POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

La frontiera tecnologica nella lotta agli incidenti stradali: il ruolo degli ADAS

Original
La frontiera tecnologica nella lotta agli incidenti stradali: il ruolo degli ADAS / Deflorio, FRANCESCO PAOLO; DALLA CHIARA, Bruno; Carboni, Angela; Gallizia, Alberto; Ronzoni, Chiara; Ricci, Alessandro. - (2019).

Availability:
This version is available at: 11583/2835742 since: 2020-06-15T15:29:50Z

Publisher:
Fondazione ACI Filippo Caracciolo

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

LA FRONTIERA TECNOLOGICA

NELLA LOTTA AGLI INCIDENTI STRADALI

IL RUOLO DEGLI ADAS

Fondazione Filippo Caracciolo
Centro Studi

BOSCH
Tecnologia per la vita

LA FRONTIERA TECNOLOGICA

NELLA LOTTA AGLI INCIDENTI STRADALI

IL RUOLO DEGLI ADAS

La Fondazione Filippo Caracciolo è un istituto di ricerca indipendente e senza fini di lucro costituito allo scopo di realizzare e promuovere studi e ricerche nei settori dei trasporti, della sicurezza stradale e della mobilità accessibile e sostenibile dal punto di vista energetico e ambientale.

Il Gruppo Bosch è uno dei fornitori leader a livello globale nel campo *automotive*. Il settore di business *Mobility Solutions* persegue la visione della mobilità del futuro senza incidenti, senza emissioni e senza stress e combina l'*expertise* del gruppo in tre ambiti: automazione, elettrificazione e connettività.

Ringraziamenti

Questo studio è stato realizzato dalla Fondazione Filippo Caracciolo, con il contributo di Bosch e la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino. L'analisi dei dati inediti contenuti nel documento è stata resa possibile grazie al database fornito da Quattroruote Professional. Si ringrazia, inoltre, la società Alfa Evolution Technologies del gruppo Unipol per la fattiva collaborazione prestata.

Un sentito ringraziamento va a tutti gli autori che hanno contribuito alla realizzazione di questo volume:

Ing. Francesco Deflorio del Politecnico di Torino (responsabile scientifico per le attività del DIATI);

Prof. Bruno dalla Chiara del Politecnico di Torino (autore);

Ing. Angela Carboni del Politecnico di Torino (autrice);

Ing. Alberto Gallizia del Politecnico di Torino (autore);

Dr.ssa Chiara Ronzoni della Fondazione Filippo Caracciolo (autrice);

Dr. Alessandro Ricci della Fondazione Filippo Caracciolo (autore).

Un sentito ringraziamento va, inoltre, alla Dr.ssa Lucia Pennisi dell'Area Professionale Statistica dell'ACI per il supporto fornito nella fase di elaborazione dati e alla Dr.ssa Federica Cossu e al Dr. Francesco Ciro Scotto della Fondazione Filippo Caracciolo per il lavoro di indirizzo e coordinamento.

Si ringrazia, infine, il Prof. Vito Mauro, componente del Comitato scientifico della Fondazione Filippo Caracciolo, per il costante lavoro di guida, confronto e orientamento.

Ottobre 2019

ISBN 9788832245004

Sommario

1 Introduzione 5

2 Sistemi di sicurezza dei veicoli: l'impegno dell'Europa 7

2.1 I sistemi di sicurezza dei veicoli già obbligatori: dalla cintura di sicurezza all'ESC 10

2.2 Richiami sulle definizioni dei principali ADAS 11

3 ADAS ed effetti sulla sicurezza stradale 17

3.1 Contributi degli ADAS alla mitigazione del rischio 17

3.2 Stime degli effetti noti da letteratura sulla sicurezza stradale 20

3.3 L'efficacia dei sistemi di assistenza alla guida e la variabilità dei risultati in funzione della tipologia di incidente. 37

4 Analisi dei dati raccolti da scatole nere 39

4.1 Obiettivi 39

4.2 Metodologia di analisi 39

4.3 Caratteristiche dei dati 41

4.4 Analisi degli effetti sulla sicurezza stradale attribuibili agli ADAS 52

5 ADAS: cosa offre il mercato 2018 61

5.1 Autovetture: l'offerta ADAS 63

5.2 Veicoli commerciali: l'offerta ADAS 76

6 Conclusioni 81

7 Riferimenti bibliografici 85

1 Introduzione

Nel corso degli ultimi anni, gli standard di sicurezza dei veicoli sono progressivamente divenuti sempre più rilevanti nella scelta dei modelli da parte degli utenti. Nel contempo, anche fra i non addetti ai lavori, si è compresa l'utilità delle tecnologie di assistenza alla guida i cd. ADAS (Advanced Driver Assistance Systems).

L'Europa si è preoccupata di incrementarne la diffusione, rendendo obbligatorio, per le autovetture immatricolate a partire dal 2022, la dotazione di serie di un pacchetto salvavita contenente, al suo interno, l'installazione di un numero crescente di dispositivi (15 strumenti fra cui la frenata automatica di emergenza, l'etilometro integrato, il riconoscimento sonnolenza e soglia di attenzione etc.).

Purtroppo, nonostante l'accresciuta consapevolezza e i progressi ottenuti negli ultimi anni sul fronte tecnologico, l'andamento sui dati di incidentalità, che per anni ha seguito un trend in discesa, nell'ultimo biennio sembra non essere riuscito a cogliere a pieno i progressi ottenuti dalle nuove tecnologie.

Bosch e la Fondazione Caracciolo, in collaborazione con il Politecnico di Torino, si sono posti l'ambizioso obiettivo di verificare sul campo, attraverso una metodologia sperimentale, l'effettiva capacità di alcuni sistemi di assistenza alla guida di ridurre il rischio di incidentalità.

L'analisi bibliografica delle ricerche esistenti ha da subito rilevato l'esplicitata impossibilità degli studi pregressi di pervenire a conclusioni univoche sull'efficacia di tali strumenti per la mancanza di dati certi sulle percorrenze. La variabilità di percorrenze fra i veicoli rende le statistiche attuali (basate su incidenti per milioni di veicoli) scarsamente utilizzabili per analisi di dettaglio sull'efficacia degli strumenti.

Con questo lavoro si è superata questa lacuna. Infatti, grazie all'analisi delle informazioni contenute nelle scatole nere di un robusto campione di 1,5 milioni di veicoli per l'anno 2017 e 1,8 milioni di veicoli per il 2018, l'esposizione al rischio dei diversi modelli è stata misurata in funzione dei km percorsi. I dati emersi sono di grande interesse e hanno consentito di dimensionare in dettaglio alcune intuizioni presenti in letteratura.

Dopo aver compreso l'efficacia potenziale di alcuni strumenti di assistenza alla guida, si è deciso di provare a tracciare una prima fotografia di insieme sulla diffusione delle diverse tecnologie nei modelli in commercio. Grazie al supporto fornito da *Quattroruote Professional* è stato possibile interrogare un database composto da 28.605 allestimenti diversi di veicoli.

2 Sistemi di sicurezza dei veicoli: l'impegno dell'Europa

Secondo le ultime stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, ogni anno nel mondo circa 1,35 milioni di persone sono vittime di incidenti stradali, che rappresentano, inoltre, la prima causa di morte dei giovani tra i 5 e i 29 anni d'età.

I Paesi maggiormente colpiti dal fenomeno dell'incidentalità stradale sono, infatti, quelli in via di sviluppo, dove i tassi di crescita della motorizzazione non corrispondono ad uno sviluppo infrastrutturale adeguato in termini di sicurezza.

Sebbene i Paesi avanzati registrino importanti miglioramenti nei livelli di sicurezza sulle strade, con un trend del numero di morti in continua flessione (-50% nel 2017 rispetto al 2001 e -20% rispetto al 2010, anno in cui si contarono più di 30.000 morti), gli ultimi dati sui livelli di incidentalità stradale pubblicati dalla Commissione europea rilevano però che nel corso degli ultimi cinque anni (a partire dal 2013) si è assistito ad un rallentamento dei progressi raggiunti e ad un incremento dei costi umani e sociali provocati dall'incidentalità stradale (il cui ammontare, nel 2017, è stato stimato in circa 120 miliardi di Euro).

Anche in Italia il bilancio degli incidenti stradali degli ultimi 17 anni ha evidenziato una riduzione di quasi il 34% degli incidenti e del 52% dei morti. Il 2017 ha visto però l'Italia scendere al diciottesimo posto della classifica europea per numero di vittime in incidenti stradali (+3% rispetto al 2016)[1], con un tasso di mortalità pari a circa 56 morti per milione di abitanti (7 vittime in più rispetto alla media europea), nonostante l'importante flessione del numero di incidenti (quasi 900 incidenti circa rispetto al 2016)[2].

Nel 2010, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha lanciato "il Decennio di Azione per la sicurezza stradale", con l'obiettivo di ridurre il numero delle vittime degli incidenti stradali. L'impegno delle Nazioni Unite per la sicurezza stradale viene poi confermato, nel 2015, dall'approvazione dell'"Agenda Globale per lo sviluppo sostenibile", nell'ambito della quale, tra i 17 *Obiettivi di Sviluppo prioritari* per il 2030, vengono inseriti due ambiziosi traguardi: dimezzare il numero di decessi a livello mondiale e le lesioni da incidenti stradali (ob. n. 3.6) e trovare il modo di creare un sistema di trasporti sicuro, accessibile e sostenibile per tutti (ob. n. 11.2).

Nel febbraio 2019, l'ONU e l'OMS promuovono la "Partnership for safer journeys", progetto rivolto alla sicurezza stradale del personale e dei veicoli delle Nazioni Unite. Il progetto prevede, tra le altre iniziative, investimenti per rendere i veicoli utilizzati più sicuri, per formare gli operatori, per gestire in modo efficace le emergenze post-incidente. In particolare, le flotte delle

[1] Commissione europea, *Statistiche preliminari sulla sicurezza stradale paese per paese per il 2017 (EU-28)*, http://europa.eu.
[2] Dati Istat-ACI, 2018.

Nazioni Unite a disposizione del personale dovranno rispettare tutti i requisiti di sicurezza ed essere dotate di sistemi di assistenza alla guida quali, ad esempio, il controllo elettronico della stabilità, i sistemi di frenata antibloccaggio, i sistemi di rilevamento pedoni. Obiettivo ultimo della Strategia è quello di stimolare l'interesse e gli investimenti nei Programmi di sicurezza stradale in tutto il mondo.

La Commissione europea, da sempre attenta al tema della sicurezza, già nel 2001, con il Libro Bianco "*La politica europea dei trasporti fino al 2010: Il momento delle scelte"*[3], proponeva ai Paesi membri l'obiettivo di dimezzare il numero di morti entro il 2010; nel 2003, con il Programma di azione europeo *Dimezzare il numero di vittime della strada nell'Unione europea entro il 2010: Una responsabilità condivisa*[4], la Commissione delineava e indicava poi alcune importanti misure rivolte in particolare allo sviluppo di nuove tecnologie di sicurezza nell'ambito dei programmi quadro di ricerca, che avevano come fine ultimo quello di rendere i veicoli più sicuri tramite l'armonizzazione dei requisiti tecnici e il sostegno al progresso tecnico. Con la Comunicazione "*Tecnologie di informazione e comunicazione per i veicoli intelligenti*"[5], la Commissione riaffermava il ruolo fondamentale delle tecnologie di informazione e delle telecomunicazioni nel settore della mobilità e, in particolare, nei veicoli, specificandone gli aspetti concernenti le tecnologie e-Safety[6].

Un importante ruolo ha avuto il progetto SafetyNet (2004-2008), finanziato dalla DG-TREN della Commissione europea, e la contestuale creazione dell'Osservatorio europeo della sicurezza stradale (ERSO[7]), che ha permesso di incrementare l'importante scambio di dati e conoscenze sulla sicurezza stradale dei Paesi membri[8].

Nel 2010, con la Comunicazione *"Verso uno spazio europeo della sicurezza stradale: orientamenti 2011-2020 per la sicurezza stradale"*[9], la Commissione ha inteso indicare specifiche azioni di intervento – rivolte ai tre fattori interconnessi che maggiormente impattano sui livelli di incidentalità stradale e sulla gravità delle conseguenze: le infrastrutture, l'uomo e il veicolo – relative a 7 aree strategiche (l'educazione stradale, il miglioramento della sicurezza dei veicoli e delle infrastrutture, anche attraverso la promozione delle moderne tecnologie, il rafforzamento dell'applicazione della normativa, la protezione degli utenti deboli e lo sviluppo di sistemi per rendere più rapidi gli interventi di assistenza post incidente) con l'obiettivo di dimezzare il numero totale delle vittime entro il 2020, a partire dal 2010. Successivamente, con il Libro Bianco del 2011, *"Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti – Per*

[3] [COM (2001) 370 def.].
[4] [COM (2003) 311 def.].
[5] [COM(2003) 542 def.].
[6] La Commissione europea, in collaborazione con l'industria automobilistica, nel 2002 avviò l'iniziativa eSafety, facendo seguito al Piano eEurope, lanciato durante il Consiglio europeo di Feira nel giugno 2001, che formulava raccomandazioni e azioni a livello comunitario che poi vennero presentate dalla Commissione nella Comunicazione relativa alle "Tecnologie di informazione e di comunicazione per i veicoli intelligenti" [COM(2003) 542 def.].
[7] L'Osservatorio si occupa di tutti gli aspetti legati allo sviluppo di politiche di sicurezza – per le infrastrutture e i veicoli – a livello europeo e nazionale (dei singoli Paesi).
[8] Come specificato nel Piano d'Azione per la Sicurezza Stradale del 2003.
[9] [COM (2010) 389/3].

una politica dei trasporti competitiva e sostenibile"[10], è stato indicato l'obiettivo di lungo termine *"zero morti sulle strade"* al 2050.

Altro passo importante[11] è quello fatto dal Parlamento Europeo nel 2015 con il voto a favore del Regolamento che ha sancito l'installazione obbligatoria della tecnologia eCall su tutte le vetture di nuova immatricolazione a partire dall'aprile 2018.

Nel maggio 2018[12], con il Terzo pacchetto di Azioni[13], "Europa in movimento", volto a modernizzare il sistema europeo dei trasporti, la Commissione europea completa la sua Agenda per una mobilità sicura, pulita e connessa. Obiettivo delle Azioni è promuovere una mobilità più sicura, con veicoli meno inquinanti e soluzioni tecnologiche più avanzate, sostenendo nel contempo la competitività dell'industria dell'Unione. Tra le azioni promosse, la Commissione ha proposto che tutti i nuovi modelli di veicoli siano equipaggiati con dispositivi di sicurezza avanzati, come la frenata d'emergenza e i sistemi di avviso di deviazione dalla corsia di marcia per gli autoveicoli o i sistemi di rilevamento dei pedoni e dei ciclisti per i veicoli pesanti, al fine di dimezzare il numero degli incidenti nel periodo 2020-2030, per poi tendere ad annullarli completamente entro il 2050.

Chiudiamo questo excursus, esplicativo non esaustivo, sulle azioni europee per la sicurezza stradale con il recentissimo (26 marzo 2019) comunicato stampa con il quale la Commissione europea – facendo appunto seguito a quanto pubblicato nel Terzo pacchetto mobilità – annuncia che le istituzioni europee hanno raggiunto un accordo politico provvisorio sul Regolamento generale relativo alla sicurezza stradale in Europa, che prevede, in aggiunta ai sistemi di sicurezza attiva, quali l'ABS (*Anti-lock braking system*) e l'ESC (*Electronic Stability Control*), già obbligatori rispettivamente a partire dal 2004 e 2011, di allargare l'obbligatorietà, per i nuovi veicoli, di alcune ulteriori tecnologie di sicurezza a partire dal 2022.
Il cosiddetto "Pacchetto Salvavita" comprende i seguenti dispositivi:

- Frenata automatica di emergenza (per autovetture);
- Etilometro integrato (per autovetture, furgoni, camion, autobus);
- Riconoscimento sonnolenza e soglia di attenzione (per autovetture, furgoni, camion, autobus);
- Registrazione dati in caso di incidente (per autovetture e furgoni);
- Avviso di frenata di emergenza (per autovetture, camion, autobus);
- Superamento crash test per la protezione dei passeggeri anteriori (per autovetture e furgoni);
- Allargamento della zona di impatto per la testa per pedoni e ciclisti (per autovetture e furgoni);

[10] [COM (2011) 144].
[11] Direttiva UE 2015/758.
[12] [COM (2018) 293].
[13] Si ricordano i primi due pacchetti: *Europe on the Move: Commission takes action for clean, competitive and connected mobility*, Brussels, 31 May 2017 [COM (2017) 283]; *Energy Union: Commission takes action to reinforce EU's global leadership in clean vehicles*, Brussels, 8 November 2017 [COM (2017) 653].

- Sistemi intelligenti di controllo della velocità (per autovetture, furgoni, camion, autobus);
- Mantenimento della corsia (per autovetture e furgoni);
- Protezione degli occupanti contro gli urti laterali (per autovetture e furgoni);
- Telecamera di retromarcia e/o sensori di prossimità (per autovetture, furgoni, camion, autobus);
- Monitoraggio della pressione degli pneumatici (per furgoni, camion e autobus);
- Rilevazione e avviso della presenza di utenti stradali vulnerabili sul lato anteriore e laterale del veicolo (per camion e autobus);
- Migliore visibilità, dalla posizione del conducente, degli utenti della strada vulnerabili (per camion e autobus).

L'importanza rivestita da questi dispositivi di sicurezza è suffragata anche dall'attività svolta da Euro NCAP, l'Organismo europeo che – in modo indipendente e su base volontaria – attraverso una serie di crashtest che simulano gli scenari di collisione più ricorrenti sulla strada, effettua una valutazione dei livelli di sicurezza attiva e passiva delle vetture immesse sul mercato. L'obiettivo di Euro NCAP è di aiutare il consumatore a valutare i modelli di auto e supportarlo nelle scelte di acquisto più rispondenti alle esigenze di sicurezza. Per garantire il potenziale acquirente e conducente, Euro NCAP premia solo i modelli di auto che prevedono l'installazione "di serie" dei sistemi di sicurezza.

2.1 I sistemi di sicurezza dei veicoli già obbligatori: dalla cintura di sicurezza all'ESC

I sistemi di sicurezza si dividono, come è noto, in due grandi macro-categorie: sicurezza "passiva" e sicurezza "attiva". I primi, progettati con lo scopo di ridurre le conseguenze dell'incidente una volta che questo si è verificato, sono tesi a gestire, o meglio ad assorbire, l'energia cinetica posseduta dal veicolo e dai suoi occupanti al momento dell'impatto. Appartengono a questa categoria, ad esempio, dispositivi come le cinture di sicurezza, gli airbag, i poggiatesta attivi, il piantone dello sterzo collassabile, le carrozzerie autodeformanti, i sistemi di ritenuta per bambini. Le cinture di sicurezza (primo prototipo brevettato nel 1959 e diventate obbligatorie nel 1988 per i sedili anteriori e nel 2003 per quelli posteriori), così come del resto l'air bag (brevettato nel 1971 per il solo conducente e imposto dal 2002 per il conducente e il passeggero), che da soli hanno contribuito a salvare milioni di persone, sono orami diventati indispensabili per poter guidare su strada e di fatto installati "di serie" su tutti i veicoli a quattro ruote.
Tra i sistemi di sicurezza attiva, che invece hanno lo scopo di prevenire ed impedire il verificarsi dell'incidente, rientrano, oltre a componenti meccaniche e di carrozzeria come freni, luci, ammortizzatori etc., sistemi elettronici sempre più intelligenti e sofisticati, come i già richiamati ABS ed ESC.
L'ABS è il sistema antibloccaggio delle ruote, brevettato nel lontano 1978, reso obbligatorio a partire dal 2004[14] su tutte le vetture in commercio. Il sistema consente, grazie ad una serie di

[14] A seguito dell'autoregolamentazione, che l'Associazione delle Case Automobilistiche Europee (ACEA) stabilì già nell'anno 2001.

sensori collocati sulle ruote della vettura e collegati ad una centralina, di evitare il blocco delle ruote in seguito ad una frenata improvvisa. La centralina legge la velocità di ciascuna delle quattro ruote del veicolo e, quando rileva il blocco di una o più di queste ultime in seguito ad un arresto repentino da parte del conducente, interviene sulla pompa idraulica regolando nel modo più corretto la forza frenante da applicare su ciascuna di esse, riuscendo in questo modo ad impedire lo sbandamento della vettura. L'ABS è particolarmente efficace, ad esempio, in situazioni in cui la guida è resa difficile da condizioni meteorologiche avverse (pioggia, ghiaccio etc.).
L'ESC (sistema di controllo elettronico della stabilità), introdotto per la prima volta nel 1995, è stato reso obbligatorio in tutti gli autoveicoli di nuova omologazione a partire dal 2011, mentre per quelli di nuova immatricolazione, ma omologati prima del 2011, dal 2014. Il sistema entra in funzione per impedire gli sbandamenti del veicolo quando, ad esempio, il conducente prende una curva in maniera errata, oppure perde il controllo del mezzo e si trova a dover gestire un improvviso e non voluto cambio di traiettoria. Il dispositivo agisce in maniera combinata con l'ABS e con il TSC (*Traction Control System* - Controllo Elettronico della Trazione del veicolo, antislittamento o antipattinamento, che ha la funzione di riattivare l'aderenza fra pneumatici e pavimentazione stradale) riducendo la potenza del motore e frenando direttamente le ruote, anche dosando diversamente la forza su ciascuna di esse.

2.2 Richiami sulle definizioni dei principali ADAS

I sistemi di ausilio alla guida, concepiti per migliorare le prestazioni dei veicoli e oggi sempre più diffusi sul mercato, possono essere presentati con terminologia non uniforme, pur indicando in realtà la stessa funzionalità come mostrato in Figura 1, oppure ancora inseriti in pacchetti commerciali che possono raggrupparne di diverse tipologie con un'unica denominazione (es. *Dynamic Chassis Control*, *IntelliSafe assist*, *Active Safety Pack*, *Safety Sense*, *Driving Assistant*,…).

ADAS Feature	Selection of Marketed Names
Adaptive Cruise Control	Adaptive Cruise Control , Smart Cruise Control, Intelligent Cruise Control, Adaptive Cruise Control with Queue Assist, Dynamic radar cruise control, Distronic Plus, Traffic-Aware Cruise Control
Lane Keeping Assistance	Active Steering Assist, Audi Active Lane Assist, Intelligent Lane Intervention, Lane Departure Alert with Steering Assist, Lane Keep Assist, LaneSense Lane Departure Warning Plus
Blind Spot Warning	Active Blind Spot Assist, Audi Side Assist, Blind Spot Information System, Blind Spot Intervention, Lane Change Alert with Side Blind Zone Alert, Lane Change Assistant (Side Assist), Smart Blind Spot Detection
Surround View Camera	Surround View System, 360° View Monitor, Intelligent Around View Monitor, Multi-terrain Monitor, Bird's Eye View Camera, Surround Vision, Top View Camera System,Wide Front View & Side Monitor

Figura 1 Esempi di nomenclature in commercio per diversi ADAS [2]

Il settore dei sistemi per la guida assistita è ancora oggi un settore in evoluzione, non completamente maturo, come testimoniato dalla continua presentazione sui nuovi modelli di auto di sistemi innovativi, conseguenza del rapido sviluppo di tecnologie hardware e software.

Le ricadute sulla sicurezza stradale degli ADAS sono state valutate da un'ampia letteratura, nella quale spesso si usano metodi di stima dei benefici tesi a colmare la disponibilità di dati specifici per una valutazione ad ampio spettro.

La Commissione Europea, in particolare l'Osservatorio sulla sicurezza stradale (European Road Safety Observatory - ERSO), nel recente documento "Advanced driver assistance systems", suddivide i principali ADAS in due classi: la prima comprende quei sistemi di cui sono noti gli effetti sulla sicurezza, mentre la seconda quelli i cui impatti non sono stati ancora chiaramente quantificati[15] [1].

Il primo gruppo (ADAS - *known safety effects*) comprende, oltre ai già richiamati ABS ed ESC, i seguenti sistemi:

Intelligent Speed Adaptation (ISA), che supporta il conducente a rispettare i limiti di velocità presenti lungo il percorso ed include l'informazione sul limite di velocità riferito al tronco stradale che sta percorrendo, integrandola con un segnale audio e video che avverte il conducente dell'eventuale superamento del limite (Warning ISA), oppure agendo sul pedale dell'acceleratore (Assisting ISA) o sull'iniezione di carburante (Restricting ISA) per indurre il comportamento del conducente al rispetto dei limiti consentiti.

Seat belt reminders, in grado di rilevare se la cintura di sicurezza è allacciata, in caso contrario avverte della mancanza con un segnale acustico con intensità crescente.

Alcohol Interlock Systems (AIS), che prevede la presenza di un etilometro che il conducente deve utilizzare per poter avviare il veicolo, per prevenire la guida in stato di ebrezza.

In-vehicle event data recorders (EDR), che registra i dati del veicolo per gli eventi relativi a incidenti. Il sistema può indirettamente influenzare la sicurezza stradale, poiché può condizionare il comportamento di guida, agendo sulla consapevolezza del monitoraggio continuo del modo di condurre il veicolo.

Autonomous emergency braking systems (City-AEB), che rileva, mediante sensori di bordo, i veicoli o altri utenti della strada in prossimità del veicolo stesso e, nei casi identificati come "rischio di collisione", applica la frenata di emergenza per evitare l'incidente o comunque per ridurne l'impatto. I sistemi comunemente definiti "City-AEB" o "low speed AEB" sono in grado di frenare per evitare una collisione ad una velocità relativa di circa 15 km/h.

Anti-lock braking for motorcycles, che evita il bloccaggio delle ruote dei motocicli durante una frenata di emergenza.

[15] European Commission, "Advanced Driver Assistance Systems," 2018.

Lane Keeping Warning Devices (LDW), che avvisano quando i sensori di bordo rilevano che il veicolo non sta mantenendo correttamente la propria corsia. Trattandosi soltanto di un segnale di allerta, l'impatto sulla sicurezza dipende anche dalla reazione del conducente e, dalla buona visibilità della segnaletica orizzontale.

Lane Keeping Assist (LKA) è un sistema automatico di assistenza al mantenimento della corsia, che agisce sullo sterzo, per evitare che il veicolo esca dalla corsia di marcia, a meno che non sia attivo l'indicatore di svolta.

La seconda categoria (ADAS - *unknown safety effects*) comprende i seguenti sistemi:

Emergency Brake Assist (AEB), che applica una frenata automatica nei casi di potenziale collisione con veicoli che procedono davanti, con lo scopo di ridurre il tempo e la distanza di arresto, supportando il conducente che tende ad applicare sul freno una pressione non adeguata alla condizione di emergenza.

Forward Collision Warning, che attraverso messaggi audio e video avvisa quando un veicolo è troppo vicino a quello che lo precede, considerando le velocità misurate dei veicoli.

Reverse Collision Warning System, che, con messaggi audio e video, interviene quando un veicolo è troppo vicino ad un ostacolo posteriore, rilevato mediante sensori posti nel paraurti.

Adaptive Cruise Control (ACC), che regola automaticamente la velocità del veicolo per mantenere la distanza di sicurezza dal veicolo che precede, applicando azioni di accelerazione e frenata.

Attention assist, che monitora il comportamento alla guida per evitare casi di sonnolenza o affaticamento, mediante sensori di misura dei movimenti del volante e quindi dello stile di guida o sensori video per l'interpretazione dello sguardo. Il conducente viene allertato con segnali acustici e visivi nel caso in cui il sistema percepisca una variazione significativa rispetto al comportamento abituale.

Vision enhancement, che supporta il conducente durante la guida notturna, in particolare rilevando la presenza di ostacoli grazie ai fari adattativi che si orientano verso la direzione di marcia del veicolo.

Multi-collision brake, che nascono per evitare le collisioni secondarie eseguendo la frenata completa in autonomia dopo che si è attivato l'airbag nel veicolo.

eCall, che permette di ridurre le conseguenze di un incidente contattando i servizi di emergenza (112) con un pulsante attivabile dal conducente o automaticamente grazie a dei sensori di bordo che possono individuare e caratterizzare l'incidente.

Electronic driving licences, che permette di controllare l'accensione del veicolo, dopo la verifica della corrispondenza tra il conducente e il veicolo, mediante la patente di guida su supporto smartcard.

In aggiunta a questa classificazione, si propone di seguito una suddivisione ulteriore delle tecnologie di assistenza alla guida secondo i livelli di automazione definiti dalla Society of

Automobile Engineers (SAE), che collocano i sistemi ADAS dal livello 0 al livello 2 (rif. Classificazione SAE[16]):

Il livello 0 riguarda i sistemi di allerta, ossia quei sistemi che non intervengono in modo diretto sulla guida del veicolo, ma avvisano il conducente con segnali acustici o visivi della situazione rilevata suggerendo le operazioni da effettuare (es. Lane Keeping Warning).

Nel livello 1 ci sono sistemi che possono intervenire nella guida nel caso di una situazione potenzialmente pericolosa che ne richieda l'attivazione. In questo caso il sistema interviene in modo automatico tramite azioni sullo sterzo (es. Lane Keeping Assist), provocando l'accelerazione o decelerazione del veicolo (es. Emergency Brake Assist).

Al livello 2 appartengono i sistemi che assistono il conducente nelle attività di guida ordinarie con livelli di automazione tali da svolgere funzioni di guida sia in direzione longitudinale che laterale (steering), per cui non intervengono in particolari situazioni ma possono essere sempre presenti durante la guida (es. Adaptive Cruise Control) e vanno attivati all'inizio del viaggio.

In Tabella 1 è proposta una classificazione dei principali sistemi ADAS secondo i livelli SAE precedentemente illustrati e raggruppati secondo la suddivisone proposta da ERSO.

Nel seguito del lavoro verranno trattati i sistemi di assistenza alla guida appartenenti al livello 1 SAE, denominata appunto Driver Assistance, che spesso comprendono anche segnali di allerta (livello 0) che si attivano immediatamente prima dell'azione correttiva sul veicolo.

[16] https://www.sae.org/

Tabella 1 Classificazione dei principali ADAS sulla base dei due livelli di automazione SAE (rielaborazione da [1])

	ADAS	Level 0 SAE	Level 1 SAE	Level 2 SAE
known safety effects	Intelligent Speed Adaptation (ISA)* *	√	√	
	Seat belt reminders	√		
	Electronic stability control (ESC)		√	
	Alcohol Interlock Systems (AIS)*		√	
	In-vehicle event data recorders*	√		
	Anti-lock braking systems in cars (ABS)		√	
	Autonomous emergency braking systems (City-AEB)		√	
	Anti-lock braking for motorcycles		√	
	Lane Keeping Warning Devices (LDW)*	√		
	Lane Keeping Assist (LKA)*		√	
unknown safety effects	Emergency Brake Assist (AEB)		√	
	Forward Collision Warning	√		
	Reverse Collision Warning System*	√		
	Adaptive Cruise Control (ACC)*			√
	Attention assist*	√		
	Vision enhancement	√		
	Multi-collision brake		√	
	eCall	√		
	Electronic driving licences		√	
* proposta UE obbligatorietà sulle auto nuove entro il 2021[17] o 2022[18]. **Esistono 3 tipologie di ISA: Warning ISA che può essere classificato come Livello 0 mentre Assisting ISA e Restricting ISA che si possono classificare come Livello 1.				

Per concludere la rassegna degli ADAS di interesse per l'analisi, si riporta in Figura 2 uno schema proposto da UNECE che raggruppa gli ADAS per tipologie a seconda del livello di assistenza e della azione del controllo che può agire in direzione laterale e/o longitudinale. Dallo schema emerge la gradualità delle implementazioni tecnologiche che ne giustifica, inoltre, la loro classificazione secondo i livelli SAE. Nella Figura 2 non sono presenti tecnologie di livello 0, ma si evidenzia il ruolo delle tecnologie di livello 1 per bassi livelli di automazione, muovendosi lungo gli assi, quelle di livello 2 invece prevedono elevata assistenza e controllo sia longitudinale che laterale (progressione in diagonale nel grafico). Considerando per esempio il controllo longitudinale del veicolo, si può osservare chiaramente l'evoluzione della tecnologia del Cruise Control da un livello di media assistenza alla guida ad alti livelli di assistenza attraverso l'Adaptive Cruise Control (ACC) fino al Cooperative Adaptive Cruise Control (C-ACC) che prevede la comunicazione fra veicoli per ottimizzare le azioni sulla velocità dei veicoli con una visione più estesa dello scenario di traffico.

[17] il Parlamento Europeo si è pronunciato a novembre 2017 a favore dell'obbligo sulle auto nuove entro il 2021 di dodici sistemi di sicurezza e assistenza alla guida; ad oggi le auto vengono fornite di serie con ABS e ESP.

[18] http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1793_en.htm

La variazione del livello di assistenza alla guida viene inoltre tradotta come differenza di scenari di attivazione, gli ADAS con bassi livelli di assistenza servono per intervenire in situazioni di emergenza migliorando le funzioni primarie di guida, mentre i sistemi ad alta assistenza vengono attivati durante tutta la guida in condizioni ordinarie.

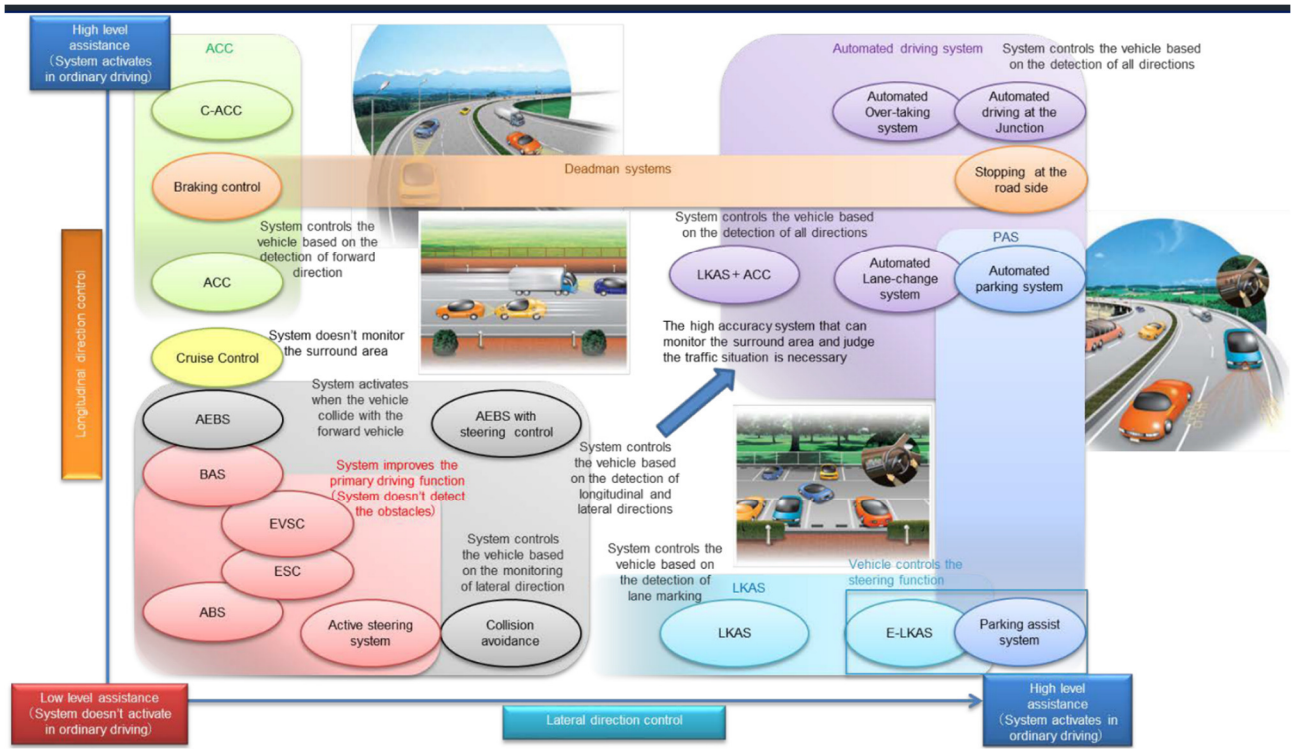


Figura 2 Esempio di tecnologie ADAS classificate secondo il livello di assistenza e la direzione del controllo sul veicolo [3].

3 ADAS ed effetti sulla sicurezza stradale

I sistemi di assistenza alla guida (Advanced Driver Assistance Systems - ADAS) sono definiti come sistemi intelligenti di sicurezza per i veicoli, orientati a migliorare la sicurezza stradale in termini di prevenzione degli incidenti, mitigazione della gravità e protezione nelle fasi post-incidente[19] [1].

Nel presente capitolo vengono riportati, senza pretesa di esaustività, i principali risultati di alcune ricerche internazionali inerenti i principali effetti noti sulla sicurezza stradale in seguito alla disponibilità sui veicoli di sistemi di assistenza alla guida.

L'organizzazione del capitolo segue una sequenza logica, che parte da un riepilogo, nel primo paragrafo, dei sistemi ADAS più diffusi, classificati in base al livello di maturità e al grado di automazione, e prosegue, nel secondo paragrafo, con l'individuazione degli scenari di incidenti in cui gli ADAS possono dare un contributo alla mitigazione del rischio. Nel terzo paragrafo sono riportati gli elementi principali dei metodi adottati dagli studi selezionati per le valutazioni di impatto e i risultati ottenuti dalle diverse ricerche per i principali ADAS, commentati e infine sintetizzati per descrivere i benefici attesi o provati in termini di sicurezza stradale dei sistemi di interesse selezionati (ESC e AEB).

Nei paragrafi che seguono saranno analizzati gli impatti in termini di sicurezza dei principali ADAS che intervengono in situazioni prettamente emergenziali con controllo unidirezionale, ossia quelli selezionati da ERSO e classificati come livello 1 SAE (si veda Tabella 1).

3.1 Contributi degli ADAS alla mitigazione del rischio

3.1.1 Scenari di incidentalità stradale

Gli impatti sulla sicurezza stradale degli ADAS, essendo questi ultimi focalizzati ad intervenire su specifiche manovre del veicolo, devono essere associati allo specifico scenario di incidente che riescono a mitigare, il quale può essere classificato secondo la natura dell'incidente e può essere correlato alla manovra effettuata dai veicoli durante l'evento, come proposto dalla National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) del Dipartimento dei Trasporti USA (Figura 3). Si noti che fra gli scenari vi sono anche incidenti che coinvolgono utenti deboli.

[19] European Commission, "Advanced Driver Assistance Systems," 2018.

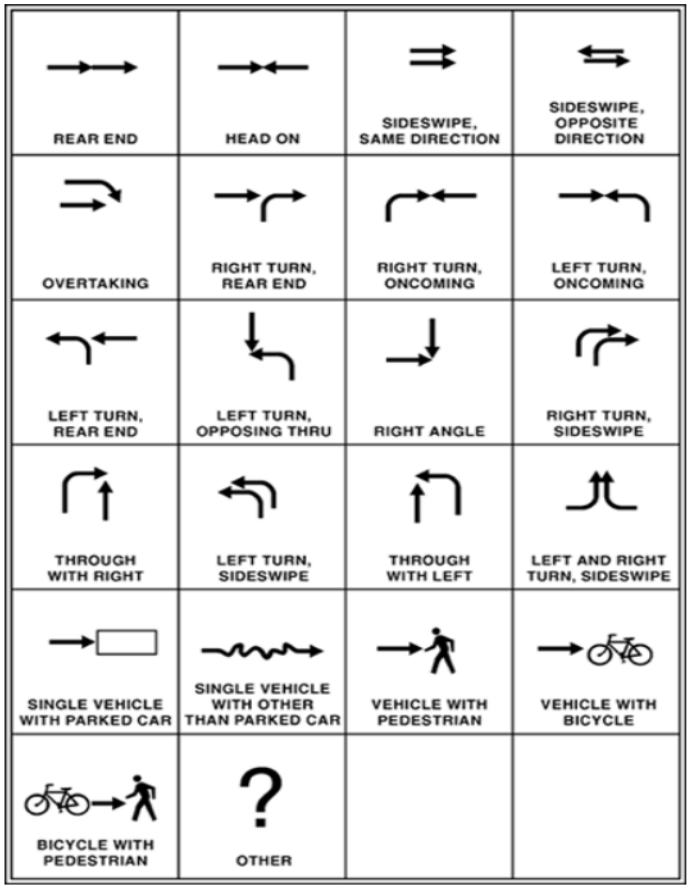


Figura 3 Classificazione tipologia di incidente [4]

A livello europeo, è proposta, dalla Commissione europea per la banca dati CADAS[20], una classificazione dettagliata della tipologia di incidenti con 6 classi composte rispettivamente in media da circa dieci sottoclassi che ne specificano le diverse caratteristiche [5]:

- incidenti con pedoni
- incidenti con veicoli parcheggiati
- incidente con singolo veicolo
- incidente con almeno due veicoli – senza svolta
- incidente con almeno due veicoli – con svolta o attraversamento
- incidente con omissione di soccorso

A livello nazionale, Istat, in collaborazione con ACI, definisce la codifica dello scenario di incidente con riferimento alla natura dell'incidente e, nello specifico le categorie individuate sono le seguenti:

- scontro frontale
- scontro fronto-laterale
- scontro laterale
- tamponamento
- investimento di pedoni

[20] Common Accident Data Set. Banca dati comunitaria dell'incidentalità stradale.

- urto
- fuoriuscita o sbandamento
- infortunio per frenata improvvisa o per caduta da veicolo.

La classificazione è specificata ulteriormente individuando anche le circostanze degli incidenti (ad esempio, "procedeva regolarmente", "procedeva con guida distratta", "procedeva senza mantenere la distanza di sicurezza" etc.), ma, considerata la finalità di sintesi del presente capitolo, non verrà qui dettagliata a tale livello.

Riepilogando, sono possibili diverse classificazioni per la descrizione degli scenari di incidente, come riportato brevemente in questo paragrafo, e nel seguito del lavoro si farà riferimento alla classificazione italiana proposta da Istat-ACI, perché consente di associare in modo sintetico gli effetti degli ADAS.

3.1.2 Matrice di tracciabilità fra ADAS e tipologia di incidente

Al fine di individuare gli scenari prevalenti in cui gli ADAS selezionati possono fornire un contributo alla riduzione del rischio, si propone la seguente matrice di tracciabilità (Tabella 2). Per i sistemi ISA (Intelligent Speed Adaptation) e AIS (Alcohol Interlock Systems), che agiscono rispettivamente sul rispetto dei limiti di velocità e sull'idoneità delle condizioni di guida del conducente, l'effetto è considerato trasversale su tutti gli scenari che si riferiscono alla natura dell'incidente. Per il sistema ISA un'associazione più fine potrebbe essere individuata con riferimento alle circostanze dell'incidente che riguardano l'eccesso di velocità. Per gli altri ADAS, il criterio adottato per l'associazione è stato più selettivo, escludendo gli scenari di incidente in cui il ruolo può essere ritenuto marginale.

Tabella 2 Matrice di tracciabilità fra ADAS e natura dell'incidente[21]

NATURA DELL'INCIDENTE	ADAS						
	ISA	ESC	AIS	ABS	City-AEB	LKA	AEB
SCONTRO FRONTALE	*		*				
SCONTRO FRONTO-LATERALE	*		*				
SCONTRO LATERALE	*		*			√	
TAMPONAMENTO	*		*	√	√		√
INVESTIMENTO DI PEDONI	*		*		√		
URTO	*		*		√		
FUORIUSCITA O SBANDAMENTO	*	√	*	√		√	

Le associazioni evidenziate in Tabella 2 fra gli ADAS e la natura dell'incidente mostrano come gli effetti degli ADAS si riferiscano prevalentemente ad alcuni scenari d'incidente e non siano

[21] Il simbolo √ indica lo scenario di incidente rilevante per il Sistema ADAS, il simbolo * indica che l'effetto è abbinabile allo scenario indicato, ma l'efficacia dipende dalle circostanze dell'incidente

quindi ad ampio spettro. Inoltre, se si considera uno scenario di incidente, non è univoca l'identificazione netta dell'ADAS che contribuisce alla sua mitigazione del rischio, in quanto i sistemi di assistenza alla guida possono agire anche in combinazione e questo spiega, in parte, la variabilità delle stime dei benefici dei singoli ADAS considerati.

Nella Tabella 3 sono riportati i dati degli incidenti 2017[22] riferiti agli stessi scenari individuati nella "Matrice di tracciabilità ADAS"; le quote percentuali evidenziano il peso rispetto al totale in termini di numerosità di incidenti, di morti e di feriti.

Gli incidenti classificati come scontro "fronto-laterale" sono i più numerosi e con il numero più alto di morti e feriti. Tuttavia, considerando la pericolosità degli scenari, stimata con il rapporto di pericolosità [RP = M/(M+F)][23][6], si evidenzia anche la rilevanza degli scenari di "scontro frontale" e "fuoriuscita o sbandamento".

Tabella 3 – Dati degli incidenti registrati nel 2017 aggregati per natura dell'incidente

NATURA DELL'INCIDENTE	DATI ANNO 2017						
	INCIDENTI		MORTI		FERITI		*Rapporto di pericolosità =M/(M+F)*
SCONTRO FRONTALE	9 926	6%	534	16%	17 334	7%	*3.0%*
SCONTRO FRONTO-LATERALE	56 763	32%	687	20%	83 641	34%	*0.8%*
SCONTRO LATERALE	20 751	12%	158	5%	26 864	11%	*0.6%*
TAMPONAMENTO	33 442	19%	353	10%	54 773	22%	*0.6%*
INVESTIMENTO DI PEDONI	19 481	11%	574	17%	21 699	9%	*2.6%*
URTO	15 709	9%	452	13%	19 830	8%	*2.2%*
FUORIUSCITA O SBANDAMENTO	15 347	9%	574	17%	18 878	8%	*3.0%*
ALTRO	3 514	2%	46	1%	3 731	2%	*1.2%*
TOTALE	174 933	100%	3 378	100%	246 750	100%	*1.4%*

3.2 Stime degli effetti noti da letteratura sulla sicurezza stradale

La letteratura scientifica disponibile, relativa agli studi che si sono occupati della quantificazione dei benefici ottenibili dall'introduzione degli ADAS, è molto estesa, come testimoniato anche dai risultati del progetto SafetyCube[24], finalizzato alla costruzione di un sistema a supporto delle decisioni (Decision Support System - DSS) per interventi innovativi riguardanti la sicurezza stradale.

I risultati dell'analisi bibliografica sono riportati nei paragrafi che seguono, organizzando le informazioni con riferimento ai sistemi ADAS già evidenziati nella Tabella 2 (e qui di seguito elencati), ad eccezione dei sistemi AIS (Alcohol Interlock Systems), perché non si riferiscono a

[22] http://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/incidentalita/la-statistica-istat-aci/2017.html
[23] ISTAT, "Nota metodologica - statistiche incidentalità," 2006.
[24] https://www.safetycube-project.eu/publications/. Progetto di ricerca finanziato dalla Commissione europea nell'ambito di Horizon 2020, Programma quadro dell'UE per la ricerca e l'innovazione, nel campo della sicurezza stradale. Il progetto è iniziato nel 2015 ed è durato tre anni.

scenari specifici di incidenti, ma intervengono per impedire l'avvio del veicolo, se lo stato del conducente non è adeguato, e al sistema ABS (Anti-lock braking system), in quanto di fatto inglobato nel sistema ESC, già obbligatorio:

- Controllo elettronico di stabilità (ESC)
- Frenata automatica di emergenza (AEB), che comprende sia i sistemi a bassa velocità (AEB-city), sia quelli extraurbani;
- Assistenza al mantenimento della corsia di marcia (LKA)
- Assistenza al rispetto dei limiti di velocità (ISA)

Si riportano, quindi, in modo integrato le stime degli effetti sulla sicurezza prodotte dai vari studi ottenute applicando metodi diversi, con riferimento alla riduzione del numero di incidenti e alla loro gravità.

Al fine di evidenziare meglio come i diversi studi hanno ottenuto le stime degli effetti sulla sicurezza stradale, la natura dei dati utilizzati e gli approcci adottati per le analisi, si riepilogano di seguito i principali metodi applicati nell'ambito degli studi esaminati, che vanno dall'analisi di casi specifici di incidenti avvenuti, fino alla simulazione di guida in ambiente virtuale. Per ogni metodo illustrato si riporta il riferimento ad almeno uno studio in cui tale metodo è stato adottato.

3.2.1 Metodi di stima

3.2.1.1 Analisi dati dei casi di incidente

In questo approccio, di tipo retrospettivo, si analizzano in dettaglio i dati raccolti dalle forze di polizia in occasione degli incidenti e ci si focalizza generalmente su scenari specifici, quale, ad esempio, il "tamponamento"[25][7], nel caso della valutazione del sistema di frenata automatica di emergenza AEB, anche quando è combinato con sistemi di allerta (FCW – Forward Collision Warning)[26][8]. L'analisi dello scenario è rilevante perché può aiutare a distinguere il ruolo del veicolo nell'incidente di una determinata natura, questo permette nell'analisi dei casi di tamponamento di isolare i benefici apportati dall'ADAS per i veicoli coinvolti.

In alcuni studi vengono analizzati i dati raccolti dalle compagnie di assicurazione[27][9], per valutare, caso per caso, il ruolo potenziale di uno specifico sistema ADAS nel ridurre la probabilità dell'evento o la gravità dello stesso, mediante la stima dei feriti o dei decessi causati

[25] M. Rizzi, A. Kullgren, and C. Tingvall, "Injury crash reduction of low-speed Autonomous Emergency Braking (AEB) on passenger cars," in Proceedings of IRCOBI Conference, 2014, pp. 656–665.
[26] J. B. Cicchino, "Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates," Accid. Anal. Prev., vol. 99, pp. 142–152, 2017.
[27] R. Anderson, T. Hutchinson, B. Linke, and G. Ponte, "Analysis of crash data to estimate the benefits of emerging vehicle technology Report documentation," 2011.

dall'incidente. I benefici sono poi proiettati sull'intera popolazione considerando la quota della tipologia di incidente esaminato rispetto al totale.

In alcuni studi[28][10] l'analisi avviene solo su modelli di veicoli selezionati di cui è nota la dotazione degli ADAS da valutare.

Una delle tecniche di stima degli effetti ampiamente adottata per la valutazione della riduzione del numero di incidenti[29][11], [12], [13] è quella basata sul Rapporto di probabilità (OR - Odds ratio[30]) fra i veicoli dotati di ADAS e quelli sprovvisti. Per ottenere dei dati di controllo non influenzati quindi dalla presenza della tecnologia a bordo dei veicoli, i dati degli incidenti sono divisi in due macro-categorie, a seconda del tipo di scenario che ha portato il veicolo all'incidente: nella prima, si ipotizza che il sistema ADAS non abbia la possibilità di intervenire nella prevenzione di un incidente (ad esempio, per l'ESC – Electronic Stability Control –, con veicolo in sosta o fermo in attesa di svoltare), mentre la seconda si riferisce a scenari in cui il ruolo dell'ADAS può avere un effetto nel ridurre il rischio di incidente (ad esempio, sempre per l'ESC, il sorpasso).

In questo modo, gli incidenti possono essere aggregati in quattro possibili casistiche, per il calcolo della numerosità, l'Odds ratio e l'Efficacia; ad esempio, con riferimento al sistema ESC abbiamo:

$$Odds\ ratio_{ESC} = \left(\frac{N_{00}}{N_{01}} * \frac{N_{11}}{N_{10}}\right)$$

$$Efficacia_{ESC} = \left(1 - \frac{N_{00}}{N_{01}} * \frac{N_{11}}{N_{10}}\right) * 100\%$$

Dove:

N00 è il numero di incidenti che coinvolgono un veicolo dotato di ESC per gli scenari in cui il sistema di controllo della stabilità ha effetto.

N01 è il numero di incidenti che coinvolgono un veicolo dotato di ESC per gli scenari in cui il sistema di controllo della stabilità non può avere effetto.

N10 è il numero di incidenti che coinvolgono un veicolo non dotato di ESC per gli scenari in cui il sistema di controllo della stabilità ha effetto.

[28] M. Doyle, A. Edwards, and M. Avery, "AEB Real World Validation Using UK Motor Insurance Claims Data," in Proceedings of the 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), 2015, no. June 8-11, pp. 1–14.

[29] Ad esempio, P. Thomas, "The accident reduction effectiveness of ESC equipped cars in Great Britain," 13th World Congr. Intell. Transp. Syst. Serv., no. May, 2006; A. Lyckegaard, T. Hels, and I. M. Bernhoft, "Effectiveness of Electronic Stability Control on Single-Vehicle Accidents," Traffic Inj. Prev., vol. 16, no. 4, pp. 380–386, 2015; A. Chouinard and J. F. Lécuyer, "A study of the effectiveness of Electronic Stability Control in Canada," Accid. Anal. Prev., vol. 43, no. 1, pp. 451–460, 2011.

[30] Che misura la correlazione tra due fattori attraverso la valutazione della frequenza di un evento in un gruppo e la frequenza di uno stesso evento in un gruppo di controllo.

N11 è il numero di incidenti che coinvolgono un veicolo non dotato di ESC per gli scenari in cui il sistema di controllo della stabilità non può avere effetto.

3.2.1.2 Meta-analisi

Al fine di rendere la stima degli effetti sulla sicurezza più robusta, alcuni studi incrociano dati provenienti da ricerche indipendenti per offrire stime integrate, che quindi compensano le lacune di dati e risultati presenti in alcuni studi con la disponibilità offerta da altri lavori. In questo approccio l'analisi dello stato dell'arte è generalmente estesa[31][14] e i risultati, pur comprendendo molti aspetti, hanno una variabilità ampia. In Fildes et al. (2015, 24-29)[32][15] il metodo è applicato per integrare le fonti di dati sugli incidenti accaduti e provenienti da sei diverse nazioni. Nello studio citato, l'efficacia del sistema di frenatura AEB è stimata sulla base di dati sperimentali relativi a incidenti stradali che hanno visto il coinvolgimento dei veicoli selezionati. Nello studio vengono esaminate le due versioni di AEB, "City o Low Speed" e "Inter-Urban o High speed", e, attraverso una tecnica statistica, vengono integrati i risultati che hanno l'obiettivo di stimare i rapporti fra tamponamenti "attivi" e passivi" per i veicoli dotati del sistema AEB e quelli sprovvisti.

3.2.1.3 Proiezioni aggregate degli effetti sulla sicurezza stradale

Uno dei metodi adottati in letteratura rapporta l'individuazione degli scenari di incidenti in cui si intravede una potenziale efficacia di uno specifico ADAS, ai dati di numerosità dei casi di incidente relativi agli scenari individuati. Quindi non si conosce quali ADAS sono effettivamente usati nei casi di incidente, ma si ipotizza una relazione fra un ADAS specifico e la sua efficacia nella mitigazione del rischio di uno specifico incidente. In Benson et al. (2018)[33][16], ad esempio, si fa riferimento alla letteratura più recente per fornire stime statistiche prudenti e aggiornate sul numero di incidenti, di feriti e di morti che potrebbero teoricamente essere evitati dotando tutte le auto, camioncini, furgoni, minivan e veicoli sportivi con ADAS. In particolare, lo studio prende in considerazione l'FCW (*Forward Collision Warning* – avviso di rischio di collisione diretta), l'AEB (*Autonomous Emergency Braking System* – frenata d'emergenza automatica), l'LDW (*Lane Keeping Warning Devices* – avviso per il mantenimento della corsia), l'LKA (*Lane Keping Assist* – assistenza al mantenimento della corsia), e infine, il BSW (*Blind Spot Warning* – monitoraggio dell'angolo cieco). A differenza di altri studi, in quest'ultimo vengono esclusi tutti quegli eventi incidentali verificatisi in condizioni climatiche avverse (ad esempio, con pioggia o neve) o con le condizioni degradate della strada (con ghiaccio) o quei casi in cui le forze dell'ordine hanno segnalato che il conducente era malato, o sotto l'effetto di droga o alcol, scenari in cui l'efficacia o l'utilizzo degli ADAS non possono essere garantiti.

[31] M. Bayly, B. Fildes, M. Regan, and K. Young, "Review of crash effectiveness of Intelligent Transport Systems," 2007.
[32] B. Fildes et al., "Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear-end crashes," Accid. Anal. Prev., vol. 81, pp. 24–29, 2015.
[33] A. J. Benson, B. C. Tefft, A. M. Svancara, and W.. Horrey, "Potential Reductions in Crashes, Injuries, and Deaths from Large-Scale Deployment of Advanced Driver Assistance Systems," Washington, D.C, 2018.

3.2.1.4 Analisi di rischio integrate

Gli effetti sulla sicurezza possono essere quantificati anche in termini di benefici economici su larga scala, applicando "Approcci integrati", quale quello applicato nel progetto eIMPACT (Wilmink et al., 2008)[34][17]. Il metodo prevede in una prima fase un'analisi delle varie tipologie di incidenti in diverse nazioni in Europa con la stima dei tassi di incidenti, feriti e morti, riferiti al parco circolante e alle distanze percorse dai veicoli. Successivamente, si stimano i tassi di penetrazione nel mercato delle diverse soluzioni ADAS in orizzonti temporali futuri e, mediante l'applicazione dei vari meccanismi indotti dagli ADAS, si ottiene una previsione dei loro benefici in termini di riduzioni percentuali di incidenti, feriti e decessi. Un approccio simile è adottato anche in Lai et al. (2012, 63-72)[35][18] integrando risultati ottenuti da test sul campo (della durata di 6 mesi, divisi in 3 fasi: 1 mese con l'ISA disattivato, 4 mesi con ISA attivo e limite velocità impostato secondo i limiti prevalenti, 1 mese nuovamente con l'ISA disattivato), con modelli di Regressione e Analisi in Simulazione per la valutazione dei sistemi ISA (Intelligent Speed Adaptation – gestione velocità secondo i limiti consentiti e adeguamento al veicolo che precede).

3.2.1.5 Simulazione di traffico e indicatori surrogati di sicurezza

La tecnica basata su indicatori surrogati di sicurezza (Surrogate Safety Assessment Model-SSAM) combina la micro-simulazione del traffico con l'analisi dei conflitti, esaminando la frequenza e le caratteristiche delle potenziali collisioni veicolo-veicolo e veicolo-pedone nel traffico stradale, generate durante la simulazione, valutando quindi il livello di sicurezza stradale in uno scenario definito[36][19]. Il conflitto è un evento in cui due utenti potranno avere, con una certa probabilità, una collisione senza la possibilità di compiere un'azione di deviazione. La simulazione fornisce come risultato le tracce di tutti i veicoli, per individuare le loro interazioni e classificare gli eventi di conflitto: in attraversamento (crossing), tamponamento (rear-end) e cambio di corsia (lane-change). Per ciascun evento, i principali indici di sicurezza surrogati sono:

- TTC - Minimum Time-To-Collision (Tempo di collisione minimo) è il tempo minimo prima della collisione tra due utenti stradali (minimum time-to-collision) nel caso in cui la traiettoria di collisione e le loro velocità vengano mantenute. Questa stima è basata sulla posizione, velocità e traiettoria dei due veicoli in un dato istante. In (Zoghi et al., 2010, 629-634)[37][20], che analizza in simulazione il sistema ISA, i conflitti sono considerati potenzialmente pericolosi per TTC con valori inferiori a 1,5 secondi. Il TTC

[34] I. Wilmink et al., "Socio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Co-operative Intelligent Vehicle Safety Systems (IVSS) in Europe", eIMPACT Project Assessing the Impacts of Intelligent Vehicle Safety Systems, Contract no .: 027421, Report name: Intelligent Vehicle Safety,", 2008.

[35] F. Lai, O. Carsten, and F. Tate, "How much benefit does Intelligent Speed Adaptation deliver? - An analysis of its potential contribution to safety and environment," Accid. Anal. Prev., vol. 48, pp. 63–72, 2012.

[36] K. M. Kim, "Analysis of Safety Impacts of Access Management Alternatives Using the Surrogate Safety," no. June 2017.

[37] H. Zoghi, K. Siamardi, and M. Tolouei, "ADA systems application for traffic safety improvement on roadways," 2010 2nd Int. Conf. Comput. Autom. Eng. ICCAE 2010, vol. 2, pp. 629–634, 2010.

è un indice basato sul tempo ed è ampiamente utilizzato, ma ha alcuni svantaggi, perché non considera eventuali altre azioni per evitare il conflitto e l'adattamento dei conducenti, che possono variare i tempi di reazione e le manovre di frenata, in relazione alle condizioni del traffico.

- PET - Minimum Post-Encroachment è un indicatore basato sul tempo ed è definito come il tempo che intercorre tra il primo veicolo che occupa una posizione ed il secondo veicolo che successivamente giunge nello stesso punto. In modo analogo al TTC, valori bassi di PET indicano un rischio maggiore.
- MaxS - Maximum Speed (Velocità massima) è la velocità massima dei veicoli coinvolti nel potenziale conflitto, individuato mediante la soglia specificata per il TTC. È un valore utile per fornire indicazioni sulla gravità di un potenziale conflitto.

Tale metodo richiede che il modello di simulazione sia calibrato e validato su scenari realistici, in quanto i parametri che regolano il comportamento dei veicoli simulati nel modello, quali ad esempio il tempo di reazione o la distanza di visibilità, influiscono anche sulla stima delle prestazioni degli ADAS che si vogliono valutare.

3.2.1.6 Simulazione di guida

Analisi con la guida simulata in laboratorio possono essere condotte per testare le funzioni ADAS e la reazione dei conducenti che guidano un veicolo equipaggiato mediante hardware e software negli scenari simulati. In (Maag et al, 2012, 45-54)[38][21] sono stati analizzati ADAS di tipo cooperativo per l'assistenza nelle manovre di immissione nel traffico (nello specifico, dalla rampa di accesso il driver deve immettersi in autostrada, in tre condizioni sperimentali distinte: con corsia di accelerazione di 30 metri, di 50 metri e di 50 metri con assistenza di immissione) e avviso di pericolo (il pericolo è creato da una frenata improvvisa di un'auto posizionata davanti, il test avviene in uno scenario con più veicoli e secondo tre varianti sperimentali: avviso in anticipo, avviso in ritardo, nessun avviso) attraverso l'utilizzo di simulatori multi-driver (più soggetti possono guidare nello stesso ambiente di guida virtuale e interagiscono tra loro). In (Saito et al., 2016, 660-671)[39][22], il sistema ADAS, testato in simulazione, ha l'obiettivo di valutare l'impatto degli ADAS in caso di "sonnolenza" del conducente. Il sistema usa uno schema di controllo doppio, che esegue simultaneamente il monitoraggio dello stato di stanchezza del conducente, l'avviso di spostamento dalla propria corsia e, in caso di nessuna o lenta reazione da parte del conducente, il mantenimento automatico della corsia. Alcuni esperimenti sull'utilizzo degli ADAS nelle manovre di cambio corsia sono stati condotti in (Butakov et al., 2015, 4422-4431)[40][23]. Il vantaggio della valutazione con la guida simulata

[38] C. Maag, D. Mühlbacher, C. Mark, and H. Krüger, "Studying Effects of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) on Individual and Group Level Using Multi-Driver Simulation," pp. 45–54, 2012.
[39] Y. Saito, M. Itoh, T. Inagaki, and S. Member, "Driver Assistance System With a Dual Control Scheme : Effectiveness of Identifying Driver Drowsiness and Preventing Lane Departure Accidents," IEEE Trans. Human-Machine Syst., vol. 46, no. 5, pp. 660–671, 2016.
[40] V. A. Butakov and P. Ioannou, "Personalized Driver / Vehicle Lane Change Models for ADAS," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 64, no. 10, pp. 4422–4431, 2015.

risiede essenzialmente nella possibilità di ripetere gli esperimenti in ambiente controllato, che può essere quindi modificato in modo specifico per testare le funzionalità ADAS.

3.2.1.7 Test dei veicoli equipaggiati con ADAS in scenari standard

Uno dei metodi più diretti per valutare le prestazioni di sicurezza dei sistemi ADAS è quello di effettuare prove di laboratorio sui veicoli dotati dei sistemi in ambiente simulato, per riprodurre scenari tipici di incidenti, quali ad esempio la collisione frontale, e verificarne il comportamento nella protezione del veicolo, degli occupanti e di utenti deboli potenzialmente coinvolti nell'incidente. L'iniziativa European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) fornisce, da quasi dieci anni, una valutazione della sicurezza di un veicolo espressa in stelle (da 1 stella, protezione da impatto scarsa, a 5 stelle, buona protezione globale in caso di impatto) e basata su una serie di test che coprono quattro aree: sicurezza degli adulti, sicurezza dei bambini, protezione degli Utenti Vulnerabili della Strada (VRU) e Safety Assist. Quest'ultima si basa sul risultato di test sulle principali tecnologie di assistenza al conducente, in particolare, i test effettuati riguardano i seguenti sistemi[41]:

- Controllo Elettronico della Stabilità – ESC:
  - ESC introdotto nel 2009, non più incluso nella valutazione dal 2016, poiché dal 2014 è diventato obbligatorio "di serie" su tutte le nuove vetture.
- Frenata automatica di emergenza - AEB Interurbano:
  - Introdotto nel 2014, aggiornato nel 2018.
- Frenata automatica di emergenza - AEB Pedoni:
  - Introdotto nel 2016, aggiornato nel 2018.
- Frenata automatica di emergenza - AEB Ciclisti:
  - Introdotto nel 2018.
- Sistemi di mantenimento della corsia – LKA:
  - Introdotto nel 2014, aggiornato nel 2018.
- Limitatori di velocità – ISA:
  - Introdotto nel 2009, aggiornato nel 2018.
- Avviso cinture di sicurezza – SBR:
  - Introdotto nel 2002, aggiornato nel 2018.

Per tener conto dell'evoluzione della tecnologia nei prossimi anni è prevista una transizione da un approccio "basato sulla tecnologia" (ad es. test per l'AEB) a una valutazione maggiormente "basata sugli scenari" che consentono vari tipi di interventi (ad es. frenata e sterzo)[42][24]. Questa revisione della metodologia complessiva di *rating* affronterà anche le opportunità di

[41] https://www.euroncap.com/it/sicurezza-dei-veicoli/la-valutazione-in-dettaglio/safety-assist/
[42] Euro NCAP, "Euro NCAP 2025 Roadmap," 2017.

sfruttare i test virtuali per aggiungere maggiore robustezza alla valutazione. Questo processo di transizione dovrebbe essere completato entro la fine del 2025.

3.2.2 Controllo elettronico di stabilità (ESC)

3.2.2.1 Effetti sulla numerosità degli incidenti

Lo studio [11] (Thomas, 2006)[43] si è posto come obiettivo la valutazione dell'efficacia dell'Electronic Stability Control (ESC) nella riduzione dell'incidentalità in Gran Bretagna. Per la stima dell'efficacia sono stati acquisiti i dati degli incidenti stradali, contenuti nel Database nazionale incidenti del Regno Unito STATS 19, relativi a 8.685 veicoli dotati di ESC, che sono stati confrontati con i dati di 41.318 veicoli di controllo, ossia non dotati di sistema elettronico di controllo della stabilità.

Per ottenere dati di controllo non influenzati dalla presenza di ESC a bordo dei veicoli, i dati degli incidenti sono stati divisi in due macro-categorie a seconda del tipo di scenario che ha portato il veicolo all'incidente: nella prima si ipotizza che il sistema di controllo della stabilità non abbia la possibilità di intervenire nella prevenzione dell'incidente (ad esempio, con veicolo in sosta o fermo in attesa di svoltare), mentre la seconda si riferisce a scenari in cui il ruolo dell'ESC possa avere un effetto nel ridurre il rischio di incidente (ad esempio, il sorpasso o le svolte).

Tali valutazioni, ottenute applicando l'analisi dettagliata dei casi (§3.2.1.1) di incidente con la tecnica casi-controllo (Odds ratio), hanno portato a stimare una riduzione del 3% di tutti gli incidenti nel caso in cui il veicolo coinvolto sia dotato di sistema di controllo elettronico della stabilità. La riduzione aumenta fino al 19%, nel caso in cui si considerino solo gli incidenti in cui un occupante abbia subito un infortunio grave, e al 15% nel caso di incidenti che si siano rivelati fatali per almeno uno degli occupanti.

Inoltre, lo studio ha prodotto valutazioni sulla possibile efficacia dell'ESC a seconda delle condizioni della strada; l'analisi ha mostrato come la riduzione degli incidenti per i veicoli dotati del sistema oggetto di studio salga fino al 25% nel caso di strada con neve o ghiaccio. Tale risultato, seppure rilevante, ha tuttavia un impatto complessivo limitato, essendo gli incidenti con strada innevata o ghiacciata solo il 2% del totale degli incidenti studiati.

Nello studio di Lyckegaard et al. (2015, 380-386)[44][12], la stima dell'efficacia dei sistemi di controllo elettronico della stabilità è condotta applicando l'analisi dettagliata dei casi di incidente con il metodo casi-controllo (Odds ratio), in maniera simile al già citato [11], confrontando i dati degli incidenti che hanno coinvolto veicoli dotati di sistemi di controllo della stabilità rispetto ai dati degli incidenti in cui i veicoli coinvolti ne erano sprovvisti. Lo studio utilizza un database degli incidenti con almeno un infortunio registrato dalla Polizia in Danimarca, dalla quale sono estratti i dati degli incidenti avvenuti tra il 2004 e il 2011 e che

[43] Op. cit.
[44] A. Lyckegaard, T. Hels, and I. M. Bernhoft, "Effectiveness of Electronic Stability Control on Single-Vehicle Accidents," Traffic Inj. Prev., vol. 16, no. 4, pp. 380–386, 2015.

coinvolgono almeno un veicolo passeggeri sotto i 3.500 kg. I veicoli sono divisi in due categorie, a seconda che siano dotati o sprovvisti di ESC "di serie"[45] e associati a scenari, in base alla possibilità del sistema di intervenire per la prevenzione o mitigazione dell'incidente. Nello studio sono applicate due tecniche di analisi per la stima dell'Efficacia del sistema di controllo elettronico della stabilità: la prima è quella del caso-controllo come in [11], la seconda considera altri fattori che consentono, tramite un modello di Regressione logistica, un calcolo più specifico dell'efficacia del sistema, quali l'età del conducente, l'anno di registrazione e il peso del veicolo, le condizioni di visibilità e di luce, il limite di velocità e le condizioni della pavimentazione, per quanto riguarda l'ambiente circostante. In sintesi, si applica un modello Logit per la stima della probabilità di essere coinvolti in un incidente, in cui la specificazione del modello è ottenuta come combinazione lineare dei fattori considerati e la calibrazione è condotta usando i dati degli incidenti opportunamente classificati. Con la prima tecnica, il classico rapporto di probabilità (Odds ratio) per i veicoli equipaggiati di sistema ESC di ritrovarsi in un incidente "a singolo veicolo" è stato calcolato pari a 0,40, mentre con la seconda tecnica, più raffinata, il rapporto, che è corretto considerando i fattori descritti, è calcolato pari a 0,69. Tale calcolo, che porta a stimare una riduzione del 31% del rischio di incidente che coinvolge un solo veicolo per i mezzi dotati di sistema ESC rispetto ai mezzi che non ne sono dotati, è considerato più in linea con i risultati di altre ricerche simili. La riduzione è stimata pari al 33% se si considerano gli incidenti con feriti.

In Chouinard e Lécuyer (2011, 451-460)[46][13], si propone di valutare l'efficacia dei sistemi di controllo elettronico della stabilità (ESC) in Canada utilizzando i dati degli incidenti stradali, disponibili nel Database nazionale degli incidenti stradali (NCDB)[47]: circa un milione e mezzo di veicoli coinvolti in incidenti in Canada tra il 2000 e il 2005, di cui circa 18.000 forniti di sistema ESC. In questo studio si adotta la stessa tecnica utilizzata in [11] e [12] (modello Odds ratio), in cui i dati degli incidenti dei veicoli dotati di ESC sono messi a confronto con quelli dei veicoli che ne sono sprovvisti. In particolare, anche in questo caso, come in [12], è stata utilizzata una "Regressione logistica", per consentire di valutare l'efficacia del sistema anche rispetto a variabili esterne come "esperienza del guidatore", "età del veicolo coinvolto nell'incidente" e "condizioni del manto stradale". In base alle variabili considerate nella Regressione logistica, la riduzione del rischio di incidente, in cui il controllo della stabilità può essere considerato un fattore chiave per i veicoli dotati di sistema ESC rispetto a veicoli che ne sono sprovvisti, è stimato pari al 41,1%. La riduzione è stimata pari al 49,3% se si considerano gli incidenti con feriti per incidenti che coinvolgono un singolo veicolo. Questo valore sale al 51,1% per gli incidenti che avvengono su pavimentazione coperta da neve o ghiaccio, situazione piuttosto diffusa in Canada a causa delle particolari condizioni climatiche.

[45] Da notare che i veicoli che dispongono di una qualche forma di sistema di controllo elettronico della stabilità come optional e che quindi non possono essere con certezza inseriti in alcuna delle due categoria precedentemente introdotte, sono aggregati ai veicoli senza ESC, per garantire comunque una stima prudente per l'efficienza del sistema nella prevenzione degli incidenti.

[46] A. Chouinard and J. F. Lécuyer, "A study of the effectiveness of Electronic Stability Control in Canada," Accid. Anal. Prev., vol. 43, no. 1, pp. 451–460, 2011.

[47] National Collision Database.

3.2.2.2 Valutazioni riferite alla gravità degli incidenti

Il sistema di controllo elettronico della stabilità (ESC) è stato identificato già nel 2008 da Wilmink et al.[48][17] come quello con più alto tasso di diffusione al 2020, circa del 75%. Il progetto eIMPACT prevede, con un "Approccio integrato" (§3.2.1.4), che il sistema ESC abbia un importante impatto potenziale in termini di sicurezza prevenendo un alto numero di morti e feriti dovuti a incidenti stradali, in particolare rispettivamente con una riduzione del 5,7% e del 14%.

In [17] si valuta, inoltre, l'effetto potenziale del sistema ESC nel caso in cui tutti i veicoli ne siano equipaggiati, i benefici in questo scenario sono rappresentati da una riduzione del 16,6% del numero di feriti e del 6,6% di morti. Il sistema ESC, oltre che ridurre la frequenza degli incidenti, agisce sulla velocità di collisione del veicolo, che è probabilmente inferiore rispetto a quella dei veicoli non equipaggiati e, di conseguenza, ne deriva un impatto minore sulla gravità dell'incidente [17].

In Figura 4 si riportano, a titolo di esempio, i risultati dello studio citato sul sistema ESC per tipologia di incidente, associati alla modifica diretta del comportamento di guida (Mechanism 1), che si riscontra quando l'abilità del conducente migliora nel mantenere il controllo del veicolo in quei casi in cui, in assenza del sistema ESC, potrebbe invece perdere stabilità.

Come prevedibile, lo studio del progetto eIMPACT [17] mostra, inoltre, come il sistema ESC possa avere anche effetti indiretti negativi (Mechanism 3): il conducente infatti, consapevole del possibile intervento del sistema sulla stabilità del veicolo, potrebbe assumere un comportamento di guida più incauto. Lo studio considerato [17] presume, ad esempio, che la velocità aumenti di 2 km/h in condizioni stradali avverse (es. condizioni meteorologiche sfavorevoli) con un conseguente aumento dei morti del 2,5% e dei feriti pari a 1,5%

ESC	Mechanism 1	
	Fatalities	Injuries
Collision on the road with pedestrian	-25,0 %	-15,0 %
Collision on the road with all other obstacles	-25,0 %	-15,0 %
Collision besides the road with pedestrian or obstacle or other single vehicle accidents	-35,0 %	-20,0 %
Frontal collision	-20,0 %	-12,5 %
Side-by-side collision	0,0 %	0,0 %
Angle collision	-12,5 %	-7,5 %
Rear collision	0,0 %	0,0 %
Other accidents with two vehicles	-12,5 %	-7,5 %

Figura 4 Effetti sulla gravità degli incidenti divisi per tipologia del sistema ESC associati alla modifica diretta del comportamento di guida [17].

[48] Op. cit.

3.2.3 Frenata automatica di emergenza (AEB)

3.2.3.1 Effetti sulla numerosità degli incidenti

Il ruolo dei sistemi AEB, in combinazione con i sistemi di allerta (FCW), emerge in Cicchino (2017, 142–152) [8], che stima, "Analizzando i casi di incidente" (§3.2.1.1) per alcuni modelli di veicoli selezionati e coinvolti in tamponamenti, una riduzione del tasso di sinistrosità (Istat, 2006), rispetto al parco circolante, del 50%, mentre per i sistemi di allerta la riduzione è del 27%. Una riduzione del 43% è stimata anche per i sistemi AEB a bassa velocità, che generalmente non prevedono l'allerta ed agiscono tempestivamente. Il beneficio di tali sistemi si conferma anche se si considerano gli incidenti con feriti, per i quali si stima una riduzione del tasso del 45% per AEB a bassa velocità e del 56% per AEB extraurbano. I vantaggi si riducono, invece, considerando questa stessa tipologia di incidente, per i sistemi di allerta (FCW), con un calo del 20%. Nei casi in cui i veicoli siano stati tamponati, la riduzione del tasso di sinistrosità è confermata per i sistemi di allerta e AEB a bassa velocità pari al 12%, ma non per i sistemi AEB ad alte velocità che vedono un incremento del tasso di sinistrosità del 20%.

Uno dei principali risultati ottenuti in [15] (Fildes et al., 2015, 24-29), basato sulla "Meta-analisi" (§3.2.1.2), è la significativa riduzione, del 38%, degli incidenti stimata per i veicoli dotati di AEB in comparazione ai veicoli sprovvisti di AEB. Lo studio è stato applicato in sei nazioni, nelle quali sono stati raccolti i dati degli incidenti con feriti, anche con riferimento ai limiti di velocità; questi ultimi non evidenziano differenze, relative agli effetti del sistema AEB, nei risultati tra incidenti in aree a bassa velocità (urbane ≤ 60 km/h) e quelle "rurali" (>60 km/h). Nello studio si precisa che la riduzione stimata degli incidenti dovrebbe essere causata da una diminuzione dei casi di tamponamento, ma potrebbe anche scaturire da un aumento dei casi di incidenti in cui i veicoli dotati di AEB sono tamponati da altri veicoli, come conseguenza involontaria di una frenata più efficace. Questo aspetto, come evidenziato in [15], richiede tuttavia ulteriori approfondimenti, che includano anche dati relativi all'esposizione al rischio (numerosità dei veicoli o distanze percorse).

La valutazione dell'efficacia del sistema AEB ad uso urbano (low-speed) è stata ambito di ricerca dello studio di Doyle et al. (2015, 1-14) [10]. Lo studio si è concentrato sul confronto tra il numero di richieste di indennizzo presentate ad agenzie assicurative da possessori di veicoli dotati del sistema AEB a basse velocità rispetto a quelle dei possessori di veicoli della stessa categoria privi di tale sistema. Lo studio ha quindi "Analizzato i casi degli incidenti" (§3.2.1.1), utilizzando un Dataset ottenuto da 12 agenzie di assicurazione operanti in Gran Bretagna e si è concentrato su due modelli dotati di sistemi di AEB urbano "di serie". Le circostanze degli incidenti che hanno portato alle richieste di indennizzo non sono prese in considerazione, quindi non è vi è modo di verificare l'effettiva possibilità di intervento del sistema di sicurezza nella prevenzione o mitigazione dell'incidente specifico, ma è stata fatta una differenziazione tra richieste di risarcimento per "danni al proprio veicolo", per "danni a veicolo (o altra proprietà) terzo" o per "infortunio di terzi". Il confronto statistico ha mostrato che i modelli presi in considerazione dotati di sistema AEB a basse velocità sono meno coinvolti in richieste di indennizzo rispetto ad altri veicoli appartenenti alle rispettive categorie e non dotati di tale dispositivo: in particolare, per uno specifico modello, le analisi hanno mostrato una riduzione trascurabile di richieste di indennizzo per danni al proprio veicolo e una flessione del 20% circa

per danni a veicoli terzi. Ancora più evidente è l'efficacia nella prevenzione di infortunio di terzi per i modelli esaminati, con un 21% di riduzione delle richieste di indennizzo rispetto ad altri SUV della stessa categoria non dotati di AEB (26.715 veicoli assicurati su base annuale) e una riduzione del 45% rispetto ad altri veicoli familiari della stessa categoria (7.216 veicoli). Tali risultati portano ad una riduzione complessivamente stimata per i due modelli di veicoli pari al 26,1% associabile agli incidenti con feriti.

Nello studio di Rizzi et al. (2014, 656-665) [7] vengono utilizzati i dati STRADA (Swedish Transport Accident Data Acquisition), dell'Agenzia per i Trasporti Svedese, sugli incidenti che avvengono su strade pubbliche e che hanno portato ad almeno un infortunio, per valutare l'efficacia del sistema AEB urbano (low-speed) nella prevenzione di tali incidenti. Per l'analisi sono stati considerati 3.922 incidenti che coinvolgono esclusivamente 6 modelli di veicoli dotati "di serie" del sistema AEB e altri 21 modelli di veicoli di varie case automobilistiche non dotati del sistema AEB. La valutazione dell'efficacia del sistema di sicurezza è effettuata considerando il numero di tamponamenti in cui il veicolo è parte lesa (veicolo che precede) e di tamponamenti in cui il veicolo è responsabile (veicolo che segue) per diverse velocità: il rapporto tra le due casistiche è calcolato separatamente per i veicoli dotati di AEB e per quelli che non ne sono provvisti.

Le analisi evidenziano rapporti molto vicini all'unità per tutte le velocità nel caso di veicoli senza AEB, i quali sono coinvolti, nel caso di tamponamento, con frequenze paragonabili come veicolo che precede e come veicolo che segue. I valori si riducono nel caso in cui il veicolo coinvolto nel tamponamento sia dotato di AEB con il rapporto nell'intervallo compreso fra 0,42 e 0,80, evidenziando una riduzione della frequenza per i casi dei veicoli che provocano il tamponamento a prescindere dalla velocità. In particolare, per velocità inferiori a 50 km/h, tipiche dei contesti urbani, si osserva la riduzione maggiore con il valore pari a 0,42. Lo studio [7] conclude, quindi, che la riduzione del numero dei tamponamenti causato dai veicoli con AEB è in media del 46% (tra il 36% e il 57%) nel caso di incidente a bassa velocità (inferiore a 50 km/h) e globalmente tra il 29% e il 41%.

Identificando gli incidenti per tamponamento registrati in USA nel 2016 che potenzialmente potrebbero essere evitati da sistemi AEB che includono anche FCW in [16] (Benson et al., 2018) si stima con "Proiezioni aggregate" (§3.2.1.3) un impatto su quasi 2 milioni di incidenti, che costituiscono il 29% degli incidenti complessivi. Alla stima si giunge dopo aver escluso dai quasi 2.500.000 incidenti dovuti alla fuoriuscita involontaria dalla corsia, i circa 500.000 incidenti presumibilmente non mitigabili dai sistemi AEB, perché avvenuti in condizioni nelle quali le prestazioni non sono garantite.

3.2.3.2 Valutazioni riferite alla gravità degli incidenti

Lo studio [10], come già visto, ha utilizzato un Database che raccoglie le richieste di riparazioni autorizzate dalle assicurazioni per valutare la gravità degli incidenti che coinvolgono un modello di SUV, dotato di sistema AEB urbano (low-speed), rispetto alla gravità degli incidenti che coinvolgono altri veicoli della stessa categoria (SUV). Per valutare la gravità degli incidenti sono stati presi in considerazione tre parametri: tempo medio di riparazione, costo medio della

riparazione e costo medio delle parti di ricambio, tutti nel caso di danni che coinvolgono il paraurti anteriore e la cui colpa è a carico del conducente del veicolo stesso, in modo da poter isolare i casi in cui l'intervento del sistema AEB avrebbe potuto ridurre l'entità del danno. Dall'analisi statistica è stata dedotta una riduzione della gravità degli incidenti che coinvolgono il modello selezionato, rispetto ad altri SUV senza AEB, tra il 10 e il 14% dei tre parametri di confronto utilizzati nello studio.

L'"Approccio integrato" (§3.2.1.4) presentato nel progetto eIMPACT, come già sottolineato, include sia la stima della diminuzione degli incidenti sia quella relativa alla loro gravità, attraverso la variazione della numerosità di morti e feriti [17]. Per ciò che concerne il sistema di frenata di emergenza (AEB), supponendo una diffusione in Europa del 100% del sistema a bordo dei veicoli, è prevista una diminuzione del numero di morti del 7% e dei feriti del 7,3%. Il sistema è in grado di ridurre la velocità d'impatto aumentando la sicurezza passiva e riducendo le conseguenze degli incidenti, ma non sono rilevati effetti indiretti sul comportamento di guida [17].

3.2.4 Assistenza al mantenimento della corsia di marcia (LKA)

3.2.4.1 Effetti sulla numerosità degli incidenti

Identificando gli incidenti registrati in USA nel 2016 che potenzialmente potrebbero essere evitati da sistemi LKA che includono anche il sistema di allerta LDW, in [16], applicando un metodo con "Proiezioni aggregate" (§3.2.1.3), si stima un impatto su circa 500.000 incidenti, che costituiscono il 7% degli incidenti complessivi. Alla stima si giunge dopo aver escluso dai quasi 1.400.000 incidenti dovuti alla fuoriuscita involontaria dalla corsia, i circa 900.000 incidenti presumibilmente non mitigabili da LKA, perché avvenuti in condizioni di scarsa visibilità o con condizioni climatiche avverse.

3.2.4.2 Valutazioni riferite alla gravità degli incidenti

In [17] gli effetti dei sistemi di assistenza al mantenimento della corsia di marcia (LKS – Lane Keeping Support) sulla sicurezza stradale sono stimati con un "Approccio integrato" (§3.2.1.4) nell'ambito del progetto eIMPACT e contemplano la diminuzione di incidenti, ma anche per la loro gravità e le modifiche indirette del comportamento degli utenti che si adattano alla presenza di nuovi sistemi tecnologici. Per tali sistemi l'effetto positivo principale si associa alla modifica diretta del comportamento di guida, con ripercussioni sul numero degli incidenti che coinvolgono solo un veicolo (circostanze di sbandamento associate alla natura di incidente "a veicolo senza urto con veicolo o altro ostacolo" sulla carreggiata) e sulla loro gravità. Su questi incidenti l'effetto è stimato con una riduzione del 70% di decessi e di feriti, a cui si affianca una riduzione del 20% per i casi di incidenti con scontro laterale. Considerando per lo scenario europeo la quota di decessi per tali incidenti sul totale (rispettivamente pari al 22% e 2%) ed uno scenario di lungo periodo con un tasso di penetrazione pari al 100% sia per veicoli sia pesanti che leggeri, si stima una riduzione del 15% del numero di decessi, dovuto complessivamente alla riduzione del numero di incidenti e della loro gravità. Si sottolinea che

alla stima effettuata in [17] si perviene applicando anche l'effetto negativo dovuto all'aumento del 3% dei decessi, attribuibile alla minore attenzione dei conducenti ed all'aumento dell'esposizione al rischio per le maggiori distanze percorse.

3.2.5 Assistenza al rispetto dei limiti di velocità (ISA)

3.2.5.1 Effetti sulla numerosità degli incidenti

Diversi studi dimostrano come una riduzione della velocità, obiettivo perseguito con il sistema ISA, che induce al rispetto dei limiti imposti, possa avere effetti sul verificarsi dell'incidente stesso così come sulla sua gravità [1].

La relazione con la velocità è stimata in Nilsson (1981)[49][25] con un modello di "Regressione polinomiale" in cui la dipendenza con il numero di incidenti, feriti e morti è individuata rispettivamente con la seconda, terza e quarta potenza della velocità. Il modello noto come "Power Model" è adottato per descrivere gli effetti della velocità sulla sicurezza. È basato sulla "meta-analisi" (§3.2.1.2) elaborando i dati di 98 studi contenenti 460 stime di relazione tra i cambiamenti di velocità e i cambiamenti nella sicurezza stradale. In Nilsson (2004)[50][26] viene esaminata l'affidabilità del metodo Power Model, ritenendo i risultati affidabili per le stime del numero di incidenti con feriti, con morti e feriti, ma si evidenzia una sottostima nel numero di morti. Qualche anno dopo questa analisi, in Elvik (2009)[51][27] è presentato un aggiornamento del metodo, proponendo versioni distinte per le strade urbane e le autostrade o strade extraurbane, rivedendo gli esponenti del modello. I risultati mostrano che gli effetti della riduzione della velocità sulla sicurezza stradale dipendono anche dalla velocità iniziale, con effetti maggiori per velocità iniziali elevate. Infatti, i valori degli esponenti del modello, riportati in Tabella 4, sono minori per le strade urbane, rispetto a quelli stimati per l'ambiente extraurbano.

[49] G. Nilsson, "The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden," in Proceedings, International symposium on the effects of speed limits on traffic crashes and fuel consumption, 1981, no. 68.
[50] G. Nilsson, "Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety," Lund Institute of Technology, 2004.
[51] R. Elvik, The Power Model of the relationship between speed and road safety Update and new analyses, vol. 41, no. 4. 2009.

Tabella 4 Stime delle potenze per il Power Model differenziate per ambiente di traffico [27]

	Summary estimates of power (standard error)	
Category	**Rural and freeway**	**Urban and residential**
Fatal accidents	4.13 (0.63)	2.64 (1.18)
Fatalities	4.56 (0.29)	3.87 (1.81)
Serious injury accidents	2.62 (2.72)	1.48 (0.32)
Seriously injured road users	3.76 (1.02)	2.29 (0.59)
Slight injury accidents	1.06 (0.55)	1.08 (0.18)
Slightly injured road users	1.39 (0.46)	1.08 (0.11)
Injury accidents (unspecified)	3.30 (0.37)	1.60 (0.23)
Injured road users (unspecified)	2.66 (0.19)	No estimate
Property damage only	2.60 (0.72)	0.82 (0.35)

Nello studio [18] si effettua un'"Analisi integrata" (§3.2.1.4) con i risultati ottenuti da test sul campo di 20 veicoli identici e 79 conducenti che utilizzano, come già precedentemente illustrato, un'auto equipaggiata con ISA per sei mesi, di cui il primo con ISA disattivo, 4 mesi con ISA attivo e 1 mese di nuovo con ISA disattivato. Le versioni del sistema ISA testate sono quelle su base volontaria (Voluntary ISA), in cui il sistema agisce sulla velocità del veicolo, ma può essere disattivato dal conducente, e quella obbligatoria (Mandatory ISA) in cui è impedita la disattivazione del sistema. Gli effetti del sistema di allerta (Advisory ISA) sono stati stimati invece da risultati di studi precedenti. Le diverse frazioni dei tassi di incidenti (con ISA / senza ISA)[52] per gli eventi con feriti e stimate con diversi modelli analitici, i quali sono applicati nei quattro scenari stradali selezionati, sono riportate in Tabella 5.

Tabella 5 Riduzione prevista degli incidenti con feriti per tipologia di ISA e di strada [18]

Road type	ISA variant	Speed limit					
		20 mph	30 mph	40 mph	50 mph	60 mph	70 mph
Unclassified roads	Advisory	0.95	0.98	0.97	0.98	1.00	–
	Voluntary	0.99	0.80	0.53	0.91	0.96	–
	Mandatory	0.38	0.59	0.39	0.91	0.96	–
B roads	Advisory	0.88	0.98	0.96	0.88	0.93	–
	Voluntary	0.70	0.76	0.69	0.85	0.88	–
	Mandatory	0.57	0.59	0.52	0.82	0.87	–
A roads	Advisory	–	0.98	0.98	0.87	0.89	0.97
	Voluntary	–	0.90	0.73	0.84	0.81	0.96
	Mandatory	–	0.46	0.42	0.73	0.77	0.87
Motorways	Advisory	X	–	0.98	0.84	–	0.92
	Voluntary	X	–	0.74	0.95	–	0.86
	Mandatory	X	–	0.32	0.66	–	0.75

[52] crash reduction ratio (X) =comparing the expected risk between the baseline condition and the ISA condition number of crashes in the presence of ISA would be X of the crashes that would occur in the absence of ISA.

Come atteso, la versione obbligatoria del sistema ISA presenta sempre le frazioni più basse, con maggiori vantaggi sulla sicurezza. L'effetto dell'ISA all'aumentare del livello di penetrazione della tecnologia è stato poi esplorato in "micro-simulazione del traffico". Lo studio conferma che l'efficacia aumenta con l'aumentare della diffusione del sistema: con una penetrazione della tecnologia del 100% l'ISA di tipo "Voluntary" ridurrebbe il numero di incidenti con feriti del 12%, mentre l'ISA di tipo "Mandatory" del 29%. [18] introduce inoltre un modello per le valutazioni a lungo termine (60-year period modelled), effettuato considerando la crescita di traffico, sulla base dei dati storici per 5 anni, e la tendenza del rischio di incidenti a ridursi nel tempo. Sono stati previsti due scenari a lungo termine: "Market Driven" in cui l'utente sceglie l'ISA in modo spontaneo, quindi paragonabile al comportamento dell'ISA "Voluntary" e uno scenario "Authority Driven" in qui l'implementazione del sistema è fortemente incoraggiata o richiesta dalle autorità e quindi il modello considera anche l'ISA "Mandatory". In quest'ultimo caso il modello prevede che l'ISA possa evitare il 30% degli incidenti mortali, mentre nel primo scenario la percentuale scende al 13%.

3.2.5.2 Valutazioni riferite alla gravità degli incidenti

Valutazioni del sistema ISA sono riportate in van Loon e Duynstee (2001, 148-156)[53][28] che mediante test drive rileva l'apprezzamento da parte dei conducenti e la modifica nel comportamento di guida. Nelle prove sono coinvolti 120 conducenti su 20 modelli di veicolo per un periodo di 8 settimane di cui le prime due con l'ISA non attivo e le restanti con il sistema attivato su tre velocità limite (30, 50 e 80 km/h). Il comportamento dei conducenti, registrato durante le prove, ha evidenziato il rispetto dei limiti in tutti i casi e andamenti di velocità più regolari, quindi con valori meno dispersi. Nello studio si riporta che nei Paesi Bassi, in seguito ai maggiori controlli sui limiti di velocità, si sarebbe ottenuta una riduzione del numero di ricoveri ospedalieri del 15% e del numero di vittime del 21%.

Il sistema definito nel progetto eIMPACT [17], legato al controllo dei limiti di velocità, viene chiamato SpeedAlert (SPE) ed ha le funzionalità del sistema ISA precedentemente descritto, ossia comprende un avviso dei limiti di velocità di sistema basato su mappe e telecamere ed un'azione dissuasiva applicata al pedale dell'acceleratore. L'effetto è stato valutato mediante un "Approccio integrato" e, con un tasso di penetrazione della tecnologia del 100%, viene stimata una riduzione del 8,7% del numero di decessi e del 6,2% del numero di feriti. I benefici sono il risultato della combinazione della riduzione della gravità degli incidenti e della loro numerosità. Lo studio [17] stima, inoltre, per una diffusione della tecnologia di circa il 45% nel 2020 e supponendo che i controlli sui limiti di velocità continuino ad aumentare, una riduzione del numero di morti del 5,2%. Questi valori sono anche correlati alla riduzione degli eccessi di velocità del 12% sulle strade urbane e del 43% sulle extraurbane; lo studio differenzia inoltre i risultati sulla base del volume di traffico, poiché si possono prevedere effetti maggiori quando i flussi sono bassi, poiché in condizioni di circolazione con alto traffico i veicoli riducono naturalmente la propria velocità.

[53] A. van Loon and L. Duynstee, "Intelligent Speed Adaptation (ISA): A Successful Test in the Netherlands," in Proceeding of the Canadian Multi-disciplinary Road Safety Conference XII, 2001, vol. 23, no. 1, pp. 148–156.

3.2.6 Sintesi dei risultati

Gli studi presenti in letteratura ricavano con diverse tecniche alcuni indicatori utili a misurare gli effetti degli ADAS sulla sicurezza stradale. Tra i principali parametri che vengono utilizzati, sono tuttavia legati alle ipotesi adottate e non sono sempre comparabili, troviamo ad esempio:

1. il numero di incidenti potenzialmente evitabili, qualora i veicoli coinvolti in quel particolare tipo di incidente fossero dotati di un ADAS in grado di agire nelle condizioni dello specifico incidente, stimato in [16];
2. la variazione del tasso di sinistrosità, che esprime il rapporto fra numero di incidenti e la numerosità del parco, di una particolare categoria di veicoli dotata di uno specifico ADAS, rispetto a quello di una categoria di veicoli sprovvisti, che si usa come riferimento in [8] e [10];
3. la riduzione del numero di incidenti associabili ad un determinato scenario, stimata mediante il rapporto di probabilità di incidente (Odds ratio) fra veicoli dotati di ADAS e quelli sprovvisti [11], [12], [13].

Tuttavia, con lo scopo di fornire un quadro sintetico e riepilogativo dei risultati disponibili in letteratura, con riferimento agli ADAS di maggiore interesse per gli sviluppi dello studio (ESC e AEB), si riportano nella Tabella 6 i diversi valori riscontrati delle riduzioni percentuali del numero di incidenti. Al fine di rendere omogenea la comparazione fra studi diversi, si è scelto di focalizzare la sintesi sui dati relativi agli incidenti totali e con feriti (Figura 5). Per ogni valore è indicato il riferimento bibliografico da cui il valore è stato estratto, il metodo adottato per la stima e se la riduzione percentuale si riferisce agli specifici scenari di incidente in cui l'ADAS può essere efficace o a tutti gli incidenti.

Tabella 6 Riepilogo dei valori di riduzione percentuale del rischio di incidente per i sistemi ESC e AEB

ADAS	RIDUZIONE n. INCIDENTE [%]		FONTE	METODO	SCENARIO DI INCIDENTALITÀ SPECIFICO
ESC	Totale	3	[11]	Analisi dati dei casi di incidente	SI
	Con feriti	19			
	Totale	31	[12]	Analisi dati dei casi di incidente	SI
	Con feriti	33			
	Totale	41	[13]	Analisi dati dei casi di incidente	SI
AEB	Totale	50	[8]	Analisi dati dei casi di incidente	SI
	Con feriti	56			
	Con feriti	38	[15]	Meta-analisi	SI
City-AEB	Totale	43	[8]	Analisi dati dei casi di incidente	SI
	Con feriti	45			
	Con feriti	38	[15]	Meta-analisi	SI
	Con feriti	26	[10]	Analisi dati dei casi di incidente	NO
	Con feriti	46	[7]	Analisi dati dei casi di incidente	SI

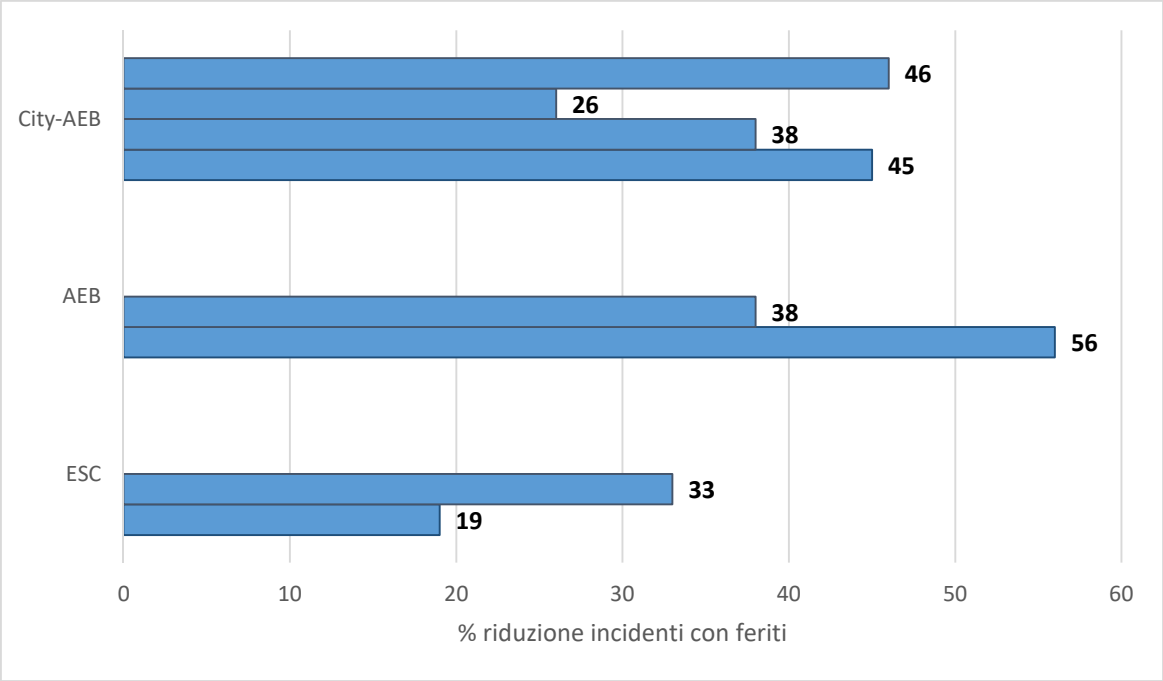


Figura 5 - Riduzione percentuale del rischio di incidente con feriti per i sistemi ESC e AEB

3.3 L'efficacia dei sistemi di assistenza alla guida e la variabilità dei risultati in funzione della tipologia di incidente.

Nel documento è stato analizzato lo stato dell'arte degli studi che hanno esaminato i principali effetti sulla sicurezza stradale indotti dai sistemi di assistenza alla guida (ADAS). I sistemi ADAS più noti sono stati in primo luogo classificati in base al grado di diffusione e poi associati al livello di automazione, al fine di evidenziarne le differenze in termini di azioni sulle attività di guida. Sono stati successivamente riepilogati gli scenari di incidenti in cui i sistemi di assistenza alla guida possono dare un contributo alla mitigazione del rischio, prima di descrivere i risultati sulla sicurezza, per chiarire e agevolare la lettura degli impatti. Questi ultimi, articolati per tipo di ADAS, sono sati introdotti riportando gli elementi principali dei metodi adottati per le valutazioni. Si evidenzia che uno degli approcci più frequenti per la stima dell'efficacia sulla sicurezza è l'analisi dettagliata dei casi di incidente con il metodo casi-controllo (Odds ratio), applicato confrontando i dati di incidenti che hanno coinvolto veicoli dotati di sistemi, rispetto ai dati di incidenti in cui i veicoli coinvolti ne erano sprovvisti. Ad esempio, per i sistemi di controllo elettronico della stabilità (ESC), se si considerano gli incidenti con feriti e si selezionano gli scenari di incidente nei quali il sistema ESC può avere efficacia, le stime di riduzione del numero di incidenti forniscono valori che variano dal 20% al 40%.

Gli effetti positivi si riscontrano anche per gli studi che analizzano gli impatti dei sistemi di frenata automatica di emergenza (AEB), che evidenziano stime di riduzione degli incidenti di circa il 50% nella versione extra-urbana. La variabilità delle stime, che si riferiscono in questo caso agli incidenti da tamponamento, si conferma anche per il sistema AEB con altri studi che

quantificano valori più prudenti con riduzioni inferiori al 30%. Per la versione AEB a bassa velocità, utile per mitigare anche il rischio di collisioni in città anche con biciclette e pedoni, i valori di riduzione sono generalmente confermati nello stesso intervallo fra il 30% ed il 50%.

Si evidenzia che i parametri utilizzati per le stime dei benefici sulla sicurezza stradale non sono sempre comparabili e la loro lettura deve essere sempre integrata con le ipotesi adottate durante le analisi, che chiariscono gli scenari di incidenti considerati, la loro gravità o, in alcuni casi, le tipologie di veicoli coinvolti. Tuttavia, i risultati ottenuti dalle varie ricerche per i principali ADAS confermano in generale gli effetti positivi sulla sicurezza, seppure segnalino, talvolta, il rischio che i conducenti possano modificare il loro comportamento, avendo eccessiva fiducia nei sistemi di assistenza e quindi assumere comportamenti non adeguati e poco prudenti.

4 Analisi dei dati raccolti da scatole nere

4.1 Obiettivi

Le analisi degli impatti sulla sicurezza stradale generati dai sistemi ADAS sono basate in questo documento sui dati provenienti da veicoli dotati di scatole nere per fini assicurativi. Il parco veicolare complessivamente monitorato è composto da circa 4 milioni di dispositivi su circa 9 milioni di veicoli assicurati, da cui sono selezionati dati di incidenti disponibili per circa 1,5 milioni di veicoli per l'anno 2017 e 1,8 milioni di veicoli per il 2018.

Lo scopo dell'analisi è di fornire stime quantitative degli effetti sulla sicurezza stradale riconducibili alla diffusione dei sistemi ESC e AEB fra i modelli di auto più diffusi, mediante la comparazione di indicatori numerici di sinistrosità.

Si precisa che i dati disponibili, essendo in forma aggregata, non consentono di esprimere un giudizio sul livello di sicurezza dei modelli specifici di veicoli. Tuttavia, le informazioni collegate ai modelli e agli anni di immatricolazione hanno consentito di ipotizzare la dotazione dell'ADAS di interesse per i veicoli monitorati.

4.2 Metodologia di analisi

Considerando che i dati acquisiti dai veicoli sono elaborati in forma aggregata per esigenze di riservatezza e di protezione dei dati personali, lo studio è condotto principalmente con riferimento all'anno di immatricolazione dei veicoli a cui è possibile associare, conoscendo il modello, l'introduzione sul veicolo del sistema ESC e AEB.

Al fine di condurre l'analisi su modelli specifici e di garantire un campione esteso, sono stati individuati i modelli di autovetture più diffusi sul mercato, utilizzando i dati di immatricolazione pubblicati da UNRAE per il 2018 e l'estrazione dati condotta da ACI.

La raccolta dei dati relativi agli incidenti stradali registrati per i modelli selezionati nel periodo di analisi (dati di incidenti del 2017 e 2018) è stata aggregata per anno di immatricolazione. Considerando che nei dati raccolti dai veicoli monitorati dalle scatole nere vi è la disponibilità delle effettive percorrenze annue, tale informazione ha permesso una stima efficace dell'esposizione al rischio dei modelli selezionati, seppure aggregata per anno di immatricolazione. Infatti, noto il dato di percorrenza annua media fornito per i modelli selezionati, sono state calcolate le distanze effettivamente percorse dai veicoli durante l'anno di analisi, aggregate per anno di immatricolazione e modello. Tale informazione estende quella più facilmente reperibile nelle basi dati, costituita dalla numerosità dei veicoli immatricolati in ciascun anno. Pertanto, i campi che descrivono la struttura dati sono i seguenti:

1. Anno di Osservazione (O)
2. Modello dei veicoli (M)
3. Anno di Immatricolazione (I)
4. Numero dei Veicoli osservati del modello con riferimento ad un anno di immatricolazione (V[O,M,I])
5. Percorrenza media annua (P[O,M,I])
6. Numero di Incidenti registrati (I[O,M,I])

Uno dei principali risultati dello studio è quindi la stima dell'indice di sinistrosità (IS) ottenuto dal rapporto fra il numero di incidenti[54] e le distanze complessivamente percorse da tutti i veicoli immatricolati in un determinato anno e di un modello o marca specifica.

$$IS[O,M,I] = I[O,M,I] / (V[O,M,I] \times P[O,M,I]) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Quando non è disponibile l'informazione sulle distanze effettivamente percorse dai veicoli in un periodo di analisi, che rappresenta in modo aggregato l'esposizione al rischio di incidenti, l'indice di sinistrosità si può calcolare in modo semplificato (ISS) come rapporto rispetto alla sola numerosità dei veicoli considerati:

$$ISS[O,M,I] = I[O,M,I] / V[O,M,I] \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Tale relazione, che è usata in molte analisi di sicurezza stradale, approssima bene la stima solo quando le percorrenze medie non differiscono in modo significativo fra i gruppi che si vogliono confrontare, ad esempio formati da modelli o anni di immatricolazione diversi.

Nel seguito, per i confronti si userà sempre l'indicatore IS, dopo averne evidenziato, mediante un confronto con ISS, il vantaggio nel cogliere meglio i fenomeni di variazione dell'incidentalità, confrontando insiemi di veicoli con età diversa e quindi con percorrenze medie differenti.

La stima degli effetti del sistema di controllo elettronico di stabilità (ESC) sull'incidentalità è stata effettuata classificando i modelli disponibili in categorie rappresentative di modelli simili[55] e stimando gli indici per le categorie di modelli con riferimento agli anni di immatricolazione. Sulla base delle informazioni disponibili, è stato usato quindi l'anno di immatricolazione per separare i veicoli dotati di ESC da quelli che presumibilmente ne sono sprovvisti. In assenza di informazioni, sono stati considerati con ESC i veicoli con anno d'immatricolazione superiore al 2014 e sprovvisti quelli con anno di immatricolazione anteriore al 2011. Sono stati scartati quindi i dati riferiti ad anni di immatricolazione intermedi[56] quando l'informazione su ESC non era disponibile.

La stima degli effetti del sistema automatico di frenata di emergenza (AEB) sull'incidentalità è stata effettuata riclassificando i modelli disponibili, in categorie rappresentative di modelli simili più ampie rispetto alle precedenti, e stimando gli indici per le categorie di modelli in cui

[54] Per gli incidenti considerati nello studio non sono disponibili informazioni riguardanti la natura e le circostanze dell'incidente e quindi non è possibile, in questa fase, associare lo scenario specifico di incidente all'ADAS di interesse.

[55] La classificazione è stata eseguita considerando i segmenti auto del mercato europeo https://en.wikipedia.org/wiki/Car_classification

[56] L'Unione europea ha deciso di rendere il sistema ESC obbligatorio per gli autoveicoli di nuova omologazione dal novembre 2011; per i modelli già omologati in data antecedente, l'obbligo decorre dal novembre 2014 (https://www.alvolante.it/news/esp-obbligatorio-su-auto-da-novembre-2014-337906)

è nota l'informazione sulla disponibilità del sistema AEB. L'anno di immatricolazione, anche in questo caso, ha permesso di risalire all'informazione per i modelli individuati, che è disponibile dai test Euro NCAP.

Compatibilmente con i dati disponibili, è stata introdotta anche un'informazione approssimata di gravità degli incidenti[57] registrati dalla scatola nera o gestiti dall'assicurazione. In particolare, è stato usato il valore del danno complessivo associato all'incidente per isolare gli incidenti più rilevanti.

4.3 Caratteristiche dei dati

Al fine di descrivere le informazioni utili che possono essere estratte dai dati, si riportano di seguito alcuni dei primi risultati ottenuti dall'analisi, con riferimento alla numerosità del campione, evidenziando i veicoli monitorati, le distanze percorse e gli indicatori di sinistrosità.

4.3.1 Numerosità del campione

La raccolta dei dati è stata avviata in via esplorativa su alcuni modelli diffusi nel mercato ed è stata estesa ai dati di incidenti registrati durante il 2017 e il 2018 su ulteriori modelli di auto, selezionati sulla base della loro diffusione nel parco veicolare dotato di scatole nere. Si precisa che le modalità di estrazione dei dati di sinistrosità per i due anni sono differenti: per il 2018 sono raccolti tutti gli incidenti registrati per i modelli selezionati, mentre quelli del 2017 si riferiscono ad incidenti con un danno complessivo collegato al sinistro superiore a 10.000 €. I due insiemi di dati, quindi, non consentono di confrontare il fenomeno della sicurezza fra i due anni, ma sono usati per effettuare una comparazione degli effetti degli ADAS esaminati in relazione al livello di gravità degli incidenti.

Per gli incidenti registrati nei due anni sono stati selezionati 17 modelli, come indicato in Tabella 7 con un totale di quasi un milione e mezzo di veicoli per il 2017 e di oltre un milione e ottocentomila veicoli per il 2018.

Le percorrenze totali sfiorano i 13 miliardi di chilometri durante il 2018, con quasi 150 mila incidenti registrati. Per il 2017 le percorrenze sono inferiori, per effetto del numero più basso di veicoli dotati di scatole nere, mentre la riduzione degli incidenti, meno di centomila, è dovuta anche al filtro applicato sull'entità del danno. Ciò si evidenzia anche nei valori degli indici di sinistrosità IS medi, che sono pari a 8.6 per il 2017 e 11.1 per il 2018 con una variabilità del fenomeno evidente: considerando il 2017, IS varia da un minimo di 4.9 (modello 14) ad un massimo di 11.7 (modello 9), per il 2018 da 5.7 (modello 5) a 15 (modello 9). Tali differenze, che evidenziano una frequenza di incidenti più che raddoppiata per alcuni modelli rispetto ad altri, hanno motivato l'analisi di dettaglio descritta nel seguito. Dai dati emerge inoltre una

[57] Dai dati registrati dalla scatola nera non sembra possibile individuare direttamente la tipologia di incidente secondo la classificazione ISTAT, ma in una fase successiva si valuterà la possibilità di associarla tramite l'informazione di posizione disponibile.

tendenza abbastanza chiara se si considerano i valori aggregati per anno di immatricolazione dei veicoli (Figura 6).

Tabella 7 – Modelli dei veicoli monitorati nel 2017 e 2018 con indicazione del numero totale di veicoli, dei sinistri e delle distanze complessivamente percorse.

2017					
Modelli	**Veicoli [n]**	**Sinistri [n]**	**Percorrenze [veic. x km]**	**IS [Sin/Ml veic.xkm]**	**ISS [Sin/1000 veic.]**
Modello1	75.086	5.730	572.102.900	10,0	76,3
Modello2	15.650	1.003	173.649.922	5,8	64,1
Modello3	42.614	2.932	394.630.087	7,4	68,8
Modello4	77.863	5.656	629.472.805	9,0	72,6
Modello5	2.328	153	22.956.970	6,7	65,7
Modello6	82.502	5.478	608.929.796	9,0	66,4
Modello7	124.371	9.496	1.042.284.564	9,1	76,4
Modello8	71.032	4.823	708.534.136	6,8	67,9
Modello9	38.990	2.883	246.842.113	11,7	73,9
Modello10	35.941	2.921	303.943.079	9,6	81,3
Modello11	284.753	15.867	1.970.045.609	8,1	55,7
Modello12	71.978	5.554	598.661.180	9,3	77,2
Modello13	310.375	20.069	2.472.502.114	8,1	64,7
Modello14	12.034	689	141.538.307	4,9	57,3
Modello15	15.118	927	182.975.044	5,1	61,3
Modello16	84.470	6.178	631.615.015	9,8	73,1
Modello17	99.831	8.003	800.549.076	10,0	80,2
Totale	**1.444.936**	**98.362**	**11.501.232.716**	**8,6**	**68,1**
2018					
Modelli	**Veicoli [n]**	**Sinistri [n]**	**Percorrenze [veic. x km]**	**IS [Sin/Ml veic.xkm]**	**ISS [Sin/1000 veic.]**
Modello1	97.308	8.576	668.413.324	12,8	88,1
Modello2	24.551	2.238	266.760.163	8,4	91,2
Modello3	50.735	3.784	402.942.119	9,4	74,6
Modello4	98.878	8.398	733.855.743	11,4	84,9
Modello5	6.694	415	72.356.250	5,7	62,0
Modello6	100.591	7.836	667.508.261	11,7	77,9
Modello7	153.064	13.203	1.148.503.670	11,5	86,3
Modello8	86.165	6.720	751.690.960	8,9	78,0
Modello9	48.817	4.148	276.783.733	15,0	85,0
Modello10	46.013	4.309	347.539.991	12,4	93,6
Modello11	358.010	24.553	2.260.226.196	10,9	68,6
Modello12	90.505	8.241	687.807.049	12,0	91,1
Modello13	379.226	27.683	2.625.488.598	10,5	73,0
Modello14	19.134	1.656	219.088.111	7,6	86,5
Modello15	20.609	1.685	240.728.387	7,0	81,8
Modello16	103.548	9.133	700.497.911	13,0	88,2
Modello17	126.438	11.568	917.500.693	12,6	91,5
Totale	**1.810.286**	**144.146**	**12.987.691.159**	**11,1**	**79,6**

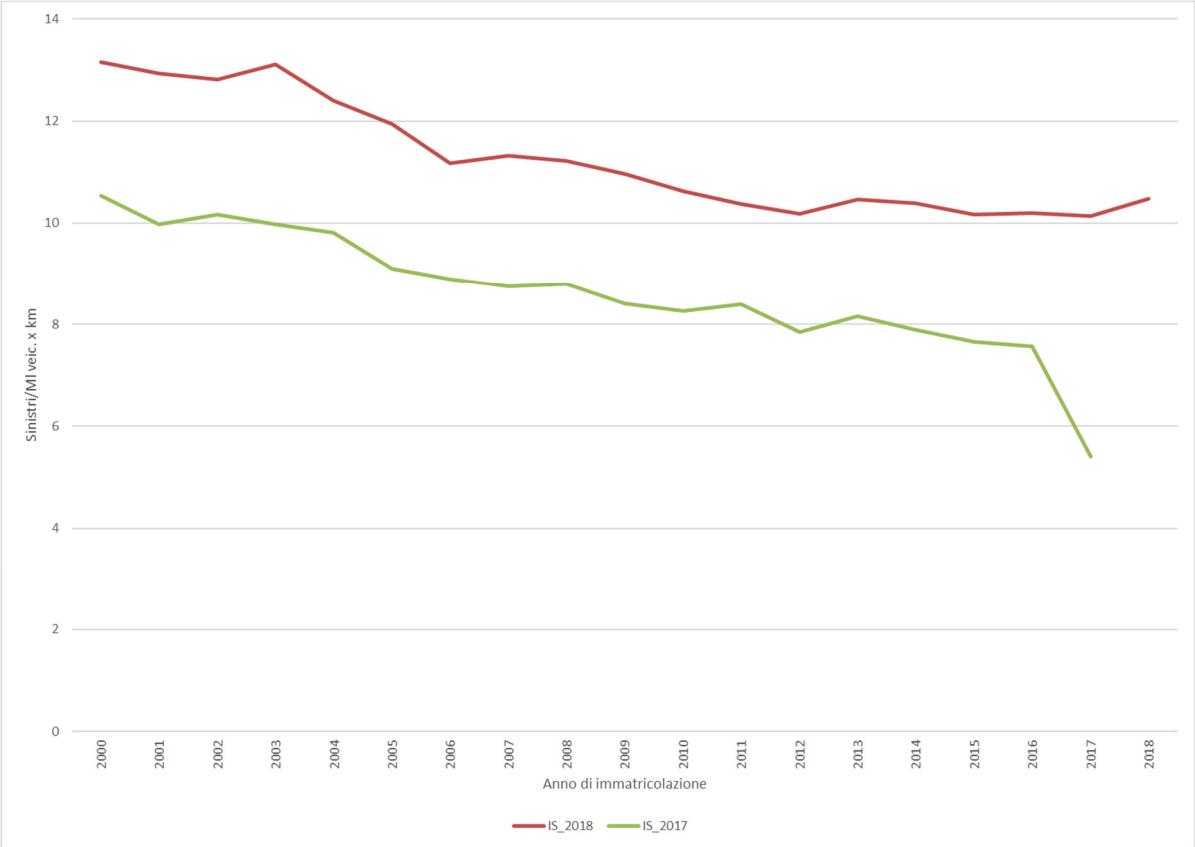
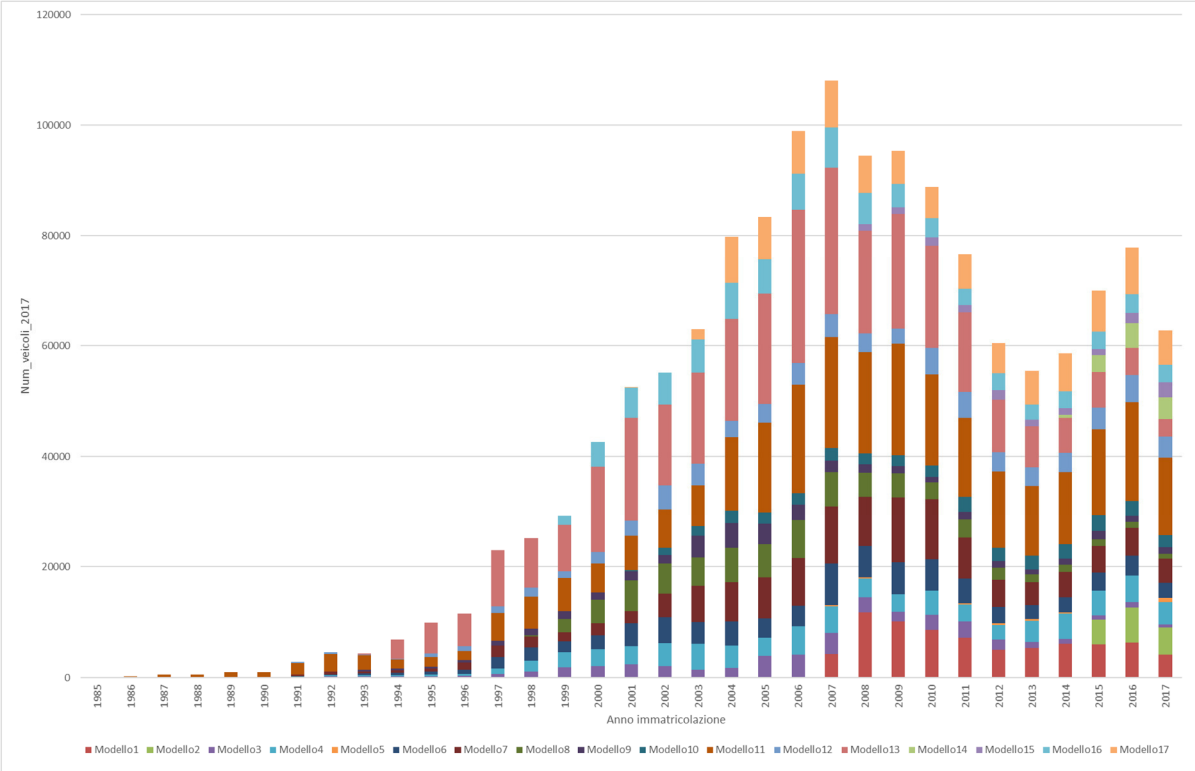


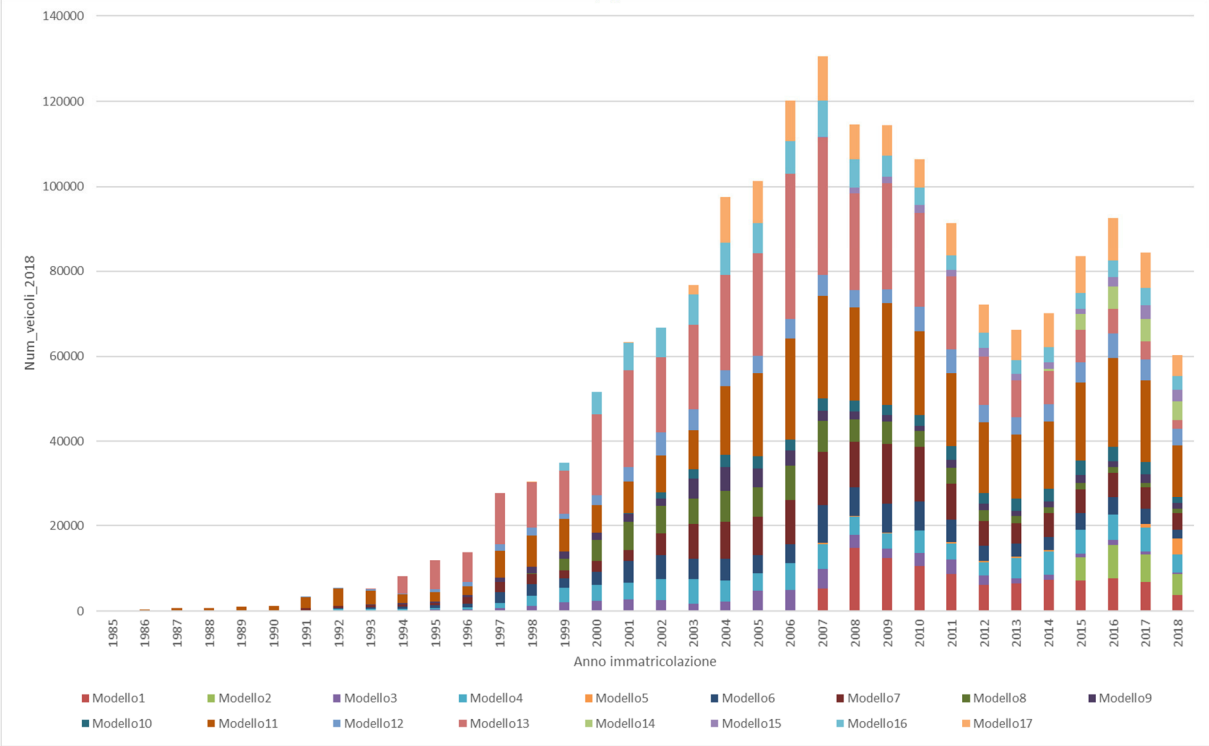
Figura 6 - Indice di sinistrosità calcolato negli anni 2017 e 2018 per i veicoli con riferimento al loro anno di immatricolazione

Il grafico conferma la diversa sinistrosità dei due insiemi di dati che si riferiscono a tipologie di incidenti fra loro non comparabili e si manifesta un trend di riduzione della sinistrosità per i veicoli più recenti a partire dal 2000. Per i veicoli con anno di immatricolazione precedente la bassa numerosità (confermata dalla Figura 7) non consente di evidenziare un trend chiaro.

Dai dati forniti, sono stati scartati quelli riferiti a modelli presenti con meno di 30 veicoli per anno di immatricolazione o con percorrenza media annua inferiore a 2.000 km. La numerosità dei vari modelli per anno di immatricolazione è riportata in Figura 7.

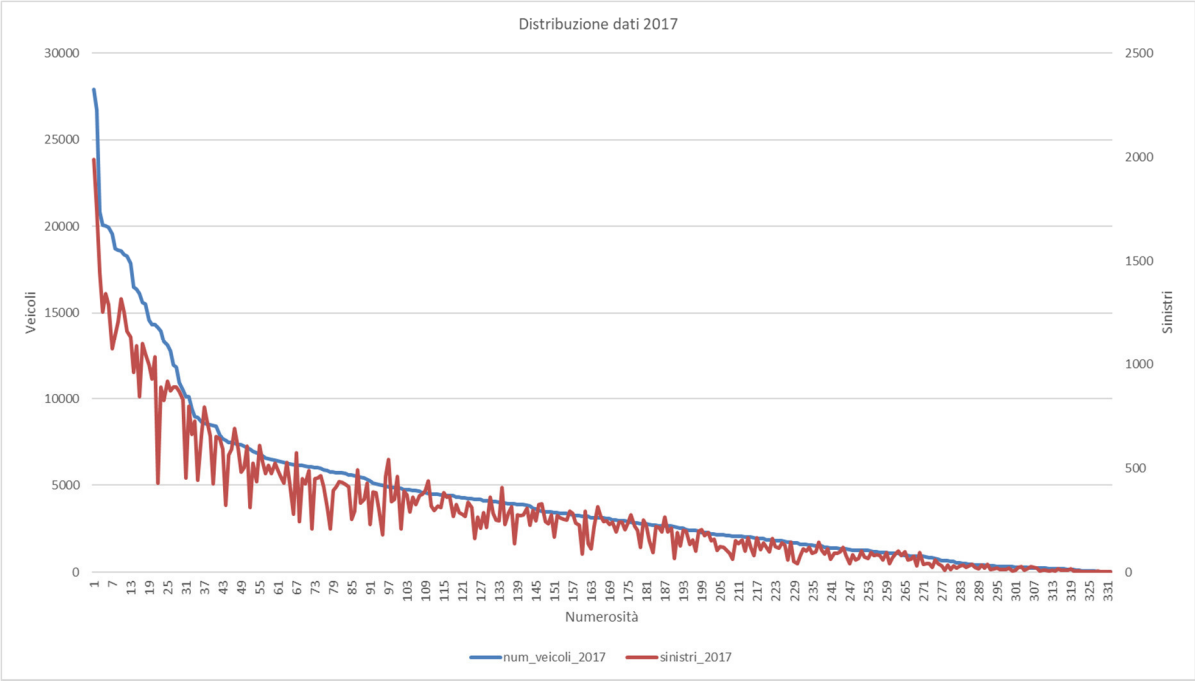


(a)

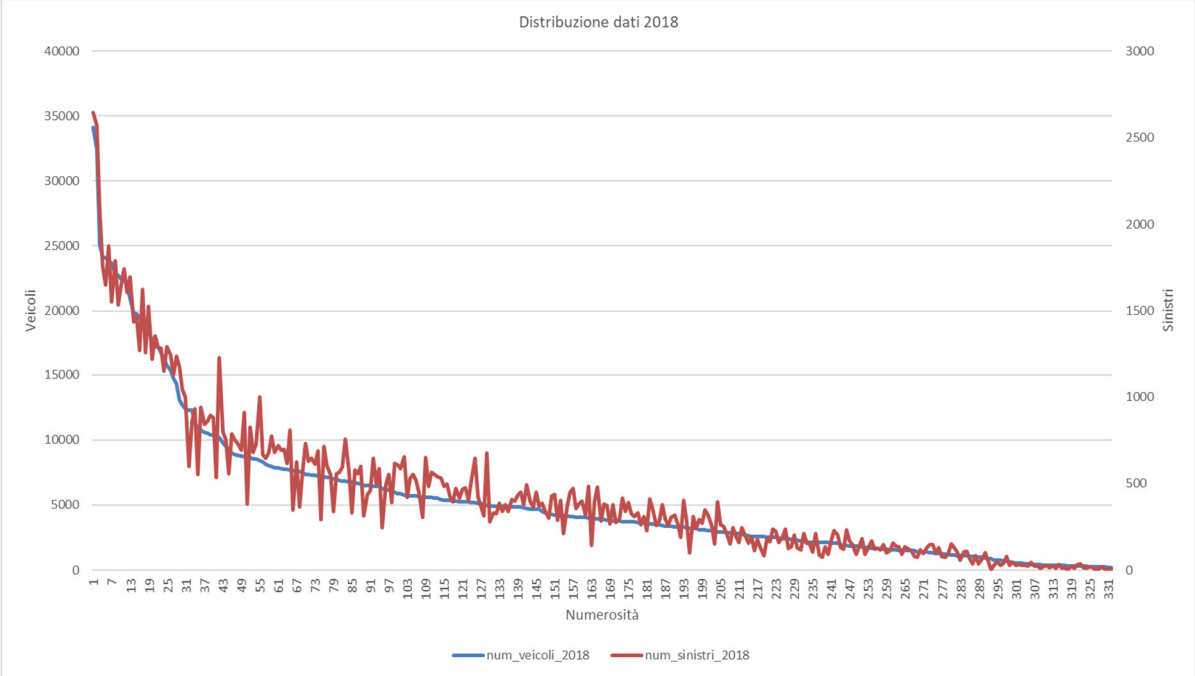


(b)

Figura 7 – Numerosità dei 17 modelli monitorati nel 2017 (a) e 2018 (b) per anno di immatricolazione



(a)



(b)

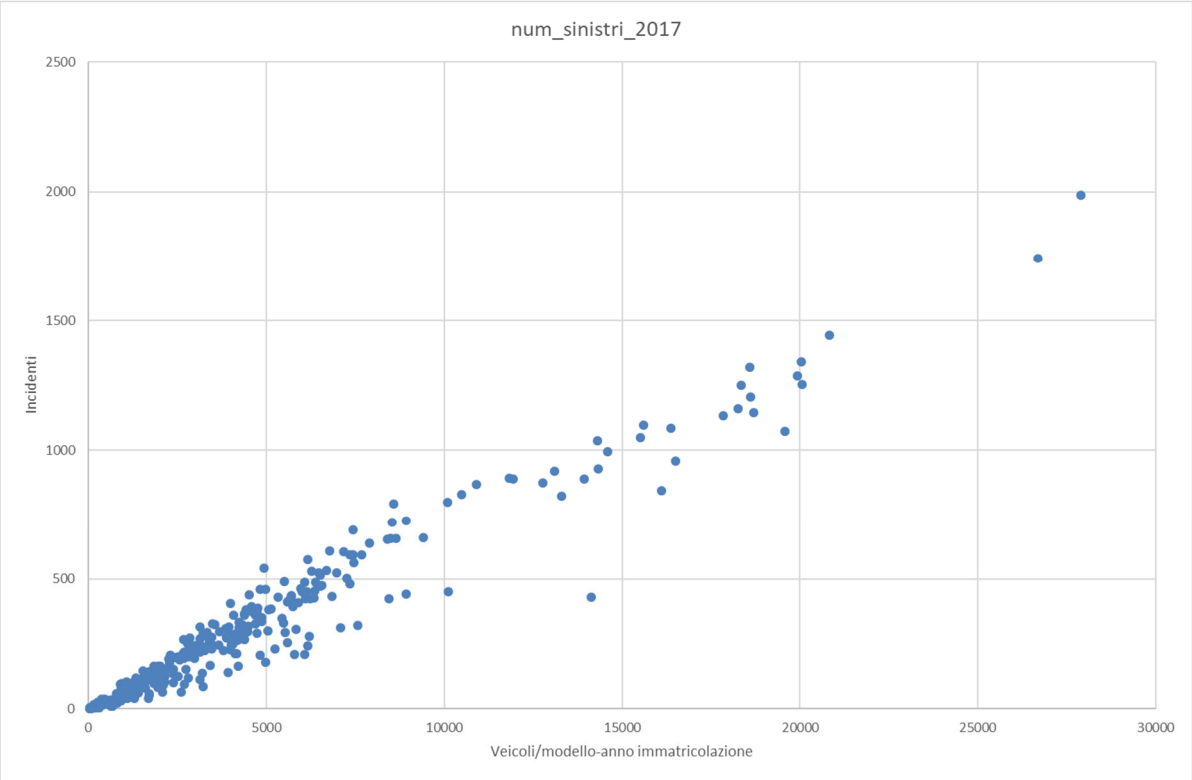
Figura 8 - Numero di veicoli e di sinistri registrati per modello nel 2017(a) e 2018(b) aggregati per anno di immatricolazione

Al fine di caratterizzare la struttura e la numerosità dei dati aggregati per anno di immatricolazione, si riportano in Figura 8 i diagrammi ottenuti ordinando i valori per la numerosità dei veicoli associati ad un modello e anno di immatricolazione e abbinandovi il numero di incidenti, sia per i dati 2017 (Figura 8a) che del 2018 (Figura 8b).

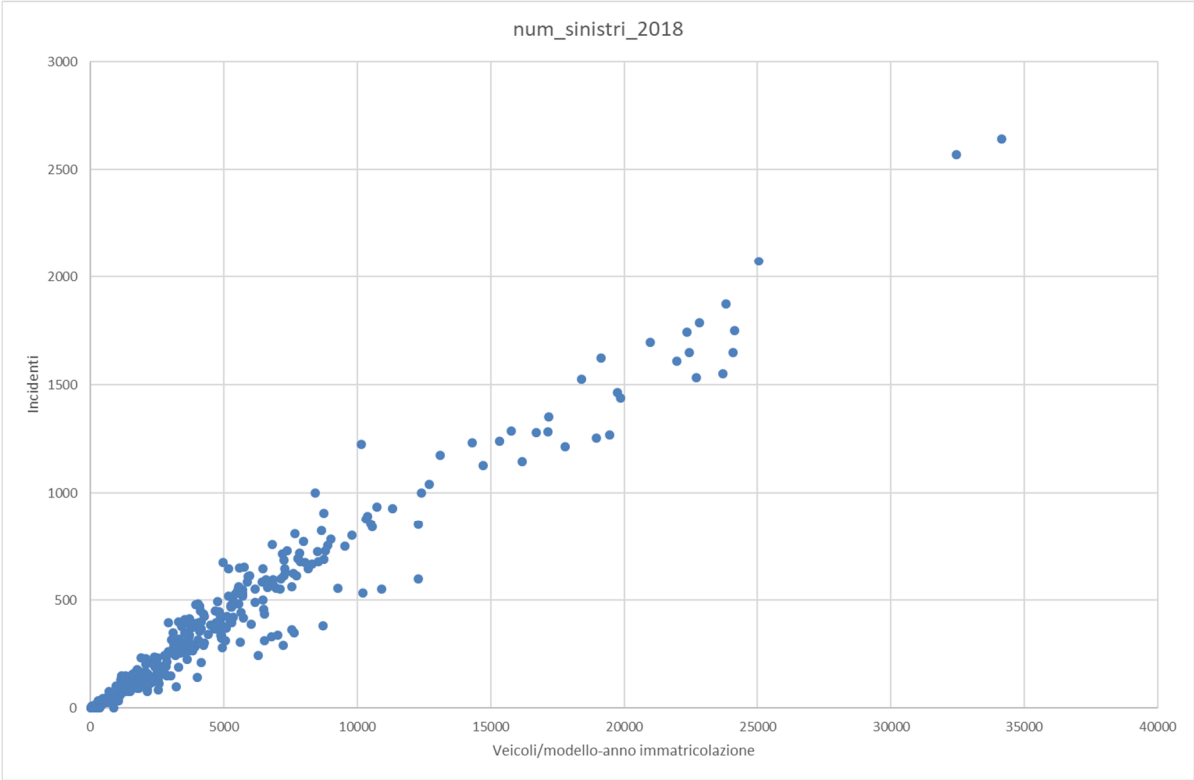
Il valore massimo di numerosità registrato per il 2017 è di poco inferiore ai 30.000 veicoli e 2.000 incidenti (modello/anno immatricolazione). Con riferimento alla distribuzione della numerosità dei veicoli, vi sono circa 100 modelli/anno con almeno 5.000 veicoli e 200 valori con almeno 2.500 veicoli. Si ha invece un numero trascurabile di veicoli e incidenti registrati

per oltre 300 combinazioni di modelli e anno di immatricolazione. I dati del 2018 mostrano una numerosità di veicoli più alta che raggiunge i 35.000 veicoli e più di 2.500 incidenti (modello/anno immatricolazione). I dati mostrano che nel dataset 2018 ci sono circa 130 combinazioni modelli/anno con 5.000 veicoli e 200 combinazioni modelli/anno con 3.000. Come per il 2017, per oltre 300 combinazioni la numerosità di veicoli e incidenti registrati è trascurabile.

La relazione fra veicoli e sinistri nel diagramma in Figura 8 evidenzia la variabilità degli incidenti di un insieme di veicoli, se messi in relazione alla numerosità dei veicoli dello stesso insieme, seppure le due tendenze possano considerarsi paragonabili. Considerando i diagrammi a dispersione in Figura 9, ad esempio per il 2017 i modelli/anno con una numerosità nell'intervallo fra 5.000 e 10.000 veicoli, si osserva un numero di incidenti che varia da circa 200 a circa 800 incidenti a seconda del modello/anno preso in considerazione; tali valori per la stessa fascia di numerosità nel 2018 mostrano un numero di incidenti maggiore variabile tra circa 250 e 1.000. L'analisi che segue cercherà di interpretare questa variabilità, che non è solo dovuta a fenomeni causali, ma dipende sia dagli equipaggiamenti dei veicoli, che hanno subito un'evoluzione notevole anche per effetto dell'innovazione tecnologica avvenuta durante il periodo esaminato, sia dalle percorrenze annue effettuate dai veicoli, le quali non sono omogenee per modelli di categorie o di età diverse.



(a)



(b)

Figura 9 - Relazione fra incidenti e numerosità dei veicoli per modelli aggregati per anno di immatricolazione 2017(a) e 2018(b)

4.3.2 Percorrenze medie ed età dei veicoli

Considerando i modelli esaminati nel 2017, si evidenza che le percorrenze medie annue dei veicoli non sono uniformi rispetto all'età dei veicoli (Figura 10). Escludendo le percorrenze dell'ultimo anno, che subiscono una diminuzione, perché i veicoli possono essere immatricolati nei vari mesi del 2017, il trend è pressoché crescente al diminuire dell'età del veicolo. Infatti, se per i veicoli immatricolati nel 2016 si osservano percorrenze annue fra i 8.700 km e 15.600 km, per i veicoli di 10 anni di età le percorrenze sono fra 7.000 km e 10.000 km, mentre per i veicoli immatricolati ancora 10 anni prima non si osservano modelli con percorrenze annue medie superiori a 6.000 km.

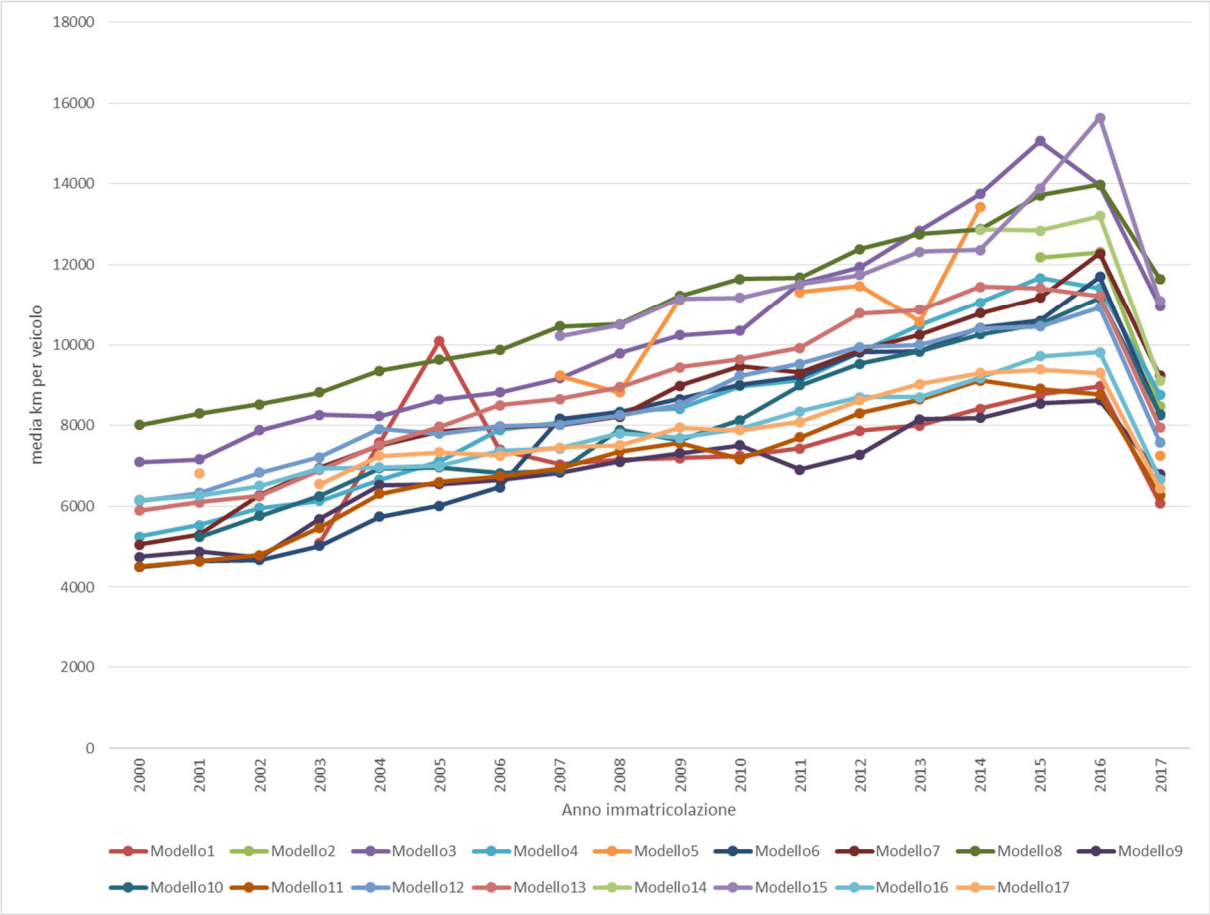


Figura 10 – percorrenza media nel 2017 dei 17 modelli esaminati con riferimento all'anno di immatricolazione

Come mostrato in Figura 11, anche per il 2018 le percorrenze medie annue dei veicoli non sono uniformi rispetto all'età dei veicoli confermando il trend crescente al diminuire dell'età del veicolo, ad esclusione dell'ultimo anno.

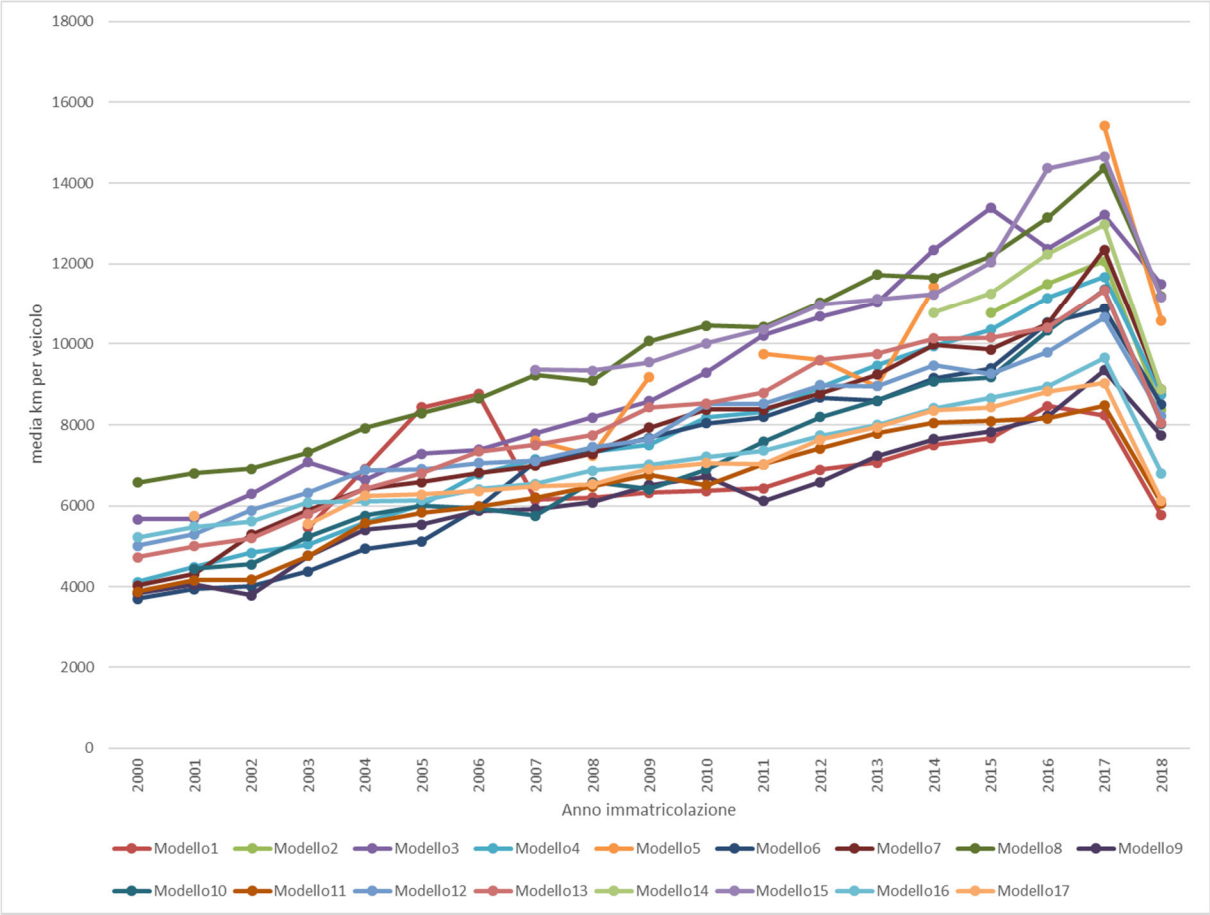


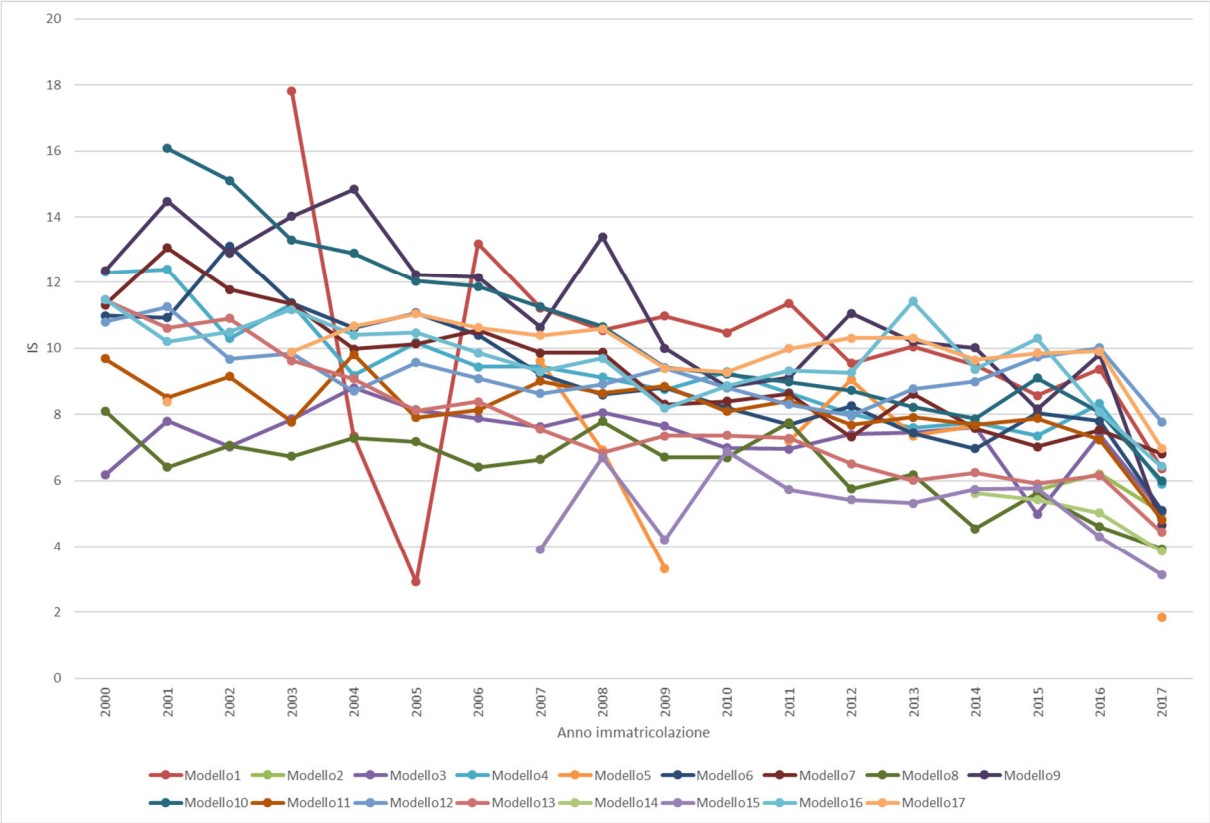
Figura 11 - percorrenza media nel 2018 dei 17 modelli esaminati con riferimento all'anno di immatricolazione

Queste differenze di percorrenze medie annue, osservate per i veicoli esaminati, confermano l'importanza di introdurre questo aspetto nella stima dell'indice di sinistrosità (IS), che quindi potrebbe essere quantificato in modo distorto, se calcolato in modo semplificato (ISS) considerando la sola numerosità dei veicoli.

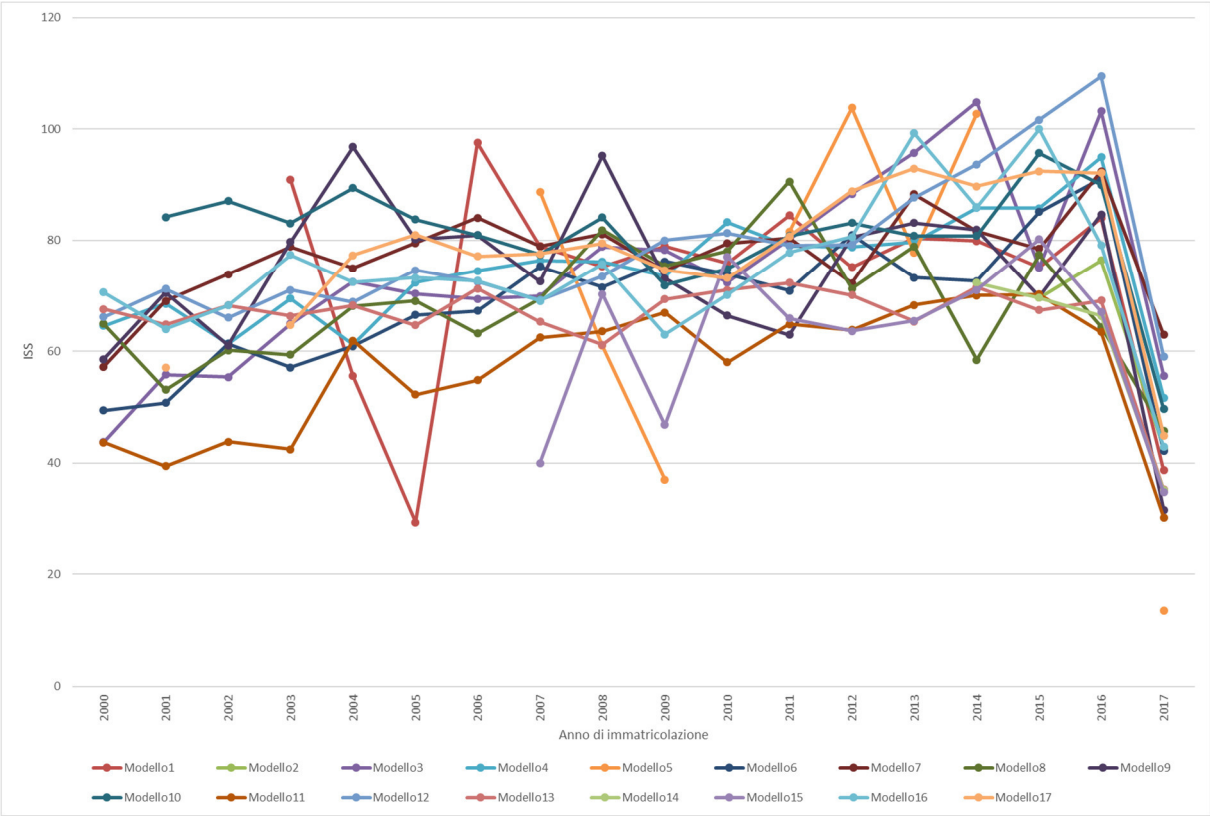
4.3.3 Indice di sinistrosità

L'indice di sinistrosità (IS) per un insieme di veicoli è stato calcolato (Eq. 1) come rapporto fra il numero di sinistri dell'insieme e la percorrenza complessiva, espressa in milioni di chilometri [sin/Ml veic. x km]. Al fine di evidenziare la differenza dell'indice analogo semplificato (ISS), stimato rispetto alla numerosità dei veicoli dell'insieme, si riportano per i due anni in esame i valori delle due versioni dell'indice in Figura 12 e Figura 13 che mostrano per tutti i modelli un trend opposto.

Nei veicoli meno recenti l'indice di sinistrosità sembra più basso, se calcolato rispetto alla numerosità dei veicoli, ma ciò è dovuto alle loro percorrenze annue inferiori (Figura 10). Infatti, se si calcola l'indice rispetto alle effettive distanze percorse, la sinistrosità diminuisce invece per i veicoli più recenti.

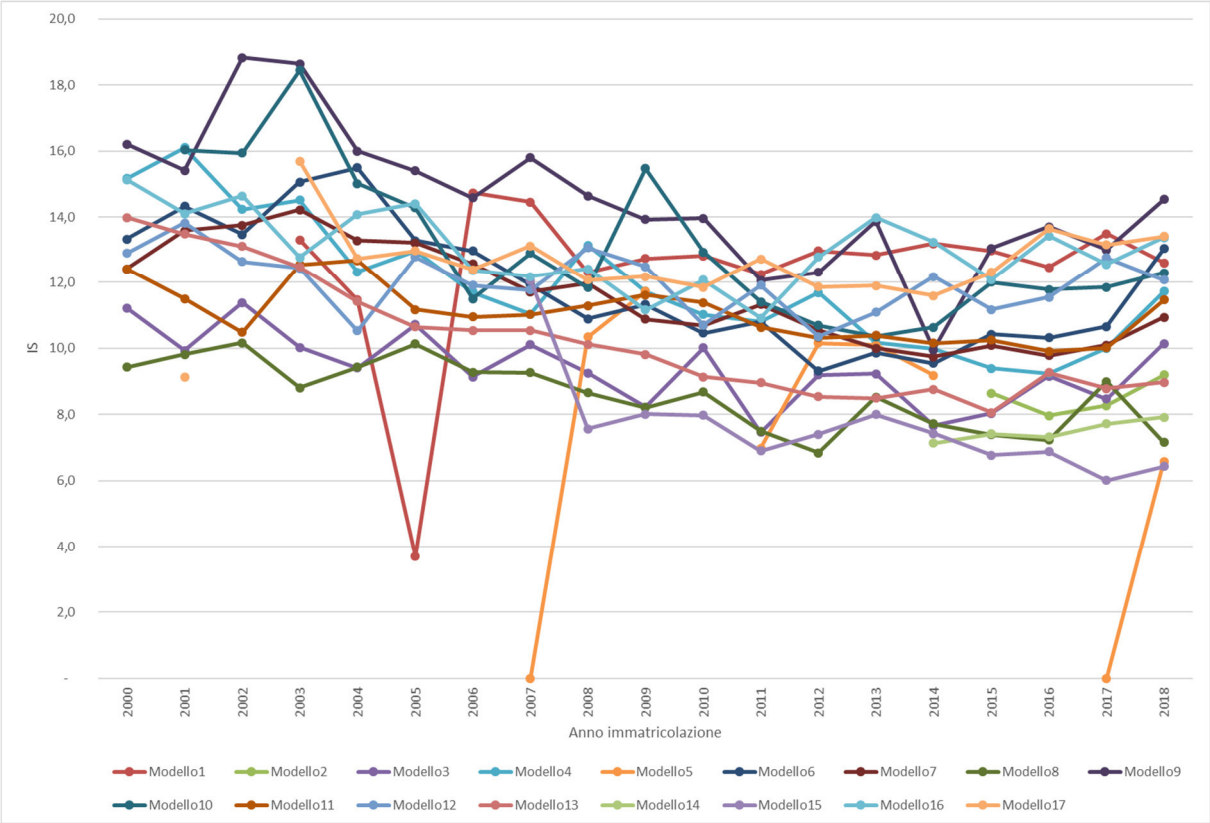


(a)

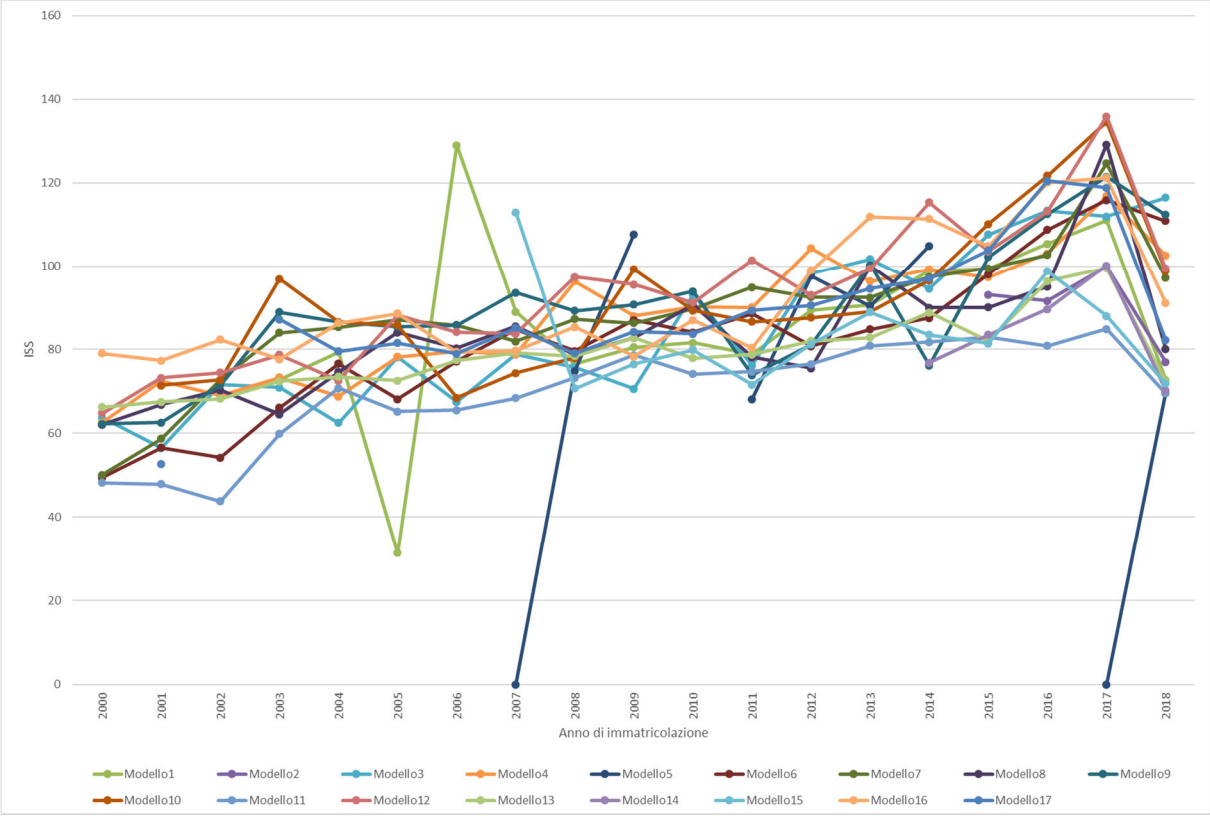


(b)

Figura 12– (a) Indice di sinistrosità (IS) e (b) indice di sinistrosità semplificato (ISS) del 2017 per i 17 modelli esaminati con riferimento ai diversi anni di immatricolazione



(a)



(b)

Figura 13 – (a) Indice di sinistrosità (IS) e (b) indice di sinistrosità semplificato (ISS) del 2018 per i 17 modelli esaminati con riferimento ai diversi anni di immatricolazione

4.3.4 Minore incidentalità del "veicolo nuovo"

I dati elaborati dalle scatole nere del 2017 evidenziano un fenomeno evidente di diminuzione ricorrente dell'indice di sinistrosità per i veicoli immatricolati nello stesso anno in cui sono raccolti i dati degli incidenti. Tale aspetto è stato osservato come tendenza trasversale a prescindere dal modello specifico esaminato e si evidenzia non solo per l'indice semplificato ISS (Figura 12(b)), come effetto intuibile della disponibilità parziale del veicolo nei 12 mesi dell'anno, ma anche per l'indice riferito alle percorrenze (IS) e mostrato in Figura 12 (a).

Questa caratteristica di maggiore sicurezza osservata per i veicoli durante l'anno in cui sono immatricolati, può essere spiegata ipotizzando una maggiore prudenza adottata dagli utenti, quando sono alla guida di un veicolo appena acquistato e le migliori condizioni generali del veicolo stesso quando è nuovo. Si evidenzia che tale fenomeno[58] è emerso grazie alla disponibilità dei dati relativi alla percorrenza annua, provenienti dalle scatole nere e aggregati per insiemi omogenei di veicoli, integrati con quelli degli incidenti.

Si sottolinea che questo effetto si osserva con riferimento agli incidenti più gravi (riferiti all'anno 2017) ma non quando si considerano tutti gli eventi, come per gli incidenti registrati nel 2018 con l'indice IS riportato in Figura 13 (a).

4.4 Analisi degli effetti sulla sicurezza stradale attribuibili agli ADAS

La stima degli effetti dei due sistemi ADAS analizzati (sistema di controllo elettronico di stabilità – ESC e sistema automatico di frenata di emergenza - AEB) sull'incidentalità è stata effettuata classificando i modelli disponibili in categorie rappresentative di modelli simili e stimando gli indici di sinistrosità per le categorie di modelli con riferimento agli anni di immatricolazione, dai quali è possibile dedurre la presenza del sistema ADAS specifico. I risultati della ricerca, condotta in base alle informazioni disponibili dai test Euro NCAP, sono sintetizzati nella Tabella 8 dalla quale si evidenza l'introduzione successiva e per un numero inferiore di modelli per il sistema AEB. Con riferimento al sistema ESC, l'anno di introduzione del sistema di serie è stato usato, come descritto al par. 4.2, per separare i dati dei veicoli in base all'anno di immatricolazione.

[58] Il fenomeno osservato è meritevole di analisi specifiche e successivi approfondimenti.

Tabella 8 – Anno dell'introduzione dei sistemi ESC e AEB di serie e opzionale nei modelli selezionati

MODELLO	Primo anno con ESC di SERIE	Primo anno con AEB opzionale	Primo anno con AEB di SERIE
1		NO	NO
2	2015	2015	
3	2009	2015	
4	2012	NO	NO
5	2012		2017
6	2014	NO	NO
7	2012	2017	
8	2012		2018
9	2010		2017
10	2014	2014	
11		NO	NO
12	2009		2017
13		NO	NO
14	2014	2014	
15	2009		2016
16			2017
17	2015	NO	NO

4.4.1 Risultati dell'effetto stimato per il sistema ESC

La numerosità dei veicoli classificati nelle 4 categorie è riportata in dettaglio in Tabella 9 e in Tabella 10, da cui emerge il peso delle categorie A-Mini e B-Economiche sia per i veicoli sprovvisti di ESC (in totale più di ottocentomila nel 2017 e più di un milione nel 2018), sia per quelli con ESC (in totale oltre duecentomila nel 2017 e oltre trecentomila nel 2018). Queste due sono le categorie su cui saranno considerati più attendibili i confronti, perché per le altre, che comprendono veicoli di valore superiore rispetto a quelle considerate, si ipotizza che non vi sia solo l'ESC come sistema ADAS, ma anche altri sistemi quali ad esempio AEB e FCW.

Tabella 9 – Numerosità dei veicoli per i vari modelli associati alle categorie nel 2017

Numero Veicoli	NO ESC				Totale NO ESC	CON ESC				Totale CON ESC	Totale Modello
Categorie	A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		
Modello1	34.932				34.932	16.495				16.495	**51.427**
Modello2								15.650		15.650	**15.650**
Modello3			29.177		29.177			13.437		13.437	**42.614**
Modello4		50.411			50.411		24.349			24.349	**74.760**
Modello5				511	511				1.584	1.584	**2.095**
Modello6		60.158			60.158		12.338			12.338	**72.496**
Modello7		89.505			89.505		27.512			27.512	**117.017**
Modello8			59.787		59.787			8.032		8.032	**67.819**
Modello9	29.408				29.408	9.582				9.582	**38.990**
Modello10		18.042			18.042		10.418			10.418	**28.460**
Modello11	183.043				183.043	47.591				47.591	**230.634**
Modello12		36.774			36.774		35.204			35.204	**71.978**
Modello13		258.581			258.581		14.355			14.355	**272.936**
Modello14									12.034	12.034	**12.034**
Modello15				1.188	1.188				13.930	13.930	**15.118**
Modello16		63.085			63.085		9.757			9.757	**72.842**
Modello17	52.659				52.659	22.239				22.239	**74.898**
Totale categoria	**300.042**	**576.556**	**88.964**	**1.699**	**967.261**	**95.907**	**133.933**	**37.119**	**27.548**	**294.507**	**1.261.768**

Tabella 10 – Numerosità dei veicoli per i vari modelli associati alle categorie nel 2018

Numero Veicoli	NO ESC				Totale NO ESC	CON ESC				Totale CON ESC	Totale Modello
Categorie	A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		
Modello1	43.143				43.143	25.434				25.434	**68.577**
Modello2								24.551		24.551	**24.551**
Modello3			34.506		34.506			16.229		16.229	**50.735**
Modello4		60.717			60.717		34.483			34.483	**95.200**
Modello5				590	590				5.825	5.825	**6.415**
Modello6		72.123			72.123		16.721			16.721	**88.844**
Modello7		111.401			111.401		33.002			33.002	**144.403**
Modello8			71.531		71.531			10.870		10.870	**82.401**
Modello9	35.689				35.689	13.128				13.128	**48.817**
Modello10		22.618			22.618		14.417			14.417	**37.035**
Modello11	222.234				222.234	70.810				70.810	**293.044**
Modello12		44.525			44.525		45.980			45.980	**90.505**
Modello13		314.359			314.359		19.759			19.759	**334.118**
Modello14									19.134	19.134	**19.134**
Modello15				1.435	1.435				19.174	19.174	**20.609**
Modello16		74.823			74.823		15.026			15.026	**89.849**
Modello17	64.693				64.693	32.161				32.161	**96.854**
Totale categoria	**365.759**	**700.566**	**106.037**	**2.025**	**1.174.387**	**141.533**	**179.388**	**51.650**	**44.133**	**416.704**	**1.591.091**

4.4.2 Sinistrosità degli eventi rilevanti

Nella Tabella 11 sono riportati i valori degli indici di sinistrosità stimati per le 4 categorie individuate da cui emergono le seguenti considerazioni:

1. per i veicoli delle categorie A e B gli indici di sinistrosità sono fra loro paragonabili e più alti di quelli delle categorie maggiori;
2. i valori si riducono in ogni caso quando si considerano i modelli corrispondenti con ESC;
3. per i modelli all'interno di ciascuna categoria vi sono differenze non trascurabili fra i valori dell'indice di sinistrosità.

Tabella 11 – Indice di sinistrosità per i 17 modelli e le categorie con e senza ESC (dati 2017)

IS medio [sin/Mlveic-km]	NO ESC				Media NO ESC	CON ESC				Media CON ESC	Media Modello
Categorie	A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		
Modello1	10,72				10,72	8,49				8,49	**9,94**
Modello2								5,78		5,78	**5,78**
Modello3			7,70		7,70			7,02		7,02	**7,43**
Modello4		10,10			10,10		7,54			7,54	**9,00**
Modello5				8,00	8,00				6,17	6,17	**6,59**
Modello6		9,89			9,89		7,19			7,19	**9,22**
Modello7		9,86			9,86		7,47			7,47	**9,14**
Modello8			7,02		7,02			5,27		5,27	**6,75**
Modello9	12,85				12,85	8,94				8,94	**11,68**
Modello10		11,51			11,51		7,97			7,97	**9,90**
Modello11	8,50				8,50	6,91				6,91	**8,10**
Modello12		9,73			9,73		8,93			8,93	**9,28**
Modello13		8,61			8,61		5,76			5,76	**8,40**
Modello14									4,87	4,87	**4,87**
Modello15				6,59	6,59				4,96	4,96	**5,07**
Modello16		10,03			10,03		8,46			8,46	**9,78**
Modello17	10,33				10,33	9,27				9,27	**9,98**
Media categoria	**9,54**	**9,37**	**7,22**	**6,98**	**9,16**	**7,95**	**7,73**	**6,11**	**4,98**	**7,24**	**8,59**

Nella Tabella 12 sono sintetizzate le variazioni percentuali dell'indice di sinistrosità per i vari modelli che confermano la variabilità del fenomeno già evidenziata. Considerando l'aggregazione dei dati per tutti i modelli di ciascuna categoria, le riduzioni attribuite all'ESC sono stimate complessivamente pari al 17% per i veicoli della categoria A e per quelli della categoria B. Le variazioni percentuali della categoria SW/SUV appaiono superiori, ma

probabilmente ciò è dovuto alla presenza di altri ADAS, oltre che per le caratteristiche diverse dei veicoli.

Tabella 12 – Variazioni percentuali dell'indice di sinistrosità per i modelli con ESC e per categorie (dati 2017)

Media NO ESC	CON ESC				Media CON ESC
Categorie	A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV	
Modello1	-21%				-21%
Modello2					
Modello3			-9%		-9%
Modello4		-25%			-25%
Modello5				-23%	-23%
Modello6		-27%			-27%
Modello7		-24%			-24%
Modello8			-25%		-25%
Modello9	-30%				-30%
Modello10		-31%			-31%
Modello11	-19%				-19%
Modello12		-8%			-8%
Modello13		-33%			-33%
Modello14					
Modello15				-25%	-25%
Modello16		-16%			-16%
Modello17	-10%				-10%
Media categoria	-17%	-17%	-15%	-29%	-21%

4.4.3 Sinistrosità complessiva di tutti gli incidenti

In Tabella 13 sono riportati i valori degli indici di sinistrosità stimati per le 4 categorie individuate considerando anche gli incidenti minori. Si confermano le tre considerazioni evidenziate nel paragrafo precedente, riferite ai soli incidenti "gravi". In particolare, per i veicoli delle categorie A e B gli indici di sinistrosità sono fra loro paragonabili e sono più alti di quelli delle categorie maggiori, i valori per singola categoria generalmente si riducono considerando la presenza dell'ESC e si confermano le differenze dell'indice di sinistrosità tra i vari modelli.

Tabella 13 – Indice di sinistrosità per i 17 modelli e le categorie con e senza ESC nel 2018

IS medio [sin/Mlveic-km]	NO ESC				Media NO ESC	CON ESC				Media CON ESC	Media Modello
Categorie	A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV		
Modello1	12,80				12,80	12,91				12,91	**12,85**
Modello2								8,39		8,39	**8,39**
Modello3			9,94		9,94			8,65		8,65	**9,39**
Modello4		12,85			12,85		10,09			10,09	**11,47**
Modello5				4,65	4,65				5,76	5,76	**5,69**
Modello6		12,62			12,62		10,58			10,58	**12,03**
Modello7		12,17			12,17		10,03			10,03	**11,51**
Modello8			9,33		9,33			7,65		7,65	**9,02**
Modello9	16,15				16,15	12,90				12,90	**14,99**
Modello10		14,03			14,03		11,66			11,66	**12,82**
Modello11	11,35				11,35	10,24				10,24	**11,00**
Modello12		12,54			12,54		11,62			11,62	**11,98**
Modello13		11,12			11,12		8,66			8,66	**10,90**
Modello14									7,56	7,56	**7,56**
Modello15				7,76	7,76				6,95	6,95	**7,00**
Modello16		13,16			13,16		12,83			12,83	**13,09**
Modello17	12,62				12,62	13,12				13,12	**12,81**
Media categoria	**12,20**	**11,97**	**9,50**	**6,97**	**11,75**	**11,63**	**10,65**	**8,30**	**7,06**	**10,13**	**11,18**

Tabella 14 – Variazioni percentuali dell'indice di sinistrosità per i modelli con ESC e per categorie (dati 2018)

Media NO ESC	CON ESC				Media CON ESC
Categorie	A-Mini	B-Economiche	C-Medie	SW/SUV	
Modello1	1%				1%
Modello2					
Modello3			-13%		-13%
Modello4		-22%			-22%
Modello5				24%	24%
Modello6		-16%			-16%
Modello7		-18%			-18%
Modello8			-18%		-18%
Modello9	-20%				-20%
Modello10		-17%			-17%
Modello11	-10%				-10%
Modello12		-7%			-7%
Modello13		-22%			-22%
Modello14					
Modello15				-10%	-10%
Modello16		-3%			-3%
Modello17	4%				4%
Media categoria	-5%	-11%	-13%	1%	-14%

Infine, in Tabella 14 sono sintetizzate le variazioni percentuali dell'indice di sinistrosità per i vari modelli che confermano la variabilità del fenomeno già evidenziata. Considerando l'aggregazione dei dati per tutti i modelli di ciascuna categoria, le riduzioni attribuite all'ESC sono stimate complessivamente pari al 5% per i veicoli della categoria A, del 11 % per quelli della categoria B e leggermente superiori per la categoria C. Nel caso della categoria SW/SUV l'effetto del sistema ESC sembra ininfluente in quanto i due modelli selezionati di questa categoria hanno un effetto opposto che si bilancia, neutralizzando il beneficio complessivo. Tuttavia si evidenza che il valore di incremento dell'indice di sinistrosità corrisponde al caso in cui la numerosità dei veicoli usati come confronto (senza ESC) è bassa rispetto a quella degli altri casi e quindi ciò suggerisce una maggiore cautela nella stima. Ad ogni modo, per questa classe di veicoli, non è agevole isolare l'effetto dell'ESC, in quanto i veicoli più recenti sono dotati anche di altri sistemi ADAS.

L'effetto del sistema ESC è quindi maggiormente visibile nel caso in cui si considerino incidenti "gravi", con una riduzione complessiva per le categorie A e B del 17% dell'indice di sinistrosità, mentre è stimato in un intervallo fra il 5% e l'11% se si considerano tutti gli incidenti (Tabella 12 e 14).

4.4.4 Risultati dell'effetto stimato per il sistema AEB

Per questa analisi sono stati considerati solo quei modelli che hanno il sistema AEB di serie da uno specifico anno di immatricolazione e i modelli per cui ne è certa l'assenza. Sono stati pertanto esclusi dall'analisi i dati riferiti ai modelli per cui il sistema AEB può essere presente come opzionale o incluso in pacchetti opzionali. Questa selezione ha ridotto il numero dei modelli analizzati da 17 (analisi ESC nel par. 4.4.1) a 14 e le comparazioni sono effettuate, adottando un criterio di stima prudenziale, solo fra modelli già dotati di ESC di serie, sulla base delle informazioni riportate in Tabella 8. Questo filtro applicato ai dati, isola l'effetto del sistema ESC, già analizzato al paragrafo precedente, per mettere meglio in risalto l'effetto del sistema AEB.

Tabella 15 - Numerosità dei veicoli per i vari modelli associati alle nuove categorie per l'analisi AEB (dati 2017)

Modelli	NO AEB A+B	NO AEB C+SUV	Totale NO AEB	CON AEB A+B	CON AEB C+SUV	Totale CON AEB	Totale Modello
Modello1	16 495		16 495				16 495
Modello3		11 190	11 190				11 190
Modello4	24 349		24 349				24 349
Modello5		662	662		669	669	1 331
Modello6	12 338		12 338				12 338
Modello7	23 257		23 257				23 257
Modello8		3 596	3 596				3 596
Modello9	4 612		4 612	1 296		1 296	5 908
Modello11	47 591		47 591				47 591
Modello12	18 991		18 991	3 797		3 797	22 788
Modello13	14 355		14 355				14 355
Modello15		7 242	7 242		4 521	4 521	11 763
Modello16				3 195		3 195	3 195
Modello17	22 239		22 239				22 239
Totale categoria	**184 227**	**22 690**	**206 917**	**8 288**	**5 190**	**13 478**	**220 395**

Tabella 16 - Numerosità dei veicoli per i vari modelli associati alle nuove categorie per l'analisi AEB (dati 2018)

Modelli	NO AEB A+B	NO AEB C+SUV	Totale NO AEB	CON AEB A+B	CON AEB C+SUV	Totale CON AEB	Totale Modello
Modello1	25 434		25 434				25 434
Modello3		13 145	13 145				13 145
Modello4	34 483		34 483				34 483
Modello5		805	805		4 715	4 715	5 520
Modello6	16 721		16 721				16 721
Modello7	27 836		27 836				27 836
Modello8		4 261	4 261		1 024	1 024	5 285
Modello9	5 533		5 533	3 218		3 218	8 751
Modello11	70 810		70 810				70 810
Modello12	22 624		22 624	8 732		8 732	31 356
Modello13	19 759		19 759				19 759
Modello15		8 474	8 474		8 131	8 131	16 605
Modello16				7 300		7 300	7 300
Modello17	32 161		32 161				32 161
Totale categoria	**255 361**	**26 685**	**282 046**	**19 250**	**13 870**	**33 120**	**315 166**

Considerata la ridotta numerosità di veicoli con sistema AEB, le quattro categorie già individuate per l'analisi ESC sono state accorpate in due, unendo i modelli delle categorie A e B nella nuova categoria A+B e quelli della C e SW/SUV in C+SUV. La nuova classificazione include modelli comunque simili, se si considerano i risultati dell'indice di sinistrosità riportati in Tabella 11 del tutto paragonabili per le categorie accorpate. La numerosità dei veicoli delle nuove classi è riportata in dettaglio in Tabella 15 e Tabella 16 che conferma il peso maggiore dei veicoli di fascia bassa, che si attenua considerando i veicoli equipaggiati di AEB. In particolare, fra i veicoli considerati e dotati di AEB, in totale circa 13 mila per il 2017 e 33 mila per il 2018, più di un terzo sono di fascia alta, mentre per i veicoli sprovvisti, in totale circa 200 mila per il 2017 e 282 mila per il 2018, i veicoli di fascia alta sono circa il 10%.

4.4.5 Sinistrosità degli eventi rilevanti

La Tabella 17 conferma che gli indici di sinistrosità calcolati per i tutti i modelli forniti di AEB sono sempre più bassi degli altri. Considerando i modelli per cui è possibile effettuare una comparazione diretta (5, 9, 12 e 15) i risultati sono sintetizzati in Tabella 18.

Tabella 17 - Indice di sinistrosità per i modelli, le nuove categorie con e senza AEB (dati 2017)

IS medio [sin/Mlveic-km	NO AEB		Media NO AEB	CON AEB		Media CON AEB	Media Modello
Modelli	A+B	C+SUV		A+B	C+SUV		
Modello1	8.49		8.49				**8.49**
Modello3		7.26	7.26				**7.26**
Modello4	7.54		7.54				**7.54**
Modello5		8.33	8.33		1.86	1.86	**5.75**
Modello6	7.19		7.19				**7.19**
Modello7	7.57		7.57				**7.57**
Modello8		5.93	5.93				**5.93**
Modello9	9.82		9.82	4.66		4.66	**8.76**
Modello11	6.91		6.91				**6.91**
Modello12	8.59		8.59	7.78		7.78	**8.48**
Modello13	5.76		5.76				**5.76**
Modello15		5.56	5.56		3.70	3.70	**4.80**
Modello16				6.43		6.43	**6.43**
Modello17	9.27		9.27				**9.27**
Media categoria	**7.64**	**6.52**	**7.49**	**6.83**	**3.56**	**5.13**	**7.36**

Tabella 18 - Indice di sinistrosità per i modelli sui quali è possibile comparare la dotazione di AEB (dati 2017)

IS medio [sin/Mlveic-km	NO AEB		Media NO AEB	CON AEB		Media CON AEB	Media Modello
Modelli	A+B	C+SUV		A+B	C+SUV		
Modello5		8.33	8.33		1.86	1.86	**5.75**
Modello9	9.82		9.82	4.66		4.66	**8.76**
Modello12	8.59		8.59	7.78		7.78	**8.48**
Modello15		5.56	5.56		3.70	3.70	**4.80**
Media categoria	**8.79**	**5.78**	**7.89**	**7.05**	**3.56**	**4.86**	**7.14**

Effettuando i confronti per categorie simili, IS diminuisce da 8.79 a 7.05 per le categorie A+B, mentre per la categoria C+SUV passa da 5.78 a 3.56. Complessivamente l'indice diminuisce da 7.89 a 4.86 in presenza di AEB. Si evidenzia che le medie applicate ai singoli indici non sono di tipo aritmetico, ma pesato, in base alle distanze totali percorse dai veicoli del modello.

Tabella 19 – Variazioni percentuali dell'indice di sinistrosità per i modelli con AEB (dati 2017)

Variaz. % Ind. Sinis.		
Modelli	**A+B**	**C+SUV**
Modello5		-78%
Modello9	-53%	
Modello12	-9%	
Modello15		-33%
Media categoria	**-20%**	**-38%**

Le variazioni percentuali di riduzione dell'indice di sinistrosità indicate in Tabella 19 evidenziano che i miglioramenti stimati per effetto del sistema AEB variano dal 9% al 78% con

riferimento ai quattro modelli per i quali sono disponibili i dati per le comparazioni. I miglioramenti medi delle categorie sono invece pari al 20% per i modelli della categoria A+B e del 38% per quelli della categoria C+SUV.

Si evidenzia che quest'ultima stima è condotta su un numero limitato di veicoli (dalla Tabella 15 in totale circa di 13.000 di cui circa metà sono sprovvisti del sistema AEB) dovuto alla disponibilità dei dati ed alla diffusione del modello stesso nel mercato. Pertanto la stima è da considerarsi meno affidabile di quella condotta per la categoria A+B, che comprende molti più veicoli. Inoltre, nel modello di categoria superiore presumibilmente vi sono ulteriori dispositivi che possono contribuire al miglioramento della sicurezza stradale e dei quali è difficile isolare l'effetto.

Si deve comunque precisare che il numero di modelli su cui è stata condotta questa comparazione è limitato ed il risultato potrebbe cambiare con l'estensione ad ulteriori modelli. Infatti, se per la categoria A+B i modelli potenziali senza AEB sono 9, con una variabilità dell'indice che descrive in modo abbastanza ampio la variabilità del fenomeno, con il sistema AEB ve ne sono solo 3 e soltanto per 2 di essi è possibile procedere con una comparazione diretta. Per questi 2 modelli si osserva un valore abbastanza omogeneo dell'indice di sinistrosità, in assenza di AEB, con valori di quasi 9 (Tabella 12), mentre per gli altri modelli senza AEB, per cui non è possibile effettuare una comparazione diretta, si stimano valori più bassi, che quindi contribuiscono a far diminuire il valore medio dell'indice di riferimento per la categoria, che è inferiore a 8 (Tabella 11).

4.4.6 Sinistrosità complessiva di tutti gli incidenti

In Tabella 20 sono riportati i valori degli indici di sinistrosità stimati per le categorie individuate considerando tutte le tipologie di incidenti. L'indice di sinistrosità medio risulta minore nel caso in cui vi sia il sistema AEB per le categorie di fascia superiore (C+SUV), mentre si verifica un anomalo aumento dell'indice per la categoria A+B.

Rispetto all'analisi riferita al 2017, in questo caso i modelli per cui è possibile effettuare una comparazione diretta sono cinque (5, 8, 9, 12 e 15) e i risultati sono sintetizzati in Tabella 21.

Tabella 20 - Indice di sinistrosità per i modelli, le nuove categorie con e senza AEB (dati 2018)

IS medio [sin/Mlveic-km	NO AEB		Media NO AEB	CON AEB		Media CON AEB	Media Modello
Modelli	A+B	C+SUV		A+B	C+SUV		
Modello1	12,91		12,91				**12,91**
Modello3		8,63	8,63				**8,63**
Modello4	10,09		10,09				**10,09**
Modello5		10,13	10,13		4,93	4,93	**5,57**
Modello6	10,58		10,58				**10,58**
Modello7	10,02		10,02				**10,02**
Modello8		7,53	7,53		7,15	7,15	**7,46**
Modello9	12,92		12,92	13,55		13,55	**13,19**
Modello11	10,24		10,24				**10,24**
Modello12	11,24		11,24	12,50		12,50	**11,62**
Modello13	8,66		8,66				**8,66**
Modello15		7,64	7,64		6,36	6,36	**6,93**
Modello16				12,86		12,86	**12,86**
Modello17	13,12		13,12				**13,12**
Media categoria	**10,78**	**8,16**	**10,49**	**12,80**	**5,97**	**9,37**	**10,36**

Tabella 21 - Indice di sinistrosità per i modelli sui quali è possibile comparare la dotazione di AEB (dati 2018)

IS medio [sin/Mlveic-km	NO AEB		Media NO AEB	CON AEB		Media CON AEB	Media Modello
Modelli	A+B	C+SUV		A+B	C+SUV		
Modello5		10,13	10,13		4,93	4,93	**5,57**
Modello8		7,53	7,53		7,15	7,15	**7,46**
Modello9	12,92		12,92	13,55		13,55	**13,19**
Modello12	11,24		11,24	12,50		12,50	**11,62**
Modello15		7,64	7,64		6,36	6,36	**6,93**
Media categoria	**11,51**	**7,73**	**10,05**	**12,76**	**5,97**	**8,62**	**9,43**

L'indice IS, come mostrato in Tabella 21, aumenta solo per le categorie A+B da 11.51 a 12.76, mentre diminuisce, come ci si aspetta, per la categoria C+SUV da 7.73 a 5.97. Osservando complessivamente la sinistrosità quindi in presenza del sistema AEB l'indice diminuisce da 10.05 a 8.62, confermando un effetto globale positivo sulla sicurezza.

Tabella 22 – Variazioni percentuali dell'indice di sinistrosità per i modelli con AEB (dati 2018)

Variaz. % Ind. Sinis.		
Modelli	**A+B**	**C+SUV**
Modello5		-51%
Modello8		-5%
Modello9	5%	
Modello12	11%	
Modello15		-17%
Media categoria	11%	-23%

In Tabella 22 sono mostrate inoltre in dettaglio le variazioni percentuali dell'indice IS per modello ed emerge che la diminuzione percentuale per le categorie C e SUV è complessivamente pari al 23% e varia considerevolmente con valori tra il 5% e il 51%, mentre per le categorie A e B si stima l'aumento percentuale complessivo pari a 11%.

Comparando la Tabella 19 e la Tabella 22, per i veicoli della categoria A+B emerge un effetto positivo del sistema AEB, con una riduzione del 20% dell'indice di sinistrosità per gli incidenti rilevanti, ma sembra avere un effetto negativo sulla sicurezza, nel caso in cui si consideri la sinistrosità complessiva. Si precisa che, sebbene i dati disponibili mettano in evidenza questo fenomeno potenzialmente critico per il sistema AEB, gli stessi non hanno il contenuto informativo tale da consentire l'analisi specifica delle tipologie di incidenti e la comprensione del fenomeno per risalire alle cause che possono determinarlo.

5 ADAS: cosa offre il mercato 2018

Al fine di restituire un quadro non esaustivo dell'offerta di alcuni sistemi di assistenza alla guida, si riportano di seguito i risultati di alcune elaborazioni realizzate sui dati Quattroruote Professional, relativi ai listini autovetture e veicoli commerciali leggeri 2018.

L'estratto 2018 conta 28.605 veicoli, di cui 20.287 (136 elettriche, 2.277 auto fino a 1200cc., 6.432 tra le 1200-1600cc., 7.679 tra i 1600 e i 2000cc., 1.212 tra i 2000 e i 2500, 2.551 per le auto oltre 2500cc.) autovetture di diversi segmenti (ad esempio: minicar, small car, medium car – berline compatte e monovolume –, berline familiari, executive car, luxury car, suv etc.) e 8.316 veicoli commerciali (di cui 87 elettrici), tra cabinati e combi, furgoni e veicoli speciali delle tre tipologie: leggeri, medi e pesanti.

L'analisi, tenendo conto della differenza numerica delle diverse classi di cilindrata e per le auto elettriche, non ha la pretesa di comparare l'offerta differenziata, ma solo di proporre una illustrazione dell'offerta, prima, complessiva, per ogni ADAS analizzato, e, poi, una valutazione distinta dei veicoli elettrici e delle auto di cilindrata diversa per le altre motorizzazioni. Inoltre, per una più corretta lettura del dato, sono state escluse dall'analisi di dettaglio le microcar – elettriche e non, che pesano, sulle categorie di appartenenza, rispettivamente il 7% (elettriche) e quasi il 4% (altre fino a 1200cc.) –, che non presentano nel DB fornito sistemi di assistenza alla guida (ad eccezione, in pochissimi casi, di sensori di parcheggio posteriori e telecamere posteriori).

Inoltre, per correttezza metodologica, si specifica che l'analisi sulla proposta degli ADAS 2018 per cilindrata è stata suddivisa secondo le categorie indicate nel DB d'origine[59]: "offerta di serie", "a richiesta senza sovraprezzo", " a richiesta" (optional), "presente con più soluzioni" (in questa categoria possono rientrare, ad esempio, offerte "di serie", "a richiesta senza sovraprezzo", "a pagamento" o "solo con alcuni livelli di allestimento" etc.), "after market", "non disponibile", "non dichiarato dalla casa costruttrice" e "tassativo commerciale" (con questa espressione alcune case automobilistiche indicano una fornitura a pagamento ma obbligatoria in alcune versioni di auto, quindi presente nell'offerta).

[59] Quattroruote Professional.

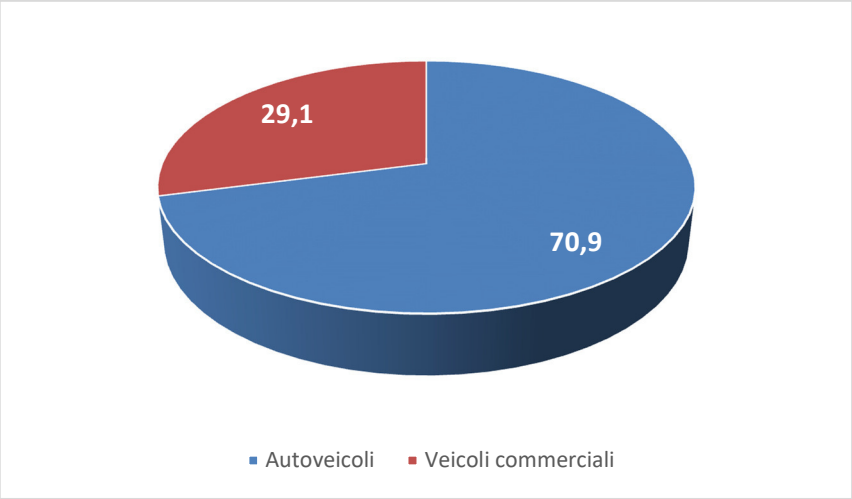


Figura 14 Distribuzione veicoli in commercio nel 2018 distinti per tipologia (val in %)

Dal confronto tra l'offerta di autovetture distinte per cilindrata e i dati relativi alle prime immatricolazioni dello stesso anno di riferimento, emerge che il segmento d'offerta maggioritario (1600-2000 di cilindrata) rappresenta solo il 14,4% del nuovo immatricolato[60] (dati ACI), mentre la quota maggiore di mercato sembra essere costituito dalle cilindrate 1200-1600.

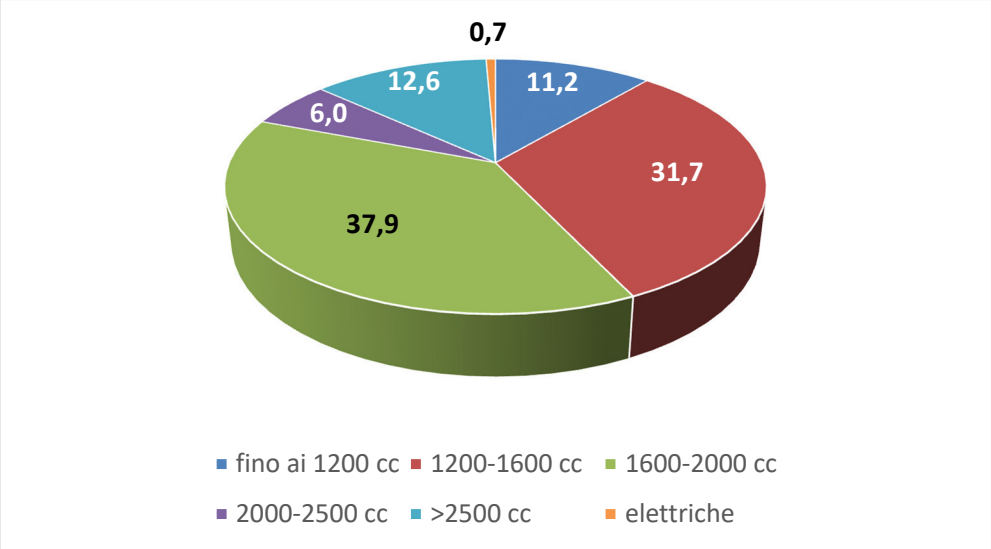


Figura 15 Autovetture in commercio anno 2018 distribuite per classi di cilindrata (val in %)

[60] Autoritratto 2018, ACI.

Tabella 23Prime iscrizioni autovetture per classi di cilindrata (2018)

Classi cilindrata	%	
Fino a 1200	21,4%	Tot AV = 1.944.312
1200-1600	59,0 %	
1600-2000	14,4%	
2000-2500	3,4%	
Oltre 2500	1,5%	
NON IDENTIFICATO	0,3%	

Fonte: Dati Autoritratto 2018, ACI.

5.1 Autovetture: l'offerta ADAS

Il primo sistema che andiamo ad analizzare è LDW (*Lane Keeping Warning Device*), sistema che avvisa il conducente, tramite allarme sonoro, quando il veicolo non mantiene correttamente la corsia. Come è possibile notare dalla Figura 16, solo il 19% dell'offerta di LDW risulta di serie, mentre oltre il 50% è a richiesta o presente in più soluzioni (41,2% a richiesta più 12,1% presente con più soluzioni, ad esempio in pacchetti sicurezza). Non risulta disponibile, invece, nel 23% dei casi analizzati.

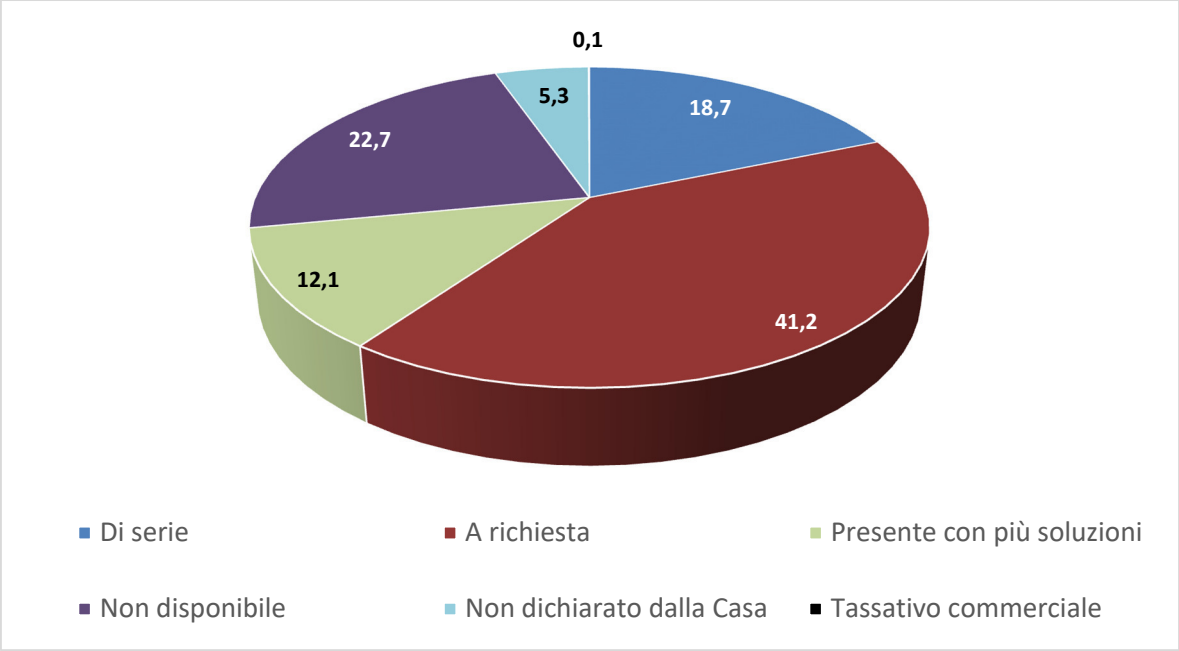


Figura 16 LDW (Lane Keeping Warning Devices): offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 (val in %)

L'analisi della distribuzione per cilindrata, mostra come nelle 126 auto elettriche considerate l'offerta del sistema LDW sia particolarmente alta, il 61% (tra "di serie", "a richiesta", "presente con più soluzioni), mentre nel 33% dei casi non risulta disponibile.

Il confronto tra le altre motorizzazioni di diversa cilindrata evidenzia una proposta complessiva del 40% per le auto di cilindrata fino a 1200 cc. e una rispettiva non disponibilità pari a quasi il 51%; del 54% per quelle da 1200 a 1600; quasi del 90% per le cilindrata da 1600 a 2000; l'86% per le auto da 2000 fino ai 2500, ed infine 87% per le oltre 2500cc. (sportive, station wagon e jeep di alta gamma). La Figura evidenzia quindi come al crescere della cilindrata aumenti l'attenzione e l'offerta di questo sistema di assistenza alla guida.

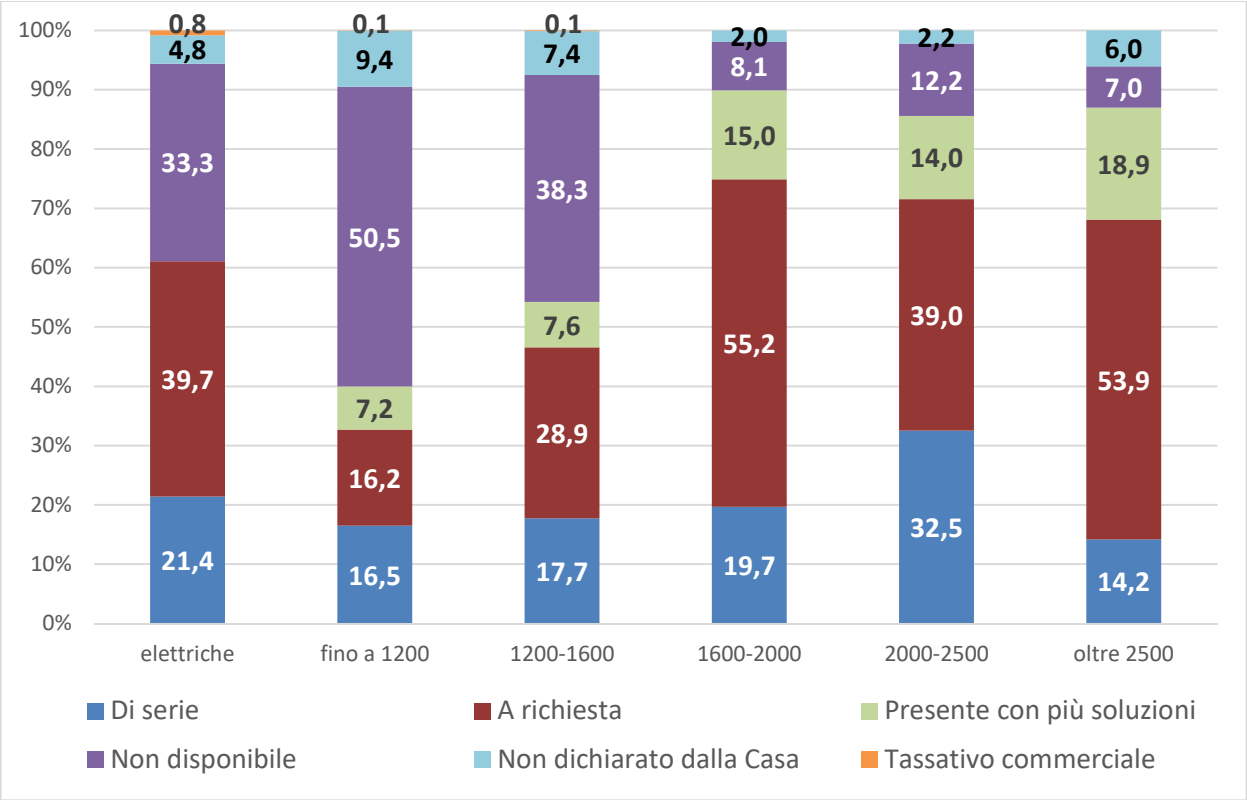


Figura 17 LDW (Lane Keeping Warning Devices): offerta nelle autovetture in vendita nel 2018 elettriche e per cilindrata (val in %)

Il secondo sistema analizzato aiuta il conducente a controllare la velocità del veicolo e si distingue in Cruise control e Adaptive Cruise Control (ACC), controllo adattivo della velocità rispetto all'auto che precede. Di seguito, la Figura 18 mostra le percentuali di offerta del primo,

con un 75% di offerta “di serie”, con percentuali molto alte su tutte le cilindrate e motorizzazioni. Anche in questo caso le auto con cilindrata fino a 1200 presentano i valori più alti di “non disponibilità” (15,5%) e i più bassi “di serie” (62%), ma con un 19% “a richiesta”.

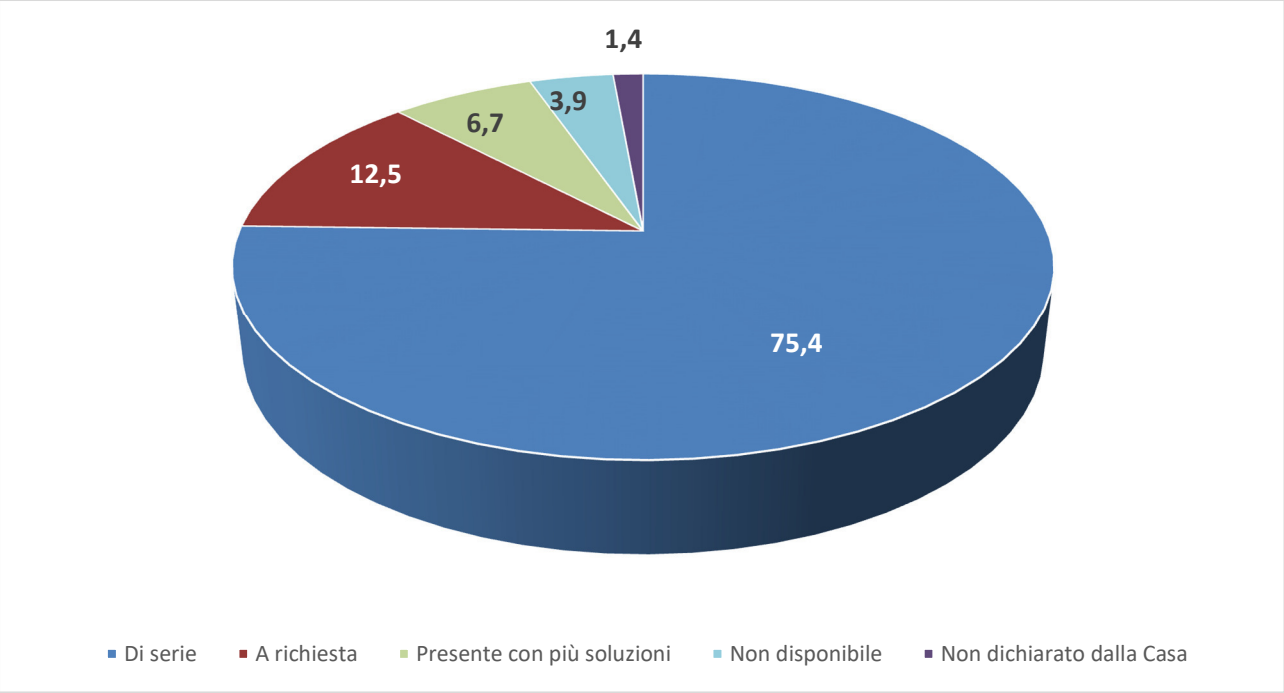


Figura 18 Cruise Control: offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 (val in %)

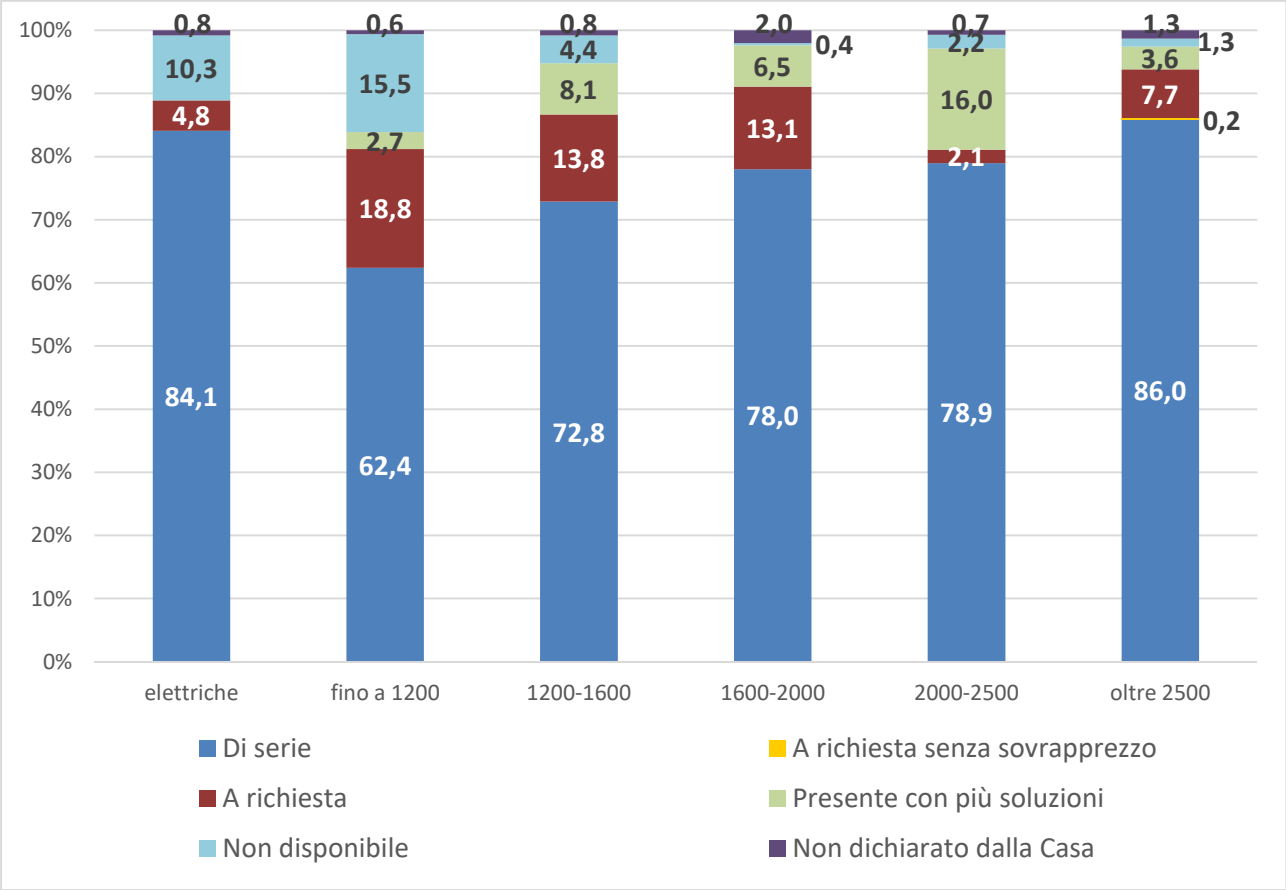


Figura 19 Cruise Control: offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 elettriche e per cilindrata (val in %)

Per quel che riguarda l'ACC (*Adaptive Cruise Control*), invece, solo l'8,9% dei veicoli considerati offre il sistema "di serie" e ben il 32% non risulta disponibile.

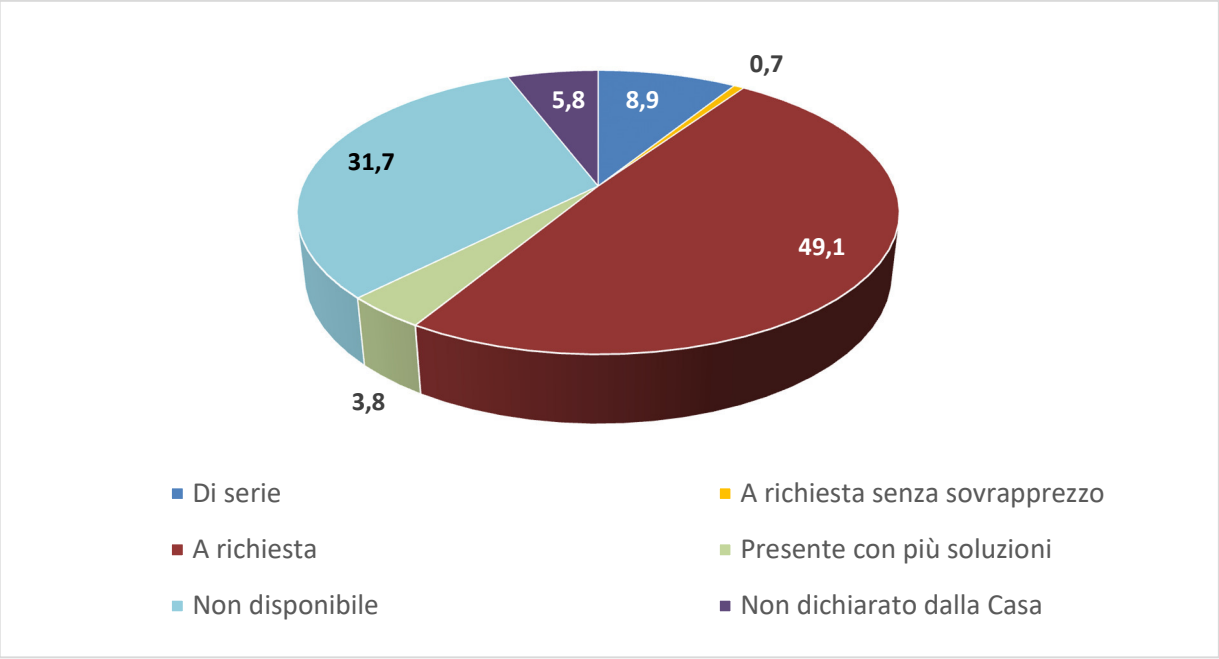


Figura 20 ACC (Adaptive Cruise Control): offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 (val in %)

L'analisi di dettaglio conferma gli alti valori del "non disponibile" sia per le elettriche sia per le altre motorizzazioni con cilindrata fino a 1600. Si sottolinea in particolare il dato delle auto con cilindrata fino a 1200 con un 69% di "non disponibilità". Come nel caso precedente, anche per questo sistema si assiste ad un incremento dell'offerta all'elevarsi della gamma (cilindrata), con una proposta "di serie" che raggiunge quasi il 19% nella categoria 2000-2500, per poi crescere come "a richiesta" nelle auto oltre i 2500cc. (68%).

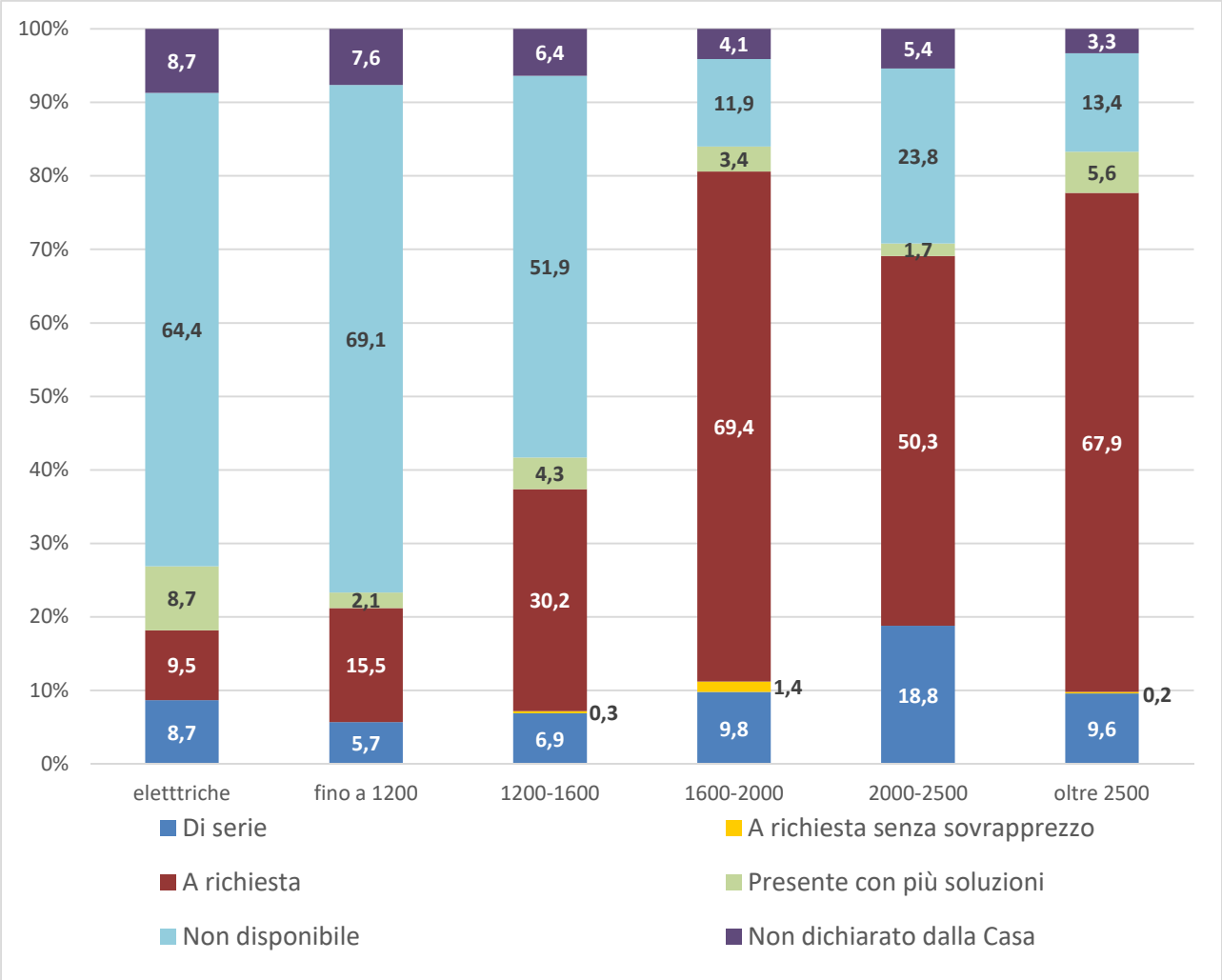


Figura 21 ACC (Adaptive Cruise Control): offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 elettriche e per cilindrata (val in %)

La frenata automatica di emergenza, AEB (*Emergency Brake Assist*), è presente nel 75% circa dell'offerta di autovetture (complessivamente considerando i "di serie", "a richiesta", "presente con più soluzioni"); ovviamente si deve evidenziare anche che ancora in quasi il 20% dei casi il sistema non è disponibile. Anche per questo sistema si deve evidenziare la particolare attenzione e presenza "di serie" nelle auto elettriche (52%), mentre molto più basse risultano le percentuali della stessa categoria nelle diverse cilindrate delle altre motorizzazioni (dall'11% al 30% circa), compensate però dall'offerta "presente con più soluzioni" e "su richiesta" soprattutto nelle cilindrate più alte (da 1600 a 2500cc).

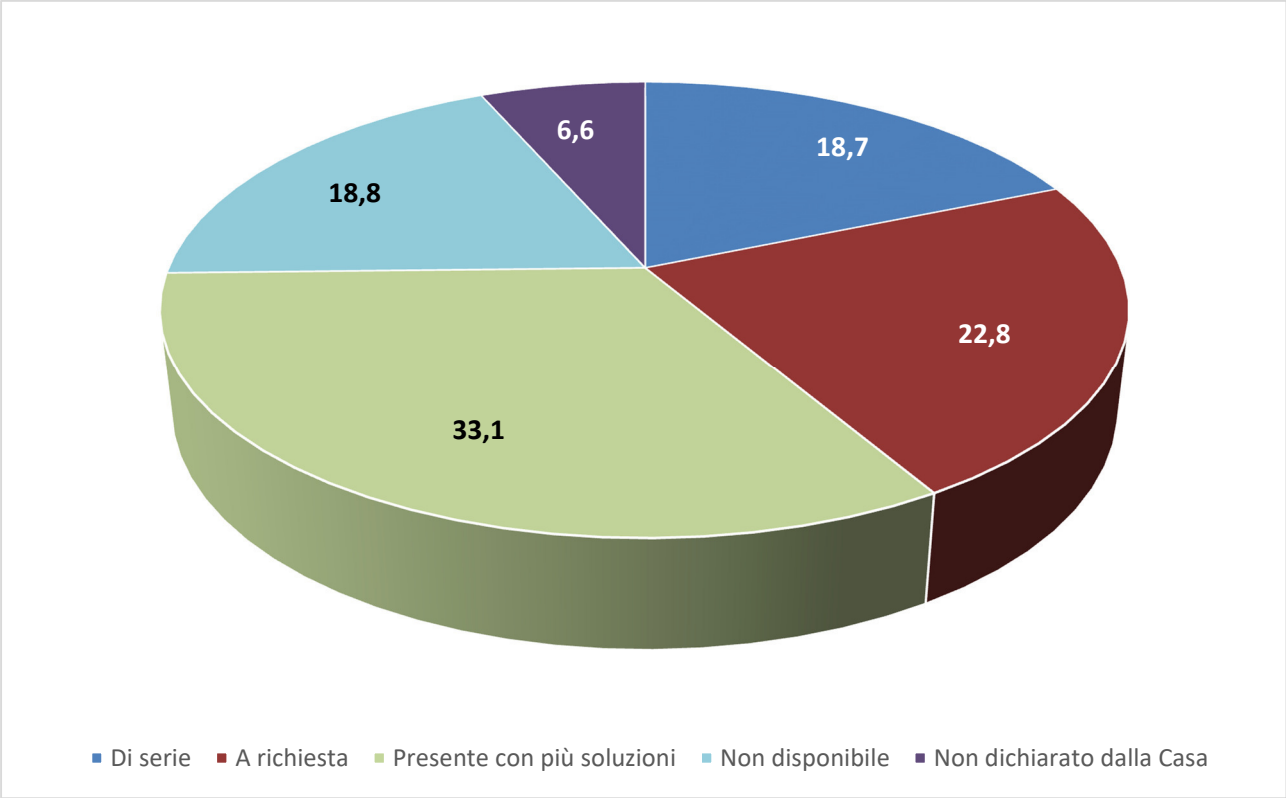


Figura 22 AEB (Emergency Brake Assist): offerta sulle autovetture in vendita 2018 (val in %)

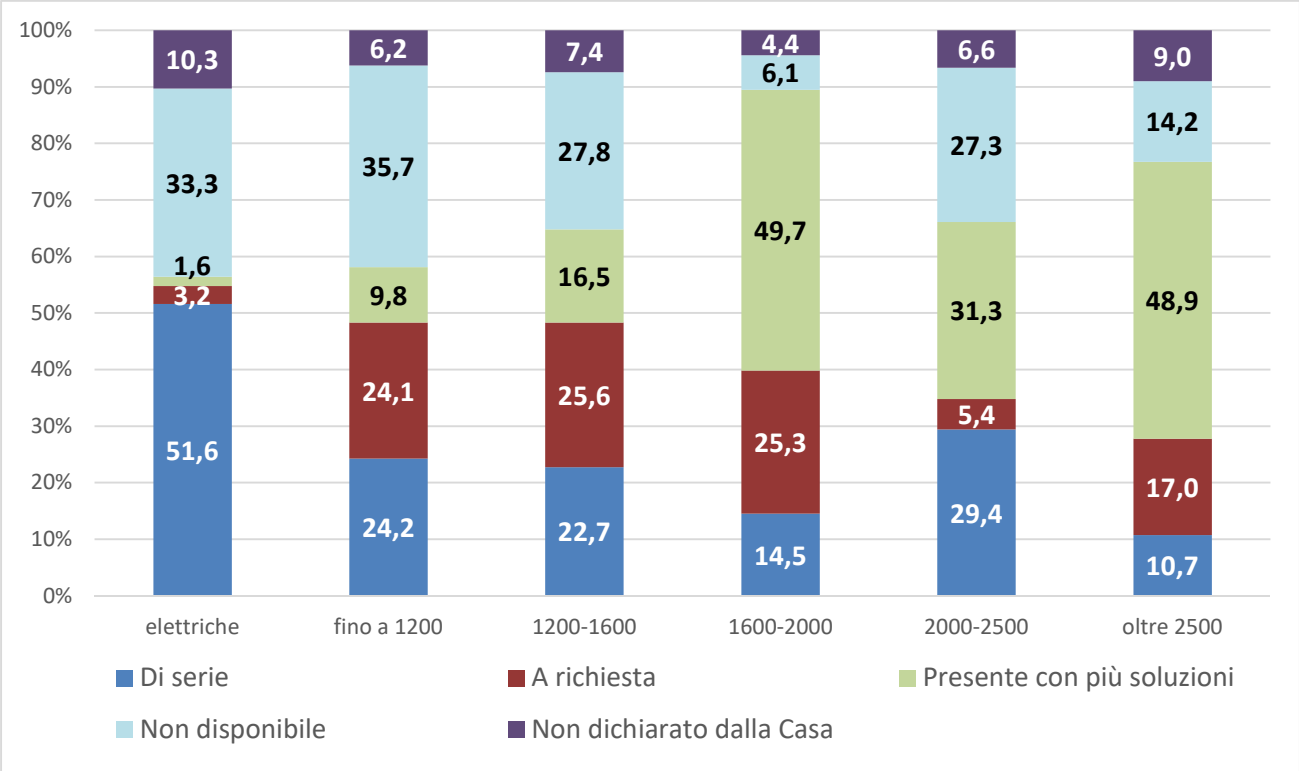


Figura 23 AEB (Emergency Brake Assist): offerta sulle autovetture in vendita 2018 elettriche e per cilindrata (val in %)

Un ADAS che ancora non sembra trovare diffusione, almeno di serie, e in particolare nelle cilindrate sotto i 1600, è sicuramente il monitoraggio dell'angolo cieco, BSD (*Blind Spot Warning*), che permette di rilevare la presenza di un veicolo nella zona cieca, grazie a radar posti sotto i paraurti posteriori, ed avvisa il conducente. Un sistema di ausilio importante sia in autostrada sia nelle strade urbane, dove la presenza di diversi utenti (auto, moto e ciclisti), in carreggiate promiscue, che si muovono in modo spesso disordinato, è sempre un rischio (anche, ad esempio, quando si esce dai parcheggi). Eppure, l'analisi complessiva delle autovetture considerate mostra come quasi nel 31% dei casi il sistema "non sia disponibile" e solo nel 5,3% "di serie". L'offerta "su richiesta" sembra evidenziare come questo ADAS sia ancora ritenuto un "in più" da pagare.

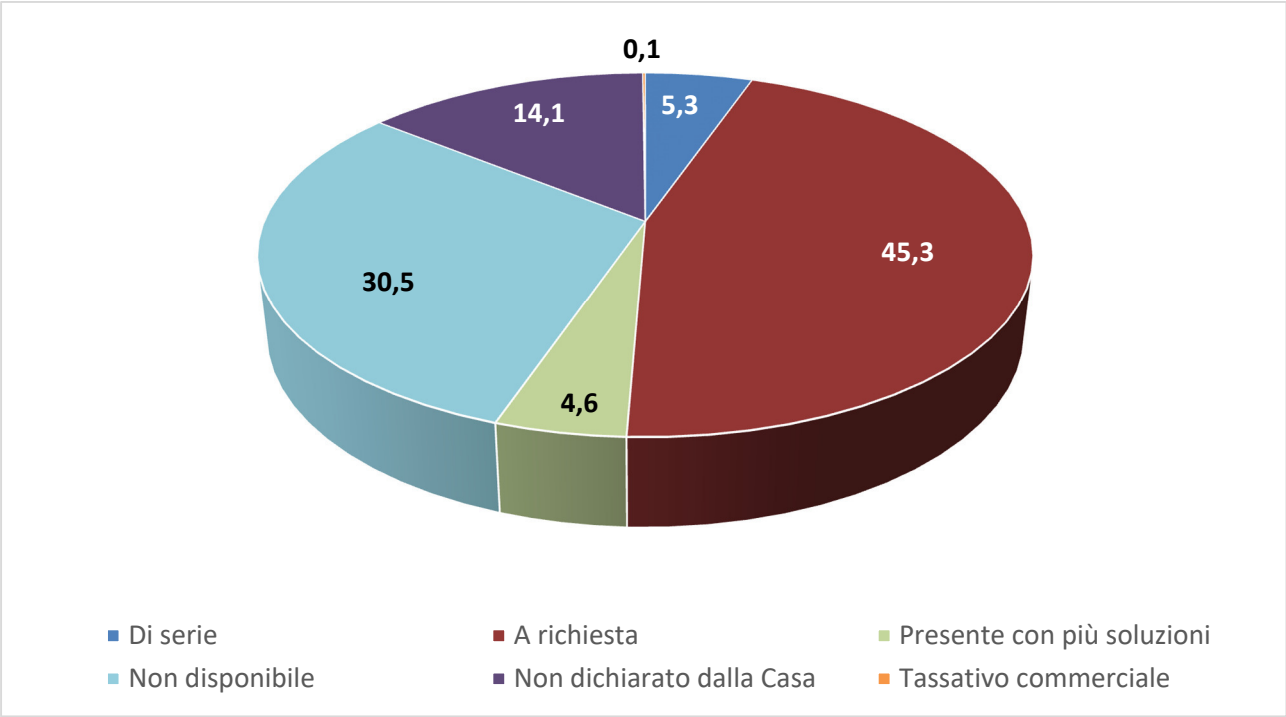


Figura 24 BSW (Blind Spot Warning): offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 (val in %)

Quanto detto nell'analisi complessiva sembra essere confermato nella distribuzione per cilindrata, dove, al crescere della cilindrata e della gamma risulta più consistente l'offerta "su richiesta". Discorso a parte viene fatto per le elettriche in cui, pur mostrando i valori più alti per le "di serie" (15%), quasi nel 75% dei casi il sistema non sembra essere disponibile.

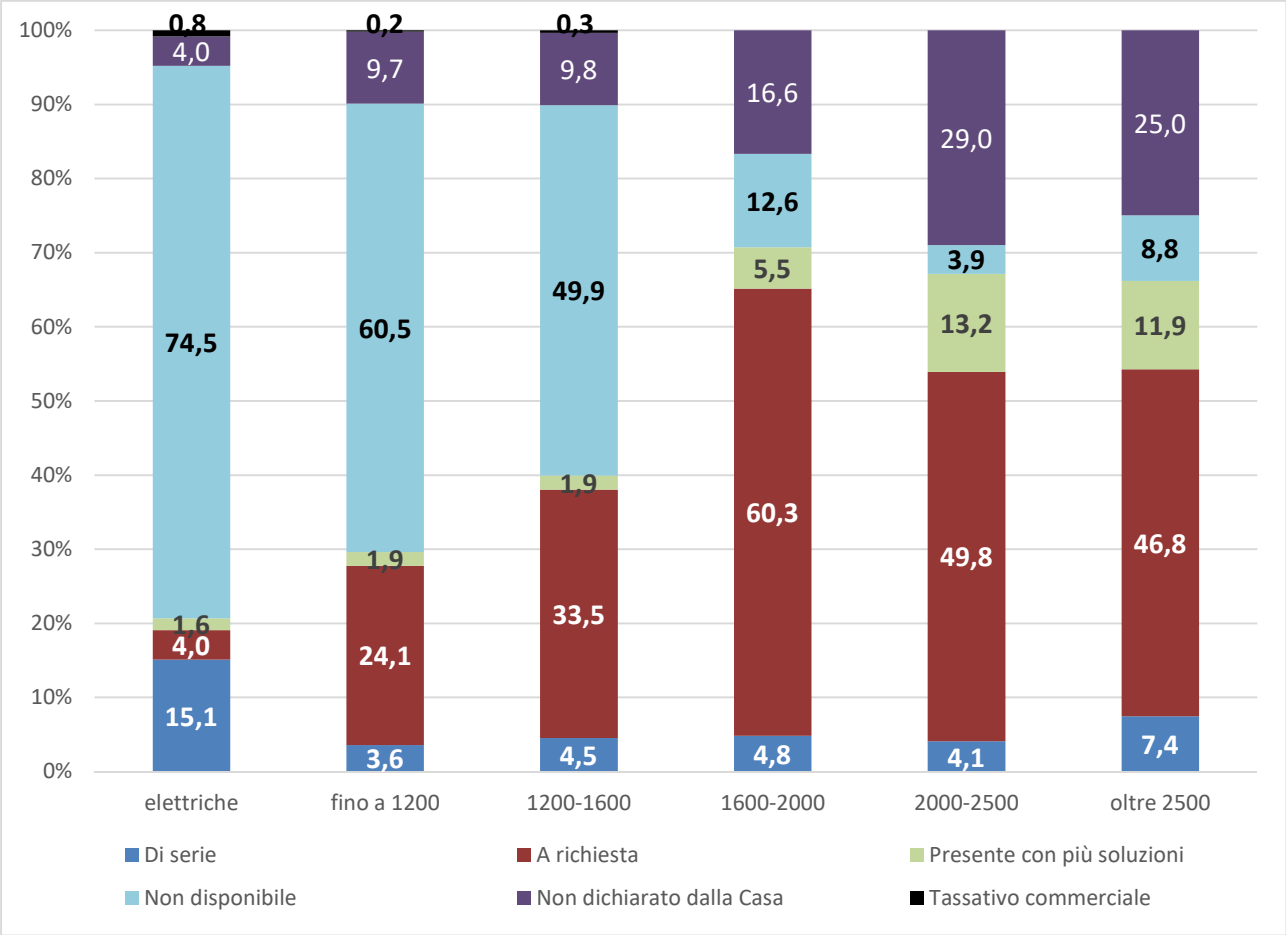


Figura 25 BSD (Blind Spot Warning): offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 elettriche e peri cilindrata (val in %)

Altro importante sistema di sicurezza rivolto alla tutela delle utenze più fragili è quello che permette, attraverso il riconoscimento del pedone, di evitare possibili incidenti con conseguenze gravi in termini di lesioni e morti. In totale solo l'11% de i casi riporta il sistema "di serie" e il 15% lo propone su richiesta. Purtroppo, dobbiamo osservare che la mancanza di dati, riferiti a questo sistema, e riportati come "non dichiarati dalla casa", non permette di dare maggiori informazioni su questo importante ADAS.

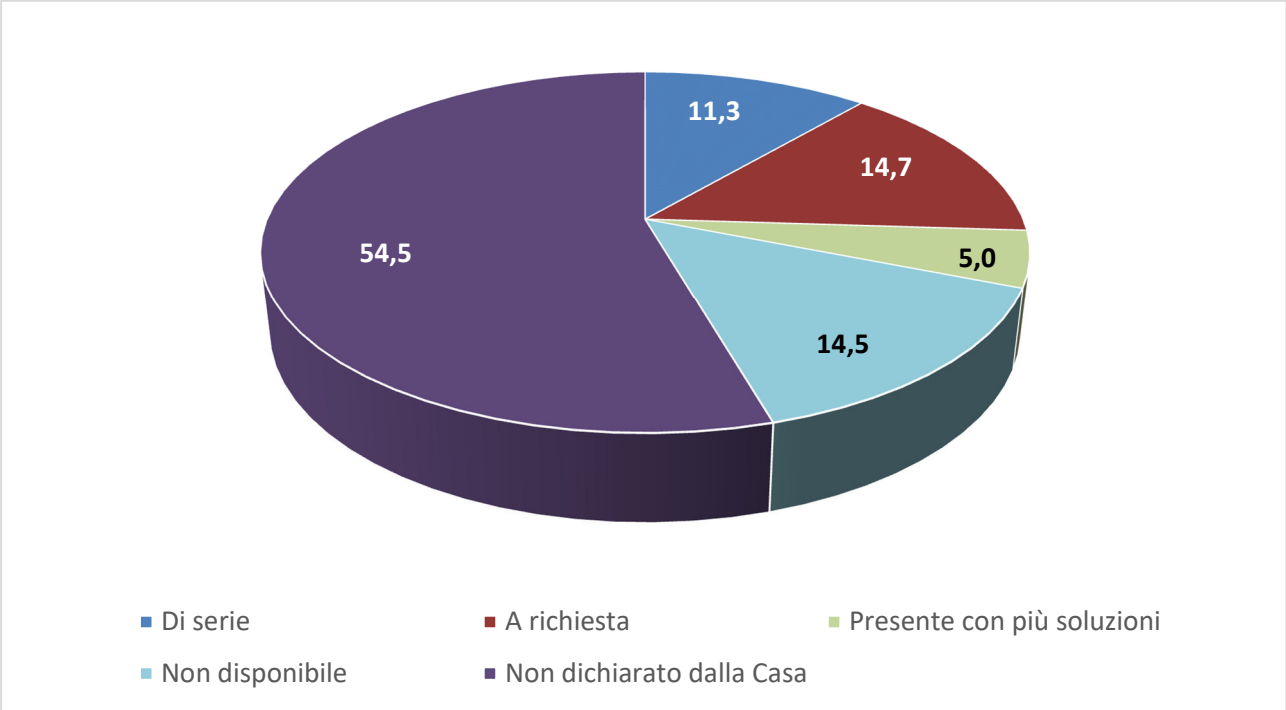


Figura 26 Riconoscimento del pedone: offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 (val in %)

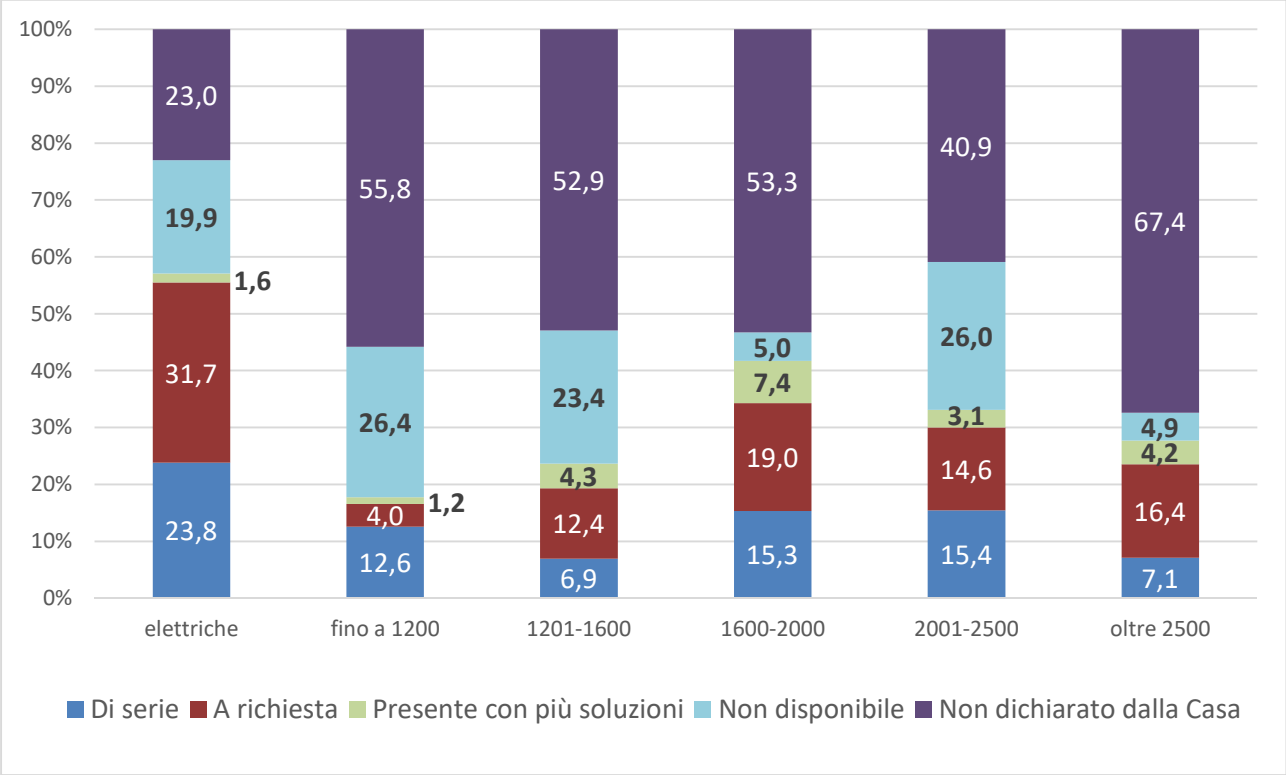


Figura 27 Riconoscimento del pedone: offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 elettriche e per cilindrata (val in %)

Un interessante sistema di ausilio alla guida è sicuramente il riconoscimento dei segnali stradali. Uno strumento che permette il riconoscimento dei segnali stradali e, in alcuni casi può avvisare il conducente dei limiti di velocità da seguire e, anche in collaborazione con altri ADAS, quali il controllo automatico della velocità, può permettere una navigazione costante ed efficiente in termini di sicurezza e consumi.

Nel complesso delle auto in commercio nel 2018 quasi il 27% propone questo sistema "di serie", "presente con più soluzioni" o "a richiesta senza sovrapprezzo" e nel 35% dei casi "a richiesta", per un totale di presenza nell'offerta del 62% e una "non disponibilità" paria a circa il 26%.

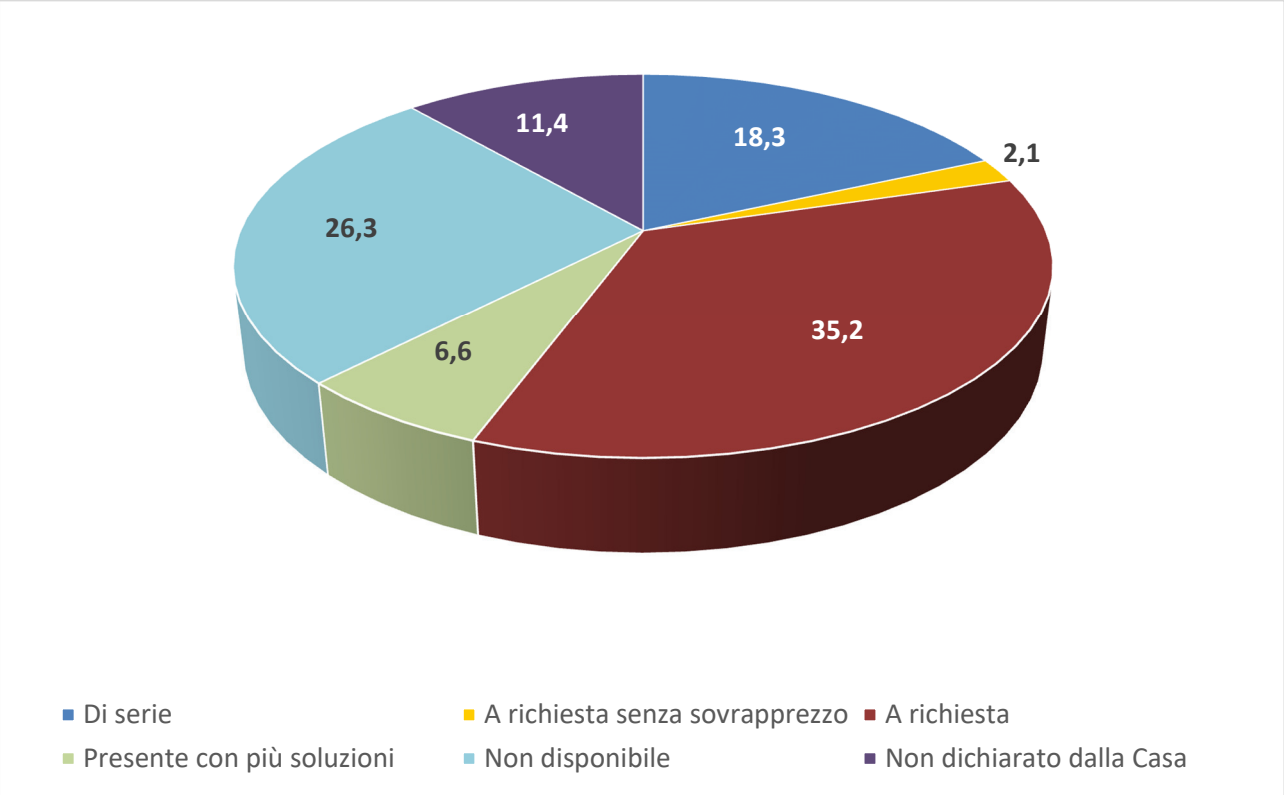


Figura 28 Riconoscimento dei segnali stradali: offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 (val in %)

Come mostra la Figura 29, le auto di cilindrata maggiore (dalle 1600cc. alle 2500cc.) sembrano presentare un'offerta più consistente sia "di serie" sia "a richiesta senza e con sovrapprezzo". Particolare, in negativo, ma quasi una costante in tutti i sistemi elaborati, è la "non disponibilità" del sistema (pari al 60%) nelle autovetture di cilindrata fino a 1200.

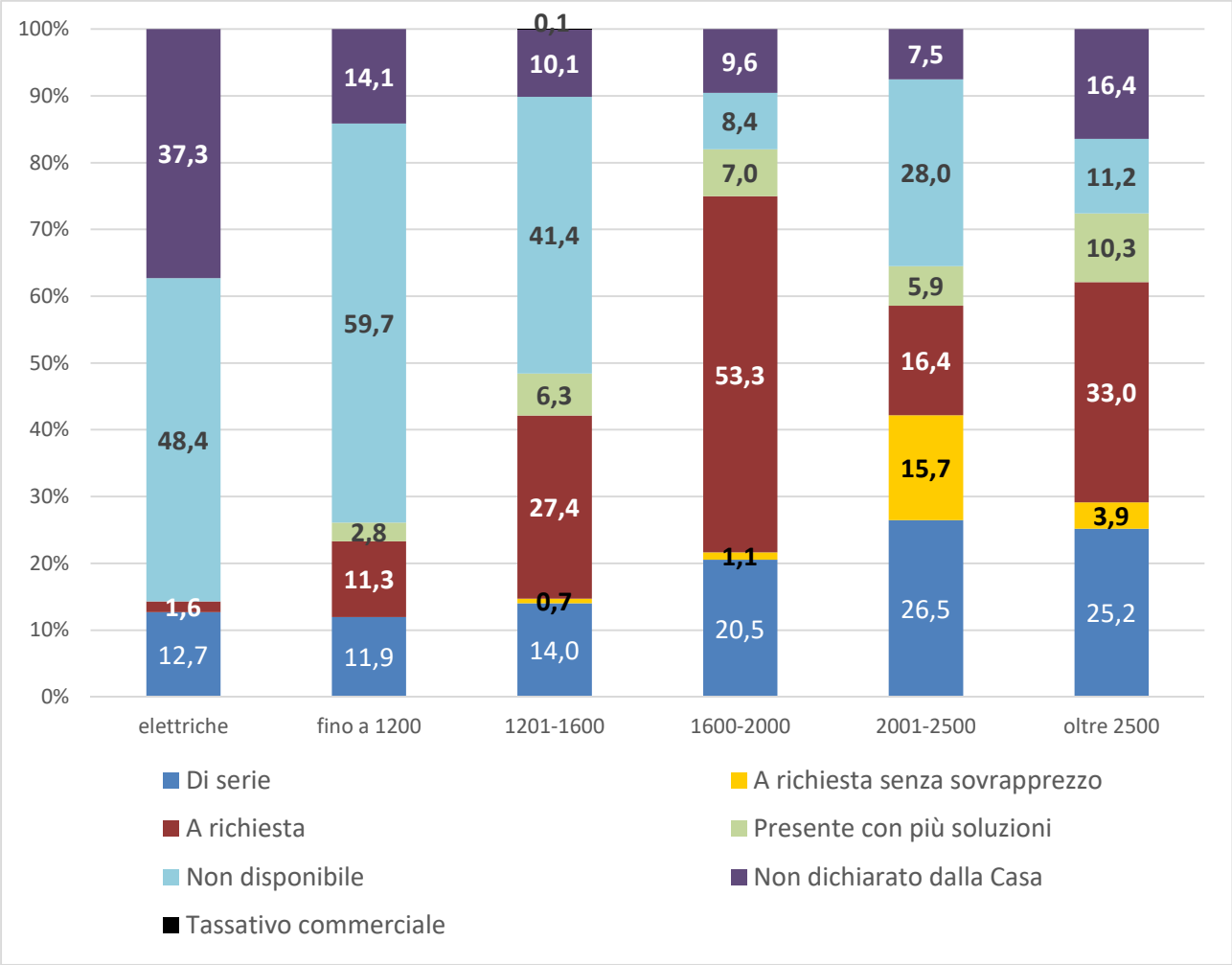


Figura 29 Riconoscimento dei segnali stradali: offerta sulle autovetture in vendita nel 2018 elettriche e per cilindrata (val in %)

Chiudiamo questo breve quadro con una panoramica complessiva dell'offerta di alcuni ADAS per l'anno considerato. Come si evince dalla tabella 23, il Cruise Control è per la maggior parte (75% dei casi) offerto con modalità di serie, mentre l' l'*Adaptive Cruise Control*, il *Lane Keeping Warning Devices* e il *Blind Spot Warning* vengono forniti per lo più dietro richiesta. L'AEB, dal canto suo, è proposto per il 23% dei casi su rischiesta, per il 19% è offerto di serie, mentre, per una cospicua fetta, può essere presente con più soluzioni.

Tabella 23 Offerta di alcuni ADAS nelle autovetture in vendita nel 2018 (val in %)24

	AEB	ACC	Cruise control	LKA	BSW	Riconoscimento pedone	Riconoscimento segnali stradali
Di serie	18,7	8,9	75,4	18,7	5,3	11,3	18,3
A richiesta senza sovrapprezzo	0	0,7	0	0	0	0	2,1
A richiesta	22,8	49,1	12,5	41,2	45,3	14,7	35,2
Presente con più soluzioni	33,1	3,8	6,7	12,1	4,6	5,0	6,6
Tassativo commerciale	0	0	0	0,1	0,1	0	0
After market	0	0	0	0	0	0	0
Non disponibile	18,8	31,7	3,9	22,7	30,5	14,5	26,3
Non dichiarato	6,6	5,8	1,4	5,3	14,1	54,5	11,4
Tassativo commerciale	0	0	0	0,1	0,1	0	0
Totale complessivo	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

5.2 Veicoli commerciali: l'offerta ADAS

Come anticipato all'inizio di questo capitolo, l'analisi ha preso in considerazione 8.316 veicoli commerciali tra cabinati e combi, furgoni e veicoli speciali delle tre tipologie: leggeri, medi e pesanti (di cui 87 elettrici).

Si parte con il sistema di avviso del cambio di corsia (LDW), per evidenziare la quasi totale assenza, tra i veicoli del listino considerato, del sistema "di serie", e, invece, una significativa offerta "a richiesta" (68%). Dato comunque rilevante perché indica una attenzione verso questo sistema di assistenza, soprattutto se sommato al 8,8% della categoria "presente con più soluzioni", per un totale pari al 77% dell'offerta, benché, probabilmente tutta a pagamento.

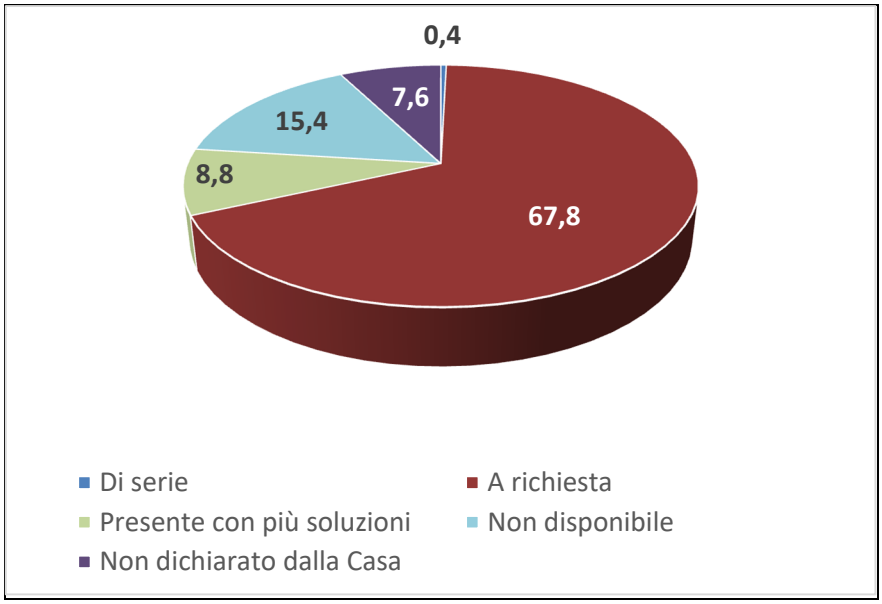


Figura 30 LDW (Lane Keeping Warning Devices): offerta sui veicoli commerciali in vendita nel 2018 (val in %)

Per quel che riguarda il controllo della velocità, nel 14,5% dei casi il sistema è offerto "di serie", l'8,8% "con più soluzioni" e nella grande maggioranza dei casi (il 73%) viene proposto "a richiesta". Il residuale 3,2% di "non disponibilità" conferma quanto emerso con il sistema di controllo corsia.

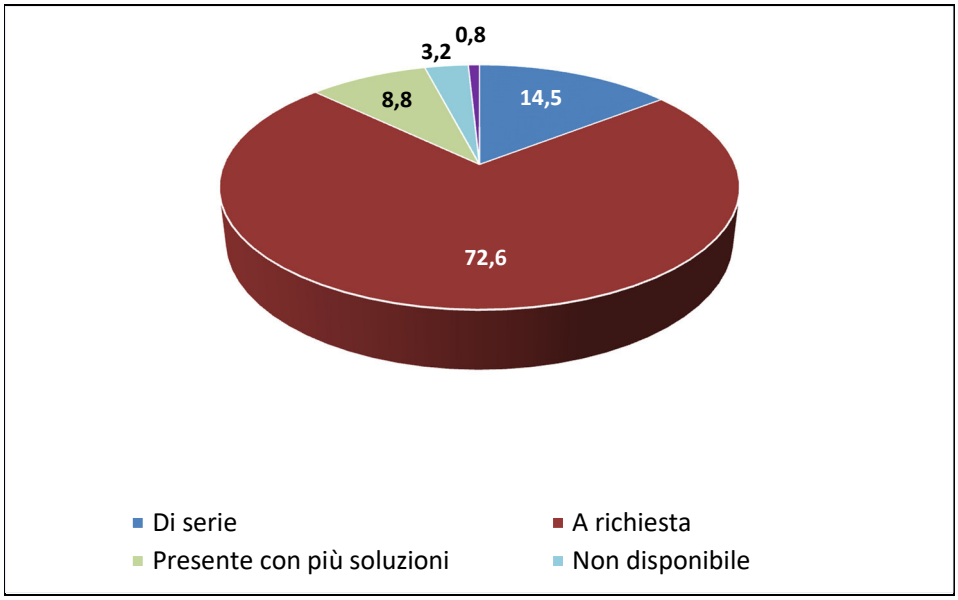


Figura 31 Cruise Control: offerta sui veicoli commerciali in vendita nel 2018 (val in %)

L'*Adaptive Cruise Control* vede un'offerta molto bassa sui veicoli commerciali e tutta "a richiesta", con un quasi 39% di "non disponibilità", secondo i dati forniti. La voce "non dichiarato", che copre il 34% del campione, non permette però di trarre conclusioni certe.

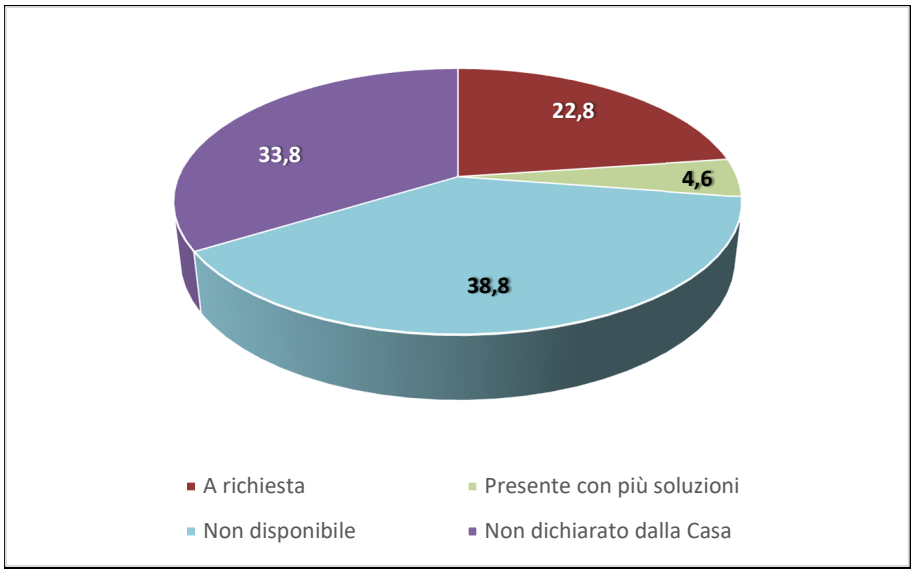


Figura 32 ACC (Adaptive Cruise Control): offerta sui veicoli commerciali in vendita nel 2018 (val in %)

L'importante sistema di sicurezza per la frenata assistita risulta "di serie" solo per il 3,4% dei casi, che si accompagna però a un 24% di "presente con più soluzioni" e "a richiesta" per il 9%. Resta del tutto "non disponibile" quasi il 28% dell'offerta. Anche in questo caso però, l'alto valore riscontrato nella categoria "non dichiarato dalla casa" (36% circa) non permette osservazioni più puntuali nel merito.

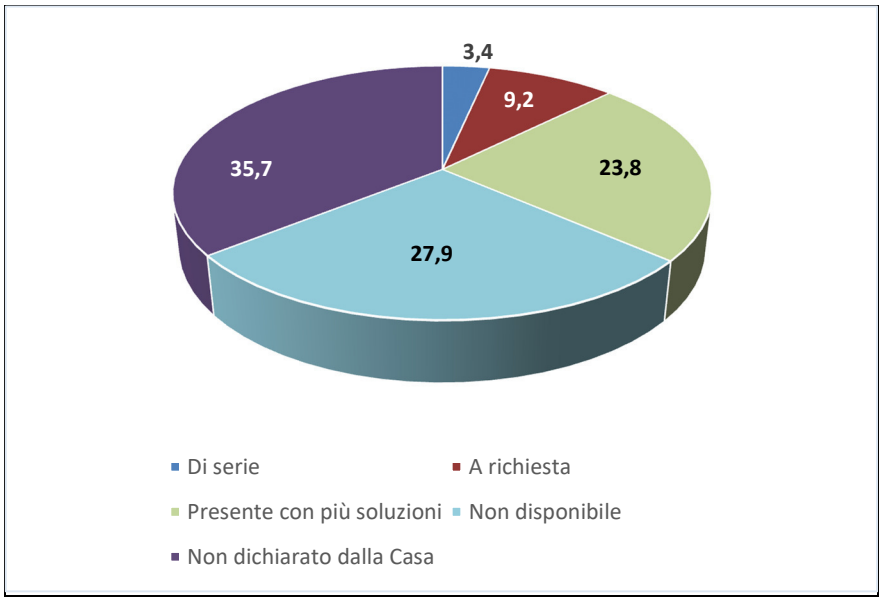


Figura 33 AEB (Emergency Brake Assist): offerta sui veicoli commerciali in vendita 2018 (val in %)

Per quel che riguarda il sistema di monitoraggio dell'angolo cieco, altro apparato di grande rilevanza per la sicurezza di tutti i veicoli, ma forse ancor più per i mezzi commerciali, si evidenzia in particolare un 43% di "non disponibilità" nell'offerta e la mancanza di proposte "di serie" o "con più soluzioni".

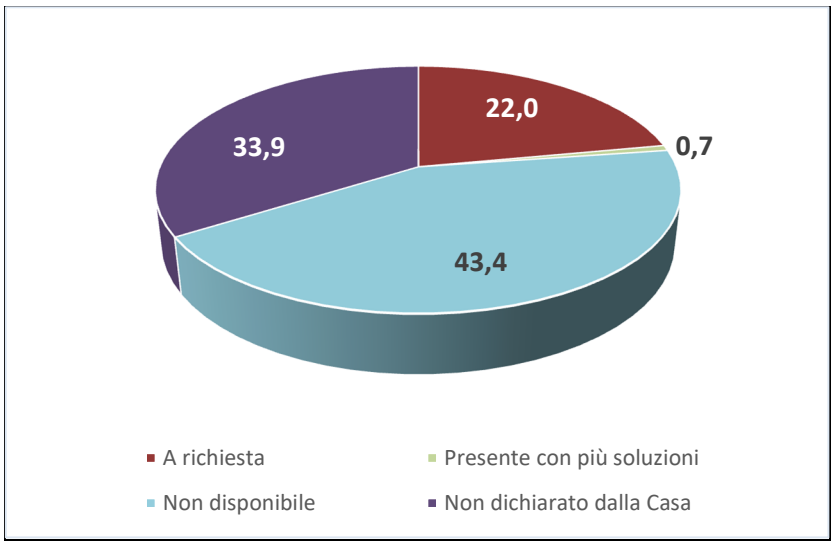


Figura 34 BSD (Blind Spot Warning): offerta sui veicoli commerciali in vendita nel 2018 (val in %)

Il sistema di riconoscimento dei segnali stradali, ancora “non disponibile” nel 47% dei casi, risulta offerto “di serie” nel 24% circa dei veicoli commerciali considerati e nel 27,5% “a richiesta.

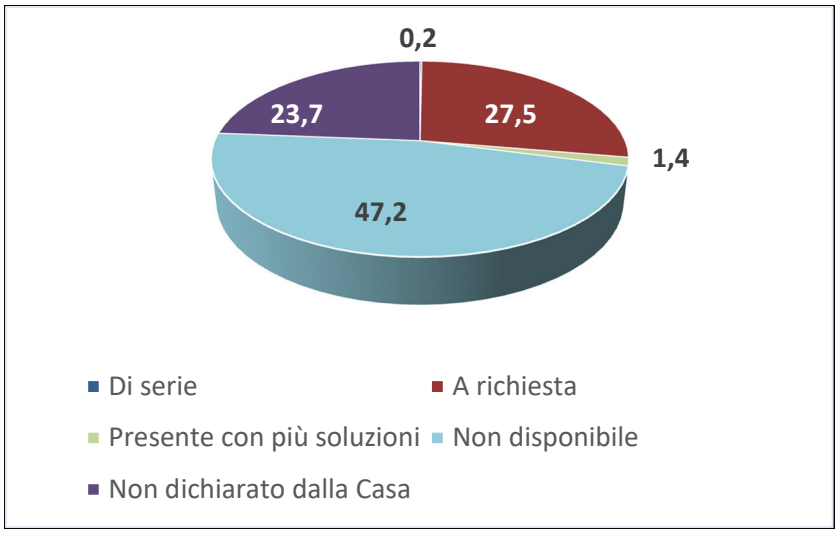


Figura 15 Riconoscimento dei segnali stradali: offerta sui veicoli commerciali in vendita nel 2018 (val in %)

6 Conclusioni

Il delicato lavoro di ricerca teso ad indagare l'esposizione al rischio dei diversi modelli in funzione delle tecnologie per la sicurezza presenti a bordo si è basato su metodologie sperimentali che hanno permesso di valutare il rischio di incidentalità su percorrenze omogenee.

In particolare, i dati analizzati hanno consentito di mettere in relazione la numerosità di sinistri registrati su circa 1.5 milioni di veicoli per l'anno 2017 e 1.8 milioni di veicoli per il 2018, selezionati considerando alcuni modelli diffusi nel mercato, con le percorrenze annue degli stessi, che rappresentano una misura aggregata efficace di esposizione al rischio. Le modalità di estrazione dei dati per i due anni (2017 e 2018) sono state differenti e solo nel primo caso è infatti presente un filtro che seleziona i sinistri con un danno complessivo superiore a 10000 €. I due dataset non sono quindi omogenei e confrontabili, ma hanno permesso comunque una comparazione degli effetti degli ADAS considerati, in relazione alla rilevanza dell'incidente, che nello studio è stata ipotizzata correlata all'entità economica del danno.

L'indice di sinistrosità usato per le comparazioni fra modelli è stato calcolato quindi non in modo semplificato, come rapporto fra incidenti e numerosità di veicoli, ma come rapporto rispetto alla percorrenza totale del campione esaminato durante l'anno di analisi. Questa modalità di calcolo è resa possibile grazie alla disponibilità dell'informazione sulle percorrenze effettuate dai veicoli registrate dalle scatole nere.

Le analisi condotte hanno mostrato che le percorrenze medie dei veicoli non sono uniformi rispetto all'anno di immatricolazione degli stessi e che le comparazioni degli indici di sinistrosità, sulla base delle percorrenze, individuano relazioni crescenti della frequenza di incidenti con l'età dei veicoli. In particolare, è stato osservato che l'indice di sinistrosità del veicolo nuovo è più basso rispetto a quello dei veicoli immatricolati negli anni precedenti nel caso in cui si considerino gli incidenti più gravi (dati 2017), ma non quando si considerano tutti gli eventi, come gli incidenti analizzati nel 2018. Inoltre, è stata rilevata una variabilità non trascurabile dell'indice di sinistrosità fra i modelli analizzati, che generalmente diminuisce per le categorie di classe superiore.

Nel dettaglio, è emerso che un veicolo immatricolato da più di quindici anni presenta quasi il 50% di probabilità in più di essere coinvolto in un incidente grave (danno complessivo superiore a 10.000 €) rispetto a uno immatricolato da soli due anni. A questo si aggiunge che i modelli più costosi, con prezzo di listino medio pari a 30.000 Euro, dotati di un numero maggiore di sistemi di assistenza alla guida, sono coinvolti in incidenti in media 5,7 volte ogni milione di chilometri. I veicoli con prezzo di acquisto inferiore ai 15.000 Euro, invece, sono coinvolti fino a 15 volte: quasi il triplo.

La stima degli effetti sull'incidentalità del sistema di controllo elettronico di stabilità (ESC) è stata effettuata aggregando i modelli disponibili in categorie omogenee e stimando gli indici di sinistrosità con riferimento all'anno di immatricolazione per poter individuare la presenza del sistema ESC. La stima degli effetti del sistema automatico di frenata di emergenza (AEB)

sull'incidentalità è stata effettuata riclassificando i modelli disponibili in categorie rappresentative più ampie rispetto alle precedenti, comparando i modelli di cui è nota l'informazione circa l'anno di introduzione del sistema AEB di serie.

Dalle analisi condotte, le variazioni degli indici di sinistrosità riconducibili alla presenza del sistema ESC e stimate per i modelli delle categorie A (mini) e B (economiche) sono rispettivamente del 5% e 11% considerando tutti i sinistri e del 17% nel caso di incidenti gravi. Tuttavia si evidenza che la diminuzione dell'indice di sinistrosità può essere influenzata anche dall'età dei veicoli, poiché i confronti sono effettuati per i vari modelli con anno di immatricolazione differente, quindi dal loro stato di efficienza, nonché dall'equipaggiamento generalmente più evoluto, grazie all'innovazione tecnologica, che ha effetto anche sulla sicurezza.

Il risultato riferito agli incidenti più gravi può essere paragonato a quello presentato nell'analisi dello stato dell'arte, nella quale è stato riscontrato che al sistema ESC è attribuibile una riduzione del numero di incidenti fra il 20% e il 40%. Queste stime, effettuate con tecniche diverse, tuttavia si riferiscono ad incidenti con feriti e considerano quegli scenari in cui il sistema ESC può essere di supporto, che risultano essere solo una frazione del totale.

I miglioramenti per la sicurezza sono evidenziati anche dall'analisi condotta per il sistema AEB. In questo caso, essendo il sistema meno diffuso, i veicoli sui quali è stato effettuato il confronto sono poco più di 40 mila per il 2017 e 67 mila nel 2018. Le riduzioni stimate considerando solo gli incidenti gravi sono in media del 20% per i veicoli delle categorie A (mini) e B (economiche), mentre sono superiori al 38% per i veicoli della categoria SUV. Considerando tutte le tipologie di incidenti, l'effetto del sistema AEB è positivo per i modelli C e SUV con una percentuale del 23%, mentre si osserva un peggioramento per le categorie A e B pari all'11%.

Gli effetti positivi del sistema AEB si riscontrano anche negli studi analizzati dello stato dell'arte, che stimano riduzioni di incidenti di circa il 50% nella versione extra-urbana per gli incidenti di tamponamento. La variabilità delle stime è confermata anche da altri studi che propongono valori più prudenti, con riduzioni inferiori al 30%, ma l'effetto anomalo non è stato riscontrato in letteratura e quindi richiede ulteriori approfondimenti.

Considerando che queste stime da letteratura si riferiscono agli scenari specifici di incidenti dove i sistemi ADAS possono essere di supporto, che quindi coprono solo una parte dei casi possibili di incidenti, i valori ottenuti dall'analisi dei dati provenienti dalle scatole nere appaiono alti, in quanto riferiti all'indice di sinistrosità globale, senza distinzione della natura dell'incidente. Si è inoltre evidenziato che l'effetto degli ADAS esaminati non è completamente isolabile da quello di altri dispositivi di bordo eventualmente presenti o dai miglioramenti tecnologici introdotti nei veicoli più recenti. Va precisato inoltre che i sistemi ADAS non hanno caratteristiche tecniche e prestazioni sempre paragonabili fra loro, in quanto dipendono dalle tecnologie adottate a bordo veicolo.

Infine, si sottolinea che l'effetto sulla sicurezza delle nuove tecnologie ADAS può dipendere anche dal comportamento del guidatore, che, interagendo con il veicolo sulla base della sua esperienza e con il suo stile di guida, può modificarne le prestazioni.

In una fase ulteriore dello studio si potrà valutare se dai dati registrati di incidenti sono disponibili altre informazioni utili per eventuali approfondimenti dei risultati attesi. Ad esempio, se fosse disponibile la posizione dell'incidente (Comune), si potrebbe incrociare tale informazione con quella disponibile nel database ACI-Istat (Comune e Localizzazione dell'Incidente), per individuare la natura dell'incidente ad altre informazioni di dettaglio che consentono di risalire allo scenario stradale (urbano, extraurbano, autostradale).

Con l'obiettivo di comprendere l'impatto degli ADAS, nel quinto capitolo, si è cercato di indagare la loro diffusione all'interno dell'offerta commerciale delle case automobilistiche. Al riguardo, sono state effettuate elaborazioni su un database di oltre 28.000 veicoli fornito da Quattroruote *Professional*, relativi ai listini autovetture e veicoli commerciali leggeri 2018.

L'indagine, condotta sui listini 2018, ha rilevato, ad esempio, che l'AEB risulta presente di serie solo nel 18,75% dei casi. Tenuto conto della sua rilevanza e della sua capacità di ridurre il rischio di incidente, una diffusione così limitata non può considerarsi soddisfacente. Va, inoltre, sottolineato che considerando anche la possibilità di inserimento come optional o all'interno di pacchetti, il sistema AEB risulta installabile in quasi il 75% dei modelli. Come prevedibile, i veicoli più sicuri risultano quelli di alta gamma, per alcuni economicamente inaccessibili. Il sistema AEB è infatti maggiormente presente nei veicoli con cilindrata compresa fra 1600-2000 cc.

7 Riferimenti bibliografici

[1] European Commission, “Advanced Driver Assistance Systems,” 2018.

[2] American Automobile Association, “Advanced Driver Assistance Technology Names: AAA’s recommendation for common naming of advanced safety systems,” 2019.

[3] UNECE, “Automatically Commanded Steering Function (ACSF).” Bonn, 2015.

[4] Federal Highway Administration, “Safety analysis methods,” in Signalized intersections: informational guide, 2004, p. 369.

[5] V. Saurabh, H. Luc, and S. V. M. Teresa, “CARE DATABASE - CADAS Common Accident Data Set,” 2017.

[6] ISTAT, “Nota metodologica - statistiche incidentalità,” 2006.

[7] M. Rizzi, A. Kullgren, and C. Tingvall, “Injury crash reduction of low-speed Autonomous Emergency Braking (AEB) on passenger cars,” in Proceedings of IRCOBI Conference, 2014, pp. 656–665.

[8] J. B. Cicchino, “Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates,” Accid. Anal. Prev., vol. 99, pp. 142–152, 2017.

[9] R. Anderson, T. Hutchinson, B. Linke, and G. Ponte, “Analysis of crash data to estimate the benefits of emerging vehicle technology Report documentation,” 2011.

[10] M. Doyle, A. Edwards, and M. Avery, “AEB REAL WORLD VALIDATION USING UK MOTOR INSURANCE CLAIMS DATA,” in Proceedings of the 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), 2015, no. June 8-11, pp. 1–14.

[11] P. Thomas, “The accident reduction effectiveness of ESC equipped cars in Great Britain,” 13th World Congr. Intell. Transp. Syst. Serv., no. May, 2006.

[12] A. Lyckegaard, T. Hels, and I. M. Bernhoft, “Effectiveness of Electronic Stability Control on Single-Vehicle Accidents,” Traffic Inj. Prev., vol. 16, no. 4, pp. 380–386, 2015.

[13] A. Chouinard and J. F. Lécuyer, “A study of the effectiveness of Electronic Stability Control in Canada,” Accid. Anal. Prev., vol. 43, no. 1, pp. 451–460, 2011.

[14] M. Bayly, B. Fildes, M. Regan, and K. Young, “Review of crash effectiveness of Intelligent Transport Systems,” 2007.

[15] B. Fildes et al., “Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear-end crashes,” Accid. Anal. Prev., vol. 81, pp. 24–29, 2015.

[16] A. J. Benson, B. C. Tefft, A. M. Svancara, and W. . Horrey, “Potential Reductions in Crashes , Injuries , and Deaths from Large-Scale Deployment of Advanced Driver Assistance Systems,” Washington, D.C, 2018.

[17] I. Wilmink et al., “Socio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Co-operative Intelligent Vehicle Safety Systems (IVSS) in Europe”, eIMPACT Project Assessing the Impacts of Intelligent Vehicle Safety Systems, Contract no .: 027421, Report name: Intelligent Vehicle Safety,”, 2008.

[18] F. Lai, O. Carsten, and F. Tate, “How much benefit does Intelligent Speed Adaptation deliver? - An analysis of its potential contribution to safety and environment,” Accid. Anal. Prev., vol. 48, pp. 63–72, 2012.

[19] K. M. Kim, “Analysis of Safety Impacts of Access Management Alternatives Using the Surrogate Safety,” no. June 2017.

[20] H. Zoghi, K. Siamardi, and M. Tolouei, “ADA systems application for traffic safety improvement on roadways,” 2010 2nd Int. Conf. Comput. Autom. Eng. ICCAE 2010, vol. 2, pp. 629–634, 2010.

[21] C. Maag, D. Mühlbacher, C. Mark, and H. Krüger, “Studying Effects of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) on Individual and Group Level Using Multi-Driver Simulation,” pp. 45–54, 2012.

[22] Y. Saito, M. Itoh, T. Inagaki, and S. Member, “Driver Assistance System With a Dual Control Scheme : Effectiveness of Identifying Driver Drowsiness and Preventing Lane Departure Accidents,” IEEE Trans. Human-Machine Syst., vol. 46, no. 5, pp. 660–671, 2016.

[23] V. A. Butakov and P. Ioannou, “Personalized Driver / Vehicle Lane Change Models for ADAS,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 64, no. 10, pp. 4422–4431, 2015.

[24] Euro NCAP, “Euro NCAP 2025 Roadmap,” 2017.

[25] G. Nilsson, “The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden,” in Proceedings, International symposium on the effects of speed limits on traffic crashes and fuel consumption, 1981, no. 68.

[26] Nilsson Goran, “Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety,” Lund Institute of Technology, 2004.

[27] R. Elvik, The Power Model of the relationship between speed and road safety Update and new analyses, vol. 41, no. 4. 2009.

[28] A. van Loon and L. Duynstee, “Intelligent Speed Adaptation (ISA): A Successful Test in the Netherlands,” in Proceeding of the Canadian Multi-disciplinary Road Safety Conference XII, 2001, vol. 23, no. 1, pp. 148–156.

ISBN 9788832245004

Fondazione Filippo Caracciolo
Centro Studi

BOSCH
Tecnologia per la vita