrocio e non incrocio, è statisticamente significativa ($\chi^2=38.3$, V=0.307).

La figura 20 evidenzia come la testa e il torace riportino un maggior numero di lesioni nel caso di urto presso un incrocio. Al contrario, addome, colonna vertebrale ed estremità superiori risultano meno lese. La frequenza di lesioni alle estremità inferiori risulta comparabile in entrambe le situazioni.

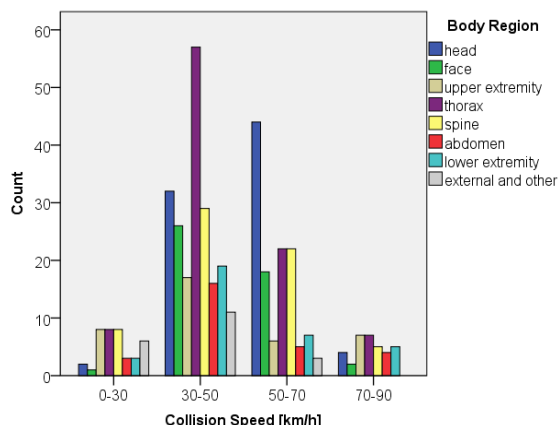


Figura 17. Frequenza di lesioni per parte corporea e velocità impatto del PTW (n=407)

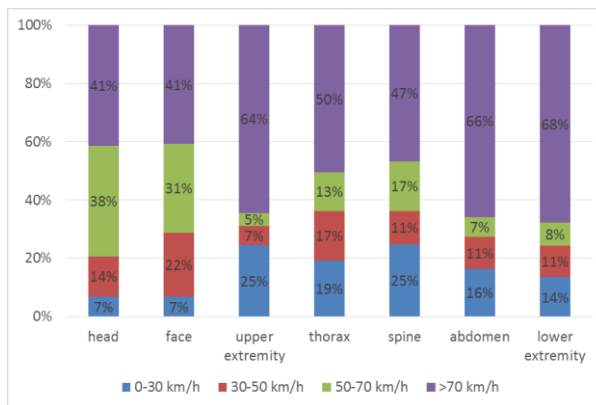


Figura 18. Freq. lesioni per parte corporea e V_{imp} del PTW (normalizzato per freq. incidenti)

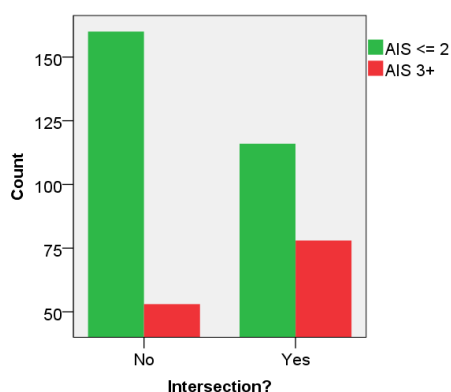


Figura 19. Differenza di severità tra urto avvenuto alle intersezioni e lontano da esse

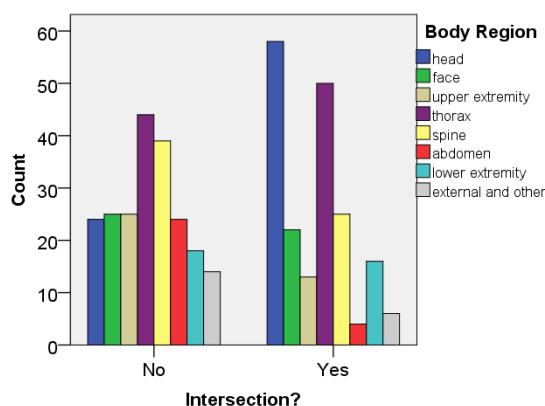


Figura 20. Differenza nella distribuzione delle lesioni intersezioni e non intersezioni

Lesioni alla Testa: 22 su 40 motociclisti hanno globalmente riportato 82 lesioni alla testa. Il 65% a livello cerebrale e il 32% cranico. Le fratture della base (69.2%, 18/26) e della volta (26.9%, 7/26) cranica sono le più comuni. Il cervello è l'organo più comunemente leso (96%, 51/53), mentre tronco encefalico e cervelletto risultano meno frequente danneggiati. Le lesioni più comune sono la *contusione cerebrale* (28.3%), l'*emorragia intraventricolare* (18.9%) e l'*ematoma subdurale* (17.0%) (Tabella 1). Nel 55% dei casi sono state imputate all'impatto primario con il veicolo opponente (OV), mentre la restante percentuale all'impatto secondario con l'infrastruttura: principalmente il terreno. Il vetro, nella sua parte centrale o della cornice superiore, risulta essere la principale sorgente (53%), seguita dai montanti (pillar) equamente distribuiti tra A, C e D (15.6%) e le portiere (11%) (Tabella 2).

Tabella 1. Lesioni cerebrali

	N.	%
Contusion	15	28.3
Intraventricular haemorrhage	10	18.9
Subdural hematoma	9	17.0
Subarachnoid haemorrhage	7	13.2
Intracerebral hematoma	4	7.5
Laceration	3	5.7
Pneumocephalus	2	3.8
Other injuries < 2%	3	5.7
Total	53	100.0

Tabella 2. Primo punto di contatto con OV

	N.	%
Windscreen	24	53.3
Pillar (A, C, D)	7	15.6
Door (lateral)	5	11.1
Bumper	3	6.7
Side mirror	2	4.4
Sill	2	4.4
Bonnet	1	2.2
Cantrail	1	2.2
Total	45	100.0

Le figure 21 e 22 mostrano gli effetti del tipo di PTW e OV sulle lesioni alla testa. In questo caso le due distribuzioni risultano puramente descrittive poiché statisticamente non significative (differenze

imputabili al caso). Tuttavia il campione analizzato sembra indicarci che incorrere in un incidente urbano con un PTW con stile *sport* provoca meno lesioni alla testa rispetto ad uno stesso incidente avvenuto con un PTW di tipo *standard*. I conducenti di *scooter* sembrano essere maggiormente soggetti ad una più ampia tipologia di lesioni alla testa.

Per quanto concerne l'OV, i veicoli *large* sono più responsabili di edema cerebrale e di pneumoencefalo rispetto alle altre tipologie di OV. Diversamente, per fratture ed emorragie subaracnoidee non si evidenzia un trend specifico.

In termini di severità, le lesioni alla testa non risultano correlate né con la velocità d'impatto del PTW né con il Delta-V. La severità risulta invece associata alla tipologia di OV ($L=33.61$, $V=0.316$, $p<0.01$). La figura 23 mostra di fatto una maggiore influenza dei *large* OV sulla severità AIS3+ rispetto alle altre tipologie.

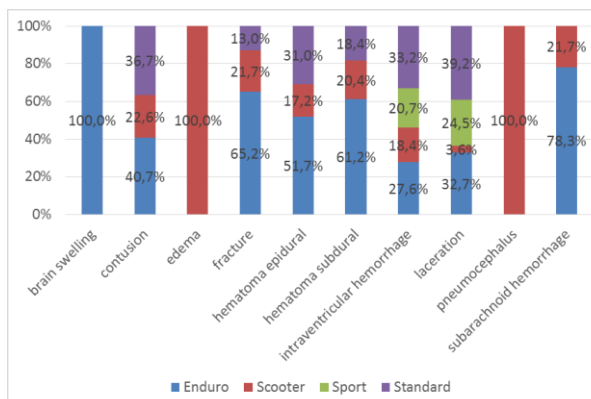


Figura 21. Lesioni alla testa per tipo di PTW (valori normalizzati per frequenza di PTW)

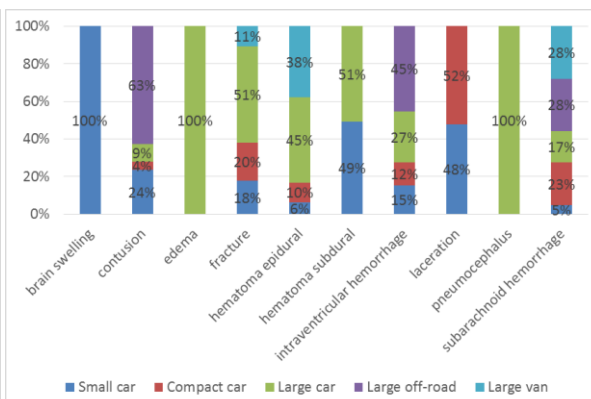


Figura 22. Lesioni alla testa per tipologia di OV (valori normalizzati per frequenza di OV)

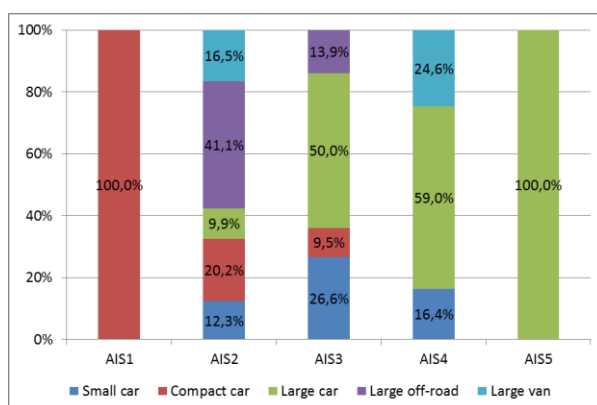


Figura 23. Severità delle lesioni alla testa per Tipologia di OV H (valori norm.ti per freq. di OV)

Lesioni toraciche: 39 su 40 motociclisti hanno riportato 94 lesioni. I polmoni sono l'organo più leso (63%, 38/60) con il 53% di contusioni ed il 10% di lacerazioni. Le lesioni più comuni alla cavità pleurica sono il pneumotorace (23.3%), l'emotorace (3.3%) e il pneumomediastino (3.3%) (Tabella 3). Portiere (27.9%), paraurti (22.1%) e montanti (*pillar*) (19.2%) risultano essere le parti dell'auto più responsabili di lesione, mentre nell'impatto secondario con l'infrastruttura (Tabelle 3 e 4) è ancora il terreno (27.9%) ad essere maggiormente responsabile di lesioni.

Lesioni alla colonna vertebrale: tra i 40 motociclisti esaminati solo 17 hanno riportato lesioni alla colonna vertebrale. Complessivamente sono state registrate 64 lesioni di cui due con interessamento del midollo. La zona dorsale (o toracica) (59.4%) risulta essere la fascia più frequentemente danneggiata, seguita dalla lombare (25.0%) e da quella cervicale (15.6%). Processi trasversi (43.8%) e corpo vertebrale (17.2%) sono le due zone specifiche più colpite. Tra le vertebre lombari, le lesioni risultano localizzate tra T6 e T10. Il 61% è risultato essere stato generato dall'impatto con l'OV, mentre il 35.0% dall'infrastruttura. Paraurti (25.0%), vetro e portiere (12.5%) sono le principali sorgenti. Mentre il terreno (21.9%) è la causa principale per quanto concerne l'impatto secondario (Tabelle 5 e 6).

Tabella 3. Lesioni toraciche

Injury type	N.	%	
Lung	Contusion, bilateral	12	20.0
	Contusion, unilateral	20	33.3
	Laceration, unilateral	6	10.0
	Others < 2%	2	3.4
Pleural cavity	Pneumothorax	14	23.3
	Hemopneumothorax, major	2	3.3
	Pneumomediastinum	2	3.3
	Other injuries < 2%	2	3.4
Total	60	100.0	

Tabella 4. Primo punto di contatto con OV

OV	N.	%
Door	19	27.9
Bumper	15	22.1
Pillar	13	19.1
Bonnet	7	10.3
Windscreen	6	8.8
Sill	3	4.4
Others	5	7.4
Total	68	100.0

Tabella 5. Lesioni colonna vertebrale

Injury type	N.	%
Fracture with or without dislocation	39	60.9
Multiple fractures of same vertebra	9	14.0
Burst fracture, minor compression	7	10.9
Burst fracture, NFS	4	6.2
Fracture, NFS	3	4.7
Contusion within spinal canal	2	3.1
Total	64	100

Tabella 6. Zona contatto con OV e infrastruttura

	N.	%	
OV	Bumper – Front	16	25.0
	Windscreen	8	12.5
	Door	7	12.5
	Sill – left	4	6.3
	Windscreen - Lower frame	2	3.1
	Bonnet	1	1.6
Infrast.	Ground	14	21.9
	Pole/post	4	6.3
	Curb	4	6.3
	Person - other	3	4.7
Total	64	100.0	

Lesioni addominali: sono state rilevate 28 lesioni su un totale di 15 persone. Milza (43.5%), reni (26.1%) e fegato (17.4%) sono gli organi interni più lesi. Le principali tipologie di lesioni sono ematomi e lacerazioni. Per quanto riguarda le lesioni ai vasi sanguigni l'addome ne risulta essere maggiormente soggetto (11.0%) in confronto ad altre regioni corporee. Tutte mostrano un livello di gravità severo: 2 su 3 sono lacerazioni dell'intima dell'arteria renale, direttamente attribuita all'impatto del motociclista con la zona al di sotto della linea di cintura (parte bassa della portiera) a causa della sua caduta anticipata. Le principali cause sono gli impatti con l'OV (68.0%), l'infrastruttura (21.5%) e lo stesso motociclo (10.5%). Per quanto concerne il veicolo opponente, il paraurti, la parte del telaio al di sotto della portiera e la portiera stessa sono le zone più responsabili; così come il manubrio per quanto concerne i PTW. Anche in questo caso il terreno è stata la parte infrastrutturale più pericolosa (33.3%).

Lesioni alle estremità inferiori: 18 su 40 motociclisti hanno riportato 34 lesioni. Femore e bacino sono i distretti più lesi (33% e 30% rispettivamente). La tibia riporta fratture distali (57%) e il femore fratture della diafisi (semplice o complessa) (73%). Il 70% delle lesioni al bacino riportano la frattura dell'arco posteriore (severità AIS2 e 3). Il parafrangente ne è la causa principale (39.4%), seguito dalla portiera (12.5%) e dal paraurti (12.1%). Per quanto concerne il PTW si evidenzia come lo scudo anteriore degli scooter ne risulti responsabile nel 18% dei casi.

4. DISCUSSIONE

Nel presente articolo sono state descritte le tipologie di collisioni tra un motociclo e un veicolo opponente (PTW-to-OV) e le relative lesioni e cause. 40 motociclisti gravemente feriti rimasti coinvolti in 40 incidenti costituiscono il campione di studio. La maggior parte degli incidenti sono avvenuti lontano dalle intersezioni (57.5%). Tuttavia quest'ultime sono risultate essere ancora le più pericolose in termini di conseguenze.

La principale tipologia di scontro è la frontale-laterale (45%), mentre la principale causa pre-urto è l'inversione a U da parte dell'OV e la svolta a destra o sinistra di fronte al PTW. Simili risultati si riscontrano anche nello studio di Frampton et al. (2011) [18].

Ciò evidenzia da un lato la necessità di incrementare le capacità del motociclista nel monitorare l'ambiente circostante, potendo così prevedere o anticipare eventuali azioni compiute da parte degli altri OV, e dall'altro la necessità di una maggiore prudenza da parte degli OV.

Dal punto di vista del PTW, i sistemi attivi hanno tutte le potenzialità per evitare o mitigare l'urto. Più nello specifico i sistemi di frenata automatica d'emergenza (MAEB) non solo sono visti essere applicabili in un ampio range d'incidenti multi-veicolo, ma anche in grado di ridurre la velocità del motociclo accrescendo i benefici sia in termini di evitabilità dell'evento che di mitigazione delle conseguenze [22-27].

Il fatto che il 23% dei motociclisti cada ancor prima dell'impatto primario con l'altro veicolo, lo si può generalmente attribuire al bloccaggio della ruota anteriore, sempre riconducibile all'assenza di sistemi ABS. Risultati simili si riscontrano anche in numerose altre ricerche sui PTW [22-27]. Tale fenomeno non è però sempre assolvibile con l'introduzione di sistemi attivi. Il miglioramento della prestazione del pilota nella frenata in condizioni d'emergenza senza dubbio aiuta a ridurre la perdita del controllo del mezzo e quindi la caduta. Diversi autori sottolineano proprio questo aspetto e di come il miglioramento delle competenze porti indubbiamente al raggiungimento di una frenata più efficace (livello ottimale) evitando la perdita del controllo del mezzo [28-29].

Per quanto concerne la mitigazione delle conseguenze dell'urto, nonostante tutti i motociclisti indossassero il casco al momento dell'impatto, la testa risulta ancora non adeguatamente protetta. Il 55% del campione riporta almeno una lesione alla testa e il 40% almeno una di entità grave (AIS3+). Fratture della base cranica, contusioni, emorragie ed ematomi sono le più frequenti.

Vetro, montanti (pillar) e portiere risultano essere le parti dell'OV più colpite, ma anche l'impatto secondario sul terreno non deve essere trascurato, anche se verosimilmente la sua pericolosità risulta sovrastimata a causa della frequente perdita del casco dopo l'impatto primario. Perdita principalmente ascrivibile a un casco non correttamente allacciato (cinturino non aderente al sottogola) o usurato (usura imbottitura). Con riferimento ai valori normalizzati (Figura 14), le auto *large* sembrano avere una maggiore lesività rispetto alle categorie *small* e *compact*. Gli urti avvenuti con angoli 135°-225° e 225°-315° risultano collegati ad un maggior numero di lesioni alla testa, mentre il range 135°-225° presenta anche la maggiore severità (AIS3+).

Come indicato da Forman et al. [10], la presenza di lesioni traumatiche gravi del cervello è generalmente associata a elevate disabilità di lungo termine. Quanto trovato, seppur derivante da un piccolo campione, mostra la necessità di ulteriori sforzi sia in termini di ricerca sugli incidenti stradali, per meglio comprendere tipologia d'impatto e incidenza delle condizioni d'impatto della testa, sia in termini di progettazione dei caschi. Progettazione che dovrà essere effettuata non più solo ottimizzando la struttura rispetto a quanto richiesto dagli standard di omologazione (ECE, DOT, etc.), ma anche valutando l'efficienza del casco in termini di risposta biomeccanica della testa, in quelle che sono le reali e più pericolose condizioni d'impatto emerse dagli studi incidentologici.

Il torace resta la regione del corpo più spesso lesa: ma solo il 54% delle lesioni sono AIS3+ a fronte di un 63% alla testa. I polmoni sono l'organo più colpito, mentre pneumotorace ed emopneumotorace sono le lesioni più severe. Lesioni toraciche non risultano correlate al tipo di PTW, bensì al tipo di OV: la percentuale cresce al crescere della dimensione dell'OV. In termini di Delta-V, passando da 0-15km/h a 16-30km/h la frequenza cresce del 50%. Montante anteriore (A-pillar) e paraurti (Tabella 4) sono le parti più responsabili.

L'addome mostra un'elevata percentuale di lesioni severe (AIS4) e critiche (AIS5). Uno studio nell'area metropolitana di Milano (2001-2012), conferma l'importanza dell'incremento delle protezioni addominali e toraciche in ambito urbano [30]. Il 64% dei motociclisti (570) muore a causa di lesioni multiple localizzate su torace e addome. Le principali cause rilevate sul campione analizzato sono gli impatti con il paraurti e la parte bassa della portiera e il terreno. Azioni future dovrebbero quindi porre attenzione anche alla protezione di questa zona del corpo. Femore (33%), bacino (30%) e tibia (21.0%) sono i distretti anatomici inferiori maggiormente lesi. La letteratura sottolinea come l'80% di tali lesioni portano ad una qualche limitazione funzionale a distanza di un anno dall'evento [10]. Le principali cause sono l'impatto con il parafrangente, la portiera e, per gli scooter, con la zona dello scudo e del manubrio.

Ad eccezione della testa (essendo essa protetta dal casco), le altre regioni corporee manifestano un incremento delle lesioni a partire da una velocità d'impatto del PTW minore rispetto a quella registrata per la testa (Figura 18). Per il campione analizzato, la velocità d'impatto di 30 km/h risulta quindi essere il valore di soglia oltre la quale la lesività aumenta bruscamente (Figura 17). Il trend della distribuzione

delle lesioni indicato da Framptom et al. [18] non viene invece riscontrato nel presente lavoro. E ciò è soprattutto dovuto al tipo di campione considerato: strettamente incentrato sui feriti gravi.

Dal punto di vista dell'OV, vista la numerosità degli scontri frontale-laterale, sarebbe utile migliorare la loro parte laterale. La portiera risulta in assoluto la parte più colpita dal motociclista, seguita dalla zona del telaio sotto porta. Tali zone dovrebbero quindi essere riviste al fine di migliorare l'assorbimento energetico. Tuttavia, dovendo allo stesso tempo proteggere gli occupanti dall'intrusione di corpi esterni negli impatti laterali, questo requisito potrebbe essere difficile da soddisfare. L'altra possibilità è dunque l'implementazione di specifici air-bag esterni [31].

Dal punto di vista del PTW e più specificamente degli scooter, possibili soluzioni migliorative dovrebbero interessare l'incremento del potere di assorbimento dell'energia d'urto, come ad esempio mediante l'introduzione di cuscini o airbag.

5. CONCLUSIONI

Questo studio è stato rivolto a valutare severità, lesività e cause di gravi incidenti motociclistici occorsi in ambito urbano. Più nello specifico, partendo dai dati incidentologici contenuti nel database InSAFE, è stato individuato un set di 40 incidenti interessanti PTW e OV.

I risultati trovati possono essere così riassunti: i) l'urto frontale-laterale risulta prevalere tra gli incidenti urbani gravi; ii) la maggioranza degli urti avviene mentre il PTW si trova su strade lontano da intersezioni; iii) ma gli incroci risultano più pericolosi per il motociclista, ove le lesioni di severità AIS3+ sono più frequenti; iv) testa e torace riportano il maggior numero di danni nel caso di urto presso l'incrocio; v) nel 75% dei casi il motociclista urta frontalmente l'OV; vi) circa un quarto dei motociclisti cade prima di urtare l'OV; vii) il 65% delle lesioni alla testa colpisce il cervello e il 32% la scatola cranica; viii) il 55% di esse sono imputabili all'impatto primario con il veicolo opposto; ix) parte centrale del vetro e cornice superiore risultano essere la principale sorgente di lesione, seguita dai montanti e le portiere; x) femore, bacino e tibia sono i distretti delle gambe maggiormente lesi; xi) una percentuale non trascurabile di queste lesioni è dovuta all'urto sullo scudo anteriore degli scooter.

L'analisi dei dati ha dunque individuato nuovi possibili aspetti che potrebbero portare all'aumento della sicurezza dei motociclisti.

Da un lato la necessità di aumentare il livello di protezione dei caschi progettati facendo uso sia dei dati incidentologici che degli innovativi modelli FEM di testa umana utili a valutare l'efficacia del prodotto in termini di risposta biomeccanica. Dall'altro alcune soluzioni tecnologiche sono già sotto inchiesta, vedasi ad esempio il MAEB, ma altri dispositivi o sistemi possono essere sviluppati e valutati utilizzando i dati sugli incidenti. In particolare vi è la necessità di migliorare l'interazione OV/PTW per evitare il contatto del motociclista con quelle sezioni dell'auto che si sono rivelate più dannose.

BIBLIOGRAFIA

- [1] WHO. WHO World Health Organization, Global status report on road safety, Switzerland (2015).
- [2] ACEM. Association des Constructeurs Europeens de Motocycles, The Motorcycle industry in Europe 2013 Statistical overview. Registrations and deliveries circulating park production top 10 models contents, Belgium (2013).
- [3] ISTAT. ISTAT Italian National Statistical Institute, Road Accident Report, Italy (2014).
- [4] Otte et al., Scientific Approach and Methodology of a New In-Depth-Investigation Study in Germany so called GIDAS, Japan. Proceedings of Conference Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Japan (2003).
- [5] ACEM. Association des Constructeurs Europeens de Motocycles, MAIDS In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers (final report), Belgium (2008).
- [6] Del Pozo De Dios, E., Ferrer, A., et al. "Towards a Global and Harmonized Database for In-Depth Accident Investigation in Europe: The Dakota Project", Seoul. Proceedings of Conference Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Seoul (Republic of Korea), (2013).
- [7] Crash Injury Research Engineering Network (CIREN). Vedasi <http://www.nhtsa.gov/CIREN>
- [8] Bachulis, B.L., Sangster, W., Gorrell, G.W., et al. Patterns of injury in helmeted and no helmeted motorcyclists. American J Surg, 155: pp.708-711 (1988).

- [9] Rogers, C.D., Pagliarello, G., et al. Mechanism of injury influences the pattern of injuries sustained by patients involved in vehicular trauma. *Can J Surg*, 34 (3): pp.283-286 (1991).
- [10] Forman, J.L., et al. Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: A descriptive analysis of hospital discharge data. *Accid Anal Prev*, 49: pp.222-236 (2012).
- [11] Serre, T., Masson, C., et al. The motorcyclist impact against a light vehicle: Epidemiological, accidentological and biomechanic analysis. *Accid Anal Prev*, 49: pp.223-229 (2012).
- [12] Moskal, A., Martin, J.L., Lenguerrand, E. Injuries among motorized two-wheelers in relation to vehicle and crash characteristics in Rhone, France. *Proceedings of Conference Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, 2007 Lyon, France (2015).
- [13] Piantini S, Grassi D, et al. A Pilot Study of an Integrated Accident Research System Based on a Medical and Engineering Data in the Metropolitan Area of Florence. *Proceedings of Conference IRCOBI*, 2012, Dublin (Ireland) (2012).
- [14] Piantini, S., Grassi, D., et al. Advanced accident research system based on a medical and engineering data in the metropolitan area of Florence. *BMC Emerg Med*, 14 (1): 3 (2013).
- [15] Belobrad, M., Sucha, V. *Virtual Crash Technical Manual*, pp.57. Virtual Crash Software.
- [16] Gennarelli, T.A., Wodzin, E. The Abbreviated Injury Severity Scale, AIS, 2005 update 2008. AAAM Association for the Advancement of Automotive Medicine, Barrington, IL (2008).
- [17] Penumaka, A.P., Savino, G., Baldanzini, N., Pierini, M. In-depth investigations of PTW-car accidents caused by human errors. *Safety Science*, 68: pp.212-221 (2014).
- [18] Frampton, R., Lenard, J., Grant, R. *VSRC Vehicle Safety Research Centre, OTS Road Collision Research: Injuries sustained by motorcyclists*, UK (2011).
- [19] Savino, G., Pierini, M., Baldanzini, N. Decision logic of an active braking system for powered two wheelers. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D: J Automob Eng*, 226 (8): pp.1026-1036 (2012).
- [20] Savino, G., Giovannini, F., Baldanzini, N., Pierini, M., Rizzi, M. Assessing the Potential Benefits of the Motorcycle Autonomous Emergency Braking Using Detailed Crash Reconstructions. *Traffic Inj Prev*, 14: sup1, S40-S49 (2013).
- [21] Savino, G., Pierini, M., Rizzi, M., Frampton, R. Evaluation of an autonomous braking system in real-world PTW crashes. *Traffic Inj Prev*, 14 (5): pp.532-43 (2013).
- [22] Savino, G., Rizzi, M., Brown, J., et al. Further development of Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB), what can in-depth studies tell us? A multinational study. *Traffic Inj Prev*, 15 suppl 1: S165-72 (2014).
- [23] Savino, G., Giovannini, F., Piantini, S., Baldanzini, N., Pierini, M. Autonomous emergency braking for cornering motorcycle. *Proceedings of Conference Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, 2015 Gothenburg, Sweden (2015).
- [24] Teoh, E.R. Insurance Institute for Highway Safety, Effectiveness of Antilock Braking Systems in Reducing Fatal Motorcycle Crashes, USA (2010).
- [25] Rizzi, M., Strandrot, J., Tingvall, C. The effectiveness of Antilock Brake Systems (ABS) on Motorcycles in Reducing real-life Crashes and Injuries. *Traffic Inj Prev*, 10: pp.479-487 (2009).
- [26] Rizzi, M., Strandroth, J., Johansson, R., Lie, A. (2011) The potential of different countermeasures in reducing motorcycle fatal crashes: what in-depth studies tell us?. *Proceedings of Conference Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Washington DC, USA.
- [27] Rizzi, M., Strandroth, J., et al. (2015) Effectiveness of motorcycle antilock braking systems (ABS) in reducing crashes, the first cross-national study. *Traffic Inj Prev*, 16 (2): pp.177-83.
- [28] Baldanzini, N., Huertas-Leyva, P., Savino, G., Pierini, M. (2016) Rider behavioural patterns in braking manoeuvres. *Transportation Research Procedia* (in press). DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.359
- [29] Savino, G., Giovannini, F., Baldanzini, N., Pierini, M. (2012) Training system for optimal braking on a powered two-wheeler. *Driver Behaviour and Training Vol 5*, pp.101-125. Ashgate Publishing Limited, UK.
- [30] Amadesi, A., Cerutti, E., et al. (2016) The toll of traffic-related fatalities in a metropolitan Italian area through the experience of the Department of Legal Medicine. *Int J Inj Contr Saf Promot*, 23 (2): pp.197-205.
- [31] Fredriksson, R., Sui, B. (2015) Fatal Powered Two-Wheeler (PTW) crashes in Germany – an in-depth study of the events, injuries and injury sources. *Proceedings of Conference IRCOBI*, 2015, Lion, France.