

Politecnico di Torino

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale



Incidentologia stradale: analisi in-depth

Relatore:
Prof.ssa Ing. Cristina BIGNARDI

Candidato:
Chiara ASCIA

Supervisore Aziendale:



Dott. Enrico BECCHIO

Anno Accademico 2017-2018

Abstract

La sicurezza stradale rappresenta un grave problema sociale: gli incidenti stradali sono la causa di più di 1,2 milioni di vite ogni anno e hanno un enorme impatto sulla salute e sullo sviluppo dell'individuo.

Un metodo importante per lo sviluppo di strategie e misure per prevenire gli incidenti e mitigare la gravità degli infortuni è l'analisi dei database sugli incidenti. Tuttavia, la varietà delle domande di ricerca richiede diversi tipi di informazioni. Per valutare le situazioni di incidente, esaminare le tendenze o analisi simili, i database a livello di base, come nelle statistiche nazionali, sono disponibili per molti Paesi. D'altro canto, l'identificazione delle cause di incidenti e lesioni e la valutazione delle contromisure richiedono un livello più alto di dettaglio. Per questo motivo negli ultimi anni sono emersi diversi progetti che svolgono un'analisi approfondita, in-depth, su database che contengono dati sugli incidenti. Sfortunatamente, a causa di diversi standard per la raccolta e la codifica dei dati, l'analisi comparativa di dati approfonditi provenienti da diversi paesi è difficile o addirittura impossibile.

Per gestire queste carenze sono nati dei database che utilizzano uno schema di dati comune e studiano le opportunità e le limitazioni per la ponderazione e l'estrapolazione delle statistiche di ogni Paese che ha aderito a queste iniziative.

Un importante contributo è stato fornito dalle conoscenze biomeccaniche, infatti è nata l'esigenza di conoscere la tolleranza del corpo umano alle sollecitazioni, e attribuire dei criteri che classifichino le lesioni subite dagli occupanti del veicolo.

All'interno dei database si trovano informazioni sull'ambientazione dell'incidente, ma di fondamentale importanza per l'incidentologia sono i dati che riguardano le deformazioni delle autovetture e le lesioni subite dagli occupanti che permettono di definire la correlazione tra la severità dell'incidente, la risposta del veicolo e le sollecitazioni tollerabili senza gravi rischi della vita dell'occupante.

Nella presente tesi ciò che viene messo in evidenza è la relazione tra le lesioni subite dagli occupanti e le deformazioni delle autovetture prodotte dall'impatto. Sono stati confrontati istogrammi ricavati dal TTIP (*Transatlantic Trade and Investment Partnership*) e quelli ricavati dal database IGLAD e le curve ricavate dai dati IGLAD e NASS.

Sommario

Abstract	Errore. Il segnalibro non è definito.
1. Statistiche degli incidenti stradali	6
1.1 Statistiche nel mondo.....	7
1.2 Statistiche in Europa.....	10
1.3 Statistiche negli USA.....	12
2. Normative europee e normative americane	15
2.1 Normative Europee.....	18
2.2 Normative USA	20
2.3 Confronto del rischio di incidenti automobilistici dei veicoli europei e americani.....	24
2.4 Analisi sui costi e i vantaggi sulla conformità delle normative UE e USA	25
3 Principi sulla sicurezza passiva del veicolo (approccio biomeccanico)	27
3.1 Introduzione.....	27
3.2 Scale di severità di lesione.....	28
3.3 Criteri di lesione	32
3.4 Manichini Antropomorfi.....	37
3.5 I crash test.....	43
4 Database incidentologici: IGLAD E NASS	46
4.1 Database globale IGLAD	46
4.2 Database americano NASS.....	52
5 Materiali e Metodi	55
5.1 Selezione delle variabili dell'IGLAD	55
5.2 Selezione delle variabili del NASS.....	58
5.3 La regressione logistica	60
6 Risultati	63
7 Conclusioni e Sviluppi futuri	68
7.1 Conclusioni.....	68
7.2 Sviluppi futuri.....	68
Indice delle figure	69
Bibliografia	71

1. Statistiche degli incidenti stradali

I dati forniti dall'analisi statistica degli incidenti hanno fornito informazioni utili a diminuire il numero di vittime sulla strada.

Gli incidenti stradali sono un problema sociale rilevante in quasi tutti i Paesi del mondo.

Nei Paesi più industrializzati sono stati studiati in ogni loro dettaglio e sono stati raccolti moltissimi dati. [1]

Nell'ambito dell'incidentologia viene usata un tipo di statistica detta in-depth (approfondita). Lo scopo della statistica in-depth è quello di spiegare la causa e la modalità di un processo, in questo caso il processo è rappresentato dagli incidenti stradali. Pertanto, l'obiettivo è comprendere la correlazione tra gli incidenti stradali e le soluzioni di progettazione dei veicoli per lo sviluppo delle normative.

Per fare un'analisi accurata, quindi, le statistiche di base non sono sufficienti perché queste non forniscono informazioni utili per conoscere le relazioni tra causa ed effetto e ciò non permette di ottenere soluzioni per numerosi problemi riguardanti gli incidenti.

ISTAT è il principale fornitore di informazioni statistiche ufficiali in Italia, ma i suoi dati si limitano soltanto al contesto italiano e non sono appropriate per un'analisi approfondita poiché i dati che raccoglie (numero feriti, numero fatalità, classe mezzo di trasporto, data e ora incidente) non permettono di stabilire la relazione fra tipologia di incidente, caratteristiche in urto del veicolo e tipologia e severità delle lesioni agli occupanti. [2]

L'analisi in-depth degli Incidenti Stradali porta i seguenti vantaggi:

- ricostruire gli incidenti stradali al fine di approfondire le cause che li hanno generati ipotizzando le velocità dei veicoli e le possibili manovre messe in atto dai conducenti;
- miglioramento delle condizioni di sicurezza della circolazione stradale e diminuzione degli incidenti;
- operare simulazioni tecniche per stimare l'efficacia di interventi sull'infrastruttura;
- diffusione della cultura della sicurezza stradale. [3]

L'analisi degli incidenti ha preso avvio in USA negli anni '90. Successivamente è iniziata da alcuni Paesi europei, in particolare dal Regno Unito, Germania, Svezia e Francia.

Per ridurre gli incidenti, e quindi il numero di vittime sulla strada, è necessario conoscere cause, dinamica e conseguenze degli incidenti su strada. Questi fattori influenzano il

comportamento dei conducenti e di altri utenti, anche per quanto riguarda le condizioni della strada e le caratteristiche del veicolo. [4]

Esistono istituzioni pubbliche e private, ma anche case automobilistiche interessate alle statistiche sugli incidenti stradali per comprendere il comportamento dei veicoli.

Nel classificare gli incidenti occorre innanzitutto specificare i soggetti coinvolti, cioè gli occupanti dei veicoli e gli altri utenti della strada: pedoni, ciclisti, motociclisti ecc.

Altro parametro di classificazione è la tipologia dell'incidente: collisione tra due o più veicoli; collisione di un veicolo contro un oggetto fisso: albero, palo, guard rail, struttura a bordo strada ecc.; collisione di un veicolo contro un altro utente della strada: pedone, ciclista, motociclista, trattore agricolo ecc. (in questa categoria rientra anche la collisione contro un animale); collisione contro altri mezzi non stradali: treno, altro; incidente senza collisioni: ribaltamento, uscita di strada. La maggior parte dei ribaltamenti avviene quando il veicolo esce dalla corsia di marcia e incontra un marciapiede un terreno soffice o altri oggetti che producono una elevata reazione sui pneumatici.

1.1 Statistiche nel mondo

Gli incidenti stradali sono la principale causa di morte tra le persone di età compresa tra 15 e 29 anni, e costano circa il 3% del PIL di ogni singolo stato (dati 2015). [5]

Nei Paesi più industrializzati la percentuale dei feriti e dei morti su strada in base alla quantità di veicoli in circolazione è bassa rispetto ai Paesi meno industrializzati.

Si stima che gli incidenti stradali siano la nona causa di morte per tutte le fasce d'età a livello mondiale e si prevede che diventeranno la settima causa di morte entro il 2030. Il rapporto del WHO del 2015 conferma che i Paesi a medio e basso reddito sono i più colpiti, con il doppio dei tassi di mortalità dei paesi ad alto reddito. Riflette gli sforzi di un certo numero di Paesi per mettere in atto misure precauzionali per rendere le strade più sicure.

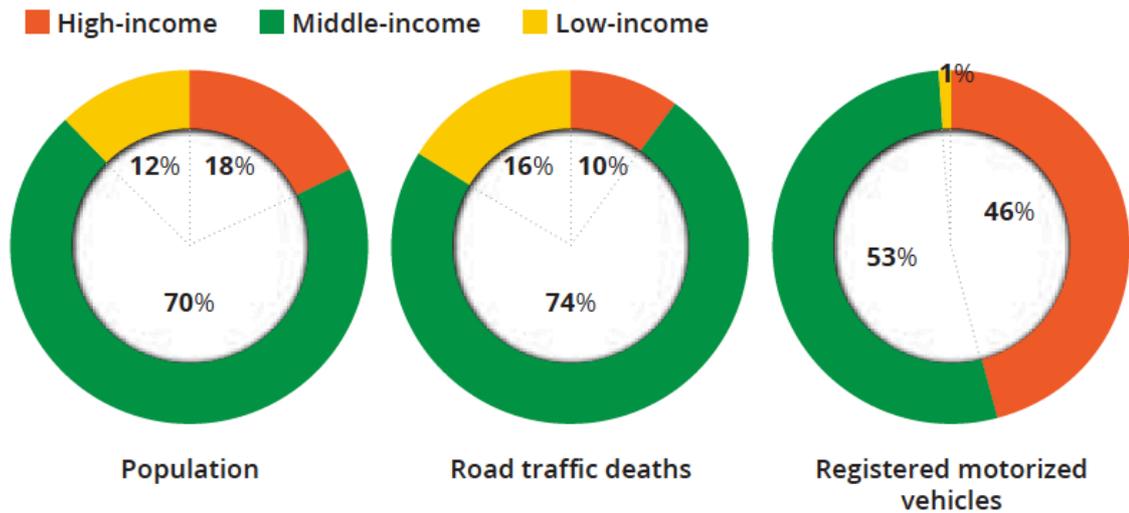


Figura 1 Popolazione, decessi stradali e veicoli a motore registrati, in base allo stato di reddito del Paese

I costi di un incidente sono determinati da tre elementi: il primo riguarda i costi diretti dell'incidente, questi includono eventuali spese aggiuntive causate dall'incidente. I costi diretti comprendono i costi delle cure mediche, costi di riparazione o sostituzione dei veicoli danneggiati, e costi amministrativi.

Il secondo riguarda i costi indiretti dell'incidente: morte prematura, danni permanenti o assenza temporanea dal lavoro causata dall'incidente.

Il terzo elemento è la valutazione della perdita della qualità della vita. [6]

Sono stati compiuti dei progressi dai governi e dalle organizzazioni non governative come ad esempio il miglioramento delle norme sulla sicurezza stradale, la gestione della velocità attorno alle scuole, armonizzazione della raccolta dei dati relativi alle vittime del traffico stradale e l'introduzione di standard minimi sulla sicurezza dei veicoli.

Questi lodevoli sforzi nazionali si sono svolti nel contesto del Decennio di Azione per la Sicurezza Stradale 2011-2020. Si tratta di un quadro globale che guida l'azione a livello nazionale in una serie di settori rilevanti per la sicurezza stradale.

In figura a titolo di esempio si riporta l'andamento delle fatalità in assoluto e rispetto alle distanze percorse negli Stati Uniti

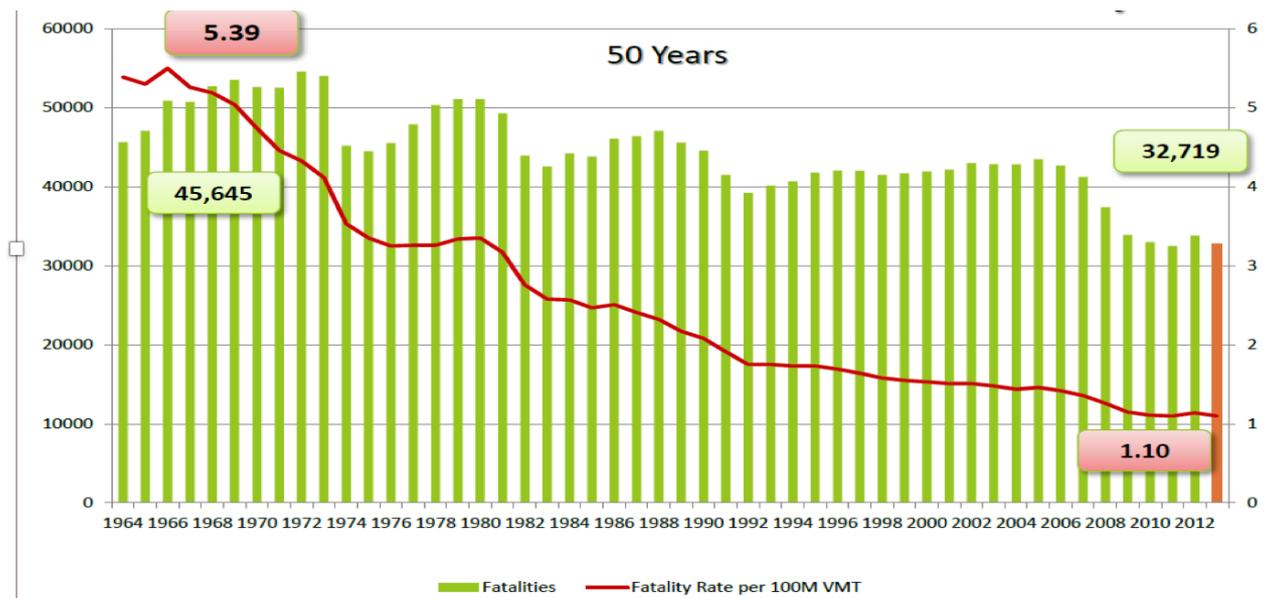


Figura 2 Decessi e tasso di mortalità per anno negli Stati Uniti

La curva in rosso indica il numero dei decessi e il tasso di mortalità per anno diviso per tutte le miglia percorse (VMT= Vehicle Miles Traveled) sul suolo USA (inclusi gli stati Haway e Alaska). Questo permette di ricavare un rapporto tra il luogo dove avvengono i decessi e i chilometri percorsi.

Dal grafico risulta un significativo miglioramento del rapporto del numero di vittime per 100 milioni di miglia percorse, questo ha evidenziato un enorme progresso introdotto dalle misure di sicurezza.

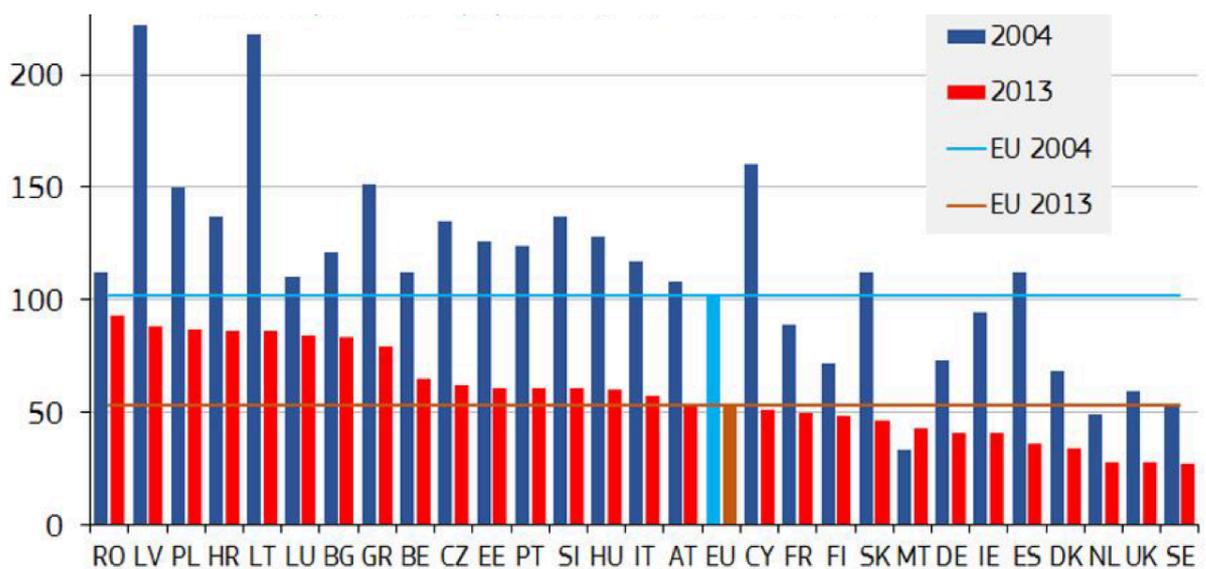


Figura 3 Decessi per milione di abitanti in EU, 2004 e 2013

Anche in Europa i risultati hanno mostrato importanti miglioramenti, il numero dei decessi del 2013 sono dimezzati rispetto a quelli del 2004.

I due grafici mostrano due diverse tipologie di dati, negli USA è rappresentato il numero di decessi per miglia viaggiata, in Europa il numero di decessi per chilometri percorsi.

1.2 Statistiche in Europa

Community database on Accident on the Roads in Europe (CARE) è il database europeo che contiene i dati degli incidenti stradali che causano morte o lesioni in tutta l'Unione Europea. CARE è uno strumento molto potente perché permette di conoscere i problemi della sicurezza stradale su tutte le strade europee e permette di fare delle analisi utili per prevenire e limitare i danni causati da un incidente stradale. Ogni Paese produce le proprie statistiche sugli incidenti stradali. CARE riunisce i dati non riservati e ogni Paese è responsabile della produzione di statistiche sulla sicurezza stradale che poi trasmette sotto forma di rapporto alla Commissione Europea. CARE ha sviluppato una serie di regole per standardizzare le informazioni al fine di armonizzare le statistiche provenienti da tutti gli Stati membri dell'Unione Europea. [7]

Secondo questo database, nel 2011 più di 30.000 persone sono morte sulle strade europee, vale a dire l'equivalente di una città media. Per ogni morte sulle strade europee ci sono circa 4 ferite permanenti invalidanti come, per esempio, danni al cervello o al midollo osseo, 8 ferite gravi e 50 ferite di minore entità. [8]

Il numero totale delle vittime degli incidenti stradali ha subito una diminuzione del 43% tra il 2005 e il 2015 nei Paesi appartenenti alla Commissione Europea. Il decremento è stato osservato per un lungo periodo, ma il numero totale delle vittime che è stato registrato nel 2015 è leggermente superiore di quello registrato nel 2014. [9]

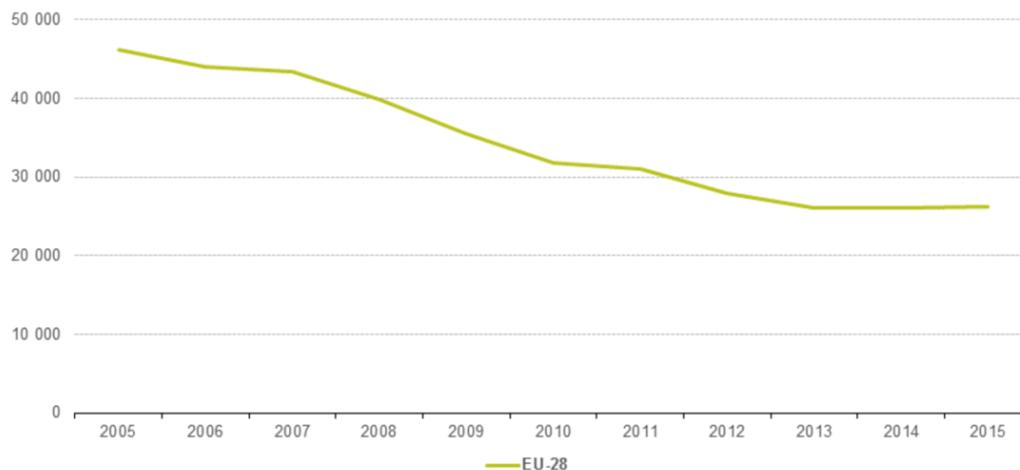


Figura 4 Numero totale di morti nelle strade, EU-28

Gli ultimi dati del CTSE (*Consiglio Europeo per la Sicurezza dei Trasporti*) sui decessi stradali in tutta l'UE e in altri paesi coperti dal programma di sicurezza stradale dell'ETSC PIN Road Safety mostrano i seguenti risultati: [10]

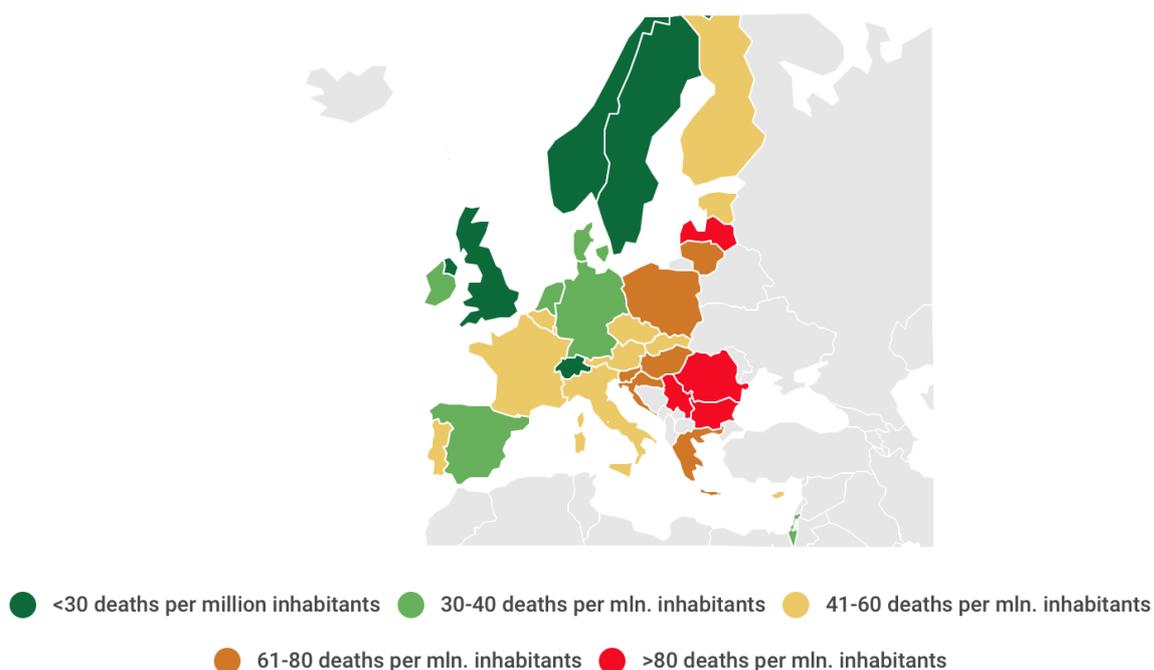


Figura 5 Morti stradali per milione di abitanti, 2016

In generale, esistono molte statistiche sugli incidenti stradali, ma i dati non sono omogenei tra loro, nonostante ciò, il problema che riguarda la sicurezza stradale e l'alto numero di decessi risulta evidente in tutte le analisi.

1.3 Statistiche negli USA

Migliaia di americani continuano a morire ogni anno come vittime di incidenti automobilistici. I Centri per il controllo e la prevenzione delle malattie hanno definito la sicurezza dei veicoli uno dei primi 10 risultati della salute pubblica degli USA nel XX secolo. [11]

Si stima che il costo economico totale degli incidenti automobilistici nel 2010 sia stato di 242 miliardi. Di questo totale, le spese mediche ammontano di 23,4 miliardi, le perdite dovute a danni alla proprietà 76,1 miliardi, perdita di produttività (sia di mercato che di uso domestico) 77,4 miliardi e impatti della congestione 28 miliardi. Tutti gli altri costi relativi agli incidenti hanno totalizzato 37 miliardi. [12]

I costi più significativi sono stati i danni alla proprietà e la perdita di produttività del mercato, che nel 2010 rappresentavano rispettivamente il 31% e il 24% dei costi economici totali. Per quanto riguarda la perdita di produttività, questi costi, che sono elevati, dipendono dal livello di disabilità che è stato documentato per gli incidenti che coinvolgono lesioni e decessi.

Per i danni alla proprietà, i costi sono principalmente una funzione degli incidenti di entità minore in cui la lesione non si è verificata o era trascurabile.

I costi di assistenza medica e i servizi di emergenza (che includono i servizi di polizia e antincendio) sono responsabili di circa il 10 per cento del totale. Ritardo dei viaggi, aumento del consumo di carburante e impatti dell'inquinamento causati dalla congestione sul luogo dell'incidente rappresentano quasi il 12%. Il valore della perdita di produttività domestica rappresenta l'8% dei costi totali. Le spese legali e giudiziarie rappresentano il 5% e i costi di amministrazione assicurativa per circa il 9% del totale.

I costi descritti sono riepilogati nella Figura 9.

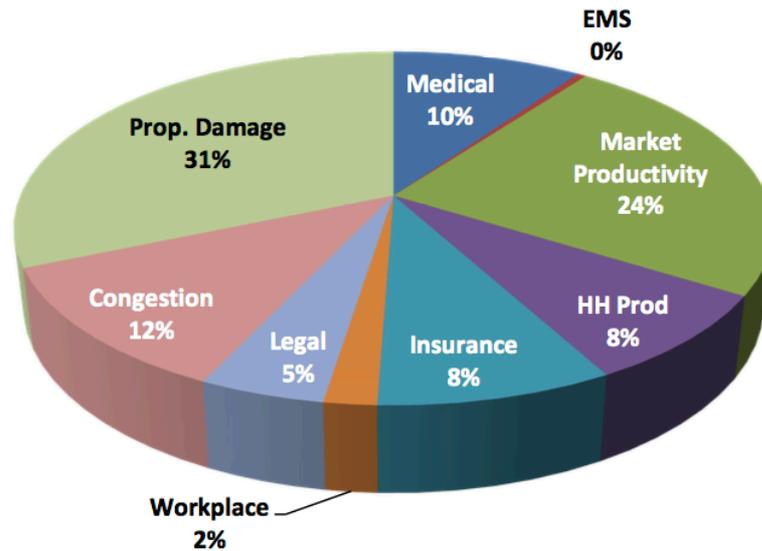


Figura 6 Costi totali degli incidenti autostradali nel 2010 in USA, fonte NHTSA

Una proiezione statistica dei decessi per il 2017 stima che circa 37.150 persone siano decedute in incidenti stradali. Ciò rappresenta una leggera diminuzione di circa lo 0,8 per cento rispetto ai 37.461 decessi che si sono verificati nel 2016 (fonte NHTSA, *National Highway Traffic Safety Administration*).

Il NHTSA ha dati sulle fatalità risalenti al 1975 che mostrano negli anni un aumento e un calo dei decessi: il calo più recente si è verificato dal 2006 al 2010. Inoltre, più recentemente, il significativo aumento degli incidenti mortali si è verificato dal 2015 che termina dopo il primo trimestre del 2017.

Fra le cause attribuibili al guidatore la distrazione è uno dei fattori dominanti. Secondo il Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti, ci sono tre principali tipologie di distrazione del guidatore: togliere le mani dal volante, distogliere gli occhi dalla strada e non pensare alla guida (ovvero quando si usa il cellulare alla guida)

Altre cause principali di incidenti mortali sono: problemi fisici dei conducenti (sonnolenza, infarto, abuso di alcool/sostanze stupefacenti) e comportamento aggressivo del guidatore.

In una Research Note (Metodologia statistica per effettuare stime anticipate dei decessi sul traffico automobilistico, rapporto n. DOT HS 811 123) è stato visto che le procedure statistiche utilizzate in queste proiezioni sono state effettuate per ciascuna regione amministrativa del NHTSA e sono state raccolte con l'obiettivo di creare la stima nazionale.

Ciò consente di confrontare le stime regionali nel 2017 con quelle del 2016, come illustrato in Figura 9.

È evidente che 6 tra 10 regioni del NHTSA hanno registrato una diminuzione della mortalità nel 2017 al totale segnalato nel 2016. [13]

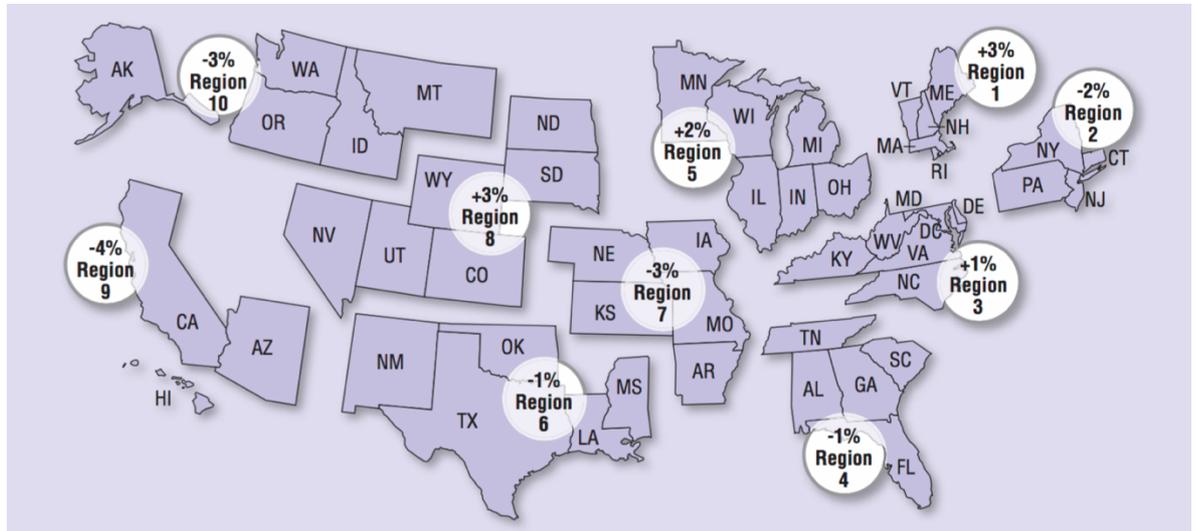


Figura 7 Variazione percentuale dei decessi del 2017 rispetto al 2016, fonte NHTSA

2. Normative europee e normative americane

I vari componenti di un veicolo devono rispondere a delle normative per essere immessi in commercio, infatti i produttori devono garantire che i prodotti abbiano delle caratteristiche minime che devono essere dimostrate superando “*crash tests*” che garantiscono la sopravvivenza degli occupanti in condizioni molto meno severe rispetto a quelle in cui si verificano larga parte degli incidenti “reali”; inoltre nessuna norma impedisce di produrre auto che superino di gran lunga le velocità in cui è garantita la sopravvivenza in caso di incidente; le stesse regole che riguardano la circolazione stradale, consentono anche di raggiungere velocità notevolmente superiori a quelle in cui una collisione potrebbe avvenire senza rischi significativi : come noto, sono omologate e messe in commercio automobili in grado di raggiungere velocità superiori a 200 km/h.

Nel nostro ordinamento del Codice della strada limita alla soglia dei 130km/h la velocità che può essere raggiunta durante la circolazione stradale. Le regole che governano i requisiti di resistenza degli autoveicoli, tuttavia, prevedono che essi debbano garantire la sopravvivenza degli occupanti a velocità notevolmente inferiori rispetto a quelle indicate. Le conseguenze dannose connesse alla circolazione stradale, quindi, si producono molto spesso “inevitabilmente”, ossia anche quando non sussistano violazioni delle norme che disciplinano il comportamento delle persone e non siano riscontrabili difetti di fabbricazione dei veicoli.

[14]

Le normative obbligano quindi i produttori a immettere sul mercato solo prodotti con caratteristiche di sicurezza superiore al livello minimo accettabile in quel momento. Inoltre, nei Paesi più industrializzati il legislatore chiede anche di:

- dare le informazioni sul corretto utilizzo del prodotto e sui rischi che si possono presentare in certe condizioni di impiego;
- richiamare e modificare i prodotti che hanno mostrato problemi di sicurezza;
- adottare soluzioni tecniche allineate con la maggior tecnologia disponibile in quel momento;

[1]

L'introduzione di un nuovo standard di sicurezza comporta solitamente un processo di messa a punto e condivisione piuttosto lungo, in quanto deve tenere in considerazione i legittimi interessi di tutte le parti coinvolte (i cosiddetti stakeholders, ovvero i consumatori, l'industria, i governi, ecc.). La conformità di un modello di veicolo allo standard FMVSS è garantita dall'autocertificazione del produttore di apparecchiature originali attraverso un processo che implica test di laboratorio.

NHTSA non rilascia certificati per alcun veicolo; tuttavia, l'ufficio per la conformità della sicurezza dei veicoli (*Office of Vehicle Safety Compliance*) del NHTSA è responsabile della conduzione di verifiche random di conformità per gli standard FMVSS attraverso dei test di laboratorio. [14]

Nell'UE, viceversa, la sicurezza dei veicoli è certificata non dal costruttore come negli stati uniti ma dagli ispettori dei ministeri dei trasporti dei vari paesi i cui atti di omologazione vengono recepiti e riconosciuti dagli altri membri della Unione Europea.

Oltre alla normativa di omologazione esistono programmi che confrontano le caratteristiche di sicurezza dei veicoli (cosiddetti *rating di terza parte*) e quindi incentivano lo sviluppo di prestazioni significativamente superiori a quanto richiesto dalla legge trasformando l'esito delle prove effettuate in un fattore competitivo a livello commerciale.

Il primo rating è stato lo USNCAP (*United States New Car Assessment Program*): nacque negli USA nel 1970 con lo scopo di ridurre le morti, le lesioni e le perdite economiche risultate dagli incidenti tra i veicoli. [15]

Da allora i rating si sono diffusi in tutto il mondo tra i Paesi più sviluppati: all'interno della comunità europea è presente l' EuroNCAP (*European New Car Assessment Programme*).

Oltre all'EuroNCAP e l'USNCAP si sono sviluppati altri programmi: negli USA esiste un altro programma chiamato IIHS (*Insurance Institute for Highway Safety*), in Australia l'ANCAP (*Australian NewCar Assessment Programme*), in Giappone il JNCAP (*Japan New Car Assessment Programme*), nei paesi dell'America Latina e i Caraibi LatinNCAP (*NewCar Assessment Programme for Latin America and the Caribbean*), a cui recentemente si stanno affiancando iniziative nei paesi in via di sviluppo quali il BharatNCAP (*Bharat New Vehicle Assessment Program*), e l'Asean NCAP (*NewCar Assessment Program for Southeast Asian Countries*) sotto la guida dell'organizzazione Global NCAP promossa dalla FIA (*Federazione Internazionale Automobilisti*).

Sia che si tratti di standard omologativi che di rating di terze parti, lo sviluppo di un qualsiasi standard di sicurezza rientra nel seguente schema:

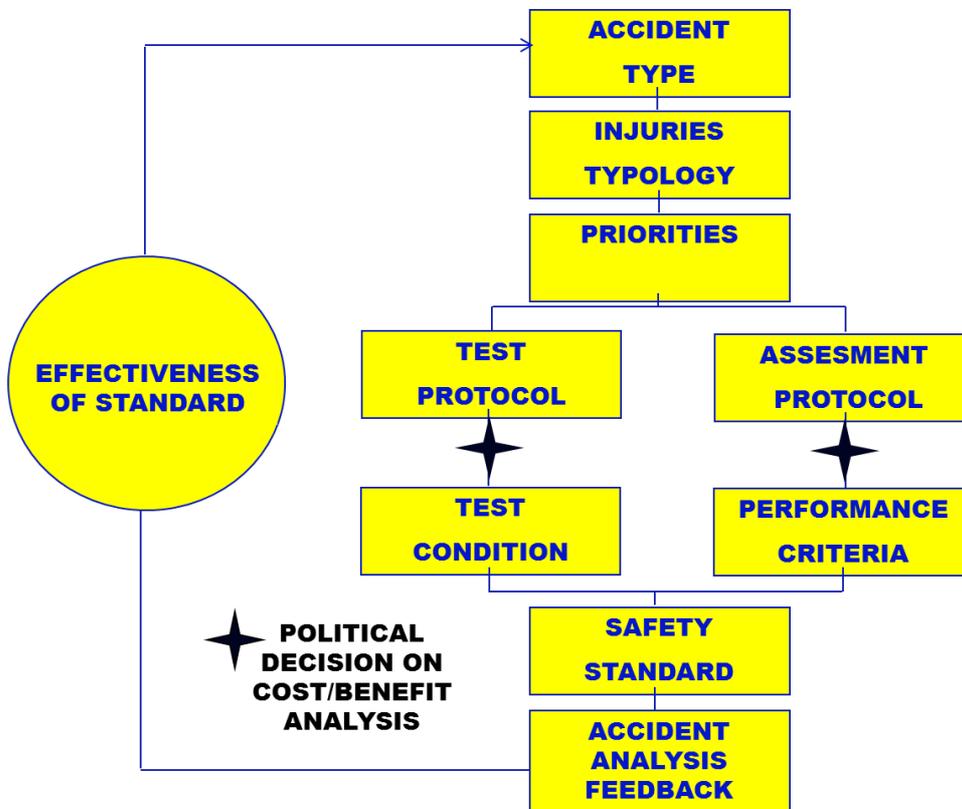


Figura 8 Decisioni politiche sull'analisi costi/benefici

Questo approccio mette in evidenza l'importanza dell'incidentologia e il contributo mediante feedback per il continuo miglioramento delle prestazioni di sicurezza veicolo e la riduzione del tasso di gente che subisce danni, fino alla stesura di nuovi criteri di danno o limiti rivisti all'interno delle normative e dei successi sviluppi di nuove normative.

Si analizzano gli incidenti e in base al tipo si valuta la severità di una lesione su un segmento corporeo utilizzando le scale e i criteri opportuni, e osservando quale danno accade più frequentemente si danno delle priorità. La fase successiva prevede lo sviluppo di 4 fasi:

- **test protocol:** definire i requisiti di come voglio effettuare il test sul veicolo (per esempio frontale, laterale, posteriore etc.),
- **test condition:** definisce per esempio la velocità dell'urto, angolazione della barriera, quanti manichini devono esserci in vettura;
- **assessment protocol:** definisce i limiti biomeccanici su ogni segmento corporeo assegnando anche un punteggio per le prove di rating;

- **performance criteria:** definiscono i limiti omologativi non solo sulla vettura ma anche sui componenti, questi limiti vengono definiti sia nella fase di progetto sia dal legislatore

Al termine del processo si valuta l'efficacia dello standard di prova proposto, mediante una serie di test fisici effettuati da vari laboratori e su modelli diversi (round-robin tests). Di solito vengono coinvolti tutti gli attori interessati allo sviluppo della normativa di sicurezza (Case automobilistiche, legislatori, e altri stakeholders).

Alla fine del round-robin si raccolgono i dati di prova e si valutano i costi/benefici associati allo standard di prova proposto, e se i feedback sono positivi si procede con l'introduzione dello standard.

Dopo introduzione dello standard, la sua efficacia viene costantemente valutata mediante il monitoraggio dei dati provenienti dal campo.

2.1 Normative Europee

Nell'Unione Europea l'adozione di *standard* di sicurezza reciprocamente riconosciuti consentono ai produttori di operare in un contesto omogeneo. Gli Stati membri hanno aderito alla convenzione UNECE; in questo modo i regolamenti UNECE vengono incorporati nella procedura di omologazione comunitaria. I regolamenti sono sviluppati con riferimento all'accordo di Ginevra del 1958 patrocinato dall'ONU. I primi che aderirono furono alcuni Paesi europei; oggi aderiscono una cinquantina di Paesi di tutto il mondo.

[16]Per realizzare gli obiettivi stabiliti nei trattati, l'UE adotta diversi tipi di atti legislativi. Alcuni sono vincolanti, altri no. Alcuni si applicano in tutti i paesi dell'UE, altri solo in alcuni di essi.

Un regolamento è un atto legislativo vincolante. Deve essere applicato in tutti i suoi elementi nell'intera Unione europea. Ad esempio, quando l'Unione ha deciso che dovevano esservi garanzie comuni sui beni importati dall'esterno dell'UE, il Consiglio ha adottato un regolamento.

Una direttiva è un atto legislativo che stabilisce un obiettivo che tutti i paesi dell'UE devono realizzare. Tuttavia, spetta ai singoli paesi definire attraverso disposizioni nazionali come tali obiettivi vadano raggiunti. Un esempio è quello della direttiva sui diritti dei consumatori dell'UE, che rafforza i diritti dei consumatori in tutta l'Unione, ad esempio eliminando spese e

costi nascosti in Internet, ed estendendo il periodo entro il quale i consumatori possono recedere da un contratto d'acquisto.

Per migliorare la qualità delle normative e ridurre i costi del loro sviluppo, nel 2005 il gruppo di lavoro CARS 21 (*Competitive Automotive Regulatory System for the 21st century*) della Commissione Europea ha proposto di sostituire ciascuna direttiva con il corrispondente regolamento UNECE, se quest'ultimo fornisce un livello di sicurezza non inferiore.

Prima che un veicolo sia commercializzato, deve essere dimostrata la conformità alla specifica normativa e per questo vengono fatti dei *test omologativi*.

I test per dimostrare la conformità possono essere effettuati in qualunque laboratorio accreditato da uno dei Ministeri dei Trasporti dell'Unione Europea.

Standard per l'urto frontale

Uno standard è l'ECE R94, entrato in vigore nel 1998, limita i valori biomeccanici e le intrusioni in un urto che simula lo scontro frontale contro un altro veicolo che viaggia in direzione opposta e ha circa lo stesso peso. L'overlap con la barriera fissa deformabile ODB (*Offset Deformable Barrier*) è del 40% e la velocità di impatto è di 56 km/h, quindi simula un urto in cui la velocità relativa dei due veicoli è di circa 100 km/h (la barriera rende il crash meno severo, per questo essa non è il doppio della velocità dell'urto). Sui posti anteriori sono montati 2 manichini Hybrid III 50%ile che rilevano le sollecitazioni su testa, collo, torace e gambe.

I test ECE R94 e EuroNCAP hanno diversi punti in comune:

- il set up di prova è lo stesso ma il rating ha una velocità di urto pari a 64 km/h;
- si usano gli stessi manichini e gli stessi parametri biomeccanici per valutare le sollecitazioni sul corpo;
- i limiti della normativa coincidono con i valori che nell'EuroNCAP sono il confine oltre il quale non si ottengono punti;

Superare al limite il test ECE R94 equivale a un punteggio quasi nullo nel test EuroNCAP fatto a velocità inferiore. Nel test ECE 94 però vi sono prescrizioni relative alla perdita di combustibile e alla facile estrazione dei manichini che non sono contenute nel rating.

Un altro standard è l'ECE R137 e si prevede che diventi obbligatorio come parte dell'omologazione UE nel 2020. L'overlap con la barriera rigida è del 100% e la velocità di impatto è di 50 km/h. Sui posti anteriori sono montati un manichino guidatore Hybrid III 50%ile, un manichino passeggero Hybrid III 5 %ile.

Standard per urto laterale

L'ECE R95, entrato in vigore nel 1998, vuole garantire la protezione a un occupante adulto posto sul sedile anteriore (guidatore o passeggero). Esso riproduce l'urto a 50 km/h di un veicolo leggero (950 kg) contro il fianco del veicolo in esame. Il carrello e la relativa barriera deformabile posta sulla sua fronte sono indicati con l'acronimo MDB (*Mobile Deformable Barrier*). Le caratteristiche inerziali, geometriche e strutturali del carrello vogliono riprodurre le caratteristiche medie dei veicoli urtanti presi a riferimento. I parametri biomeccanici sono misurati col manichino EuroSID2 (European Side Impact Dummy release 2). Come per l'urto frontale, anche per quello laterale superare al limite il test ECE R95 equivale a un punteggio quasi nullo nel test EuroNCAP.

Standard per l'urto posteriore

Per la protezione in urto posteriore i principali standard sono gli ECE R17, R32 e R34.

L'R17 riguarda in particolare il corretto trattenimento dell'occupante e la protezione dal corpo di frusta, valutate in maniera indiretta tramite prescrizioni sulle caratteristiche geometriche e strutturali dei sedili e degli appoggiatesta. Lo standard R32 prescrive lo spazio minimo di sopravvivenza ai posti posteriori quando un carrello da 1100 kg urta a 50 km/h il veicolo in esame. L'R34, stessa prova dell'R32, pone un limite alla perdita di combustibile. Lo standard R34 prescrive inoltre una serie di test sul serbatoio carburante. Per i serbatoi in plastica le prove sono più numerose e la più severa di esse è quella di resistenza al fuoco.

2.2 Normative USA

L'analisi della casistica giurisprudenziale statunitense in tema di responsabilità del produttore di autoveicoli costituisce un modello da osservare con estremo interesse in quanto le decisioni delle corti si caratterizzano per una lettura rigorosamente coordinata delle regole della

responsabilità civile (*product liability*) in funzione di quelle sulla sicurezza dei prodotti (*product safety*).

Nell'indagare riguardo allo stretto collegamento tra *product liability* e *product safety* occorre tenere conto del fatto che il sistema della *product liability* si è sviluppato a livello di ogni singolo stato USA.

Per quanto riguarda la produzione degli autoveicoli sono previsti standard federali FMVSS (Federal Motors Vehicle Safety Standards) ai quali lo stesso legislatore attribuisce la valenza di presupposto necessario al fine dell'immissione sul mercato: un'espressa disposizione dello United States Code (Title 49 U.S.C. § 3111 b) sancisce che gli standard federali prevalgono sempre su quelli sanciti dalle singole legislazioni statali e consente al produttore che rispetti detti standard di commercializzare il veicolo in tutti gli stati americani.

Un'ulteriore previsione (49 U.S.C. 30102(a)(9)) precisa che, nella prospettiva della responsabilità civile, i FMVSS sono da intendere come livelli minimi di sicurezza; pertanto la conformità dei veicoli ai FMVSS, necessaria al fine di conseguire l'autorizzazione all'immissione in commercio, non è sufficiente ad escludere la responsabilità civile del produttore per i danni cagionati da difetti di progettazione del veicolo o di informazione circa un suo uso corretto (49 U.S.C. 30103(e)). Nel caso in cui si ponga il problema di verificare se sussistano difetti di fabbrica, la dimostrazione da parte del produttore di avere rispettato i FMVSS può condurre ad escludere la presenza del difetto relativamente ad un particolare esemplare; la possibilità di costruire un giudizio di responsabilità basato sulla presenza di un difetto di progettazione (*design defect*) o di informazione (*warning defect*), invece resta comunque aperta.

I veicoli che rispettino gli standards federali e siano regolarmente immessi sul mercato, quindi, non necessariamente escludono la possibilità di assumere rilievo ai fini risarcitori qualora il danneggiato provi che il prodotto avrebbe potuto essere realizzato secondo modalità costruttive differenti e ragionevolmente praticabili.

Standard per l'urto frontale

Lo standard FMVSS 208 regola la protezione degli occupanti adulti e bambini posti su sedili anteriori. Contiene inoltre prescrizioni che riguardano l'installazione e la funzionalità delle cinture. Esso si applica alle vetture, e con prescrizioni generali meno severe, anche a MPV (Multi-purpose Vehicle), piccoli autocarri e piccoli autobus.

Con questo standard sono stati resi obbligatori gli “Advanced air bags”, per aumentare la protezione per gli occupanti di piccola taglia (bambini e adulti di piccola statura) senza ridurre la capacità di protezione degli altri percentili adulti.

Dato che non in tutti gli stati USA sono obbligatorie le cinture di sicurezza, viene richiesta protezione degli occupanti non cinturati. Questo implica che : il bag non deve porre rischi, né causare lesioni a occupanti di piccola taglia sul sedile anteriore e posteriore; occorre garantire la protezione agli occupanti 5%ile e 50%ile in urti di severità elevata (cinturati) e media (non cinturati).

Vengono descritti cinque tipi di test:

- sui posti anteriori sono montati due manichini Hybrid III 50%ile uomo, entrambi cinturati. La prova viene eseguita con una velocità di impatto fino a 56 km/h con barriera rigida 100%, angolo di impatto $0^{\circ} \pm 5^{\circ}$;
- sui posti anteriori sono montati due manichini Hybrid III 5%ile donna, entrambi cinturati. La prova viene eseguita con una velocità di impatto fino a 56 km/h con barriera rigida 100%, angolo di impatto $0^{\circ} \pm 5^{\circ}$;
- sui posti anteriori sono montati due manichini Hybrid III 50 %ile uomo, entrambi non cinturati. La prova viene eseguita con una velocità di impatto da 32 a 40 km/h con barriera rigida 100%, angolo di impatto $0^{\circ} \pm 5^{\circ}$;
- sui posti anteriori sono montati due manichini Hybrid III 50 %ile uomo, entrambi non cinturati. La prova viene eseguita con una velocità di impatto da 32 a 40 km/h con barriera rigida 100%, angolo di impatto $0^{\circ} \pm 30^{\circ}$;
- sui posti anteriori sono montati due manichini Hybrid III 5 %ile donna, entrambi cinturati. La prova viene eseguita con una velocità di impatto di a 40 km/h con barriera ODB con overlap del 40% , angolo di impatto $0^{\circ} \pm 5^{\circ}$.

Standard per l’urto laterale

Per la protezione per l’urto laterale vi è lo standard FMVSS214. Il test prevede due tipi di urto: uno con carrello e l’altro con un palo.

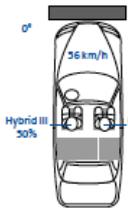
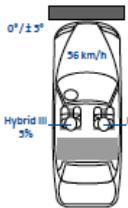
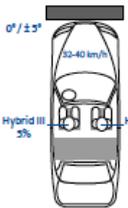
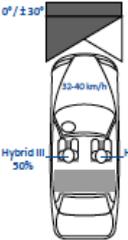
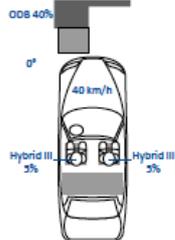
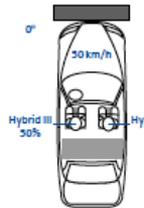
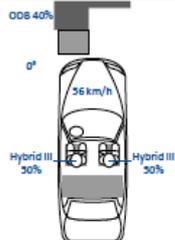
La prova con barriera vuole simulare l’urto di un veicolo in moto a 30 mph contro il fianco di un altro veicolo che viaggia a 15 mph. La barriera usata è MDB. Nel test sono in movimento sia la vettura, sia il carrello di 1368 kg che viene lanciato contro la vettura alla velocità di 54

km/h in direzione obliqua (*test crabbed*) sul lato guidatore . Sul sedile guidatore è montato il manichino ES2re, sul sedile posteriore il manichino SIDII's.

Le prova con palo prevedono la velocità di 32 km/h con direzione di impatto pari a 75°. Sul sedile guidatore viene montato un manichino SIDII's 5%-ile in una prova e il manichino ES2re nella seconda.

Standard per l'urto posteriore

Lo standard 301 prevede che un carrello di 1368 kg venga lanciato a 80 km/h contro il veicolo fermo e non frenato. La sovrapposizione trasversale (*overlap*) fra carrello e posteriore veicolo è del 70% e il frontale del carrello porta una barriera deformabile identica a quella dello standard FMVSS 214, abbassata di 50 mm per simulare l'affondamento del frontale del veicolo urtante prodotto dalla sua frenata prima dell'impatto.

		Full Width Frontal				Offset Frontal	
USA 	FMVSS 208					FMVSS 208	
Europe 	UN R137¹					UN R94	

Side Barrier	Side Pole	Pedestrian	Rear	Head Impact	Rollover
			FMVSS 202a FMVSS 301	FMVSS 201	Roof crush: FMVSS 216a Ejection Mitigation: FMVSS 226
		R (EC) 78/2009 R (EC) 631/2009 UN R127	UN R32	UN R21	

Figura 9 Standard sulla protezione degli occupanti

2.3 Confronto del rischio di incidenti automobilistici dei veicoli europei e americani

Nel 2015, gli Stati Uniti e l'Unione Europea sono entrati in una trattativa TTIP (*Transatlantic Trade and Investment Partnership*). Questo accordo è stato pensato per ridurre le barriere sugli scambi fra le due unità economiche. Un ostacolo è rappresentato dalla differenza tra le norme di sicurezza e i requisiti che deve possedere un veicolo per essere venduto nell'UE e negli USA. Testare la stessa marca / modello in entrambi i regimi e adattare il design a ciascuno dei due può essere costoso, e la negoziazione di standard comuni può essere difficile e dispendiosa in termini di tempo, questo approccio è chiamato armonizzazione.

Un'alternativa all'armonizzazione che richiede la modifica degli attuali standard punto per punto è un "riconoscimento reciproco". In base a questa soluzione, i veicoli che soddisfano i regolamenti dell'UE saranno riconosciuti per la vendita negli Stati Uniti, e i veicoli che soddisfano i regolamenti statunitensi saranno riconosciuti per la vendita nell'UE.

Per giustificare il riconoscimento reciproco, è utile (o forse addirittura necessario) dimostrare che la sicurezza nei veicoli regolamentati nell' UE e negli USA è essenzialmente equivalente. I negoziati commerciali TTIP hanno analizzato i dati relativi agli incidenti per confrontare il rischio di incidenti stradali di veicoli statunitensi ed europei. Per fare ciò, è stata proposta una metodologia per indagare sull'ipotesi che i veicoli conformi agli standard di sicurezza dell'UE si comportino in modo equivalente ai veicoli regolamentati dagli Stati Uniti nell'ambiente di guida degli Stati Uniti e che i veicoli che soddisfano gli standard di sicurezza statunitensi si comportino in modo equivalente ai veicoli regolamentati UE nell'ambiente di guida dell'UE.

Una sfida chiave nella valutazione delle prestazioni di sicurezza per i veicoli regolamentati nell' UE e negli USA è che i due tipi di veicoli sono guidati in diversi ambienti di guida e i dataset sugli incidenti contengono solo un gruppo di veicoli (europeo o statunitense). Se un veicolo viene spostato in un altro ambiente di guida, le sue caratteristiche di rischio vengono portate con sé, ma l'esposizione a diverse caratteristiche di collisione cambia con il cambiamento dell'ambiente. È pertanto stato necessario separare il rischio all'esposizione.

Le analisi relative alla sicurezza passiva e agli standard di prevenzione degli incidenti sono state eseguite separatamente utilizzando diversi dataset e diversi protocolli poiché né dataset sugli incidenti USA né quelli dell'UE consentono un confronto diretto del rischio nei due gruppi di veicoli.

I dataset analizzati sono CARE per l'UE e il NASS-CDC per gli USA.

L'approccio scelto per analizzare la sicurezza passiva è stato quello di sviluppare modelli statistici di rischio di lesione per veicoli regolamentati dall'UE e veicoli regolamentati dagli Stati Uniti e quindi confrontare le previsioni di questi modelli sulla popolazione europea in e sulla popolazione americana. Ciò consente di separare il rischio (che è influenzato dalle normative relative alla sicurezza passiva) dall'esposizione (la raccolta di incidenti verificatisi dagli occupanti in ciascuna regione). Non è utile o appropriato confrontare il rischio di lesione dei veicoli statunitensi all'interno della popolazione degli Stati Uniti al rischio di lesioni nei veicoli dell'UE all'interno della popolazione dell'UE, poiché il rischio di lesione totale in ciascuna regione è una combinazione di rischio ed esposizione.

Nelle analisi è stato usato l'indice AIS (*Abbreviated Injury Scale*) per la codifica degli infortuni e il CDC (*Crash Damage Classification*) per la codifica dei danni in tutti i dataset. L'armonizzazione di altri predittori è stata effettuata caso per caso. Uno sforzo di armonizzazione significativo è stato fatto per assicurare che la metodologia per determinare il Delta-V fosse comparabile.

I dataset europei vengono campionati in base a dei protocolli diversi, tuttavia, sono stati sviluppati pesi e metodi di ponderazione per ciascuno di essi per adeguare i campioni alle statistiche di ogni nazione.

2.4 Analisi sui costi e i vantaggi sulla conformità delle normative UE e USA

Il gruppo CAR (Center for Automotive Research) ha fatto delle analisi per capire quanto costa la conformità delle normative degli Stati Uniti e dell'UE. La maggior parte dei produttori di automobili cerca di vendere veicoli, preferibilmente gli stessi veicoli, in quanti più mercati possibili. A causa delle differenze nelle normative sulla sicurezza in vigore negli Stati Uniti e nell'Unione Europea tuttavia, i produttori di automobili sono tenuti a fabbricare versioni distinte di ciascun modello di veicolo per conformarsi al regime normativo in vigore in ciascun mercato.

I ricercatori CAR hanno stimato i costi di conformità con le normative sulla sicurezza degli Stati Uniti e dell'UE. Il team di ricerca ha esaminato tutti i dati del settore per identificare tutti i programmi di veicoli in tutto il mondo che includono modelli di veicoli disponibili per la vendita sia nel mercato europeo che statunitense, trovando un totale di 172 programmi.

Nel 2014, attraverso i mercati europei e statunitensi, le vendite dei veicoli rappresentate da questi 172 programmi ammontavano a 16,6 milioni di veicoli venduti. CAR ha calcolato il costo totale derivante dalla divergenza nei regolamenti di sicurezza e questo era compreso tra 3,3 miliardi di dollari e 4,2 miliardi di dollari nel 2014. Questi costi sono significativamente maggiori rispetto ai costi imposti dalle tariffe sul commercio dei veicoli tra gli Stati Uniti e Unione Europea; eliminando i costi associati a questa divergenza normativa si otterrebbero benefici maggiori a quelli che si otterrebbero dall'eliminazione delle tariffe.

Esaminando le differenze tra le normative FMVSS e UNECE si è visto che queste portano alla produzione di versioni diverse su ciascun modello di veicolo, al fine di conformarsi al mercato di vendita. Nello specifico, sono necessarie numerose modifiche ai veicoli per consentire a un veicolo venduto in Europa di essere venduto anche negli Stati Uniti e viceversa. Queste modifiche includono modifiche alla componentistica, ai sottosistemi dei veicoli e alla progettazione di base dei veicoli. I costi dovuti alla conformità hanno causato delle perdite nella vendita, da 110.000 a 139.000 in soli gli Stati Uniti nel 2014. Queste hanno avuto un forte impatto negativo sia per i fornitori sia per i consumatori.

Il riconoscimento reciproco delle normative USA-UE porterebbe a significativi risparmi sui costi sia per le industrie che per i consumatori sia negli USA sia in EU. La CAR raccomanda inoltre che le future normative considerino l'armonizzazione sin dal loro inizio.

3 Principi sulla sicurezza passiva del veicolo (approccio biomeccanico)

3.1 Introduzione

Il concetto di sicurezza passiva riguarda tutti quei sistemi utili per limitare i danni agli occupanti nel caso di un urto.

La sicurezza del traffico stradale coinvolge tre fattori di rischio:

- Ambiente (influenza per il 7-10%): include tutti i fattori legati alla progettazione delle strade, a livello di illuminazione, allo stato in cui sono tenute le carreggiate e alle condizioni meteorologiche;
- Veicolo (influenza per il 3-5%): include le caratteristiche costruttive della vettura e i dispositivi di sicurezza implementati. Qui, la sicurezza stradale può ancora essere suddivisa in: sicurezza attiva, sicurezza preventiva e sicurezza passiva;
- Uomo (85-90%): include lo stato di attenzione del guidatore e le sue condizioni psicofisiche nel momento in cui è alla guida. [4]

I dispositivi ed i sistemi di sicurezza passiva hanno lo scopo di diminuire le conseguenze negative dell'incidente, una volta che questo si sia verificato. In particolare, hanno il compito di assorbire l'energia cinetica posseduta dai corpi degli occupanti del veicolo, in modo che essi non urtino, o urtino a velocità inferiore, contro le strutture del veicolo o contro il suolo. La gestione dell'energia cinetica posseduta dal veicolo e dai suoi occupanti al momento dell'urto è quindi il campo di applicazione tipico dei dispositivi di sicurezza passiva e l'oggetto principale delle ricerche che la riguardano. [17]

La sicurezza passiva tratta argomenti importanti: statistiche sugli incidenti, biomeccanica degli infortuni, che sono decisivi per lo studio degli incidenti, i consumer test e i criteri di protezione, e infine i crash test. Particolare attenzione viene data ai manichini, con i quali è possibile misurare i potenziali carichi su una persona in un incidente. Altro argomento importante riguarda i principi di base della protezione degli occupanti, i componenti dei sistemi di protezione. [18]

3.2 Scale di severità di lesione

Nello studio degli incidenti è fondamentale fare delle valutazioni che riguardano i danni biologici, che serviranno a valutare l'efficacia dei sistemi di sicurezza. A tal fine, sono state definite delle scale di lesione.

Le scale di severità di lesione si dividono in tre tipologie:

- tendenzialmente anatomiche;
- tendenzialmente fisiologiche;
- altri particolari criteri di severità

Le prime due tipologie sono mediche, la biomeccanica si interessa alle scale che appartengono al terzo gruppo.

Abbreviated Injury Scale (AIS) è usato nella medicina legale per definire la severità di una singola lesione di un infortunato nel caso in cui avviene un urto. È stata sviluppata nel 1960 da un gruppo di 75 specialisti provenienti da tutto il mondo ed è stata introdotta nel 1971, ed è stata aggiornata fino al 2005.

La lesione è classificata in base a una scala da 1 a 6. Al valore 1 corrisponde una lesione di gravità minore e all'aumentare del punteggio, la gravità è maggiore. Al punteggio di 6, la vittima non ha possibilità di sopravvivenza.

In seguito è riportata una tabella che descrive tutto in maniera dettagliata a seconda della regione corporea interessata.

AIS	Testa e collo	Torace e colonna toracica	Addome e colonna lombare	Arti e bacino
1	Ferite alla testa con vertigini; intontimento senza perdita di coscienza; dolori alla colonna cervicale senza fratture o	Sollecitazioni alla colonna toracica.	Sollecitazioni alla colonna lombare.	Distorsioni, lussazioni o fratture alle dita.

	lussazioni; abrasioni o contusioni del''apparato visivo;fratture composte del naso; fratture o distaccamento dei denti.			
2	Commozione cerebrale con o senza frattura del cranio; stati di incoscienza breve; fratture del cranio senza perdita di conoscenza;fratt ure delle ossa facciali e scomposte del naso;lacerazione delle cornee e della sclera.	Fratture alle singole costole senza limitazioni alla respirazion e; fratture composte allo sterno e lesioni alla cavità toracica senza emotorace, pneumotora ce o limitazioni alla respirazion e.	Compressione delle vertebre (L1-L5).	Fratture composte delle ossa lunghe, di mani e piedi; distorsioni alle articolazio ni maggiori; amputazio ne delle dita.
3	Commozione cerebrale con o senza fratture	Lesioni alla cavità toracica	Contusioni agli organi addominali;	Fratture scomposte delle ossa

	<p>craniche; stati di incoscienza lunga; fratture scomposte delle ossa facciali e con cavità; fratture della colonna cervicale senza danni al midollo.</p>	<p>con emotorace e pneumotorace unilaterali; contusioni polmonari; fratture alla colonna toracica ed alle costole.</p>	<p>rottura del diaframma, distacco dell'uretere, lacerazioni allo stomaco; frattura della colonna lombare senza implicazioni neurologiche.</p>	<p>lunghe, del bacino con o senza disarticolazioni; lussazioni delle articolazioni.</p>
4	<p>Commozione cerebrale con o senza fratture craniche; incoscienza < 12 ore; fratture scomposte della scatola cranica con danni neurologici; lesioni sinoarteriose con formazione di trombi.</p>	<p>Perforazione del torace; fratture delle costole con lesioni interne; Pneumodiastino e emodiastino; lesioni a miocardio ed alla superficie dei polmoni.</p>	<p>Lacerazione superficiale degli organi addominali; rottura dello stomaco, milza e mesentero; distacco dei genitali; frattura della colonna lombare con danni ai nervi.</p>	<p>Amputazione degli arti; fratture multiple delle ossa lunghe.</p>

5	Commozione cerebrale con o senza fratture craniche; incoscienza > 12 ore; emorragie intercraniali; lesioni alla colonna cervicale con danni al midollo; ostruzione delle vie respiratorie	Lesioni toraciche con maggiori difficoltà respiratorie ; distacco della trachea e lacerazioni dell'aorta; rottura del miocardio.	Rotture o lacerazioni estese degli organi e dei vasi; distacco dei reni.	
6	Decapitazione parziale o completa; estrusione del cervello; lacerazione al midollo e distacco dalla colonna cervicale.	Resezione del tronco con fratture massive del torace; Rottura del miocardio con perforazione	Resezione del tronco.	

Tab. 1 Significato dei valori dell'AIS (Abbreviated Injury Scale)

L'AIS relativo alla singola lesione è associato a 4 valori:

X1 X2 X3 X4 . X5

X1 è legato alla regione corporea che interessa la lesione;

X2 è legato alla struttura anatomica;

X3 è legato all'organo interessato;

X4 è legato al tipo di lesione;

I valori X1,X2,X3,X4 vengono stabiliti facendo riferimento ad apposite tabelle ben dettagliate; il valore X5 viene scelto in base alla gravità della lesione. In genere per valori di

pericolosità critica(con probabilità di morte pari al 50%) si attribuisce valore 5. Il valore 6 generalmente si associa ad una lesione mortale. Infine il valore 9 si usa quando la lesione è talmente scomposta da essere di impossibile classificazione. [4]

AIS è diventato un riferimento universale nell'analisi degli incidenti stradali, nella valutazione dell'efficacia dei sistemi di sicurezza e nella motivazione dei limiti biomeccanici specificati nelle normative e nei rating. [1]

Il massimo valore di AIS è noto come MAIS (*Maximum Abbreviated Injury Scale*) ed indica il danno più grave che un paziente ha subito. [19]

Injury Severity Score (ISS) è un indice usato per ottenere una valutazione globale della compromissione dello stato di salute del paziente.

Per ricavare il valore ISS di un paziente si individuano dapprima i valori di AIS più alti riguardo a 6 regioni del corpo in particolare:

1. Capo e collo;
2. viso;
3. addome + rachide;
4. torace + rachide;
5. arti and bacino;
6. altri traumi.

Tra questi valori individuati si selezionano I 3 maggiori (AIS₁, AIS₂, AIS₃), dunque il valore di ISS sarà dato da:

$$ISS= AIS^2_1 + AIS^2_2 + AIS^2_3$$

Il valore di ISS va da 1 a 75. ISS pari a 75 decretano praticamente la totale fatalità di qualsiasi intervento medico (il paziente è talmente compromesso che ha altissime probabilità di morte).

Se almeno uno dei 3 AIS è pari a 6, si impone automaticamente il valore di ISS pari a 75. [4]

3.3 Criteri di lesione

Per migliorare il rischio delle lesioni negli organi del corpo sono stati definiti dei criteri di lesione. Identificare un criterio di lesione significa individuare un parametro fisico misurabile

con opportuni dispositivi che sia associabile alla severità di lesione di un arto in particolare. [4]

I criteri di lesione vengono applicati prevalentemente nell'ambito dei crash test. In questo tipo di test vengono utilizzati dei manichini che sono descritti in seguito. Per ottenere i criteri di lesione vengono eseguite delle prove distinguendo la direzione dell'urto: frontale, laterale e posteriore.

TESTA

L'unico criterio per la determinazione dei danni alla testa ammesso dalla NHTSA, secondo la normativa FMVSS n° 208, è l'indice HIC (*Head Injury Criterion*). [20]

$$HIC = g_m^{2,5} \times \int_{T_1}^{T_2} (g^* dt)^{2,5} \times (T_2 - T_1)$$

g_m = decelerazione media effettiva.

La tolleranza umana è stabilita per valori di $HIC_{36} \leq 1000$; questa condizione ha validità in tutta Europa.

Devono essere considerati dei $\Delta t \leq 36$ ms e le prove sono eseguite su manichini Hybrid III 50th % ile maschio.

Si sta manifestando l'esigenza di non limitare l'approccio biomeccanico alla sicurezza delle vetture al 50%ile maschio, ma estenderlo all'intera popolazione esposta al rischio (Bambini 1, 3, 6 anni; Donna 5%ile, Maschio 95%ile).

Questo però contrasta con la mancanza degli specifici dati sperimentali biomeccanici.

Per risolvere questo problema, recentemente si è orientati all'utilizzo di "Scaling Techniques". Questa tecnica, partendo dai noti criteri di prestazione di un manichino della famiglia (es. H3 50%ile Maschio), consente di calcolare gli ignoti criteri di prestazione degli altri manichini, purchè si conoscano i fattori di scala che legano fra di loro alcune grandezze fondamentali.

COLLO

Per il collo esistono tre diversi criteri di lesione:

1. Criteri relativi ai singoli meccanismi di lesione: ciascuna sollecitazione del collo (trazione, flessione, torsione, compressione, taglio ecc.) viene considerata singolarmente e viene paragonata con il rispettivo valore di soglia oltre il quale si ha rottura. Questo criterio non è generalmente molto affidabile, perché l'azione di più sollecitazioni di diversa natura che agiscono simultaneamente sul collo è considerata dannosa anche se, prese singolarmente, non hanno intensità troppo elevate.

2. Criteri legati all'interazione dei meccanismi di lesione nel piano (x, z). Viene mostrato sperimentalmente che l'applicazione simultanea di forze assiali (trazione o compressione) e momenti (flessione o estensione) riduce la tolleranza umana. Pertanto, le forze assiali (trazione o compressione) e i momenti (flessione o estensione) vengono utilizzati per calcolare 4 criteri combinati di lesione che corrispondono ai 4 principali meccanismi combinati di lesione cervicale che sono di:

- Trazione - estensione (NTE)
- Trazione - flessione (NTF)
- Compressione - estensione (NCE)
- Compressione - flessione (NCF)

3. Criterio fluidodinamico di lesione : si sfrutta il valore NIC (Neck Injury Criterion)

$$NIC = (a_r \times L + V_r^2)$$

a_r = componente longitudinale dell'accelerazione

$$V_r = \int_0^T a_r dt$$

L = lunghezza del collo (0,2 m per Hybrid III 50th %ile maschio)

Si ha tolleranza fino a $NIC \leq 15 \frac{m^2}{s^2}$

Per questo tipo di prova viene adoperato un manichino BIO-RID (Rear Impact Dummy).

Questi manichini sono molto sensorizzati a livello del collo e della testa.

TORACE

Il torace viene considerato sotto due diversi ambiti: urto frontale e urto laterale.

a) *Urto frontale:*

1. Criterio per lesioni interne e fratture al torace

- Criterio di lesione : il valore massimo di accelerazione è quello relativo all'intervallo di 3 ms e il valore di riferimento è 60 g.

- Tolleranza umana (AIS ≤ 3 and 50% ile M):

$60 * g * 3ms (\nabla t_{60g} \leq 3ms) \rightarrow$ Criterio di prestazione attualmente richiesto in USA.

2. Criterio per la rottura delle costole:

Schiacciamento a carico concentrato ≤ 50 mm (criterio di prestazione attualmente richiesto in Europa) e a carico distribuito $\leq 76,2$ mm (criterio di prestazione attualmente richiesto in USA)

3. Criterio per le lesioni interne e la rottura delle costole:

- Criterio di lesione : (criterio viscoso) $VC = \left[\frac{x(t)}{k} \times \frac{dx(t)}{dt} \right]_{\max}$

$k=0,229$ m $x(t)$ = flessione costole

- Tolleranza umana (AIS ≤ 3 and 50% ile M): $VC_{\max} \leq 1$ m/s (criterio di prestazione attualmente richiesto in USA)

4. Combined Thorax Index (CTI) tiene conto contemporaneamente dell'accelerazione del torace e dello schiacciamento dello sterno.

b) *Urto laterale*:

Esistono più criteri di lesione relativi all'urto laterale:

1. Criterio per la rottura delle costole:

-Criterio di lesione: deflessione dell'emitorace

- Tolleranza umana (AIS <3) $\leq 30\%$ emitorace (= 42 mm per 50%ile Maschio)

2. Criterio per le lesioni interne e la rottura delle costole.

3. Anche per gli urti laterali viene utilizzato il criterio viscoso che è simile a quello frontale, con $k=0,140$ m

4. Thoracic Trauma Index (TTI) tiene conto dei picchi di accelerazione delle costole inferiore e superiore e dell'accelerazione della vertebra T12

ADDOME

Anche in questo caso le considerazioni vengono fatte distinguendo gli urti frontali e laterali.

Urto frontale

Tolleranza umana:

- Carico su cintura addominale ≤ 3.5 kN con un'intrusione antero-posteriore ≤ 39 mm (non recepito in alcuna legge).

- Scavalco della cresta iliaca (fenomeno di submarining): tale fenomeno si incontra nell'ambito di sinistri stradali. In particolare in conseguenza ad un impatto frontale, può avvenire che il conducente dotato di cintura di sicurezza, scivoli al di sotto della cinghia addominale. Quest'ultima, incastrandosi al di sopra della cresta iliaca, può generare danni di

natura anche piuttosto grave: lacerazione di organi interni, rottura del diaframma e altri tipi di compromissioni. Per ovviare a tale rischio, nei limiti dell'ergonomicità del sedile, si evita di progettare sedili eccessivamente morbidi tali da consentire, in situazioni limite, lo sprofondamento del conducente. Si cerca dunque di mantenere un certo grado di rigidità nella parte inferiore del sedile.

Urto laterale

Tolleranza umana : $F_{max} < 450 \text{ daN}$ (forza misurata esternamente).

Compressione $< 28\%$ (=40 mm per 50% ile maschio)

Criterio di prestazione: $F_{max} < 250 \text{ daN}$ (forza misurata internamente) ad una compressione di 40 mm.

(EUROSID
European side-impact
dummy)

BACINO

È valutata la compressione sulla sinfisi pubica.

Urto laterale

Tolleranza umana : F_{max} (sinfisi pubica) $< 10 \text{ kN}$ (riferita al 50% ile Maschio)

Criterio di prestazione: F_{max} (sinfisi pubica) $\leq 6 \text{ kN}$

(EUROSID,
European side-impact
dummy)

Complesso ROTULA/FEMORE/BACINO

Viene considerato questo complesso a causa della compressione che può agire sul ginocchio che può causare la frattura della rotula, del femore e del bacino.

Urto frontale

- Criterio di lesione: forza compressione femore
- Tolleranza Umana : $F_{max} \leq 10 \text{ kN}$
- Criteri di prestazione :
 - USA : $F_{max} \leq 10 \text{ kN}$ per H3 50% ile M
 - UE : $F_{max} \leq 9,07 \text{ kN}$ per H3 50% ile M
 - USA(2003): $F_{max} \leq 6,8 \text{ kN}$ per H3 50% ile F

TIBIA

Si valutano due possibili sollecitazioni: la compressione e la combinazione di compressione e flessione. La seconda, è indicata come TI (*Tibia Index*), si calcola come valore massimo dell'espressione:

$$\text{T.I. (Tibia Index)} = \frac{M_r}{M_{rc}} + \frac{F_z}{F_{zc}}$$

Dove F_z = forza di compressione in funzione del tempo; M_r = momento risultante in funzione del tempo; M_{rc} =è il momento risultante critico pari a 225 Nm; F_{zc} = forza di compressione critica pari a 35,9 kN. Il valore di riferimento è 1,3. Inoltre esiste un limite sulla sola F_z che deve essere inferiore/uguale a 8kN. [1]

3.4 Manichini Antropomorfi

Per misurare il rischio di lesioni vengono utilizzati dei manichini che sono in grado di riprodurre alcune caratteristiche del corpo umano, questi sono fondamentali nello studio dei parametri biomeccanici che sono stati descritti nel precedente paragrafo. Essi vengono utilizzati nei crash test per lo studio degli incidenti stradali e lo sviluppo di vetture più sicure.

Caratteristiche essenziali di un manichino da utilizzare in prove d'urto:

- Biofedeltà: devono riprendere le caratteristiche antropomorfe
- Sensibilità: devono essere sensibili alle opportune sollecitazioni a cui sono sottoposti;
- La ripetibilità è il grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando (la grandezza oggetto di misurazione), quando le singole misurazioni sono effettuate lasciando immutate le condizioni di misura. In particolar modo, le misure devono rispettare le seguenti condizioni:
 - deve essere mantenuto lo stesso metodo di misurazione;
 - devono essere effettuate dallo stesso operatore;
 - devono essere effettuate con lo stesso strumento di misura;
 - devono essere fatte nel medesimo luogo;
 - devono essere effettuate con le medesime condizioni di utilizzo dello strumento e del misurando;
 - devono essere effettuate in un breve periodo.
- Durevolezza: devono poter essere riutilizzati per più prove successive;

- La riproducibilità è il grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando (la grandezza oggetto di misurazione), quando le singole misurazioni sono effettuate cambiando una o più condizioni. Ad esempio:
 - modificando il metodo di misurazione;
 - sostituendo l'operatore alla misura;
 - sostituendo lo strumento di misura;
 - spostandosi in altro luogo;
 - modificando la condizione di utilizzo dello strumento o del misurando;
 - effettuando misure in tempi più o meno lunghi.

Tipi di manichino

I manichini per uso automobilistico sono stati pensati per uno specifico tipo di urto in modo da ottenere migliori risposte dinamiche. Inizialmente sono stati sviluppati manichini adatti solo per studiare gli effetti degli urti frontali, successivamente, due decenni dopo, manichini utilizzabili per urti laterali, e infine, negli anni Novanta, quelli dedicati agli urti posteriori. [4]

Urto frontale

I modelli più diffusi sono Hybrid III 50 % ile (che rappresentano ovvero le proprietà fisionomiche del 50% della popolazione).

Il manichino viene strumentato in questi test per verificare le seguenti lesioni: l'accelerazione della testa, la tensione, il piegamento e la rotazione del collo. L'accelerazione e la compressione del torace, l'accelerazione del bacino, la compressione del femore, la pressione sulle ginocchia, la pressione sulla tibia, e l'integrità di caviglie e piedi. Le braccia non vengono strumentate, per via del movimento incontrollato che subiscono durante i test frontali. [21]

Esistono 95% ile, 5% ile e i manichini usati per i bambini (1y, 3y, 6y in USA; Q1.5, Q3, Q6, Q10 in UE). Molte delle caratteristiche dei manichini per bambini sono state ottenute scalandole da quelle degli adulti.



Figura 10 Manichino Hybrid III

A partire dal 2020, l'EuroNCAP introdurrà la nuova generazione di manichini per urto frontale chiamata Thor. È un manichino 50% ile e presenta caratteristiche avanzate e strumentazione ampliata rispetto all'Hybrid III, la colonna vertebrale e il bacino consentono al manichino di assumere diverse posizioni.



Figura 11 Manichino Thor

Urto laterale

In questo tipo di crash vengono usati i modelli EUROSID 2 (ES-2) in UE. [21] l'ES-2 riesce a fornire indicazioni precise sulle seguenti parti di rilevazione: accelerazione della testa, tensione, piegamento e rotazione del collo, compressione e velocità di compressione delle costole, pressione sull'addome e pressione sul bacino.

Negli USA lo stesso modello è dotato di Rib Extension, nella semplice Rib la costola è

costituita da una forma a C e copre una parte della gabbia toracica, nella versione Extension si estende la costola fino alla parte posteriore della spina.



Figura 12 Manichino ES2

Un altro tipo di manichino per urto laterale è il SID-II's che rappresenta una donna adulta di piccola statura o un adolescente. Pesa solo 45 kg, pensato per lo sviluppo dei side bag, in particolare per valutare i rischi in caso di OOP (*Out Of Position*) ma poi utilizzata per valutare le sollecitazioni sulle caratteristiche del 5%-ile

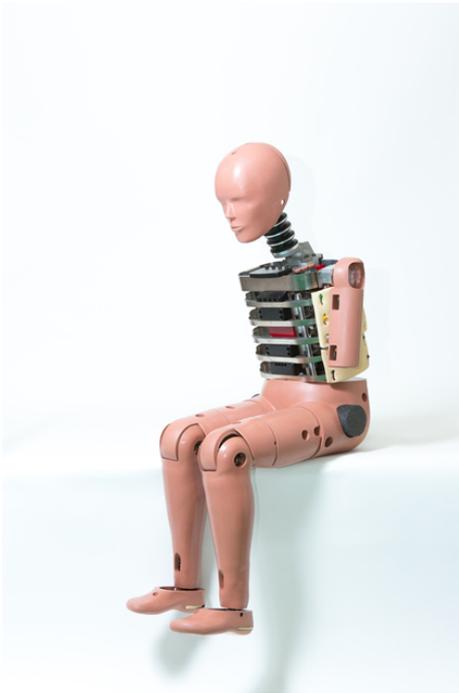


Figura 13 Manichino SIDII's

Ultimamente si sta introducendo, nell'ottica di armonizzazione dello standard mondiale dei manichini per gli impatti laterali, il manichino chiamato WorldSID. E' stato progettato come uno strumento versatile utile a simulare il corpo umano in un numero elevato di tipologie di impatto laterale le cui caratteristiche antropomorfe riflettono la media della popolazione mondiale (mentre i manichini precedenti fanno riferimento alle medie dei paesi industrializzati).

La testa e il collo del manichino sono dotati di accelerometri e celle di carico sulle vertebre di giunzione. Sulla spina dorsale di acciaio sono presenti 1 costola sulle spalle, 3 costole toraciche e 2 costole addominali, che misurano la compressione. Sull'articolazione della spalla c'è una cella di carico che misura la compressione. Ogni costola è dotata anche di accelerometro per misurare l'accelerazione della spinta.

Per verificare le lesioni sofferte al bacino sono utilizzate celle di carico sulla zona dell'acetabolo e in quella iliaca, un accelerometro per misurare la velocità della spinta sempre nella zona sacrale e due celle di carico per la pressione in zona lombare.

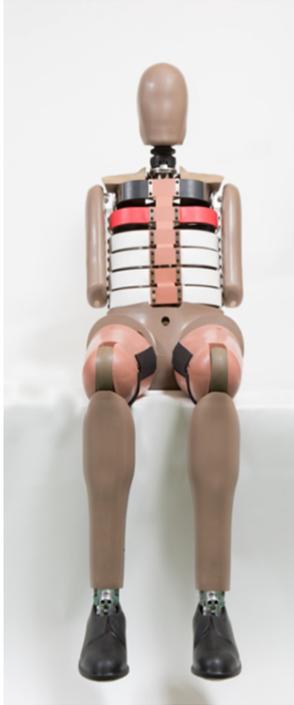


Figura 14 Manichino WorldSID

Urto posteriore

BioRID-II(Rear Impact Dummy) che viene usato per lo più per i test inerenti ai criteri di lesione sul collo per valutare il colpo di frusta. All'interno del manichino si trova una ricostruzione fedele della colonna vertebrale, 24 vertebre, di cui 5 lombari, 12 toraciche e 7 cervicali. Le vertebre sono intervallate da una speciale gomma che simula la resistenza alla torsione e alla flessione delle vertebre umane, un sistema di elastici ricrea anche la resistenza della muscolatura umana. Durante l'impatto vengono registrati gli spostamenti dalla testa all'ultima vertebra, sia come accelerazione, angolatura e pressione. La combinazione delle letture determinerà il pericolo di subire il colpo di frusta durante l'impatto.



Figura 15 Manichino BioRID-2

3.5 I crash test

Per valutare la sicurezza di un veicolo vengono eseguiti dei crash test che sono un tipo di prova di tipo distruttivo e questi sono prescritti da specifiche normative che vengono discusse nel Capitolo 4. Per lo sviluppo di un nuovo modello di automobile, devono essere fatti numerosi crash test e oltre a questi, test su slitta e test su componenti. Questi tipi di test rientrano nella categoria “test di laboratorio”.

Molte prove sono eseguite dai costruttori sia nella fase di sviluppo sia nella fase di verifica omologativa ma esistono laboratori privati e certificati nei quali possono essere eseguiti i test di laboratorio su commissione.

I crash test vengono fatti per tipo di urto, e a seconda del tipo vengono eseguiti con delle procedure diverse descritte dalle normative.

I crash test sono delle simulazioni di urti, ed importante considerare il fatto che la realtà è ben più complessa. Gli urti contro corpi rigidi come muri o pali sono prodotti molto bene perché l'oggetto in questione è facilmente simulabile, più difficile è creare le condizioni che simulino lo scontro tra due autovetture, perché sono da tenere in considerazione diversi fattori come ad esempio la geometria, la struttura, l'angolo di impatto etc. È stato quindi opportuno definire dei protocolli di prova che fossero capaci di rappresentare condizioni di urto significative e dettate da opportune analisi incidentologiche. Da queste analisi i miglioramenti tecnologici

apportati ai veicoli negli ultimi anni hanno offerto un reale vantaggio ai consumatori, riducendo il numero di infortuni (lesioni gravi e gravissime) a seguito di un incidente stradale.

Una possibile classificazione dei crash è quella basata sulle seguenti macro-aree:

- protezione occupanti (adulti e bambini);
- protezione dei pedoni;
- valutazione delle tecnologie di assistenza alla guida (Safety Assist). [22]



Figura 16 Esempio di crash test, Centro Sicurezza Fiat

Le prove di crash utilizzate dai principali centri di ricerca sulla sicurezza automobilistica vengono svolte nelle piste di crash utilizzando dei veicoli strumentati con celle di carico, estensimetri, accelerometri etc. I test prevedono la collisione con barriere rigide mediante dispositivi meccanici o radioguide.

Oltre i crash test esistono diversi tipi prove che simulano gli urti e tra queste ci sono quelle che utilizzano le slitte e le catapulte. Esse sono utilizzate per lo studio di impatti secondari (sono quegli impatti che tengono conto del movimento del manichino all'interno della vettura). Il manichino viene alloggiato nell'abitacolo della vettura (sedile, volante, arredi

interni etc.) e l'abitacolo è montato su una slitta. Le slitte sono spinte da motori ad induzione lineare o da dispositivi pneumatici e possono raggiungere velocità fino a 90 km/h.



Figura 17 Slitta SESA, Centro Sicurezza Fiat

Altri tipi di prove sono quelli di caduta libera e sono test concepiti per simulare collisioni frontali e sono attualmente utilizzati per studiare l'effetto di carichi verticali nelle situazioni di capottamento dell'autovettura. Il test del pendolo è un test utilizzato per verificare i paraurti, è utilizzato un carico concentrato generato da un pendolo oscillante.

Sono stati descritti i principali test di laboratorio, la maggior parte di questi sono descritti dalle normative europee e americane.

4 Database incidentologici: IGLAD E NASS

Per fare analisi statistiche in-depth, sono stati creati database che contengono dati armonizzati che riguardano incidenti stradali appartenenti a diversi Paesi, allo scopo di avere una raccolta di dati standardizzati che possono essere elaborati e analizzati. Nei paragrafi seguenti sono descritti due banche dati, IGLAD (*Initiative for the Global Harmonization of Accident Data*) e NASS (*National Automotive Sampling System*), che raccolgono dati sugli incidenti stradali. IGLAD si occupa di dati che appartengono a diversi Paesi nel mondo, NASS si occupa della raccolta di incidenti avvenuti nei solo Stati Uniti.

4.1 Database globale IGLAD

IGLAD è nato per creare una banca dati globale che contiene informazioni dettagliate sugli incidenti al fine di ridurre il numero, specialmente di quelli con feriti gravi e morti. Mira a creare un uniforme database in-depth incidentologico e si basa su altri database esistenti ed è aggiornato annualmente.

IGLAD contiene incidenti dal 2007 al 2015 è stato utilizzato per analizzare le distribuzioni per ogni tipo di incidente, la presenza di sistemi di sicurezza, le caratteristiche, in base alla gravità, degli infortuni per ciascun Paese e fornire confronti tra i Paesi. L'obiettivo del progetto è quello di costruire un database di cosiddetti dati approfonditi sugli incidenti a livello internazionale.

Mentre la maggior parte dei Paesi in tutto il mondo fornisce statistiche nazionali di base al numero di vittime della strada o di feriti, i dati approfonditi forniscono dettagli sui singoli casi, sul loro ambiente, sui partecipanti, sulle collisioni, sugli infortuni e sui sistemi di sicurezza (ad esempio utilizzo della cintura per conducente, airbag, sistema di sicurezza attivo). Fino ad allora, nessun dato poteva essere confrontato tra i diversi Paesi in tutto il mondo o addirittura non esistevano dati dello stesso formato.

IGLAD è stato avviato dalla ACEA (*Association des Constructeurs Européens d'Automobiles*), e diversi istituti di ricerca ed è stato presentato come gruppo di lavoro presso il FIA Mobility Group nell'ottobre 2010. Questo progetto è stato supportato da FIA (*Fédération Internationale de l'Automobile*) e ACEA.

Nella prima riunione del gruppo di lavoro IGLAD del marzo 2012 si è discusso sullo schema comune di dati da adottare e le misure necessarie per rendere l'insieme di dati standardizzato. È stato elaborato un sistema comune di dati ed è stato condotto uno studio pilota nel quale ciascun fornitore di dati ha dovuto convertire una piccola serie di incidenti nella versione voluta dal gruppo. I nove paesi partecipanti allo studio pilota erano: USA, India, Germania, Svezia, Francia, Spagna, Austria, Polonia e Italia.

La prima fase del progetto è stata avviata a partire dal 2012 e l'obiettivo era costruire un database con almeno 100 casi per Paese. È stato finanziato dall' ACEA ed è terminato nel 2014 con un dataset di 1550 casi provenienti da 10 paesi.

Dal 2014 ha preso avvio la fase 2 del progetto. Da qui in poi, il progetto è autonomo con una propria struttura. È stato istituito un amministratore che si occupa del corretto flusso di dati e delle risorse finanziarie. Il progetto fornisce un gruppo direttivo, che è responsabile delle decisioni, un gruppo di lavoro tecnico che si occupa della manutenzione del database, dello schema, del controllo e del miglioramento della qualità e della coerenza. I membri possono acquistare dati e i fornitori di dati consegnare dati.

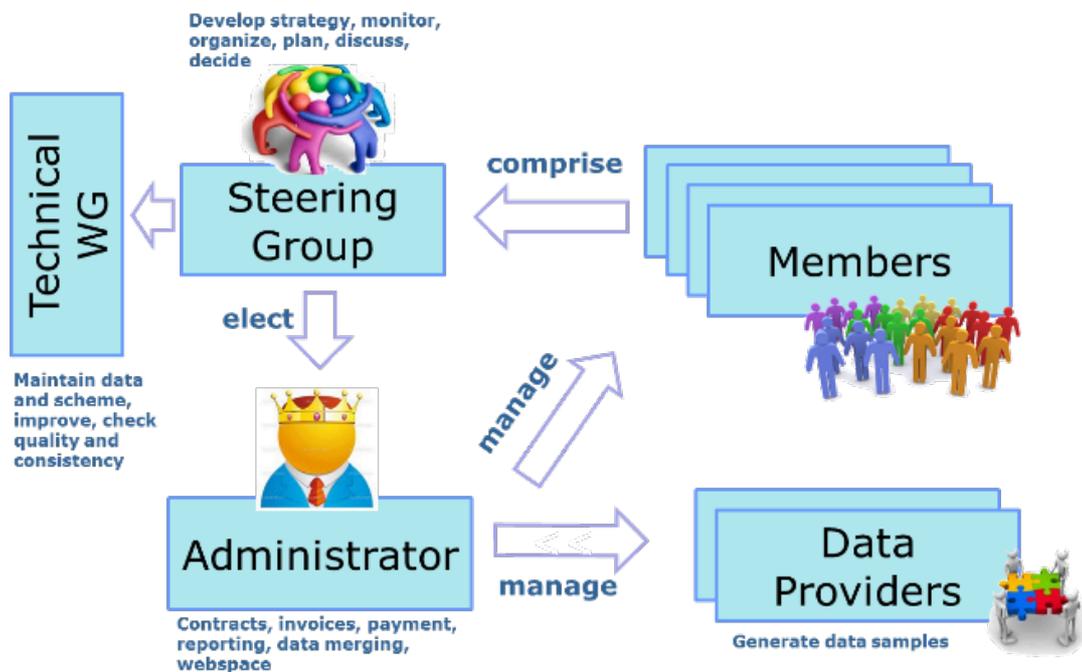


Figura 18 Struttura organizzativa della fase 2 (2014 - 2016).

IGLAD è un'iniziativa senza fini di lucro e per scopi di ricerca e in cui deve esistere un equilibrio tra i fornitori e i membri.

La fase 1 è stata migliorata utilizzando il software Unidato come unico strumento per ottenere dati.

Alla fine della fase 2 il database totale comprende circa 3 mila casi da 11 diversi paesi.

I 12 fornitori di dati che hanno fornito dati appartengono a diverse parti del mondo: VUFO GmbH e BAST (Germania), Applus IDIADA Group (Spagna e Repubblica Ceca), Uni Firenze (Italia), Uni Adelaide (Australia), JP Research (India), NHTSA (USA), LAB (Francia), SAFER (Svezia), VSI presso l'Università di Tecnologia di Graz (Austria) e SHUFO (Cina), CATARC ha in seguito aderito come fornitore aggiuntivo della Cina.

Ci sono anche due fornitori pianificati per la terza fase ma ce ne saranno altri in futuro e uno di loro fornirà dati del Brasile, questo apre l'accesso ai dati sugli incidenti nel Sud America come nuovo continente. Inoltre, la Corea, che è un Paese importante nella regione asiatica, e sta per aderire ai dati del KATRI, che sarà anche raccolto secondo lo standard IGLAD.

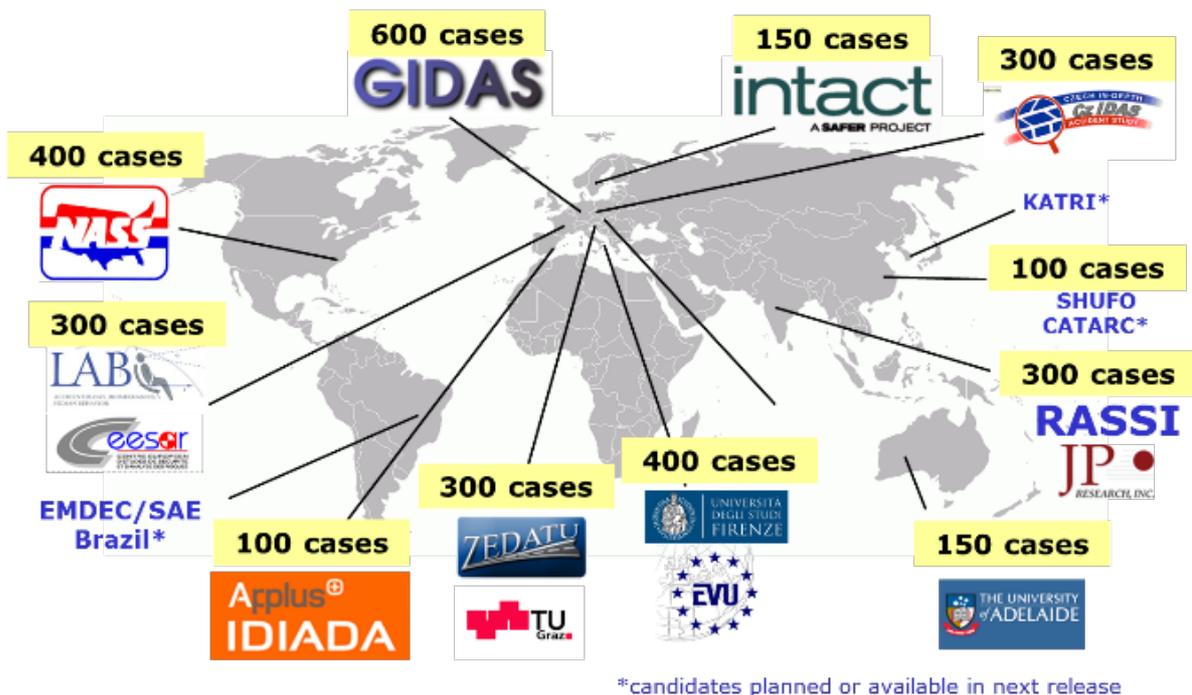


Figura 19 Fornitori dei dati e il loro numero di casi alla fine della fase 2 con un totale di 3100 casi.

Una delle variabili fornite dall'IGLAD è un indice legato alla gravità di una lesione, AIS, e questo viene registrato separatamente per ogni regione corporea. Il MAIS fornisce il massimo tra tutti i valori AIS.

Un altro dato fornito dall'IGLAD è il Delta-v (Δv) ed è la differenza vettoriale tra la velocità immediata post-incidente e la velocità pre-incidente del partecipante rappresentando una misura della severità dell'incidente e quindi correlandosi bene con la gravità delle lesioni subite dagli occupanti (AIS e MAIS). [23]

IGLAD Codebook

Il codice IGLAD contiene quattro tabelle: incidente, partecipante, occupante e sistema di sicurezza.

La tabella "**Incidente**" contiene una descrizione della configurazione dell'incidente, del suo contesto, delle circostanze e delle informazioni generali correlate. Ogni incidente ha una voce del database ed è identificata dal suo numero di caso.

La tabella "**Partecipante**" contiene informazioni sui veicoli e sui pedoni coinvolti nell'incidente. Include anche i dati di ricostruzione e deformazione per ciascun partecipante. Ogni partecipante è identificato dal suo numero e ad esso è associato anche il numero dell'incidente.

La tabella "**Occupante**" contiene informazioni su ogni persona coinvolta nell'incidente, i dati forniti riguardano il conducente e tutti gli occupanti dei veicoli coinvolti e anche dei pedoni. Tutti i dati relativi alle lesioni sono inclusi in questa tabella. Ogni occupante è identificato dal suo numero di incidente, partecipante e occupante.

La tabella "**Sistema di sicurezza**" include tutte le informazioni sui sistemi di sicurezza dei veicoli coinvolti. Questi sistemi che sono inseriti nel veicolo dovrebbero essere codificati. Ogni sistema è identificato dal suo numero di incidente, partecipante e sistema di sicurezza. Nel codebook, oltre alla descrizione delle tabelle, sono riportate le appendici elencate in seguito:

- Appendice A: esempi di codifica degli airbag;
- Appendice B: sistemi di sicurezza attiva;
- Appendice C: il metodo di campionamento;
- Appendice D: tipo di incidente per il left-hand traffic;

- Appendice E: linee guida per gli schizzi degli incidenti;
- Appendice F: Registro delle modifiche del registro dei codici;
- Appendice G: Raccolta dei dati specifici per ogni Paese.

Metodo di campionamento

Una delle appendici del codebook contiene la descrizione del metodo di campionamento. Questo metodo consiste in cinque passaggi descritti di seguito e deve essere applicato al campione di dati in-depth originale di anno in anno.

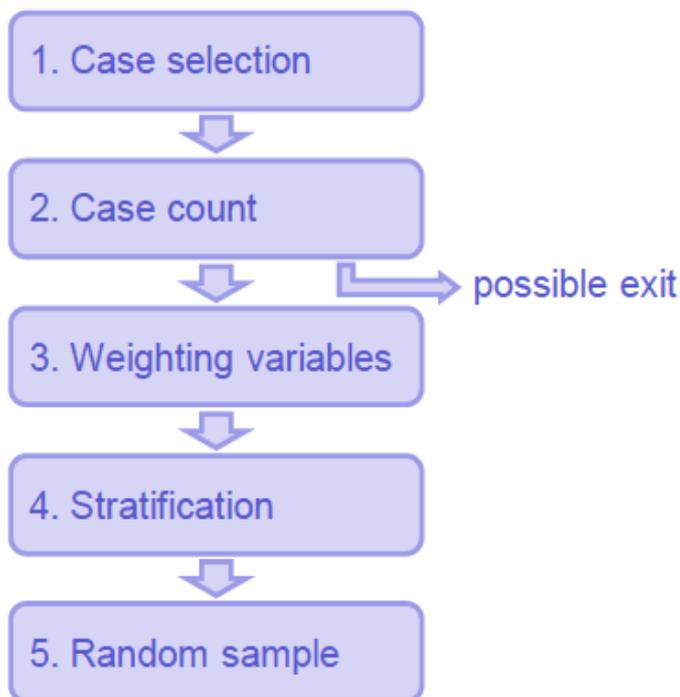


Figura 20 Panoramica del metodo di campionamento.

1. Selezione del caso

Gli incidenti selezionati per IGLAD rispettano la definizione di incidente stradale da parte della polizia nello stesso Paese del fornitore. Sono esclusi i casi di pedone singolo e di suicidio.

Per i dati del 2017 possono essere inclusi quelli dei due anni precedenti, 2015-2016.

Devono essere considerati solo gli incidenti con almeno una persona codificata come ferita dalla polizia. Se la polizia riporta il trattamento ospedaliero di un occupante (INJSEVER è codificato "ferito") e la diagnosi è "non ferito" (MAIS = 0), viene comunque incluso nell' IGLAD.

Devono essere presi in considerazione casi con un tasso di dati sconosciuto inferiore al 20%. È necessario fornire schizzi al 100% e l'80% deve essere ottimale, il che significa:

- File CAD
- Posizione finale (se sconosciuta, si traccia un cerchio intorno all'area possibile)
- Posizione della collisione
- Traiettorie, se possibile
 - Valori di scala

2. Conteggio dei casi

Se il numero di casi disponibili non è significativamente maggiore della dimensione del campione target, non viene applicato alcun campionamento.

In tal caso, la procedura di campionamento termina qui.

3. Variabili di ponderazione

Si scelgono tre variabili che sono presenti anche con una completa cross-tabulazione nelle statistiche nazionali.

Se le variabili non sono disponibili nei dati nazionali, utilizzare "luogo dell'incidente", "gravità dell'incidente" e "tipo di partecipante".

Se sono disponibili nelle statistiche nazionali, queste variabili sono anche quelle preferite da scegliere.

4. Stratificazione

Si ordina il dataset in base all'anno degli incidenti e alle variabili di ponderazione scelti nel passaggio 3. Ogni combinazione di valori di queste variabili definisce uno strato.

5. Campioni random

Si prende un numero appropriato di casi casuali da ogni strato per generare la dimensione totale corretta del campione. Ciò può essere ottenuto ad esempio selezionando ogni n-esimo

caso in cui n è approssimativamente la dimensione del campione originale divisa per la dimensione del campione target. [24]

4.2 Database americano NASS

La CDC (*Centre for Disease Control*) ha dichiarato che ogni anno negli Stati Uniti, rispetto ad altri Paesi ad alto reddito, muoiono più persone negli incidenti automobilistici. Nel 2013, più di 32.000 persone sono morte sulle strade degli Stati Uniti, circa 90 morti al giorno.

Negli ultimi anni gli Stati Uniti hanno visto una riduzione del 31% del tasso di mortalità pro capite dei veicoli, ma rispetto agli altri 19 Paesi più ricchi del mondo, che hanno registrato una diminuzione media delle morti su strada in media 56% nello stesso periodo, gli Stati Uniti hanno registrato il calo più lento. [25]

Negli Stati Uniti viene utilizzato il database del NHTSA la cui missione è supportare lo sviluppo di tecnologie di sicurezza dei veicoli allo scopo di salvare vite umane. NHTSA è anche l'agenzia federale USA responsabile della definizione di standard di riferimento per la sicurezza stradale. [26]

NASS (*National Automotive Sampling System*) fornisce al NHTSA le informazioni con cui condurre la raccolta dei dati, utilizzando una serie di elementi dei dati di crash, il NASS si è dimostrato una risorsa affidabile negli ultimi 10 anni ed è gestito dal NCSA (National Center for Statistics Analysis). [27]

Oggi, il NASS ha due componenti operativi principali: il GES (*General Estimates Systems*) che raccoglie i dati su un campione di tutti i report sugli incidenti stradali segnalati dalla polizia; e il CDS (*Crashworthiness Data System*) che raccoglie ulteriori informazioni dettagliate su un campione di tutti gli incidenti stradali segnalati dalla polizia.

A partire dal 1979 con modifiche successive è stata progettata una serie di moduli per la raccolta dei dati. Una versione elettronica di questi è disponibile a partire dalla raccolta dati dell'anno 1997. Questi file contengono immagini fotografiche, diagrammi sulla scena e diagrammi sul danno del veicolo e sono codificati in formato SAS (Statistical Analysis System). [28]

La documentazione fondamentale a supporto del file automatizzato è Analytical User's Manual 2015 and the NASS 2014 Crashworthiness Data System's Data Collection, Coding and Editing Manual. Gli incidenti investigati nel NASS CDS sono un campione probabilistico di tutti gli incidenti segnalati dalla polizia negli Stati Uniti.

Un incidente CDS NASS deve soddisfare i seguenti requisiti:

- Deve essere documentato dalla polizia;
- Deve coinvolgere un evento dannoso derivante da una collisione;
- Deve coinvolgere almeno una autovettura trainata o un furgone o un furgone nel trasporto su una strada.

Ogni incidente che soddisfa tutti i requisiti ha la possibilità di essere selezionato.

La selezione di un campione nel NASS si realizza in tre fasi:

Selezione delle unità di campionamento primarie (PSU): gli USA sono stati suddivisi in 1195 aree geografiche denominate PSU, costituite da una popolazione minima di 50.000 abitanti. Esse consistono in una città centrale, in una contea che circonda una città centrale, in un'intera contea oppure in un gruppo di contee adiacenti. I 1195 PSU sono stati raggruppati in 12 strati per area geografica e tipologia (ad esempio città centrali, contee suburbane e altri PSU). Devono essere campionati 24 PSU che vengono assegnati a ciascuno strato approssimativamente in proporzione al numero di incidenti che avvengono in ogni strato. Sono stati selezionati almeno due PSU da ogni strato;

Selezione delle giurisdizioni della polizia: dopo aver esaminato ogni incidente in ciascun PSU, è possibile ottenere una stima nazionale ponderando ciascun incidente per l'inverso della probabilità di selezione del PSU. Poiché non è economico ed è poco pratico indagare su ogni incidente che appartiene ad ogni campione del PSU, viene eseguita una seconda e terza fase di campionamento. Ogni PSU contiene una serie di giurisdizioni che elaborano i report degli incidenti che si verificano al loro interno. Queste giurisdizioni costituiscono la seconda fase del campionamento. Ad ognuna viene assegnata una misura della sua dimensione in base al

numero, alla gravità e al tipo delle sue collisioni. Viene scelto un campione che ha una dimensione ampia delle giurisdizioni.

Selezione dei crash: la fase finale del campionamento è la selezione dei crash all'interno delle giurisdizioni campionate. Periodicamente, vengono contattate le giurisdizioni della polizia e tutti i crash che si sono qualificati per i CDS NASS per i quali esiste un report dell'ultima data in cui è stata contattata la giurisdizione. Ogni incidente è classificato in uno strato in base al tipo di veicolo; a volte la polizia può riportare maggiori dettagli: ferite, disposizione degli infortunati, rimorchio di veicoli e l'anno del modello del veicolo. Per selezionare i crash, a ciascuna squadra viene assegnato un numero fisso di incidenti da esaminare ogni settimana. I pesi per gli strati vengono assegnati in modo che venga selezionata una percentuale maggiore di arresti con gravità maggiore rispetto agli arresti con gravità inferiore. Inoltre, è probabile che vengano selezionati crash nello stesso livello, indipendentemente dal PSU. Per selezionare il campione, a ogni collisione viene assegnato un peso uguale all'inverso della probabilità di selezionare la giurisdizione di polizia in cui è stato elencato.

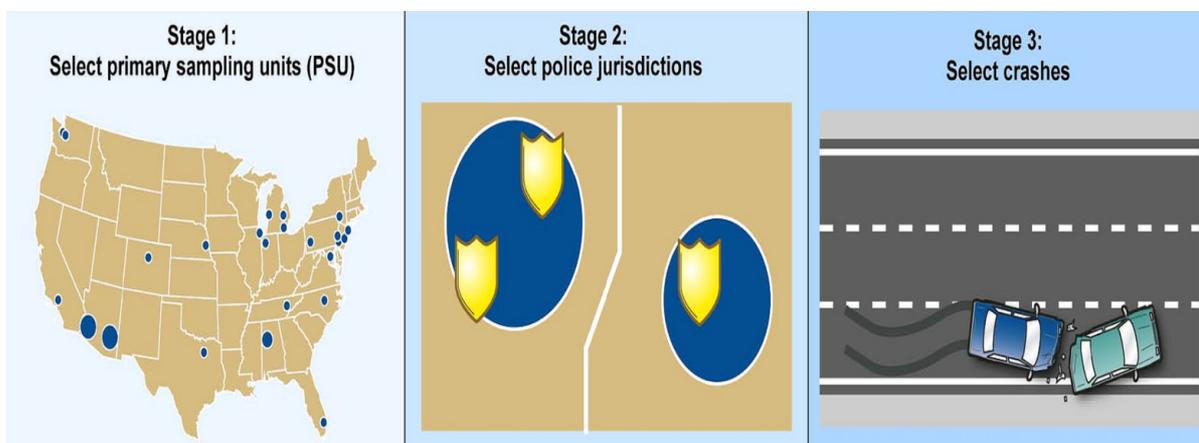


Figura 21 Le tre fasi per la selezione di un campione del NASS

5 Materiali e Metodi

Lo scopo del suddetto lavoro di tesi è quello di fare un'analisi statistica in-depth sui dati che sono stati estratti dai due database descritti nel Capitolo 3: IGLAD (per i dati dell'Unione Europea) e NASS (per i dati americani).

I due database sono molto diversi tra loro, quindi sono state fatte diverse considerazioni per poter filtrare i dati, fare un'analisi accurata e poter fare un confronto adeguato. Infatti nonostante i due database siano diversi, è stata seguita la stessa logica e sono state prese come riferimento le stesse variabili che riguardano: tipo di partecipante, occupante, criteri di lesione e dati di deformazione della vettura.

Per rendere possibile l'analisi incidentologica, sono stati usati i software: Microsoft Excel, MATLAB, R e Colectica.

Ciò che è stato plottato alla fine dell'analisi sono istogrammi e curve di regressione logistica di confronto rispetto che permettono di confrontare i risultati tra i due database.

5.1 Selezione delle variabili dell'IGLAD

Il primo passo per l'avvio del lavoro è stato quello di analizzare il database IGLAD che consiste in un file Excel che contiene quattro fogli di lavoro ognuno dei quali contiene informazioni sugli incidenti, sui partecipanti (veicoli coinvolti per ogni incidente), occupanti (utenti che sono coinvolti nell'incidenti, sono inclusi eventuali pedoni/ ciclisti) e sul sistema di sicurezza.

Nel foglio "Participant" sono incluse tutte le informazioni che riguardano il veicolo coinvolto e include anche i dati di ricostruzione e deformazione per ciascun partecipante. Ogni partecipante è identificato dal suo numero di incidente e di partecipante. Sono state prese in considerazione le variabili che riguardano l'urto primario.

Le variabili che contengono i dati di deformazione sono *DELTAVI* e *EESI*.

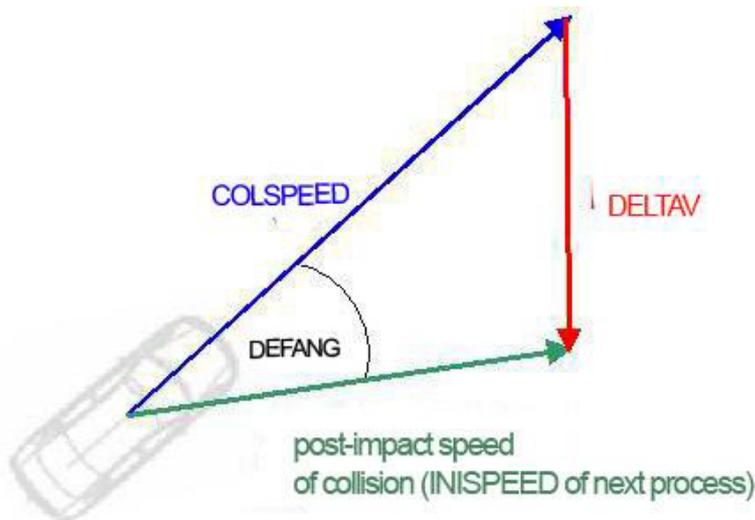


Figura 22 Rappresentazione del vettore Delta-v

Delta-v è la differenza vettoriale tra velocità immediata post-incidente e pre-incidente (calcolate mediante il principio di conservazione della quantità di moto) ed è misurata in km/h.

L'EES (*Energy Equivalent Speed*) indica la velocità iniziale per cui l'Energia cinetica (E_C) del veicolo eguaglia l'Energia di deformazione (E_D) che è stata spesa per produrre le deformazioni visibili del veicolo:

$$E_D = \frac{1}{2} m \times EES^2 = \frac{1}{2} m \times v_0^2 = E_C$$

Essa è codificata in km/h.

Il database è stato quindi filtrato su criteri successivi.

Il primo filtro è stato eseguito in base alla direzione primaria della forza di impatto che causa il danno sul veicolo (CDC / TDC Force Direction (**CDC1DIRE**)).

La codifica è condotta in accordo con la direzione indicata nella Figura usando un orologio che mostra una direzione diversa a step di 30° quindi risultano in totale 12 direzioni ciascuna delle quali corrisponde a un'ora dell'orologio raffigurato che sono state utilizzate per dividere gli incidenti nei tre tipi di urto:

- Frontale: ore 11,12 e 01;
- Laterale: ore 02,03, 04 per gli urti che coinvolgono la fiancata destra dell'autovettura, ore 08,09,10 per gli urti che coinvolgono la fiancata sinistra dell'autovettura;
- Posteriore: ore 05,06 e 07.

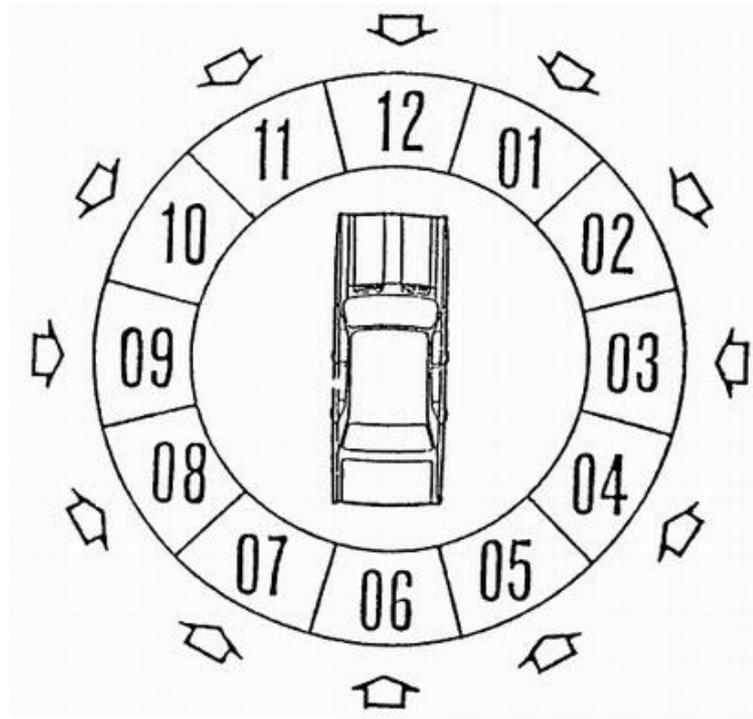


Figura 23 Codifica della direzione della forza di impatto

Questa analisi non considera i casi di ribaltamento veicolo.

I dati sono stati filtrati anche in base al tipo di partecipante (**PARTTYPE**) e al tipo di occupante (**OCCTYPE**) perché nel database sono raccolti dati su tutti i tipi di vettura e di passeggero: in questo lavoro l'attenzione è stata focalizzata sui passeggeri delle autovetture (**PARTTYPE** uguale a 5) e, in alcuni casi, sui "light truck" (**PARTTYPE** uguale a 7). Per la variabile **OCCTYPE** il conducente è pari a 1, i passeggeri anteriori con la variabile pari a 2 (eventuale passeggero centrale) e 3 (passeggero esterno), quelli posteriori 4,5,6,7,8,9 (da destra verso sinistra in funzione del numero di posti).

Il foglio di lavoro "Occupant" contiene informazioni su ogni persona coinvolta nell'incidente, sia come conducente / occupante di un veicolo sia come pedone. Tutti i dati relativi alle lesioni sono inclusi in questa tabella. Ogni occupante è identificato dal suo numero di incidente, partecipante e occupante.

Per la valutazione delle lesioni sugli occupanti, è stata considerata la variabile **MAIS** codificata da 0 a 6, in base al metodo di campionamento che è stato descritto nel Capitolo 4. All'interno degli istogrammi i sette possibili valori di MAIS (da 0 a 6) sono stati raggruppati in tre gruppi: MAIS 0 e 1 come lesioni leggere, MAIS 2 come lesioni gravi e da 3 fino a 6 per le lesioni fatali.

La variabile che contiene informazioni circa il sesso degli occupanti è **GENDER**, è codificata nella seguente maniera: 1 se il sesso è maschile, 2 se il sesso è femminile.

La variabile che tiene conto dell'età dell'occupante è **AGE**.

La variabile che indica se la cintura di sicurezza è stata utilizzata (cioè se l'occupante è allacciato) durante l'incidente è **BELT USE**. Una modalità di uso improprio è esplicitamente codificata come "misuse" (uso improprio) ed è stata esclusa nelle analisi fatte. Sono stati valutati tutti quei casi in cui è stato registrato un BELT USE pari a 0 (cintura non utilizzata), BELT USE pari a 1 (cintura indossata per la quale non è nota una eventuale attivazione del pretensionatore), pari a 2 (cintura indossata e pretensionatore attivato), 3 (cintura indossata e pretensionatore non attivato).

5.2 Selezione delle variabili del NASS

Per quanto riguarda il NASS, i dati erano disponibili in formato SAS, e per realizzare l'analisi è stato utilizzato il software Colectica per convertire i file in formato Excel.

Nel NASS ci sono più fogli di lavoro, ma i dati che sono stati analizzati appartengono al foglio GV (General Vehicle) che fornisce informazioni per tutti i veicoli a motore coinvolti nell'incidente.

La variabile **HDVBASIS** tiene conto del fatto che sia stato ispezionato e calcolato correttamente il deltav, e i valori che sono stati selezionati sono 1,2,3, e 4.

Nel foglio GV si trovano anche informazioni sulle lesioni degli occupanti e per la variabile **VAIS** (cioè il MAIS) sono stati selezionati i valori da 1 a 6, perché, a differenza del database

IGLAD, il valore pari a 0 è scartato perché le lesioni sono classificate in base a una scala da 1 a 6 in base all'aggiornamento della scala di lesione AIS del 2005.

ACCTYPE è la variabile che permette di definire il tipo di urto e sono stati considerati gli urti frontali, laterali e posteriori. Sono stati esclusi quei casi in cui il veicolo è andato fuori strada, quei casi dove soltanto un veicolo stato coinvolto e sono stati scartati anche quei casi dove non c'erano specifiche che fornissero informazioni sulla direzione della forza d'impatto. Tutti i casi di rollover sono stati esclusi.

In particolare i valori considerati sono:

- per l'urto frontale 11 ,12 ,13 ,14 ,15 ,16 ,34 ,36 ,38 ,40 ,44 ,45 ,46 ,47 ,50 ,51 ,52 ,53 ,54 , 55 ,56 ,57 ,58 ,59 ,60 ,61 ,69 ,71 ,73 ,77 ,79 ,80 ,81 ,83 ,86 ,88;
- per l'urto laterale: 64 ,68 ,70 ,72 ,76 ,78 ,82 ,87 ,89;
- per l'urto posteriore: da 20 a 32, 35, 37, 39 ,41.

Elaborazione dei dati

Dopo aver selezionato le variabili, per mezzo di algoritmi implementati su MATLAB i dati sono stati elaborati, allo scopo di ricavare dei grafici che riportano la distribuzione delle variabili che riguardano le deformazioni dell'autovettura e i parametri di lesione.

Per il database IGLAD, allo scopo di associare per ogni variabile di lesione, il corretto numero di incidente è stato implementato su MATLAB un primo algoritmo. Questo perché le informazioni che riguardano l'autovettura, in particolare il Deltav e l'EES e le informazioni che riguardano l'occupante, in particolare il coefficiente di lesione AIS, si trovano su due fogli di lavoro differenti.

Tutto questo allo scopo di mostrare i risultati su un grafico di regressione logistica che riporta sull'asse delle ascisse le variabili di deformazione e sulle ordinate l'indice di lesione MAIS3+.

Oltre a queste curve, sono stati plottati degli istogrammi che contengono informazioni sul sesso, tipo di occupante, utilizzo o meno delle cinture di sicurezza e l'indice di lesione degli occupanti delle autovetture.

5.3 La regressione logistica

Ciò che è stato rappresentato, oltre gli istogrammi, è la regressione logistica dei dati. L'analisi di regressione logistica è una metodologia impiegata per prevedere il valore di una variabile dipendente dicotomica (variabile che può assumere due soli valori: 0 e 1 dato che si tratta di una probabilità) sulla base di un insieme di variabili esplicative (in statistica è una variabile che aleatoria da cui si suppone dipendano altre variabili aleatorie), sia di tipo qualitativo che quantitativo. In questo lavoro, le variabili sono di tipo quantitativo.

Uno degli obiettivi della regressione logistica è quello di mettere in relazione la variabile dicotomica, con quella indipendente, in questo caso è la variabile di deformazione) in modo da capire se sono correlate positivamente o negativamente con il fenomeno studiato e se può essere considerata come un fattore di rischio o come fattore di protezione.

Dato che si vuole descrivere la probabilità di avere la presenza di un valore della variabile dicotomica, un modello di regressione lineare risulterebbe inappropriato a questo scopo.

Quindi, quando la variabile dipendente è dicotomica, la distribuzione teorica di riferimento non dovrebbe essere più quella normale ma la distribuzione binomiale. In questi casi, quindi, sebbene sia ugualmente possibile applicare il modello della regressione semplice, da un punto di vista matematico, un modello non lineare sarebbe più appropriato. Infatti, nella sua formulazione ($\hat{Y} = \alpha + \beta X$), il modello lineare implica che i valori della variabile dipendente (\hat{Y}) possano andare da $-\infty$ a $+\infty$.

Se la variabile dipendente è dicotomica, e se è influenzata dalla variabile X , allora si dovrebbe osservare che per valori molto alti di X (o molto bassi se la relazione è negativa) il valore in Y dovrebbe essere molto vicino ad 1 e non dovrebbe superare tale limite. Lo stesso dovrebbe avvenire in prossimità dello 0. In pratica la curva che rappresenta la relazione tra X e Y dovrebbe essere di tipo logistico e non lineare. Una delle trasformazioni possibili è, la trasformazione logaritmica della variabile dipendente. Nella regressione logistica la variabile dipendente definisce l'appartenenza a un gruppo (o all'altro). I valori che vengono assegnati ai livelli sono attribuiti in maniera arbitraria. [29]

La variabile dicotomica usata in questo lavoro è il MAIS, infatti per ricavare la regressione logistica, per mezzo di un altro algoritmo è stato identificato:

- 0 per valori $AIS < 3$;
- 1 per valori $AIS \geq 3$;

Ciò che è di interesse, non è il valore atteso (o predetto), come nella regressione lineare, ma la probabilità che un dato soggetto appartenga a meno a uno dei due gruppi.

È molto importante specificare che la scelta dei valori da assegnare influenza i risultati dell'analisi.

Spesso anziché utilizzare i due livelli descritti prima, si utilizza l'odds.

L'odds è un modo di esprimere la probabilità mediante un rapporto. Si calcola facendo il rapporto tra le frequenze osservate in un livello con le frequenze osservate nell'altro. Il valore dell'odds esprime il rapporto tra le due categorie. una volta calcolato l'odds è possibile calcolare il suo logaritmo naturale ovvero il logit.

In questo caso però sono stati utilizzati i due livelli descritti prima. Per esprimere la relazione tra la variabile indipendente e la variabile dipendente in termini lineari possiamo partire dalla seguente formulazione in cui il valore atteso della variabile dipendente è la probabilità

$\hat{Y} = \mu_Y = P_{(Y=1)}$, per cui la probabilità di $Y=1$ come funzione lineare di X diventa:

$$P(Y = 1) = \alpha + \beta X$$

Come scritto in precedenza questo modello non è adeguato, poiché i valori della probabilità sono compresi tra 0 e 1, mentre il termine $\alpha + \beta X$ può assumere valori che vanno da $-\infty$ a $+\infty$. Quindi, per provare a risolvere il problema è stata applicata la trasformazione esponenziale al termine di destra della funzione che diventa:

$$P(Y = 1) = e^{\alpha + \beta X}$$

Anche questa trasformazione, seppure consente di restringere i valori dell'equazione entro il range $0 + \infty$, non risolve completamente il problema. A tal scopo si applica la trasformazione logistica che consente di controllare i valori e restringerli nel range della probabilità (0; 1):

$$P(Y = 1) = \frac{e^{\alpha + \beta X}}{1 + e^{\alpha + \beta X}}$$

Dopo aver filtrato i dati su Excel, e dopo averli elaborati sempre con lo stesso software, ma anche con l'aiuto di MATLAB, sono stati salvati in formato .csv , in modo essere processati sul software R.

[30] R è un linguaggio di programmazione e un ambiente di sviluppo specifico per l'analisi statistica dei dati. Esso compila e gira su una vasta gamma di piattaforme UNIX, Windows e MacOS.

È stato scelto questo linguaggio perché questo software è già specializzato per l'analisi statistica e ha permesso di implementare una funzione che calcola la regressione logistica.

```
10 | ### Logistic regression;  
11 | model <- glm(mais ~ deltav,family=binomial)
```

Fra le funzioni di regressione disponibili su R è stata scelta la funzione **glm** (*Generalized Linear Models* che sono un'estensione dei modelli lineari) .

La stima dei parametri di un GLM con R viene effettuata con il comando glm che funziona in maniera pressoché analoga al comando **lm** (*Linear Model*) usato per la stima nel caso di modelli lineari.

Quindi seguendo l'esempio del lavoro di tesi : mais ~ deltav (variabile di risposta ~ variabile esplicativa).

La tilde viene letta “ è funzione di” . Un'analisi di regressione base sarebbe $Y \sim X$, la notazione matematica a cui corrisponde il modello lineare è $\hat{Y} = \alpha + \beta X$.

Nel caso di glm occorre specificare in più la famiglia della distribuzione che tiene conto di diversi parametri (parametro di dispersione, parametro canonico etc.) e il tipo di link (per default è impostato il link canonico) tramite l'attributo family .

Family è posto uguale a binomial, che implementa i valori riportati nella seguente tabella.

Dopo aver implementato la funzione, la curva di regressione logistica è stata plottata.

6 Risultati

Lo scopo del suddetto lavoro di tesi è fare due tipi di analisi:

1. Confronto tra le informazioni estratte dal database IGLAD e l'equivalente pubblicato dell'ambito del progetto di armonizzazione legislativo europeo e americano TTIP dove si analizza la distribuzione di un certo numero di variabili;
2. Confronto tra l'andamento del mais vs Deltav fra i due database IGLAD e NASS;

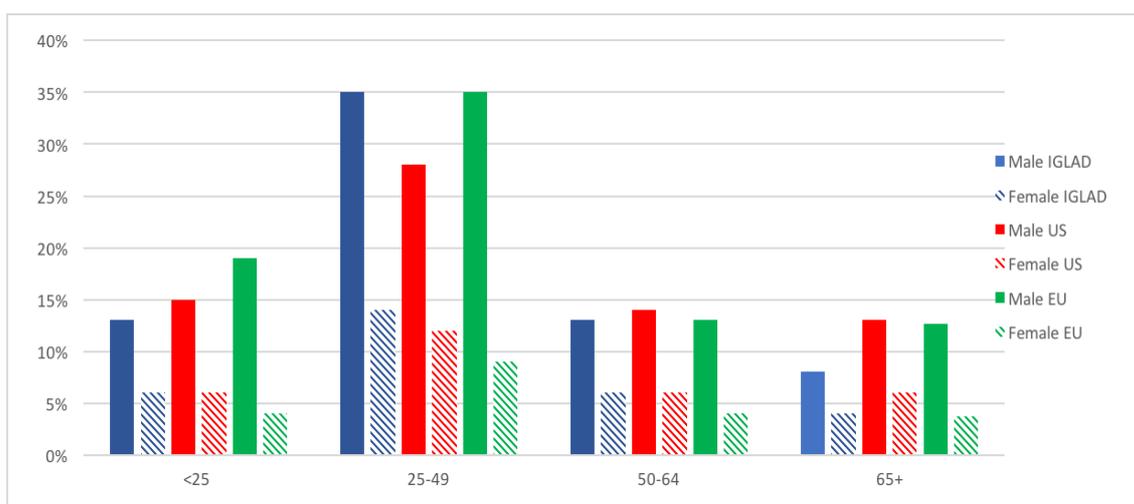


Figura 24 Distribuzione dell'età del conducente per sesso per passeggero

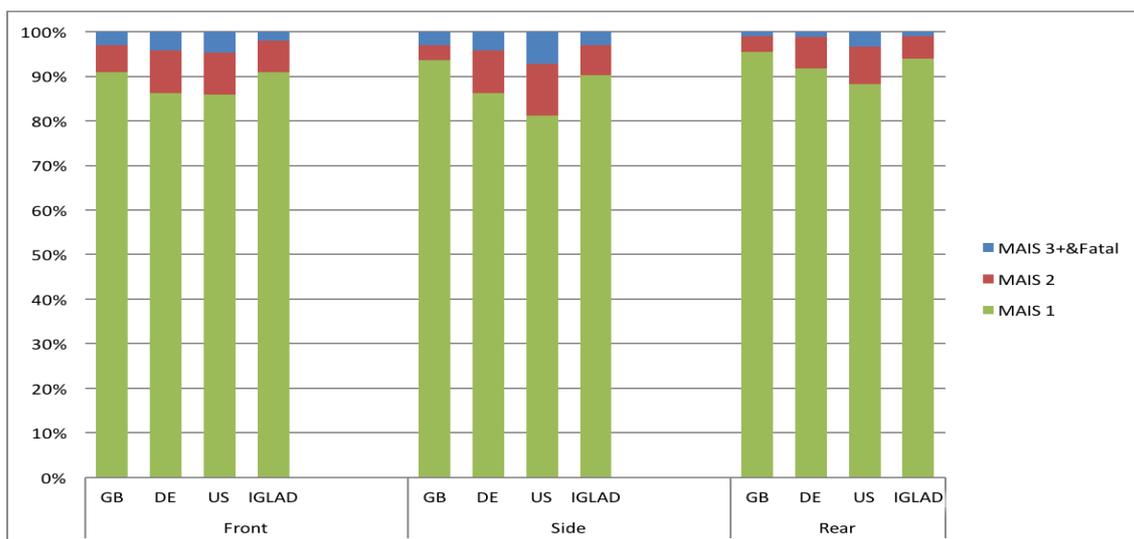


Figura 25 Percentuali sulla gravità di ciascun infortunio per ciascun tipo di collisione

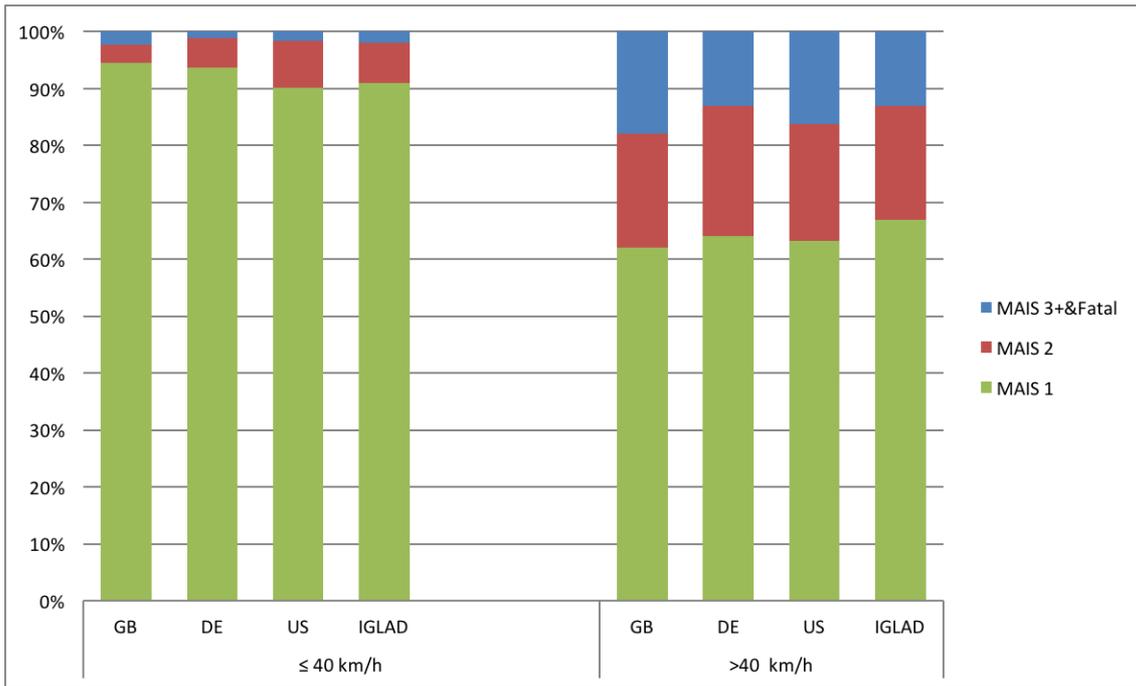


Figura 26 Occupanti cinturati. Distribuzione percentuale per i feriti sopra e sotto 40 km/h

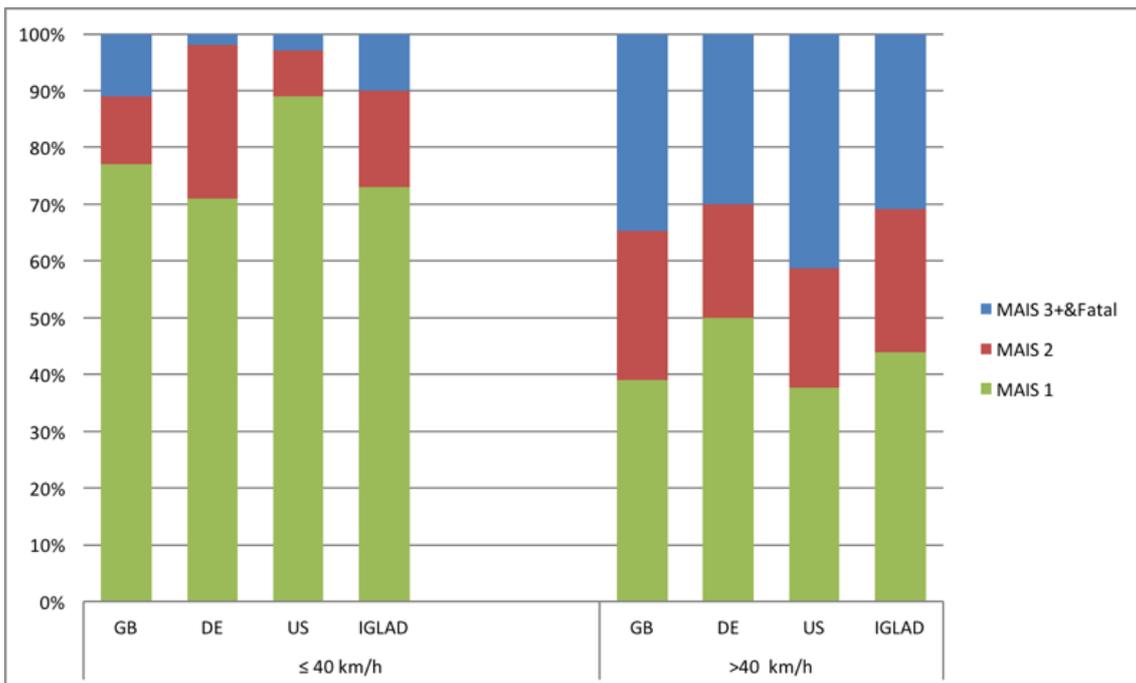


Figura 27 Occupanti non cinturati. Distribuzione percentuale per i feriti sopra e sotto 40 km/h

Dai grafici si evince che il database IGLAD (diverso dal database utilizzato nelle analisi del TTIP) fornisce le stesse informazioni. Quindi le percentuali ottenute dalle analisi del TTIP sono confermate da quelle ricavate dalle analisi dei dati dell'IGLAD.

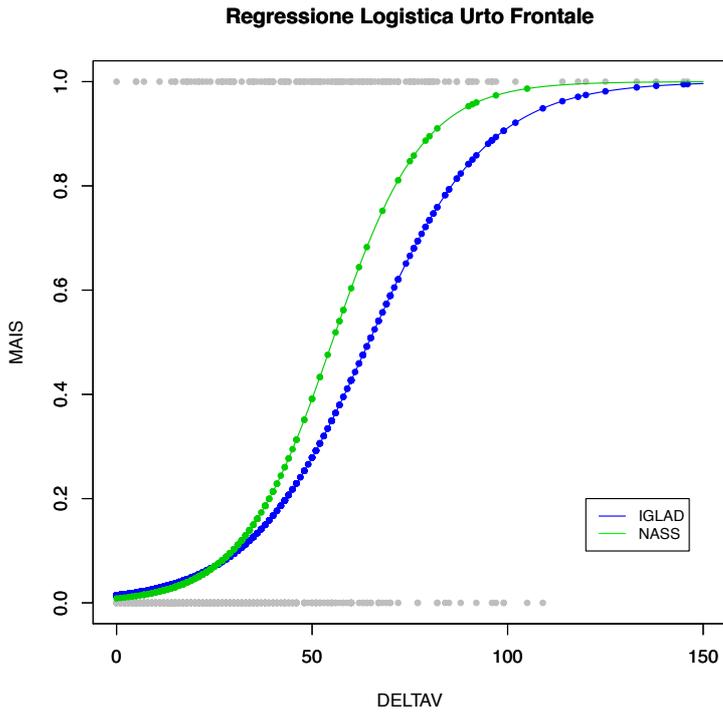


Figura 28 Regressione logistica Deltav vs MAIS per l'urto frontale

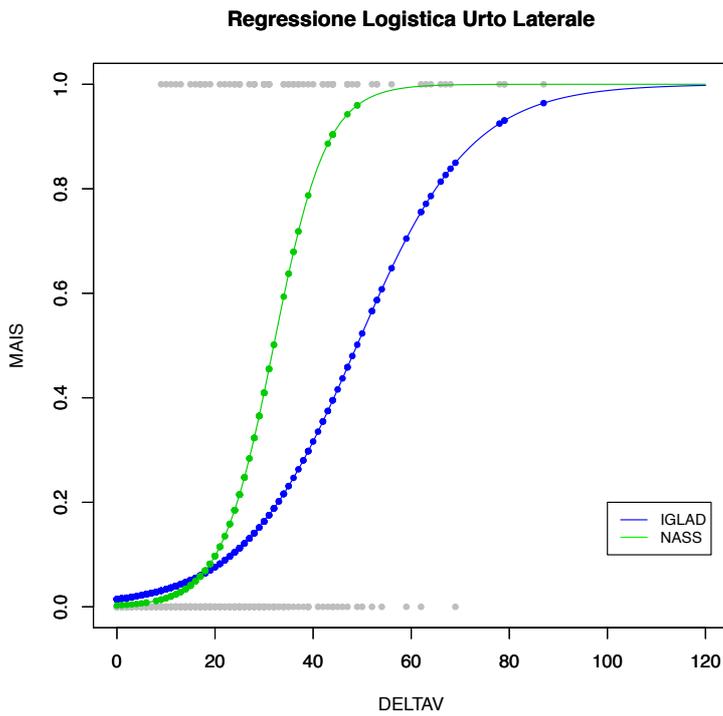


Figura 29 Regressione logistica Deltav vs MAIS per l'urto laterale

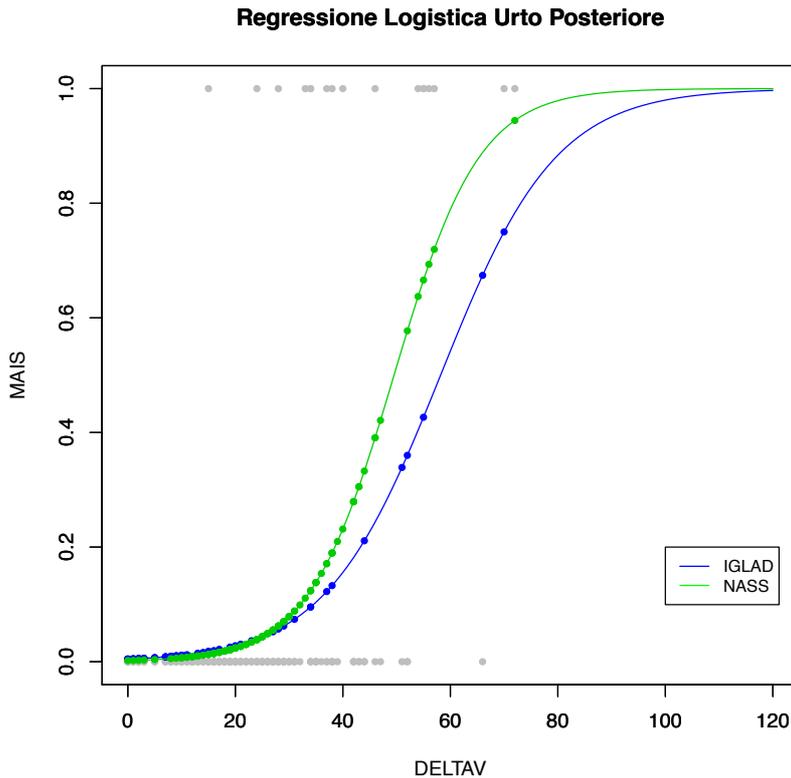


Figura 30 Regressione logistica Deltav vs MAIS per l'urto posteriore

Assumendo che, indipendentemente dall'area geografica analizzata, l'andamento delle lesioni in funzione della severità dell'urto debba essere simile, si osserva che la distribuzione del MAIS in funzione dei database IGLAD e NASS, è diverse. Nel ricercarne la causa, anche grazie al supporto di esperti US, si è concluso che il fattore principale di questa differenza consiste nel metodo di campionamento (cfr §4): infatti, per come è costruito il database NASS, il metodo di campionamento sovrastima gli urti più severi e questo spiega una maggiore probabilità di lesione a pari Deltav.

Altre cause, di minor rilevanza per i risultati, sono: la differenza di ambiente che si sta analizzando e il differente metodo col quale calcolo il DeltaV.

Quindi, un requisito chiave per fare un confronto tra i modelli di rischio è avere lo stesso metodo di campionamento delle popolazioni di crash. Inoltre, le variabili utilizzate per sviluppare i modelli devono essere definite nello stesso modo, in modo tale che quando vengono applicate a database diversi, i coefficienti vengano applicati in modo appropriato. Un semplice esempio è che la velocità deve essere misurata nelle stesse unità di misura (ad es. km/h non mph). Tuttavia, alcuni dei problemi di armonizzazione sono più complessi, come ad esempio: la stima di DeltaV per il database statunitense NASS si basa sulla conservazione

dell'energia e utilizza il software WinSmash (una versione potenziata e aggiornata del software di ricostruzione degli incidenti CRASH3) invece la ricostruzione Delta-V dell'UE viene eseguita utilizzando un metodo basato sulla conservazione della quantità di moto, prevalentemente con il software PC-Crash. Questi due software possono fornire una differenza del 25% nelle stime di velocità.

Inoltre, anche le lesioni sono riportate in modo diverso, il che può portare a diversi esiti dell'infortunio per lo stesso incidente. Ci sono altre differenze che devono essere riconciliate prima di poter fare un confronto, ma la differenza di velocità influenza in modo significativo i risultati.

7 Conclusioni e Sviluppi futuri

7.1 Conclusioni

Tale elaborato è nato dall'esigenza di voler fare un'analisi comparativa di dati ricavati da database approfonditi, provenienti da diversi paesi, che contengono informazioni sugli incidenti stradali, in particolare dati sull'ambientazione dell'incidente, sulle deformazioni delle autovetture e sulle lesioni subite dagli occupanti.

Questi dati hanno permesso di definire una correlazione tra la severità dell'urto, la risposta del veicolo e le sollecitazioni tollerabili dagli occupanti senza gravi rischi della loro vita.

Attraverso strumenti statistici, quali istogrammi e curve di regressione logistica, è stato effettuato un confronto tra le analisi fornite dal TTIP e quelle fatte in questo lavoro di tesi utilizzando il database IGLAD. Un secondo confronto è stato fatto analizzando i dati dei database NASS e IGLAD.

Nel primo caso, i risultati ottenuti sono serviti a confermare quanto ricavato dalle analisi del TTIP, nel secondo caso, invece, è emerso il problema che non si può eseguire lo stesso confronto con le stesse logiche a pari campione, perché il differente metodo di campionamento influenza in maniera non indifferente i risultati, portando nel database NASS una sovrastima degli urti più severi, spiegando una maggiore probabilità di lesione a pari Δv su quest'ultimo rispetto all'IGLAD.

7.2 Sviluppi futuri

La differenza del metodo di campionamento ha mostrato dei limiti legati alla valutazione della distribuzione del MAIS in funzione dei due database che spiega una maggiore probabilità di lesione a pari Δv sul database NASS.

Per poter eseguire lo stesso confronto, si può pensare a un lavoro di una futura tesi volta a ricampionare il database IGLAD.

Indice delle figure

Figura 1 Popolazione, decessi stradali e veicoli a motore registrati, in base allo stato di reddito del Paese	8
Figura 2 Decessi e tasso di mortalità per anno negli Stati Uniti	9
Figura 3 Decessi per milione di abitanti in EU, 2004 e 2013.....	9
Figura 4 Numero totale di morti nelle strade, EU-28.....	11
Figura 5 Morti stradali per milione di abitanti, 2016	11
Figura 6 Costi totali degli incidenti autostradali nel 2010 in USA, fonte NHTSA	13
Figura 7 Variazione percentuale dei decessi del 2017 rispetto al 2016, fonte NHTSA	14
Figura 8 Decisioni politiche sull'analisi costi/benefici.....	17
Figura 9 Standard sulla protezione degli occupanti	24
Figura 10 Manichino Hybrid III.....	39
Figura 11 Manichino Thor	39
Figura 12 Manichino ES2	40
Figura 13 Manichino SIDII's	41
Figura 14 Manichino WorldSID	42
Figura 15 Manichino BioRID-2.....	43
Figura 16 Esempio di crash test, Centro Sicurezza Fiat.....	44
Figura 17 Slitta SESA, Centro Sicurezza Fiat.....	45
Figura 18 Struttura organizzativa della fase 2 (2014 - 2016).....	47
Figura 19 Fornitori dei dati e il loro numero di casi alla fine della fase 2 con un totale di 3100 casi.....	48
Figura 20 Panoramica del metodo di campionamento.....	50
Figura 21 Le tre fasi per la selezione di un campione del NASS.....	54
Figura 22 Rappresentazione del vettore Delta-v	56
Figura 23 Codifica della direzione della forza di impatto.....	57
Figura 24 Distribuzione dell'età del conducente per sesso per passeggero	63
Figura 25 Percentuali sulla gravità di ciascun infortunio per ciascun tipo di collisione	63
Figura 26 Occupanti cinturati. Distribuzione percentuale per i feriti sopra e sotto 40 km/h...	64
Figura 27 Occupanti non cinturati. Distribuzione percentuale per i feriti sopra e sotto 40 km/h	64

Figura 28	Regressione logistica Deltav vs MAIS per l'urto frontale.....	65
Figura 29	Regressione logistica Deltav vs MAIS per l'urto laterale	65
Figura 30	Regressione logistica Deltav vs MAIS per l'urto posteriore	66

Bibliografia

- [1] L. Piano, *La sicurezza passiva degli autoveicoli. Criteri di progettazione e sperimentazione*, 2013.
- [2] ISTAT, [Online]. Available: www.istat.it/en/.
- [3] SI.SE, *Analisi in profondità degli incidenti stradali*.
- [4] C. Bignardi, *Biomeccanica dei traumi da urto, Corso di Bioingegneria Meccanica, Politecnico di Torino, a.a. 2015-2016*.
- [5] WHO, «Global status report on road safety,» 2015.
- [6] R. Elvik, «How much do road accidents cost the national economy,» *Accident Analysis and Prevention*, 1999.
- [7] CARE, [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/idabc/en/document/2281/5926.html>.
- [8] CARE, [Online]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Road_safety_statistics_at_regional_level.
- [9] CARE, [Online]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Road_safety_statistics_at_regional_level.
- [10] CTSE, [Online]. Available: <http://etsc.eu/euroadsafetydata/>.
- [11] R. N., *Sicurezza stradale 2018: statistiche, nuove strategie, confronto Italia Europa e USA*.
- [12] NHTSA, «The Economic and Societal Impact Of Motor Vehicle Crashes, 2010 (Revised)».
- [13] NHTSA, *Early Estimate of Motor Vehicle Traffic Fatalities in 2017*, 2018.
- [14] E. a. Mureden, *La sicurezza dei prodotti e la responsabilità del produttore. Casi e materiali*.
- [15] NHTSA, [Online]. Available: www.nhtsa.gov/ratings.
- [16] European Union, [Online]. Available: (https://europa.eu/european-union/eu-law/legal-acts_it#regolamenti) .
- [17] ACI, [Online]. Available: <http://www.aci.it/laci/sicurezza-stradale/sistemi-di-sicurezza-passiva/cosa-si-intende-per-sicurezza-passiva.html>.
- [18] CARHS, «Safety Companion 2018».
- [19] European Commission, *Road traffic accidents statistics*.
- [20] P. P. Alberto Sartori. [Online]. Available: <http://www.biomeccanicaforense.com/criteri-di-valutazione-del-trauma-cranico.html>.
- [21] [Online]. Available: <https://www.sicurauto.it/crash-test-video/test-speciali/tutti-i-manichini-da-crash-test-presenti-nel-mondo-automotive|hybrid-3.htm>.
- [22] EuroNCAP, [Online]. Available: <https://www.euroncap.com/it/sicurezza-dei-veicoli/la-valutazione-in-dettaglio/>.
- [23] IGLAD, *International harmonized in-depth accident data*. H. J. e. a. Jorg Bakker, A cura di
- [24] IGLAD, «Codebook Phase III».
- [25] CNN, [Online]. Available: <https://edition.cnn.com/2016/07/07/health/us-highest-crash-death-rate/index.html> .
- [26] NHTSA, [Online]. Available: <https://www.nhtsa.gov> .
- [27] NHTSA, «[https://one.nhtsa.gov/Data/National-Automotive-Sampling-System-\(NASS\)](https://one.nhtsa.gov/Data/National-Automotive-Sampling-System-(NASS)),» [Online].
- [28] NASS, « National Automotive Sampling System – Crashworthiness Data System ,2015 Analytical User’s Manual ,» [Online].
- [29] V. P. Senese, «Regression Multipla e Regression Logistica: concetti introduttivi ed esempi».
- [30] [Online]. Available: <https://www.r-project.org>.

Ringrazio prima di tutto Dio perché, davvero, mi ha sempre dato la forza di andare avanti. Un doveroso ringraziamento va alla Professoressa Cristina Bignardi che ha reso possibile questo lavoro di tesi e al Dottor Enrico Becchio per la sua gentilezza e professionalità e per l'aiuto fondamentale per realizzare la tesi.

Un ringraziamento va ai miei genitori, per i loro sacrifici e perché senza di loro non sarei arrivata fin qui, a mio fratello Alessio per aver sopportato tutti i miei pianti prima degli esami e i periodi difficili. Ai miei nonni e ai miei zii, che mi hanno sempre sostenuto e per il loro amore.

Ai miei due amici Francesco e Milena, più che amici sono un fratello e una sorella per me, a loro che non mi hanno fatto mai sentire i 1000 e più km di lontananza. A Paul che mi ha aiutato in tutti i sensi, anche nella realizzazione della tesi. Ai miei amici del GBU per avermi sostenuto in preghiera e per aver reso questa esperienza universitaria meravigliosa, al mio gruppo giovani perché in questi 7 anni è stato sempre lì a incoraggiarmi. A tutti i miei amici che ho conosciuto a Torino, e a Mattia, per avermi sopportato/supportato in questo ultimo anno di università con la sua immensa pazienza. Grazie a tutti, di vero cuore..

