

La ricerca delle cause dell'incidente: fattori ambientali e fattori umani

7.1 Introduzione p. 267 – 7.2 Calcolo della velocità di crociera dei veicoli p. 268 – 7.3 I fattori ambientali: distanza di avvistamento e campo visivo p. 271 – 7.3.1 Le simulazioni 3D: sincronizzazione dei movimenti e visuali p. 273 – 7.3.2 Il campo visivo p. 273 – 7.3.3 Le limitazioni al campo visivo diretto p. 276 – 7.3.4 Limitazioni al campo visivo laterale e posteriore delle autovetture p. 283 – 7.3.5 Il campo visivo dei veicoli industriali p. 286 – 7.4 I fattori umani p. 292 – 7.4.1 La descrizione dei comportamenti umani attraverso la statistica p. 296 – 7.4.2 Il tempo di reazione dei conducenti a situazioni di emergenza p. 300 – 7.4.3 Le fasi della reazione alle emergenze p. 302 – 7.4.4 Fattori che condizionano il tempo di reazione dei conducenti p. 305 – 7.5 Particolari situazioni di guida p. 311 – 7.5.1 Percezione, reazione ed accelerazione in partenza da un semaforo p. 312 – 7.5.2 I livelli di utilizzazione dei freni nelle situazioni di emergenza p. 315 – 7.5.3 Utilizzazione di un simulatore per lo studio delle manovre di emergenza p. 316 – 7.5.4 Prospettive di sviluppo della ricerca nel settore p. 319 – 7.6 Applicazioni p. 320 – 7.6.1 Distanza di sicurezza p. 320 – 7.6.2 Analisi dell'evitabilità dell'incidente p. 325

7.1 Introduzione

Conducente, veicolo ed ambiente circostante costituiscono un sistema complesso; quando si verifica un incidente significa che c'è stato il fallimento di uno, o più d'uno, dei suoi componenti.

Le cause di un incidente vanno dunque ricercate, senza preclusioni, nei comportamenti di guida, nelle condizioni e nelle caratteristiche dei veicoli, e nella strada, tenendo presente che il conducente è sicuramente il componente più fallace del sistema¹.

È necessario studiare in profondità i cosiddetti fattori umani, intendendo con questa espressione i comportamenti e le prestazioni delle persone alla guida degli autoveicoli, senza trascurare i possibili difetti o cedimenti dei veicoli (per i quali si rimanda a test specifici di meccanica) né le caratteristiche dell'ambiente (delle quali si parlerà nei prossimi paragrafi).

Il tecnico ricostruttore affronta lo studio della fase pre-urto stabilendo, quando è possibile, la velocità di crociera dei veicoli ed indagando le cause dell'incidente.

¹ Lo studio più completo effettuato negli Stati Uniti individua nella responsabilità del conducente la causa unica del 57% degli incidenti stradali e la causa concorsuale nel 97% dei casi (J.R.Treat, *A Study of Pre-crash Factors Involved in Traffic Accidents*, «The HRSI Research Review», maggio-agosto 1980, Ann Arbor, Michigan).

Il calcolo delle velocità di marcia negli istanti che hanno preceduto l'incidente è particolarmente agevole se sono state rilevate tracce di frenata pre-urto; in questo caso il problema si riduce ad un'elementare applicazione delle leggi del moto ritardato (più o meno uniformemente), che verrà sinteticamente analizzata nel prossimo paragrafo.

L'analisi dei fattori umani ed ambientali, che costituisce la parte centrale di questo capitolo, è invece più complessa e richiede conoscenze interdisciplinari molto ampie.

Si tratteranno aspetti quali le visuali, la percezione e la reazione dei conducenti, elementi che verranno messi in relazione coi comportamenti di guida e con le risposte alle varie situazioni di pericolo ed emergenza.

L'analisi delle cause degli incidenti stradali, e dunque anche dei comportamenti umani è di assoluta rilevanza per le conseguenze che ha in ambito giudiziario, ma spesso non è affrontata dai tecnici ricostruttori con la dovuta accuratezza e competenza.

7.2 Calcolo della velocità di crociera dei veicoli

In una tipica situazione di guida, la percezione del pericolo da parte del conducente è seguita da una fase di reazione alla quale, normalmente, succede un'azione frenante, più o meno intensa, che termina con l'arresto del veicolo o lo accompagna fino all'urto.

Questa sequenza di eventi è rappresentata in Figura 7.1² nella quale t_r è il tempo di reazione del conducente, e t_a il tempo che impiegano le pastiche o i tamburi dei freni a giungere a contatto e generare le forze di attrito.

Gli effetti di rallentamento sul veicolo iniziano dunque un tempo $t_r + t_a$ dopo che si è verificato l'evento che ha indotto la reazione. Successivamente, trascorso un tempo t_b , la decelerazione del veicolo raggiunge il suo valore massimo e, se il pedale non viene rilasciato, si mantiene più o meno costante fino all'urto o all'arresto.

Nel caso in cui il veicolo si arresti al termine dell'azione frenante senza urti, lo spazio percorso durante le azioni descritte è dato dall'area al di sotto della curva della velocità e vale:

$$(7.1) \quad S = V_i \left(t_r + t_a + \frac{t_b}{2} \right) + \frac{V_i^2}{2a_{\max}} - \frac{a_{\max} t_b^2}{8}$$

Nella (7.1) l'ultimo termine corrisponde a poche decine di centimetri e può essere trascurato, così come il tempo t_a che spesso viene incluso in t_b .

Se durante l'azione frenante non avviene alcun urto, la velocità V_0 all'inizio delle tracce di frenata di lunghezza S , viene calcolata dalla legge di conservazione dell'energia, eguagliando l'energia cinetica iniziale del veicolo al lavoro compiuto dalle forze frenanti lungo il tratto S con decelerazione a_{\max} :

² R. Limpert, *Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis*. Lexis, 1999.

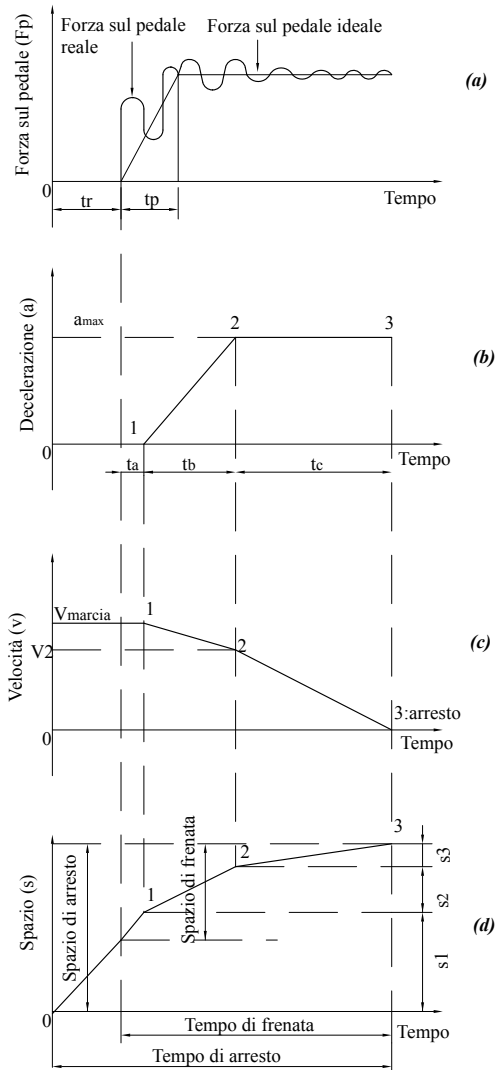
Figura 7.1 – Analisi di un'azione frenante che si conclude con l'arresto del veicolo.

grafico a: la forza sul pedale del freno non raggiunge istantaneamente il suo valore massimo, ma impiega un tempo t_p necessario alla salita ed alla stabilizzazione della pressione nei circuiti idraulici.

grafico b: la decelerazione del veicolo inizia dopo un tempo t_a , necessario ai tamburi o alle pastiglie dei freni per venire a contatto, ed aumenta, linearmente in prima approssimazione, fino a raggiungere il suo valore massimo in un tempo t_b .

grafico c: la velocità del veicolo inizia a diminuire durante t_b (setup del sistema frenante) sotto l'effetto di una decelerazione $\frac{1}{2} a_{max}$, dopo di che diminuisce linearmente fino all'arresto (o all'urto) per effetto della a_{max} .

grafico d: fino all'inizio di t_b lo spazio percorso dal veicolo aumenta linearmente come in un moto uniforme, dopo di che la pendenza della curva diminuisce quadraticamente nel tempo per effetto della decelerazione applicata.

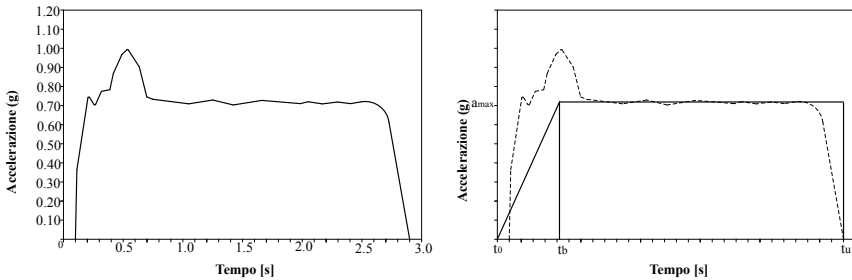


$$(7.2) \quad V_0 = \sqrt{2a_{\max}S}$$

La (7.2), però, non rappresenta esattamente la V_i utilizzata nella (7.1), in quanto non tiene conto della decelerazione che il veicolo subisce durante t_b , e cioè nella cosiddetta fase di frenata non tracciante: essa deve essere integrata partendo dall'esame delle Figure 2³:

In Figura 7.2.a è mostrato l'andamento nel tempo della decelerazione subita da un veicolo durante un'azione frenante a ruote bloccate; è possibile approssimare tale grafico a quello di Figura 7.2.b nel quale la decelerazione è scomposta in due fasi: durante la prima, la decelerazione aumenta linearmente fino a raggiungere, dopo il tempo t_b , il suo valore massimo, durante la seconda, invece, la decelerazione si mantiene costante (ruote bloccate).

Figura 7.2 – a) a sinistra, l'andamento reale della decelerazione; b) a destra andamento semplificato.



Tale situazione può essere sintetizzata, indicando sempre con a_{\max} la decelerazione a ruote bloccate, con le:

$$(7.3) \quad a(t) = \frac{a_{\max}}{t_b} t \quad \text{per } 0 \leq t \leq t_b$$

$$(7.4) \quad a(t) = a_{\max} \quad \text{per } t_b < t \leq t_u$$

Integrando una volta nel tempo la (7.2) fra 0 e t_b , si ottiene un'equazione per la velocità durante la fase di salita dell'accelerazione:

$$(7.5) \quad V_b = \frac{1}{2} a_{\max} t_b$$

Sommando alla (7.2) questa velocità si ottiene l'equazione che consente di calcolare la velocità iniziale V_i posseduta dal veicolo prima dell'inizio dell'azione frenante:

³ J.A. Neptune et al., *Speed from Skids: a Modern Approach*, SAE paper 950354, 1995.

$$(7.6) \quad V_i = V_0 + V_b = \sqrt{2a_{\max}S} + \frac{1}{2}a_{\max}t_b$$

Nel caso in cui l'azione frenante termini con un urto, all'istante t_u con velocità V_u , si può calcolare la velocità di crociera del veicolo, vale a dire quella posseduta al momento della percezione del pericolo, dalla:

$$(7.7) \quad V_i = \sqrt{V_u^2 + V_0^2} + V_b = \sqrt{V_u^2 + 2a_{\max}S} + \frac{1}{2}a_{\max}t_b$$

Una volta calcolata la velocità iniziale (o di crociera) dei veicoli, la ricostruzione numerica dell'incidente può considerarsi completata.

7.3 I fattori ambientali: distanza di avvistamento e campo visivo

L'obiettivo della ricostruzione di un incidente stradale è determinare cosa successe e, possibilmente, quali ne furono le cause.

Quando il ricostruttore arriva ad indagare le cause dell'evento, non è gli più sufficiente conoscere i teoremi e le leggi della fisica, ma si deve confrontare con tematiche che riguardano i comportamenti umani, nelle specifiche condizioni ambientali di accadimento.

Dal punto di vista delle condizioni ambientali, sono particolarmente rilevanti le questioni che riguardano le visuali ed il campo visivo.

Spesso, studiando un incidente stradale, ci si domanda: «cosa potevano vedere i protagonisti negli istanti che hanno preceduto l'urto?»⁴.

Non è raro, infatti, che un conducente affermi di non aver visto cosa lo ha urtato o di averlo percepito quando ormai era troppo tardi per poterlo evitare.

In questi casi è necessario stabilire se le persone o gli oggetti presenti sulla scena dell'evento (pedoni, motocicli, altri veicoli, detriti ecc.) potevano essere visibili da una persona ragionevolmente concentrata nella guida, nelle specifiche condizioni di accadimento.

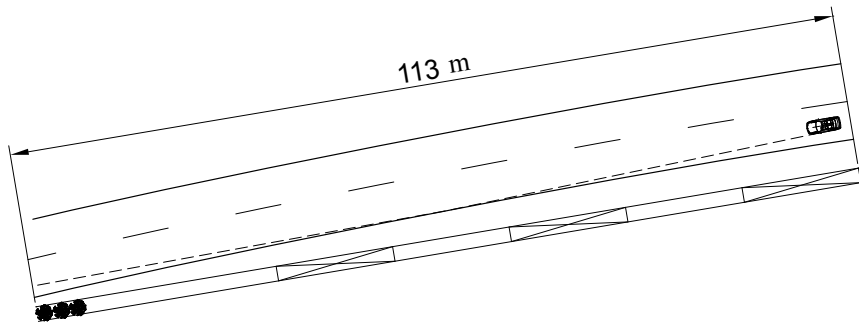
Nell'esame della fase pre-urto, dunque, è necessario stabilire la distanza dalla quale i conducenti coinvolti nell'incidente potevano percepire l'uno la presenza dell'altro, ovvero la distanza dalla quale un conducente poteva vedere il pericolo imminente al quale ha (o avrebbe) dovuto reagire.

Nella Figura 7.3 è mostrato come può essere analizzata, geometricamente, la distanza di avvistamento partendo da una planimetria in scala del luogo del sinistro.

Graficamente è possibile stabilire, a tavolino, che nel caso in esame il conducente del veicolo A poteva percepire eventuali pericoli o presenze in carreggiata dalla distanza di 113 metri.

⁴ E.S. Phillips et al., *Vision and Visibility in Vehicular Accident Reconstruction*, SAE paper 900369, 1990.

Figura 7.3 – Determinazione geometrica della distanza di avvistamento.



Andando sul luogo del sinistro, tuttavia, si è rilevato che, in realtà, la distanza dalla quale il conducente del veicolo poteva percepire un pedone in carreggiata era sostanzialmente inferiore a quella stabilita graficamente e valeva circa 90 m. (Figura 7.4).

Figura 7.4 – Determinazione in loco della distanza di avvistamento.



In generale si deve tenere sempre presente che il solo rilievo planimetrico, per quanto preciso possa essere, non consente di stabilire quali fossero le effettive visuali a disposizione dei conducenti; è necessario che il ricostruttore e l'investigatore valutino personalmente, sul luogo dell'incidente, cosa potevano vedere i conducenti e da dove, tenendo conto della stagione (che ha effetto sullo sviluppo della vegetazione), delle condizioni atmosferiche, delle situazioni di traffico e di ogni altro possibile impedimento che avrebbe potuto essere presente al momento dell'evento.

In particolare l'investigatore, nel momento nel quale effettua i primi rilievi, deve dare conto dell'eventuale presenza di veicoli in sosta nell'area di interesse, di alberi o siepi e, se possibile, scattare delle sequenze di fotografie lungo le direzioni di marcia dei veicoli.

Le visuali, idealmente, dovrebbero essere stabilite muovendosi lungo le direzioni dei veicoli, verificando le varie combinazioni posizione/visuale e tenendo presente che la non conoscenza, al momento delle indagini, delle velocità dei veicoli determinerà comunque un'incertezza sui risultati raggiunti.

Al di là del valore numerico della distanza di avvistamento (che potranno stabilire sul luogo del sinistro), gli investigatori devono comunque sapere che dei buoni rilievi, fotografici e planimetrici, faciliteranno sempre e comunque il compito al ricostruttore che, a posteriori, dovrà stabilire le reali visuali disponibili realizzando dei grafici tempo-posizione-visuale⁵ o delle simulazioni in 3D.

7.3.1 Le simulazioni 3D: sincronizzazione dei movimenti e visuali

I programmi di simulazione possono essere utilizzati, con ottimi risultati, nello studio delle limitazioni alle visuali ed alla reciproca percezione dei conducenti.

La grafica computerizzata e le animazioni sono strumenti eccellenti per mostrare, in 3 dimensioni, come si presentava il luogo dell'incidente ai conducenti e cosa, ognuno di loro, poteva o non poteva vedere.

I simulatori sono poi particolarmente utili quando non sono note le esatte posizioni delle persone o degli oggetti ed è necessario studiare una varietà di possibili combinazioni spazio-temporali: partendo dalla posizione d'urto e dalle velocità dei veicoli, è agevole ricostruire all'indietro le rispettive posizioni nel tempo, sincronizzandone il movimento nei secondi che hanno preceduto l'evento.

Una volta sincronizzato il movimento, è sufficiente creare un modello in 3 dimensioni del luogo e, collocando una telecamera virtuale al posto del conducente, verificare le reciproche visuali.

In Figura 7.5 è mostrata la cinematica di un incidente a 90° in ambito urbano; in Figura 7.6 sono mostrati dei fotogrammi tratti da un'animazione 3D che mostrano le visuali di cui godevano i conducenti negli istanti che hanno preceduto l'urto:

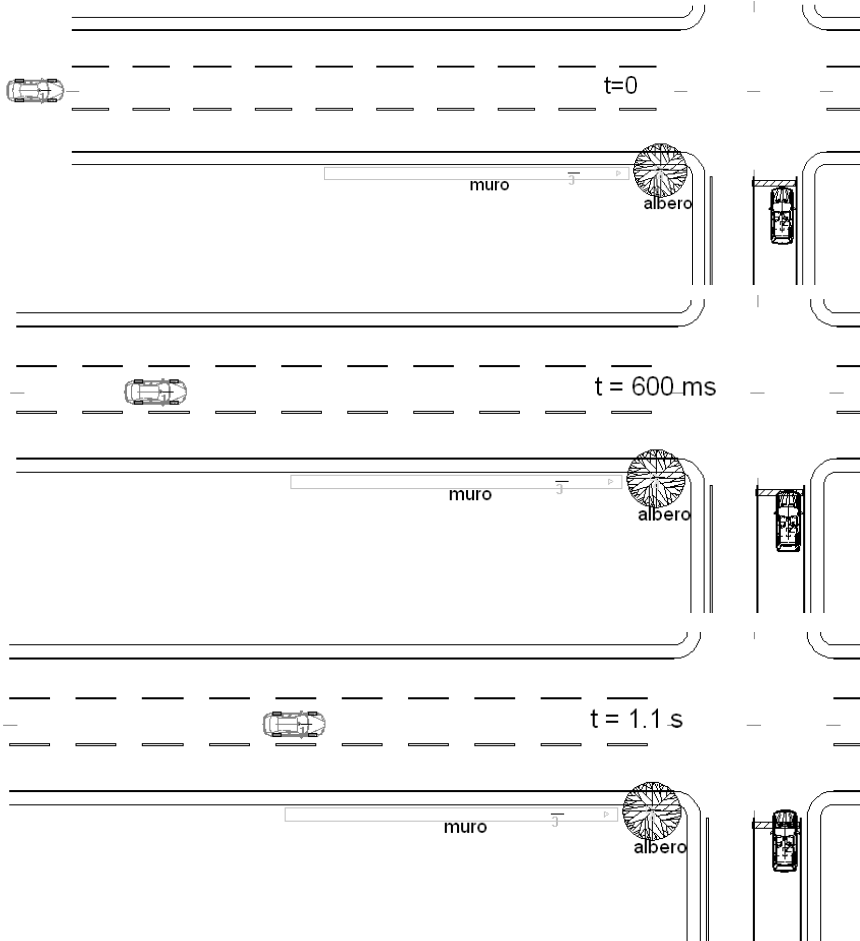
7.3.2 Il campo visivo

Integrando la definizione fornita dalla normativa tecnica europea sui dispositivi retrovisori⁶, si definisce campo visivo la sezione dello spazio tridimen-

⁵ Un interessante approccio allo studio grafico delle visuali è in K.G. Sorenson, *Time-Position-Visibility Analysis: A Graphical Approach*, SAE Paper 940726 – Warrendale (PA), febbraio 1994.

⁶ Direttiva 2003/97/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 10 novembre 2003 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative all'omologazione dei dispositivi per la visione indiretta e dei veicoli muniti di tali dispositivi, che modifica la direttiva 70/156/CEE e abroga la direttiva 71/127/CEE, «Gazzetta ufficiale dell'Unione europea», L. 25/1, 29/1/2004 IT, <<http://eur-lex.europa.eu/>>.

Figura 7.5 – La cinematica pre urto di un incidente a 90°. $t=0$ ms: i conducenti non si vedono; l'Alfa (veicolo a sinistra), godendo della precedenza, procede a circa 80 km/h; $t=600$ ms: il conducente dell'Alfa percepisce l'anteriore della Bmw che inizia il movimento; poco dopo inizia a frenare; $t= 1,10$ s: dopo circa $\frac{1}{2}$ s anche il conducente della Bmw può percepire la presenza dell'Alfa Romeo; $t= 3,00$ s: l'Alfa Romeo urta il fianco sinistro della Bmw alla velocità di circa 40 km/h.

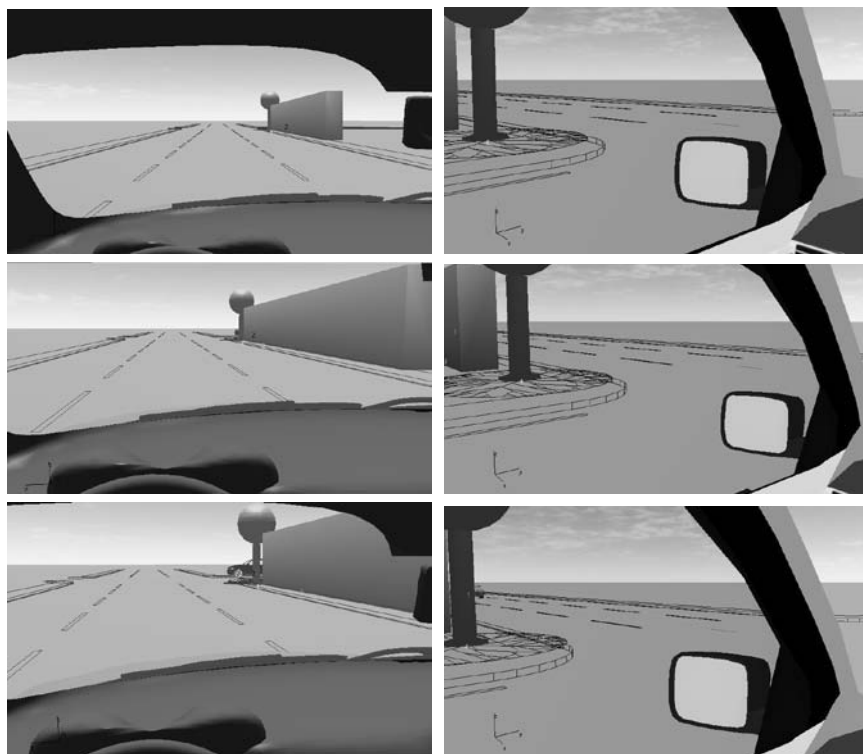


sionale in cui un oggetto critico può essere osservato e rappresentato, o direttamente o attraverso i dispositivi per la visione indiretta. Esso può essere limitato dalla distanza massima di rilevamento dei dispositivi utilizzati.

La distanza di avvistamento, così come è stata definita nel paragrafo precedente, rappresenta dunque solo uno degli aspetti che entrano in gioco nella determinazione del campo visivo dei conducenti e fornisce risposte a domande del tipo:

- dove erano i veicoli negli istanti che hanno preceduto l'urto? (relazioni spazio-temporali);
- cosa potevano vedere i conducenti e da dove? (relazione posizione-visuali).

Figura 7.6 – Le visuali dei conducenti negli istanti che precedono l'incidente. A sinistra: visuale del conducente dell'Alfa agli istanti $t = 0,600$ ms, 1,1 s. A destra: visuale del conducente della BMW negli stessi istanti.



La condizione ideale di guida è quella in cui il conducente può vedere, per tempo, ogni possibile pericolo o ostacolo, qualunque sia la sua provenienza o collocazione.

Ci si può avvicinare a tale condizione ideale integrando ciò che si vede direttamente (campo visivo diretto) guardando attraverso il parabrezza ed alla parte anteriore dei finestrini laterali, e ciò che mostrano gli specchi retrovisori (campo visivo indiretto), ma ciò che il conducente può vedere è sempre limitato dalla geometria del veicolo, dalle dimensioni degli specchi e dalle loro posizioni.

In generale, per guidare in sicurezza, un conducente deve vedere con chiarezza:

- gli oggetti da evitare presenti in carreggiata (altri veicoli, pedoni, animali, ecc.);
- i componenti del sistema di guida ottica (segnaletica orizzontale, delimitatori di carreggiata ecc.);
- la segnaletica di controllo del traffico (semafori, segnaletica verticale ecc.).

Chiameremo da ora in poi oggetto ognuno di questi componenti.

Quando il veicolo è in movimento la maggior parte degli oggetti cade nel campo visivo diretto del conducente ed il campo visivo indiretto fornisce informazioni quasi esclusivamente sui veicoli che seguono o che procedono affiancati.

Il tecnico ricostruttore di incidenti stradali, quando è necessario, deve essere in grado di stabilire se possono essersi verificate delle limitazioni al campo visivo dei conducenti, valutarne l'entità e stabilire se queste possono essere state causa (o concausa) dell'incidente.

Il problema è dunque quello di stabilire se il conducente poteva vedere tutti gli oggetti che lo circondavano.

L'esame deve essere condotto individuando:

- la posizione degli oggetti nel momento in cui si trovavano alla distanza critica, vale a dire alla distanza alla quale dovevano essere visti per consentire al conducente, se necessario, di agire in maniera sicura per evitarli;
- la posizione degli ostacoli che limitavano il campo visivo del conducente.

Per analizzare i limiti del campo visivo è necessario riferire la posizione degli ostacoli (per esempio un montante dell'auto) e degli oggetti (per esempio un pedone) rispetto all'occhio del conducente.

Gli ostacoli al campo visivo diretto sono i limiti superiore ed inferiore del parabrezza, i montanti anteriori ed i limiti inferiore e superiore dei finestrini.

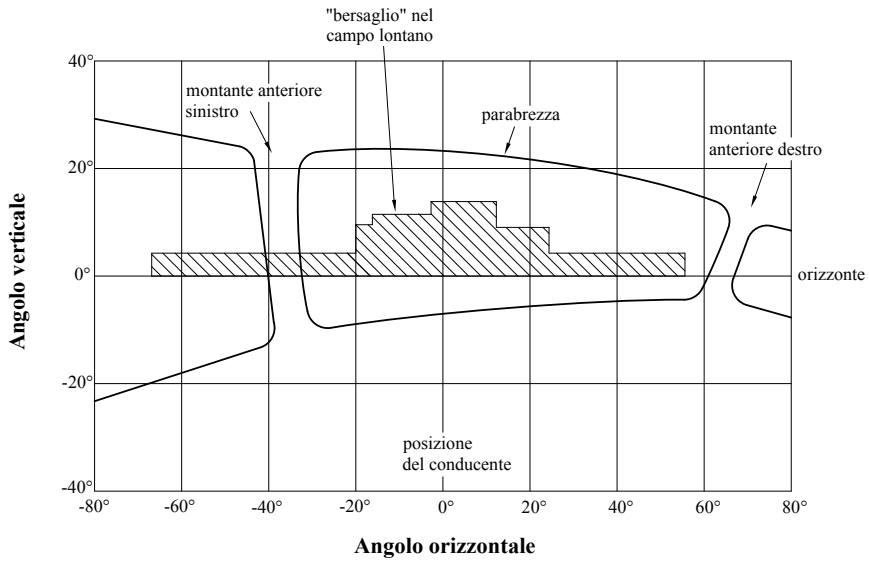
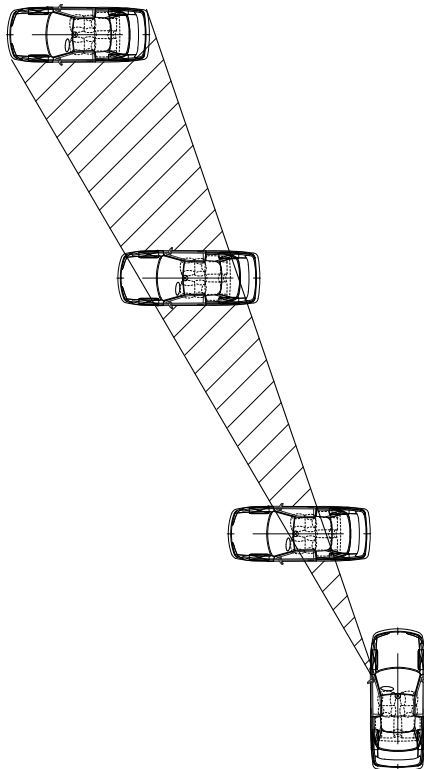
Gli ostacoli al campo visivo indiretto sono i bordi degli specchi retrovisori e le parti del veicolo che vengono a trovarsi nel campo coperto dello specchio (per esempio, per gli specchi interni, i montanti posteriori o i poggiatesta dei sedili posteriori).

7.3.3 Le limitazioni al campo visivo diretto

In Figura 7.7 è schematizzato il campo visivo diretto di cui dispone il conducente di una generica autovettura.

Se ipotizziamo che lo specchietto retrovisore interno sia posizionato in modo da non disturbare la visuale diretta, è evidente che le principali limitazioni alla visuale del conducente sono costituite dai montanti anteriori.

L'ampiezza della limitazione visiva causata dai montanti dipende dalle loro dimensioni (dettate da un compromesso fra le esigenze di visuale e quelle di un'adeguata robustezza strutturale), dalla distanza dell'occhio del conducente (minore è la distanza dal montante, maggiore è l'ostruzione) e dalla distanza dell'oggetto da percepire (maggiore è la sua distanza, maggiore è l'ostruzione).

Figura 7.7 – Schematizzazione del campo visivo diretto di una generica autovettura.**Figura 7.8** – L'ostruzione procurata dal montante anteriore sinistro per oggetti a distanza crescente.

L'ostruzione alla visuale ambinoculare⁷ generata dal montante anteriore sinistro nelle attuali autovetture varia fra i 3,5 ed i 7,5°; quando l'angolo di ostruzione si avvicina al valore superiore possono verificarsi significativi oscuramenti, sia di veicoli che di pedoni e ciclisti.

L'ostruzione dovuta ai montanti nell'intersezione con altri autoveicoli

Si possono presentare molte situazioni nelle quali un veicolo che ne incrocia un altro può essere parzialmente o temporaneamente nascosto da un montante anteriore.

In generale, quando uno dei due veicoli è fermo ad un incrocio a 90° l'ostruzione è molto improbabile, in quanto il veicolo fermo si troverà coperto dal montante solo quando il veicolo in movimento sarà molto vicino all'intersezione, e cioè dopo essere stato a lungo ben visibile.

La durata dell'ostruzione, inoltre, in questi casi è molto breve ed è improbabile che possa essere causa di un incidente.

Più interessante è il caso nel quale entrambi i veicoli sono in movimento come mostrato in Figura 7.9.

In questo caso si suppone che i due veicoli in avvicinamento procedano a velocità costante, l'uno, quello in movimento verso l'alto, perché il suo conducente, godendo del diritto di precedenza, confida sul fatto che gli altri veicoli si arresteranno allo stop, l'altro semplicemente perché non ha visto la segnaletica.

Se i veicoli sono in rotta di collisione, l'angolo fra di loro rimarrà costante e, in particolare, rimarrà costante l'angolo sotto il quale il conducente del veicolo che ha il diritto di precedenza vedrà quello in arrivo da sinistra. L'angolo dipende dalla velocità relativa dei due veicoli; nel caso viaggino alla stessa velocità, per esempio, l'angolo sarà di 45°.

A seconda della posizione di guida del conducente e delle caratteristiche del veicolo, il montante anteriore sinistro si troverà angolato fra i 30 ed i 50° sulla sinistra della direzione longitudinale dello sguardo del conducente.

Per ogni posizione del montante rispetto all'occhio del conducente, esiste un rapporto fra le velocità dei veicoli che fa sì che l'auto proveniente da sinistra rimanga coperta fino all'urto; per esempio se il montante è sposta-

⁷ Nella direttiva 2003/97/CE si definisce: 1.1.1.13. «Visione ambinoculare» il campo di visibilità totale ottenuto per sovrapposizione dei campi monoculari dell'occhio destro e dell'occhio sinistro (cfr. figura seguente).

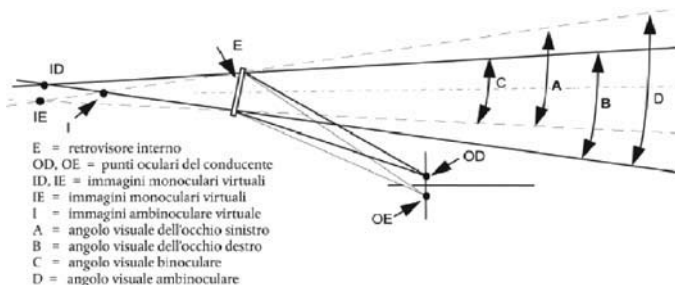
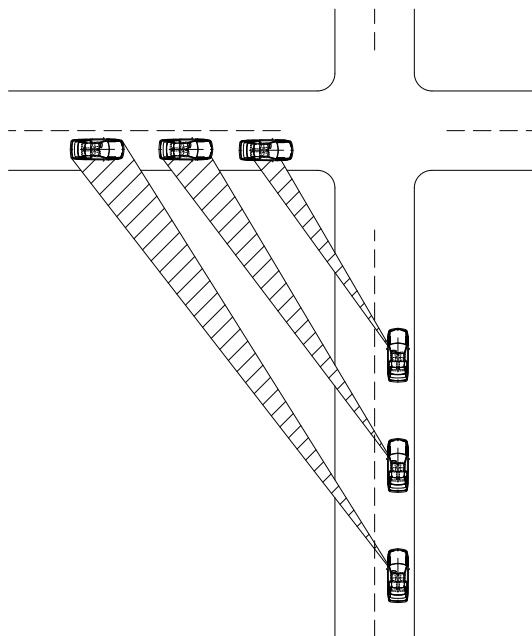


Figura 7.9 – L'ostruzione del montante anteriore sinistro di un veicolo in fase di approccio a 90°.



to di 35° rispetto all'occhio del conducente, il rapporto fra le velocità che genera il totale oscuramento vale 0,7 ($= \text{tg } 35^\circ$).

Seguendo la stessa modalità di ragionamento, se si ipotizza che il veicolo non favorito dalla precedenza invece che da sinistra provenga da destra, l'ostruzione fornita dal montante anteriore destro diventa molto meno probabile, in quanto l'angolo sotto il quale viene visto il montante dalla posizione di guida è considerevolmente maggiore (65-70°) e il totale oscuramento si avrebbe solo nel caso in cui la velocità del veicolo incidente fosse doppia di quella del veicolo favorito.

Questa situazione è decisamente meno probabile, ma si deve tenere presente che in tali condizioni, il veicolo in avvicinamento sarebbe più lontano e dunque più facilmente oscurabile.

Le considerazioni fino a qui svolte riguardano intersezioni ad angolo retto, ma esistono anche incroci con angoli particolari, come di Figura 7.10, nei quali il montante anteriore sinistro può essere quasi perfettamente allineato alla direzione del veicolo in avvicinamento.

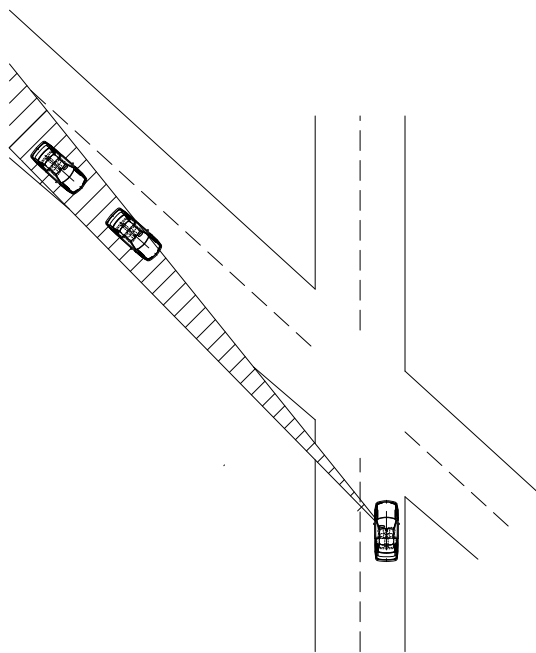
In questo caso, se il conducente del veicolo proveniente dal basso fosse fermo ad uno stop, avrebbe una prolungata fase di totale oscuramento dei veicoli che provengono dalla sua sinistra.

Nella pratica quotidiana del ricostruttore di incidenti stradali le situazioni prospettate non sono particolarmente frequenti in quanto si devono verificare, contemporaneamente, delle situazioni piuttosto rare; nel primo caso analizzato, per esempio:

- il conducente che procede verso sinistra dovrebbe non vedere né la segnaletica né l'altra auto che si avvicina all'incrocio;
- entrambi i veicoli devono procedere a velocità costante e con una ben precisa velocità relativa.

Oltre a ciò si deve considerare che il capo e gli occhi dei conducenti non sono mai fissi in una posizione, anzi sono continuamente in movimento, e ciò consente, con piccoli spostamenti in avanti ed indietro, di vedere dietro al montante riducendone in buona misura l'ostruzione.

Figura 7.10 – Il veicolo che proviene dal basso è fermo e, a causa della particolare conformazione dell'incrocio, ha difficoltà a vedere i veicoli in movimento dalla sua sinistra.



L'ostruzione dovuta ai montanti anteriori nell'intersezione con pedoni e ciclisti

I pedoni ed i ciclisti, a causa delle limitate dimensioni, sono certamente più esposti degli altri utenti della strada a venire nascosti dai montanti anteriori alla vista dei conducenti.

In generale si deve però osservare che la loro velocità di marcia, molto inferiore a quella delle autovetture, rende molto improbabili fenomeni di oscuramento continuo nelle intersezioni.

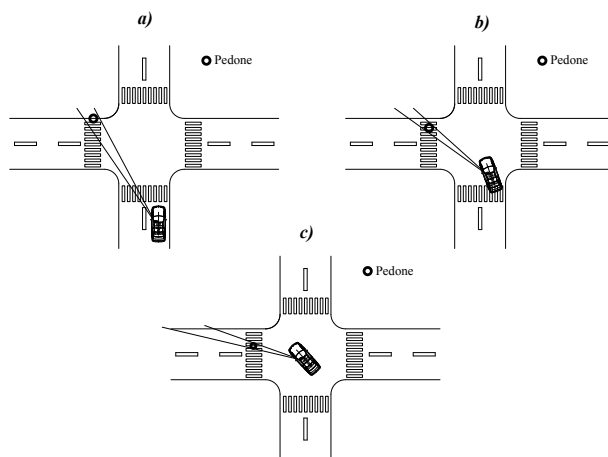
Un discorso a parte merita il caso nel quale la direzione di marcia del pedone viene ad interferire con la traiettoria dell'autoveicolo in fase di svolta a sinistra. In questa situazione, infatti, benché il cono d'ombra generato dal montante dell'auto generalmente spazzoli l'area di possibile conflitto

ad una velocità superiore a quella di marcia del pedone, si verificano con una certa frequenza incidenti con conseguenze anche molto gravi.

Una situazione particolarmente pericolosa si verifica quando l'auto si è fermata al centro del crocevia, per consentire il passaggio dei veicoli che provengono dall'opposta direzione, e poi ha iniziato una manovra di svolta a sinistra (Figura 7.11).

In questo contesto, il pedone può avere iniziato il suo attraversamento, alla sinistra dell'auto, e può venire a trovarsi, più o meno a lungo, coperto dal montante anteriore sinistro.

Figura 7.11 – Manovra di svolta a sinistra che interferisce con l'attraversamento del pedone che rimane sempre nel cono d'ombra del montante anteriore.



Non si deve pensare che, per non venire percepito, un pedone (o un ciclista) debba rimanere completamente oscurato durante tutta la fase di volta di un'auto: anche una temporanea ostruzione, se avviene in un momento critico, può causare un incidente.

Si consideri che i conducenti non guardano fissamente, verso la propria sinistra, cercando di aggirare con lo sguardo il montante anteriore, ma campionano il proprio campo visivo dando delle brevi occhiate (o comunque concentrando la propria attenzione) nelle varie direzioni per brevi istanti di tempo. In questo contesto il conducente può avere guardato verso la zona di conflitto, non avere visto il pedone perché era coperto da montante, e poi avere guardato nuovamente alla propria destra per verificare se arrivano altri veicoli.

Se nel corso di una o più occhiate del conducente verso la propria sinistra, il pedone rimane sempre coperto dal montante, questi può classificare quella parte di carreggiata come libera e concentrare la propria attenzione su altri aspetti del traffico. È evidente che maggiore è il tempo di oscuramento del pedone, maggiore sarà la probabilità che questo avvenga e che l'automobilista lo investa.

Stabilire se l'ostruzione dovuta ai montanti anteriori fu una causa dell'incidente

Non c'è una regola che il ricostruttore possa applicare per stabilire se l'ostruzione visiva dovuta ai montanti anteriori abbia o meno avuto un ruolo nel verificarsi dell'investimento di un pedone.

Ogni incidente ha una storia diversa che deve essere ricostruita sul luogo, partendo dalla traiettoria percorsa dall'auto, dalla direzione di marcia del pedone ed analizzando, passo - passo, le possibili limitazioni alla visuale del conducente.

È buona norma che il ricostruttore svolga il suo sopralluogo in condizioni di traffico limitato o bloccato e

- individui, con la maggiore precisione possibile, la posizione degli occhi del conducente coinvolto nell'investimento, facendolo sedere nel proprio veicolo e facendogli sistemare il sedile nella consueta posizione di guida;
- stabilisca, con la maggiore precisione possibile, le traiettorie del pedone e del veicolo nei 5-8 secondi che hanno preceduto l'urto, segnando sull'asfalto le posizioni dell'auto e del pedone a determinati intervalli di tempo prima dell'investimento (per esempio a passi di 0,5 secondi);
- scelga un pedone con caratteristiche simili a quello investito e collochi pedone ed auto nei vari punti segnati sull'asfalto, avendo cura di verificare, punto per punto, che l'auto sia orientata coerentemente con la traiettoria da seguire.
- verifichi visivamente, cercando di posizionare gli occhi all'altezza di quelli del conducente, la presenza o meno di ostruzioni del pedone.

Se per nessuna delle posizioni stabilite si verifica un'ostruzione, la prova è terminata e si può affermare che l'ostruzione generata dal montante non ha avuto alcuna influenza sull'incidente.

Se ci sono dei punti nei quali si verifica un'ostruzione, questa deve essere valutata e documentata fotograficamente. Il sistema più semplice per documentare l'ampiezza dell'ostruzione è quello di scattare due fotografie da ognuno dei punti stabiliti; la prima fotografia deve essere scattata tenendo l'occhio sinistro sul mirino della macchina fotografica e centrando il bordo sinistro del montante, la seconda, senza spostare la testa, mirando con l'occhio destro il bordo destro del montante.

È fondamentale che la testa dell'operatore non si muova fra uno scatto e l'altro.

L'esame delle due fotografie mostrerà l'ostruzione ambinoquale, vale a dire la porzione di pedone che non è visibile da nessuno dei due occhi.

È evidente che il risultato di questo esperimento deve essere interpretato con molta attenzione, in quanto l'ipotesi (poco realistica) alla base della misura è che la testa e gli occhi del conducente rimangano immobili durante tutte le fasi del pre-urto.

In sostanza non si potrà mai stabilire con certezza se l'ostruzione del montante sia stata il fattore determinante nel provocare l'incidente; ciò che si potrà verificare è se il montante possa o meno essere stato una delle sue cause, ricordando che la probabilità che il conducente non abbia percepito la presenza del pedone in carreggiata sarà tanto maggiore quanto maggiori saranno ampiezza e durata dell'ostruzione.

Nella Figura 7.12 sono riprodotte tre fotografie scattate per documentare l'ostruzione ambinoculare di un montante.

Nella prima immagine è visibile un albero (indicato dalla freccia) che simula un pedone, la seconda fotografia (a sinistra) è stata scattata dalla posizione di guida mirando nell'oculare della macchina fotografica con l'occhio sinistro, nella terza si è mirato nell'oculare con l'occhio destro prestando attenzione a non spostare il capo.

Si osservi come il tronco dell'albero rimanga sempre nascosto dietro al montante A.

Figura 7.12 – L'ostruzione del montante A. Sopra la freccia indica l'albero che simula un pedone; a sinistra la visuale dell'occhio sinistro dalla posizione di guida; a destra la visuale dell'occhio destro dalla stessa posizione. Si osservi come siano visibili, con molta attenzione, solamente il piede dell'albero (a sinistra) e la parte alta dei rami (a destra). Il tronco è completamente nascosto ad entrambi gli occhi.



7.3.4 Limitazioni al campo visivo laterale e posteriore delle autovetture

La verifica del campo visivo posteriore e laterale nella guida delle autovetture è stata oggetto di numerosi studi⁸, quasi tutti finalizzati a stabilire la visibilità sui veicoli in fase di sorpasso.

⁸ Uno per tutti si cita, anche per l'ampia bibliografia: M.L. Way *et al.*, *A Method for measuring the field of View in vehicle mirrors*, SAE paper 2003-01-0297, 2003.

I conducenti, in effetti, hanno necessità di avere una chiara visuale dei veicoli che li stanno sorpassando per poter decidere se iniziare o meno delle manovre di svolta o di cambio di corsia.

I possibili ostacoli visuali sono costituiti dai montanti centrali, da quelli posteriori e dai limiti geometrici degli specchi, sia interni che esterni.

Poiché, quando si è alla guida, si può verificare la presenza di veicoli in sorpasso sia direttamente (girandosi) che indirettamente (utilizzando specchi interni ed esterni) nel seguito si farà riferimento al campo visivo, sia diretto che indiretto.

L'uso degli specchi

Il conducente può vedere dallo specchio interno i veicoli che lo seguono nella stessa corsia di marcia, o che sono nelle corsie adiacenti, sia di destra che di sinistra, ad una distanza superiore ai 12-15 metri (a seconda delle dimensioni dello specchietto e del lunotto posteriore).

Quando un veicolo che percorre una delle corsie adiacenti si avvicina, passa dal campo visivo dello specchio interno a quello coperto dallo specchio esterno fino a che non diventa visibile direttamente, almeno con la coda dell'occhio.

La visione periferica diretta del veicolo affiancato, supponendo che non ci siano impedimenti, inizia quando questo si trova ad un angolo di circa 70° rispetto alla linea visuale che collega l'occhio sinistro del conducente allo specchio laterale.

Per il conducente sorgono dei problemi quando il veicolo in sorpasso esce dal campo coperto dallo specchio esterno ed entra nel cosiddetto angolo cieco, vale a dire in quello spazio non coperto né dallo specchio esterno né dalla vista periferica del conducente.

In realtà l'esistenza o meno di un angolo cieco non dipende né dalle caratteristiche del veicolo, né da quelle dello specchio esterno, ma dall'orientamento che il conducente dà allo specchio stesso.

Lo specchio esterno dovrebbe essere orientato in maniera tale da intervenire non appena il veicolo in sorpasso lascia il campo coperto dello specchio interno e da coprirne la traiettoria fino a che non entra nella visuale periferica del conducente.

Questo risultato può essere ormai ottenuto nella quasi totalità delle moderne autovetture, ma molti conducenti, invece, preferiscono orientare lo specchio esterno in maniera tale da vedere parte del lato sinistro del proprio veicolo⁹: ciò porta ad una sovrapposizione di circa il 50% fra i campi visivi degli specchi e lascia un angolo, più o meno esteso, non coperto (Figura 7.13).

Rinunciando a vedere la parte posteriore sinistra della propria auto, si può orientare lo specchio esterno in maniera tale da seguire il tragitto del

⁹ L.J. Flannagan et al., *Effects of nonplanar Driver-Side Mirrors on Lane Change Crashes*, Report n. UMTRI-200-26. The University Of Michigan Transportation Research Institute. Ann Arbor, MI USA, 2000.

Figura 7.13 – La sovrapposizione fra i campi visivi dello specchio interno e di quello esterno crea un angolo cieco non più coperto dallo specchio laterale e non ancora dalla vista periferica.

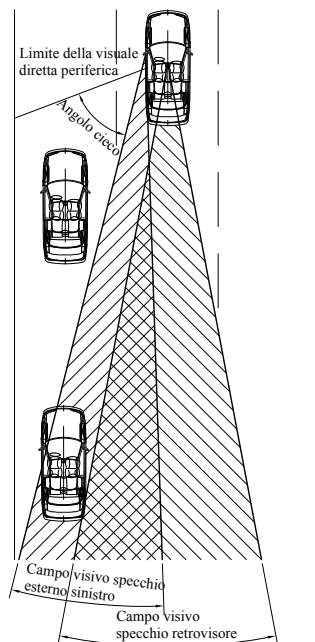
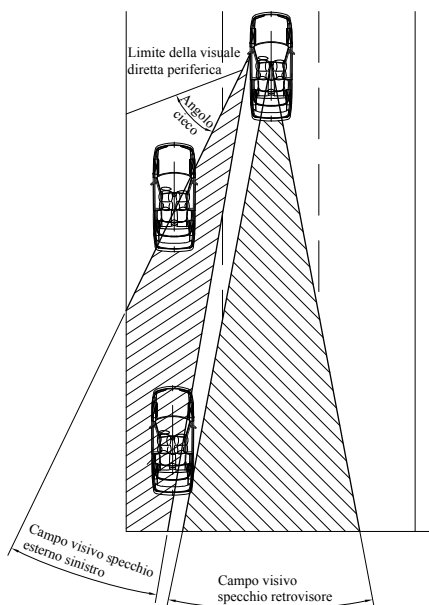


Figura 7.14 – È possibile evitare la formazione di angoli ciechi o, quanto meno, limitarne significativamente l'ampiezza.



veicolo in sorpasso fino a che non compare nella zona periferica della visuale dell'occhio sinistro (Figura 7.14).

La totale copertura visiva è raggiungibile più facilmente sul lato sinistro per la vicinanza del conducente che garantisce un maggiore angolo di visuale periferica.

L'ostruzione procurata dai montanti laterali e posteriori

Quando i conducenti si preparano ad una svolta, un'immissione o un cambio di corsia, tendono a integrare ciò che vedono dagli specchi, con rapide occhiate indietro e di lato per verificare l'eventuale presenza di veicoli negli angoli ciechi.

In questa fase il montante centrale sinistro ed entrambi quelli posteriori costituiscono delle potenziali limitazioni alla visuale.

Il montante centrale sinistro può limitare significativamente la visuale periferica diretta del conducente, mentre i due montanti posteriori possono bloccare la vista di veicoli (specialmente motocicli) che abbiano lasciato il campo dello specchio centrale e non siano ancora entrati in quello degli specchi laterali.

Il montante centrale di destra, d'altra parte, può limitare la visuale del conducente in fase di svolta a sinistra. Quando si arrestano ad un segnale di stop con l'intenzione di ripartire e svoltare a sinistra, infatti, i conducenti tendono ad anticipare la svolta, inclinando la propria auto verso sinistra. Questa manovra ha come conseguenza che il montante centrale destro e, a volte, il poggiatesta del passeggero anteriore, si trovano ad interferire con la sua visuale (Figura 7.15).

Figura 7.15 – L'ostruzione del montante centrale destro in un'intersezione. Sopra: il veicolo si è arrestato allo stop perpendicolarmente ed il conducente può vedere i veicoli in avvicinamento alla distanza di un centinaio di metri. Sotto: Il veicolo si è arrestato leggermente inclinato verso sinistra ed il montante centrale copre la vista del conducente sui veicoli in avvicinamento distanti più di 30 metri.



7.3.5 Il campo visivo dei veicoli industriali

Le dimensioni e le caratteristiche costruttive dei veicoli industriali creano problemi di visibilità di gran lunga superiori a quelli che si hanno nelle autovetture.

La prima e più evidente differenza riguarda l'impossibilità, per gli autisti dei veicoli industriali, di vedere cosa accade dietro al proprio veicolo, sia direttamente (girandosi) sia utilizzando uno specchio retrovisore interno.

A causa della loro lunghezza, inoltre, le zone di possibile conflitto per gli autocarri che si immettono nel traffico o che cambiano corsia di marcia, sono molto più estese di quelle delle autovetture, così come maggiori sono il tempo e lo spazio necessari per effettuare un sorpasso o per essere sorpassati.

La mancanza di specchi centrali obbliga i conducenti ad utilizzare solamente gli specchi esterni che sono, normalmente, delle coppie - specchio piano, specchio convesso - poste su entrambi i lati della cabina. Gli specchi piani sono orientati per dare la maggiore visibilità lungo i fianchi del veicolo, il che limita il campo visivo laterale, specialmente sul lato destro, mentre quelli convessi consentono di vedere i veicoli in fase di sorpasso una volta che sono usciti dal campo visuale degli specchi piani.

L'altezza della posizione di guida comporta la creazione di molte zone buie, collocate specialmente nelle parti più a ridosso della cabina, ed è piuttosto frequente che si creino delle fasce, ampie anche 70-80 centimetri e situate sia anteriormente che lateralmente, all'interno delle quali un pedone adulto non può essere visto dal conducente.

In alcune situazioni queste zone cieche hanno delle serie conseguenze e non è raro che ciclisti o pedoni che si affiancano ad un veicolo industriale fermo ad un semaforo ed in attesa di svoltare, vengano travolti dal rimorchio, in fase di ripartenza.

Questo è dovuto al fatto che il raggio di curvatura del veicolo trattore (nei complessi veicolari autocarro-rimorchio e trattore-semirimorchio) è maggiore di quello del rimorchio, per cui il pedone od il ciclista, se non vengono visti dal conducente, sono esposti ad essere urtati dal rimorchio quando il veicolo curva dalla loro parte.

Questi incidenti, dagli esiti frequentemente fatali, sono particolarmente frequenti quando il pedone o il ciclista sono in sosta sul lato destro dell'autocarro laddove il conducente non ha la possibilità di sporgersi per verificare direttamente l'eventuale presenza di pericoli.

Per ovviare, almeno in parte, a questo tipo di pericolo in alcuni autocarri sono stati aperti degli oblò, nella parte bassa della portiera destra, che consentono una limitata visuale su eventuali soggetti affiancati alla cabina.

Dei problemi di oscuramento di pedoni o ciclisti si possono verificare anche frontalmente e sono tipici di situazioni di traffico cittadino nelle quali il veicolo pesante si deve arrestare a causa di un semaforo rosso o anche semplicemente per questioni di traffico. Se un pedone inizia ad attraversare, con direzione destra - sinistra, mantenendosi a ridosso della cabina è molto probabile che non sia visto dall'autista, a meno che non sia stato percepito, con la coda dell'occhio, fin dall'immissione in carreggiata. Gli specchi anteriori, oggi diffusamente montati sui bus, non trovano ancora adeguata utilizzazione nei veicoli industriali.

Misurare il campo visivo dei conducenti dei veicoli pesanti

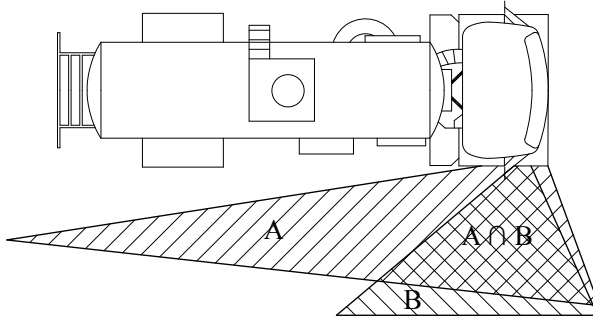
Occorre osservare che se un conducente ha la visuale sgombra verso un particolare punto al di fuori del veicolo, allora un osservatore posto in quel punto avrà la visuale sgombra verso gli occhi del conducente. In fisica questa legge prende il nome di 'reversibilità del cammino ottico' e fornisce un importante strumento per misurare il campo visivo dei veicoli industriali.

Misurare il campo visivo significa determinare il contorno, laterale e frontale, delle regioni che contengono i punti a visuale sgombra. L'osservazione può essere fatta sia dall'interno che dall'esterno del veicolo e, normalmente viene condotta spostando dei bersagli di opportune dimensioni nello spazio che circonda l'autocarro verificando, punto per punto, la visibilità del bersaglio stesso da parte del conducente fermo nella posizione più naturale di guida.

Se il ricostruttore vuole verificare la visibilità di uno specifico oggetto o soggetto coinvolto nell'incidente, dovrà selezionare un bersaglio che abbia le sue stesse dimensioni e, ovviamente, utilizzare lo stesso autocarro, regolando l'altezza del sedile e l'orientamento degli specchi coerentemente con quanto preferito dal conducente coinvolto.

In Figura 7.16 è mostrato il campo visivo rilevato per una betoniera a due assi sterzanti che investì un ciclista che si trovava sulla destra, all'altezza del secondo asse.

Figura 7.16 – Il veicolo è dotato di tre specchietti, due dei quali efficaci per vedere la zona laterale destra: uno grande, piano, è collocato verticalmente e non consente la visuale nella zona A; l'altro, più piccolo e convesso, è collocato al di sopra di quello piano e non consente la visuale nella zona B. In sintesi il conducente non vede nella zona $A \cap B$.



La normativa europea sui dispositivi retrovisori dei veicoli pesanti.

La Comunità Europea ha emanato nel 1971 la prima direttiva avente per oggetto gli specchi retrovisori per i veicoli a motore¹⁰; nel 2003, con la Di-

¹⁰ Direttiva 71/127/CEE del Consiglio, del 1° marzo 1971, per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative ai retrovisori dei veicoli a motore.

rettiva 2003/97/CE il Parlamento Europeo ed il Consiglio¹¹, intervennero nuovamente sull'argomento in quanto: «Le disposizioni esistenti, in particolare per le categorie N2, N3, M2 ed M3 si sono rivelate insufficienti quanto al campo di visibilità esterna laterale, anteriore e posteriore del veicolo. Per ovviare a questa inadeguatezza è necessario disporre un ampliamento del campo di visibilità».

Si tratta di cambiamenti che riguardano i veicoli pesanti che vengono così classificati¹²:

Categoria M	Veicoli a motore progettati e costruiti per il trasporto di persone ed aventi almeno quattro ruote.
Categoria M1	Veicoli progettati e costruiti per il trasporto di persone, aventi al massimo otto posti a sedere oltre al sedile del conducente.
Categoria M2	Veicoli progettati e costruiti per il trasporto di persone, aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e massa massima non superiore a 5 t.
Categoria M3	Veicoli progettati e costruiti per il trasporto di persone, aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e massa massima superiore a 5 t.
Categoria N	Veicoli a motore progettati e costruiti per il trasporto di merci ed aventi almeno quattro ruote.
Categoria N1	Veicoli progettati e costruiti per il trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 t.
Categoria N2	Veicoli progettati e costruiti per il trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t, ma non superiore a 12 t.
Categoria N3	Veicoli progettati e costruiti per il trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 12 t.

(per massa massima, si intende la massa a pieno carico tecnicamente ammissibile)

Nella stessa direttiva viene proposta una classificazione degli specchi e sono disposte delle dettagliate istruzioni tecniche inerenti la loro installazione.

¹¹ Direttiva 2003/97/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 10 novembre 2003 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative all'omologazione dei dispositivi per la visione indiretta e dei veicoli muniti di tali dispositivi, che modifica la direttiva 70/156/CEE e abroga la direttiva 71/127/CEE (G.U., Legge 25 del 29/11/2004). Recepita in Italia col: Decreto 19 novembre 2004 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Recepimento della direttiva 2003/97/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 10 novembre 2003 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative all'omologazione dei dispositivi per la visione indiretta e dei veicoli muniti di tali dispositivi, che modifica la direttiva 70/156/CEE ed abroga la direttiva 71/127/CEE (Gazzetta Ufficiale n. 69 del 24 marzo 2005).

¹² Direttiva 70/156/CEE del Consiglio del 6 febbraio 1970, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative all'omologazione dei veicoli a motore e dei loro rimorchi (G.U., Legge 42 del 23/2/1970).

Ecco i grafici che nella direttiva descrivono le visuali che devono garantire i vari tipo di specchi retrovisori:

- *Categoria I*: retrovisori interni, che consentono di ottenere il campo di visibilità di Figura 7.17.
- *Categorie II e III*: retrovisori esterni principali, che consentono di ottenere i campi di visibilità definiti nelle Figure 7.18 e 7.19.
- *Categoria IV*: specchi esterni grandangolari, che consentono di ottenere i campi di visibilità definiti nella Figura 7.20.
- *Categoria V*: specchi esterni di accostamento, che consentono di ottenere il campo di visibilità definito nella Figura 7.21.
- *Categoria VI*: specchi anteriori, che consentono di ottenere il campo di visibilità definito nella Figura 7.22.

Figura 7.17 – Campo di visibilità di uno specchio della categoria I.

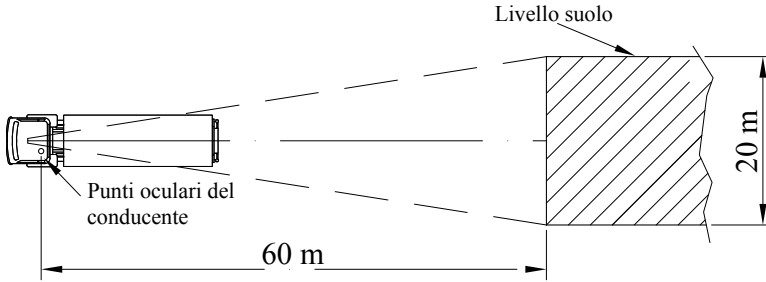


Figura 7.18 – Campo di visibilità degli specchi della categoria II.

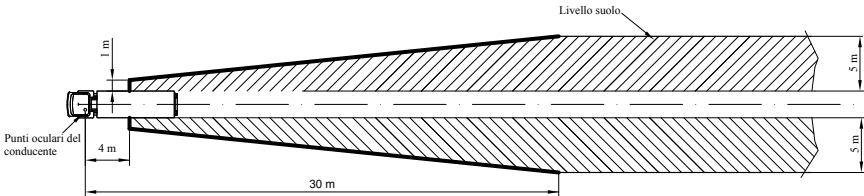


Figura 7.19 – Campo di visibilità degli specchi della categoria III.

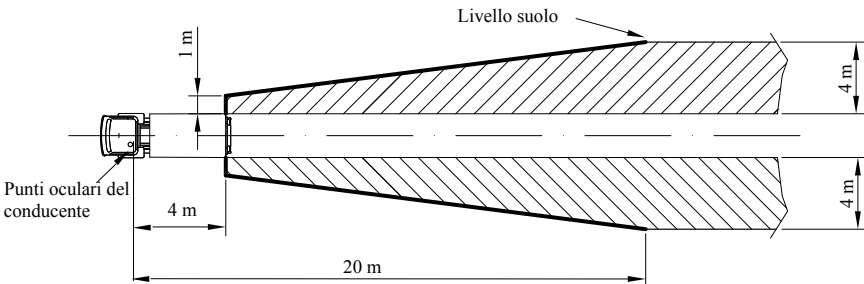


Figura 7.20 – Campo di visibilità degli specchi grandangolari della categoria IV.

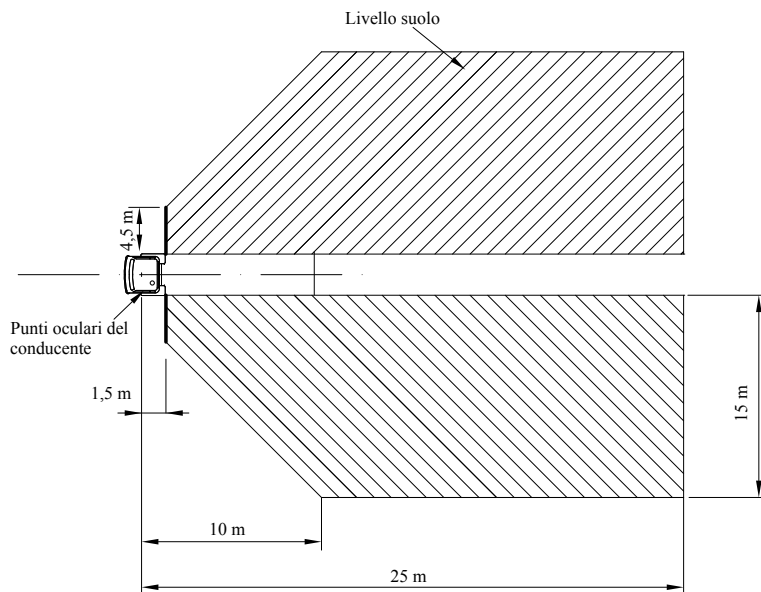


Figura 7.21 – Campo di visibilità degli specchi esterni di accostamento, categoria V.

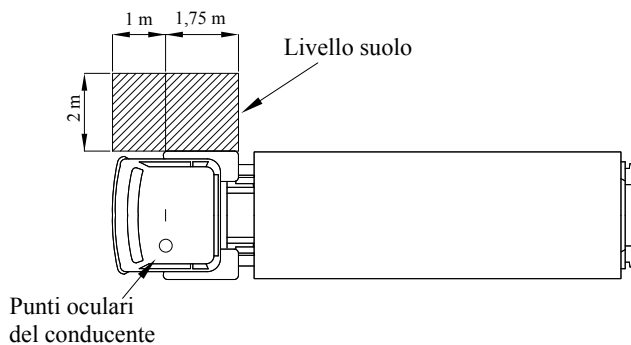


Figura 7.22 – Campo di visibilità degli specchi anteriori della categoria VI.

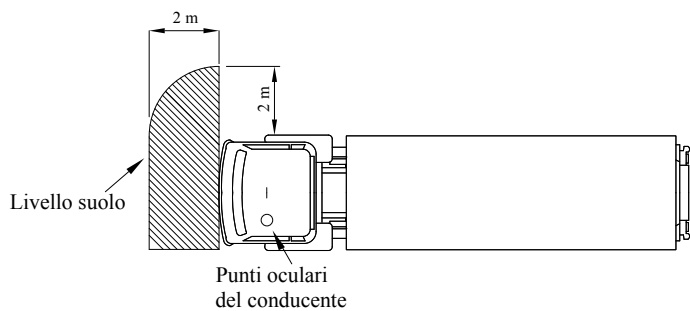
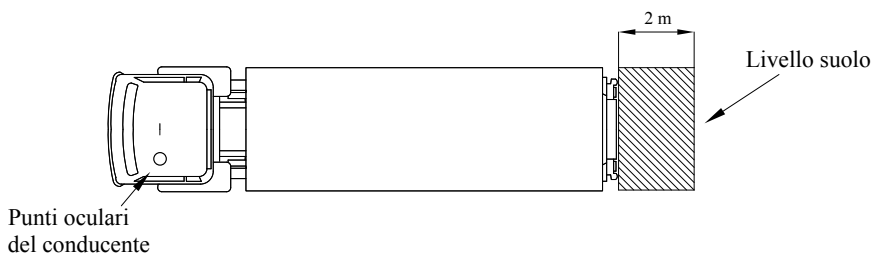


Figura 7.23 – Campo di visibilità dei dispositivi posteriori per la visione indiretta.



La direttiva definisce anche le caratteristiche di dispositivi per la visione indiretta diversi dagli specchi, e precisa che nei veicoli delle categorie M2 e M3 ed in quelli delle categorie N2 > 7,5 t e N3 aventi una carrozzeria speciale per la raccolta dei rifiuti, possono essere collocate delle telecamere nella parte posteriore della carrozzeria al fine di garantire la visibilità indicata in Figura 7.23. In questi casi il monitor deve essere situato nella posizione dello specchio principale.

Nella Tabella 1 sono indicate, per classe di veicolo, le tipologie degli specchi retrovisori da utilizzare.

Le varie fasi di applicazione delle nuove norme tecniche sono scadenzate fra il 26 gennaio 2005 ed il 26 gennaio 2010, data alla quale tutti i veicoli pesanti appartenenti alle categorie interessate, per poter essere omologati, dovranno rispettare quanto disposto dalla direttiva.

7.4 I fattori umani

Nel 1968, Sullivan e Meister¹³, hanno scomposto in tre livelli le caratteristiche umane ritenute rilevanti nell'ambito degli studi sui comportamenti di guida.

Il primo livello riguarda gli aspetti fisiologici e biomedici: il corpo umano è una macchina composta da molti sistemi estremamente complessi che cooperano per svolgere un determinato compito o per prendere una decisione. Poiché nell'ambito della circolazione stradale le decisioni devono essere assunte tempestivamente e correttamente, per tutelare la sicurezza del conducente e di coloro che gli stanno attorno, è necessario conoscere e saper analizzare il funzionamento dei vari sistemi di input ed output del corpo umano in relazione alla guida dell'autoveicolo.

Il secondo livello riguarda le caratteristiche comportamentali del conducente e coinvolge, in un certo senso, le prestazioni del conducente in situazioni di circolazione stradale. A questo livello viene descritto ed analizzato, per esempio, il tempo nel quale il conducente percepisce e reagisce al cambiamento di un segnale stradale o il modo nel quale parte da uno stop.

¹³ D.J. Sullivan, D. Meister. *Human factors in driver research*, Association for the Advancement of Automotive Medicine, 1968.

Tabella I – Tipologie degli specchi retrovisori.

Categoria veicoli	Retrovisore interno			Specchi esterni		
	Retrovisore interno Categoria I	Retrovisore principale (grande) Categoria II	Retrovisore principale (piccolo) Categoria III	Specchio grandangolare categoria IV	Specchio accostamento categoria V	Specchio anteriore categoria VI
M ₁	<p>Obbligatorio</p> <p>Tranne quando lo specchio non consente visibilità verso la parte retrostante (secondo la definizione di cui al punto 5.1 allegato III).</p> <p>Facoltativo</p> <p>Se lo specchio non consente visibilità verso la parte retrostante.</p>	<p>Facoltativo</p>	<p>Obbligatorio</p> <p>1 lato conducente e 1 lato passeggero. In alternativa è consentito il montaggio di specchi della categoria II.</p>	<p>Facoltativo</p> <p>1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.</p>	<p>Facoltativo</p> <p>1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero. (entrambi devono essere montati ad almeno 2 m dal suolo).</p>	<p>Facoltativo</p> <p>(deve essere montato ad almeno 2 m dal suolo).</p>
M ₂	<p>Facoltativo</p> <p>(nessuna prescrizione per il campo di visibilità).</p>	<p>Obbligatorio</p> <p>1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.</p>	<p>Non consentito</p>	<p>Facoltativo</p> <p>1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.</p>	<p>Facoltativo</p> <p>1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero. (entrambi devono essere montati ad almeno 2 m dal suolo).</p>	<p>Facoltativo</p> <p>(deve essere montato ad almeno 2 m dal suolo).</p>

Categoria veicoli	Retrovisore interno		Specchi esterni			
	Retrovisore interno Categoria I	Retrovisore principale (grande) Categoria II	Retrovisore principale (piccolo) Categoria III	Specchio grandangolare categoria IV	Specchio accostamento categoria V	Specchio anteriore categoria VI
M ₃	Facoltativo (nessuna prescrizione per il campo di visibilità).	Obbligatorio 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Non consentito	Facoltativo 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Facoltativo 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero. (entrambi devono essere montati ad almeno 2 m dal suolo)	Facoltativo (deve essere montato ad almeno 2 m dal suolo).
N ₁	Obbligatorio Tranne quando lo specchio non consente visibilità verso la parte retrostante (secondo la definizione di cui al punto 5.1 allegato III).	Facoltativo	Obbligatorio 1 lato conducente e 1 lato passeggero. In alternativa è consentito il montaggio di specchi della categoria II.	Facoltativo 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Facoltativo 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero. (entrambi devono essere montati ad almeno 2 m dal suolo)	Facoltativo (deve essere montato ad almeno 2 m dal suolo).
	Facoltativo Se lo specchio non consente visibilità verso la parte retrostante.					

Categoria veicoli	Retrovisore interno		Specchi esterni	
	Retrovisore interno Categoria I	Retrovisore principale (grande) Categoria II	Specchio grandangolare categoria IV	Specchio accostamento categoria V
$N_2 \leq 7,5t$	Facoltativo (nessuna prescrizione per il campo di visibilità).	Obbligatorio 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Facoltativo 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Facoltativo 1 sul lato conducente (deve essere montato ad almeno 2 m dal ro. (entrambi devono essere montati ad almeno 2 m dal suolo))
	Facoltativo (nessuna prescrizione per il campo di visibilità).	Obbligatorio 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Obbligatorio 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Obbligatorio, cfr punto 2.1.2 allegato III (deve essere montato ad almeno 2 m dal suolo)
N_3	Facoltativo (nessuna prescrizione per il campo di visibilità).	Obbligatorio 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero.	Obbligatorio 1 sul lato conducente e 1 sul lato passeggero (entrambi devono essere montati ad almeno 2 m dal suolo)	Obbligatorio, cfr punto 2.1.2 allegato III (deve essere montato ad almeno 2 m dal suolo)

Il terzo livello è definito come l'interazione uomo-macchina e descrive le modalità con le quali il conducente agisce sul veicolo e sui suoi componenti, tramite cambiamenti di direzione, frenate ed accelerazioni.

Una trattazione completa dei comportamenti umani dovrebbe muoversi su tutti e tre i livelli delineati, tuttavia, in questa sede, ci limiteremo agli ultimi due, rimandando a testi specialistici¹⁴ per una trattazione degli aspetti inerenti i meccanismi della visione e della elaborazione psico-fisica delle informazioni visive.

7.4.1 La descrizione dei comportamenti umani attraverso la statistica

Sottoponendo un gruppo di persone ad un test qualsiasi, sia esso di abilità, di cultura generale o di prestazione atletica, troveremo sempre una grande variabilità nelle risposte fornite dai singoli.

Ad un attento esame si potrebbe verificare che non solo persone differenti eseguono in maniera differente il compito assegnato, ma che anche la stessa persona, in momenti differenti, può svolgere lo stesso compito in maniera molto differenziata.

Malgrado la variabilità dei comportamenti umani sia una caratteristica nota e generalmente acquisita anche fra i dei tecnici ricostruttori di incidenti stradali, gli esperti di tutto il mondo sono alla costante ricerca di numeri, possibilmente costanti, condivisi e uguali per tutti, che consentano di descrivere i comportamenti dei conducenti nelle più differenti situazioni di guida.

Non è raro sentire un tecnico ricostruttore affermare che il tempo di reazione comunemente accettato è X secondi o che le luci abbaglianti di un'autovettura consentono una visuale a Y metri.

Se si concorda sul fatto che le persone differiscono l'una dall'altra e che si comportano in maniera differente in tempi diversi (o in differenti condizioni), è evidente che tali affermazioni non possono essere accettate supinamente.

La variabilità nei comportamenti umani complica molto il lavoro del ricostruttore, ma non esistono scorciatoie: l'unico approccio scientificamente corretto alla questione è quello di studiare le prestazioni umane in relazione ai più comuni scenari di incidente così a fondo ed in situazioni così differenziate, da poter pervenire, caso per caso, a delle stime ragionevoli, ragionate e documentate, dei numeri più opportuni da utilizzare.

Poiché la statistica descrittiva fornisce efficaci strumenti di analisi dei dati sperimentali che riguardano le prestazioni umane, è utile richiamare sinteticamente alcuni concetti particolarmente utili.

Se si rappresentano graficamente le prestazioni di un gruppo molto numeroso di persone, riportando in ascissa i valori ottenuti ed in ordinata il numero di volte che ogni valore è stato riportato, il risultato generalmente mostrerà un andamento simile a quello mostrato in Figura 7.24.

¹⁴ Per quanto è di interesse per il tecnico ricostruttore si ritiene sufficientemente completa la trattazione in: P.L. Olson, R.E. Dewar, *Human Factors in Traffic Safety*, Lawyers & Judges, 2007, capitoli 3 e 4.

Il primo problema che si pone è quello di descrivere, in maniera sintetica, l'insieme dei dati che danno origine a questa distribuzione di dati.

Un approccio si basa sulla individuazione di tre valori: la media, la mediana e la moda (dette misure di tendenza centrale).

La *media* è la grandezza più conosciuta e si determina sommando tutti i valori ottenuti e dividendo il risultato per il numero delle misure.

La *mediana* rappresenta quel valore alla cui destra e sinistra stanno il 50% delle prestazioni fornite.

La *moda* è il valore della prestazione ottenuto nel maggior numero di prove; in altre parole è il valore, sull'asse delle ascisse, al quale corrisponde il massimo della distribuzione.

In una distribuzione normale propriamente detta (vale a dire perfettamente simmetrica), media, mediana e moda coincidono.

Le misure di tendenza centrale si dimostrano utili quando è necessario confrontare velocemente le prestazioni di gruppi differenti. Si pensi, ad esempio, di misurare la distanza dalla quale un certo numero di conducenti percepiscono la presenza di un ostacolo in carreggiata di notte e di voler verificare l'effetto di un nuovo tipo di faro.

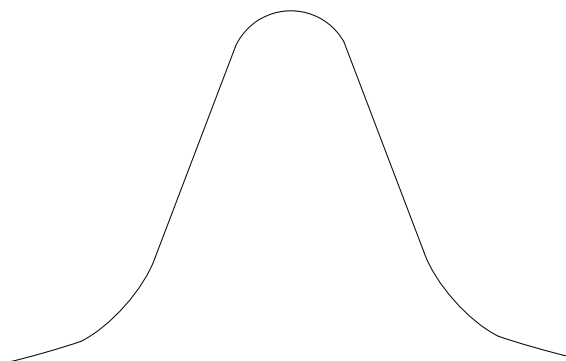
Se si chiama Gruppo di Controllo quello costituito dai conducenti che usano i vecchi fari e Gruppo Sperimentale quello costituito da quelli che usano i nuovi fari, se questi ultimi sono effettivamente più performanti, confrontando le due distribuzioni si troverà una situazione simile a quella mostrata in Figura 7.25.

È evidente che il raffronto fra media, mediana e moda delle due distribuzioni darebbe indicazioni su quanto è migliore il nuovo faro.

Non tutte le distribuzioni sono normali e diventano asimmetriche ogni volta che esiste un limite oggettivo alla prestazione e la maggioranza dei soggetti offre performance prossime a tale limite.

In Figura 7.26 è mostrato un istogramma nel quale in ascissa sono indicati i tempi di reazione di una popolazione di 41 persone sottoposte a 100 prove ognuna e, in ordinata, il numero di volte che ciascun tempo è stato rilevato¹⁵.

Figura 7.24 – Distribuzione normale o a campana.



¹⁵ W. Hugemann, *Driver reaction times in road traffic*, EVU, 2002.

Figura 7.25 – confronto fra le prestazioni di due differenti gruppi (o di uno stesso gruppo in condizioni differenti).

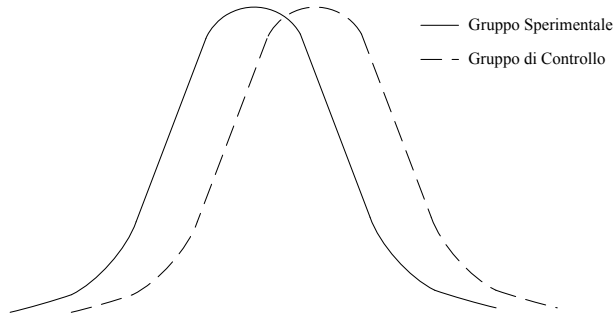
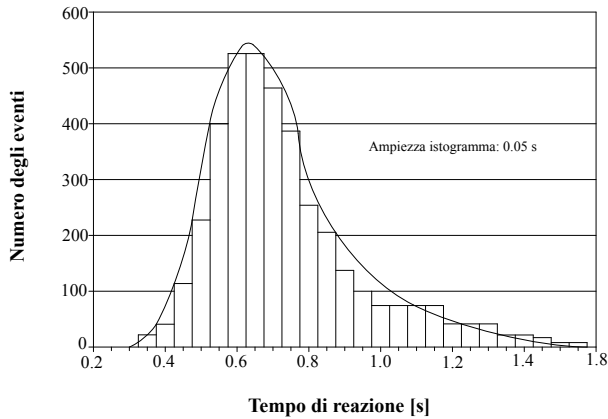


Figura 7.26 – Distribuzione non simmetrica.



La distribuzione è evidentemente asimmetrica e questo dipende dal tipo di grandezza fisica misurata in quanto esiste un tempo minimo al di sotto del quale nessuno può andare, mentre non esiste un limite superiore ai possibili ritardi nel reagire ad uno stimolo.

Per tempi leggermente superiori al minimo, si trova la maggior parte delle risposte della popolazione (dove sarà situata la moda della distribuzione).

Successivamente si ha un numero decrescente di risposte ritardate, molto ritardate e, addirittura, mancate, nelle quali cioè la persona non ha reagito alla sollecitazione.

Si trova così una situazione nella quale la coda di sinistra è tagliata mentre quella destra è virtualmente illimitata.

Questo tipo di distribuzione è tipico dei test sui tempi di reazione e rappresenta non solo la differenza fra i vari soggetti (variazioni interpersonali), ma anche le differenti prestazioni che può fornire lo stesso soggetto in momenti differenti (variazioni intrapersonali).

Le misure di tendenza centrale in queste distribuzioni (definite asimmetriche) si differenziano.

La mediana rappresenta sempre il valore alla cui destra e sinistra stanno il 50% delle prestazioni fornite e la moda si sposta verso il limite inferiore, dove è situato il valore per il quale si sono avute maggiori occorrenze. La media, invece, risente molto della coda della distribuzione e si sposta sempre più verso destra via via che l'asimmetria aumenta, perdendo la sua caratteristica di indicatore del centro della distribuzione e quindi, tutto sommato, anche di significato.

I tecnici ricostruttori di incidenti stradali sono generalmente interessati a valutare e descrivere le prestazioni di un singolo soggetto; queste, in generale, potranno collocarsi in qualsiasi zona di una distribuzione del tipo di quella di Figura 7.26.

In tale situazione statistica le misure di tendenza centrale sono poco utili, mentre si rivela molto interessante il concetto di percentile: «si dice che un valore rappresenta l'*n*-esimo percentile della distribuzione se l'*n*-esimo per cento dei valori misurati sta al di sotto di quel valore».

Uno di questi punti lo abbiamo già definito in quanto la mediana (qualunque sia la forma della distribuzione) rappresenta sempre il 50° percentile, essendo, il 50% delle prestazioni, di valore inferiore.

Il concetto di percentile ha avuto ampia applicazione in tutti i campi nei quali è interessante confrontare le prestazioni di un soggetto rispetto all'insieme della popolazione.

Una delle applicazioni più diffuse, utile anche per persone non competenti di statistica, è quella che riguarda i diagrammi di crescita dei bambini nei primi mesi e anni di vita. Riportando su dei grafici pre-stampati il peso (o l'altezza) del bambino in funzione dell'età, genitori e pediatri confrontano il suo sviluppo col resto della popolazione (dei bambini di quell'età) rappresentata da curve di crescita espresse in percentili.

Un ricostruttore chiamato a dare un'opinione sulle prestazioni di uno specifico conducente, dovrebbe cercare di stabilire se tali prestazioni sono coerenti con quelle che si sarebbe aspettato da un soggetto attento e prudente nelle medesime circostanze.

In pratica dovrebbe confrontare le prestazioni fornite dal soggetto in esame con la distribuzione delle prestazioni fornite dalla popolazione costituita da soggetti simili in circostanze identiche.

Sfortunatamente non sempre è possibile sapere con esattezza cosa il conducente fece e quanto tempo impiegò a farlo, così come non sempre (anzi, quasi mai) sono disponibili distribuzioni statistiche specifiche per i vari tipi di popolazione, nelle varie situazioni possibili.

Ciò che si può fare, allora, è confrontare le prestazioni del soggetto con un singolo valore percentile: il ricostruttore, per esempio, può concludere che, dai dati disponibili in letteratura tecnica, il valore che rappresenta il 95° percentile del tempo di reazione in una determinata situazione è *X*. Se il tempo di reazione del soggetto in esame non è stato superiore a *X* potrà dire che la sua prestazione è stata adeguata.

Viceversa, dovendo indicare un valore di prestazione accettabile in una specifica situazione il ricostruttore dovrebbe indicare un intervallo, di solito compreso fra il 5° percentile (inferiormente) l'85° o il 95° (superiormente).

Gli statistici spesso descrivono i risultati conseguiti in un esperimento in termini di media e *standard deviation* (σ), matematicamente definita come:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}$$

La *standard deviation* è una misura della larghezza della distribuzione e, nelle distribuzioni normali, ha una relazione ben precisa con i percentili (Tabella 2):

Tabella 2 – Aree al di sotto della curva normale.

decimali	numeri interi			
	0	1	2	3
0.0	.0000	.3413	.4773	.4986
0.1	.0398	.3643	.4821	.4990
0.2	.0793	.3849	.4861	.4993
0.3	.1179	.4032	.4893	.4995
0.4	.1554	.4192	.4918	.4997
0.5	.1915	.4332	.4938	.4998
0.6	.2257	.4452	.4953	.4998
0.7	.2580	.4554	.4965	.4999
0.8	.2881	.4641	.4974	.4999
0.9	.3159	.4713	.4981	.4999

In tabella ogni cella rappresenta la percentuale di superficie al di sotto della curva normale compresa fra la media ed il numero di standard deviation indicate.

Per esempio 1σ (seconda colonna prima riga) include il 34% della popolazione sia sopra che sotto la media; assumendo dunque la superficie compresa al di sotto della curva normale, nell'intervallo valor medio $\pm 1\sigma$ si include il 68% dell'area totale e cioè della popolazione.

In conclusione un ricostruttore deve avere sempre ben presente che le persone forniscono, praticamente in qualsiasi campo di attività, prestazioni molto differenziate; le valutazioni sulla prestazione di uno specifico soggetto deve pertanto essere basata sull'individuazione di un ragionevole intervallo di accettabilità specifico, per l'attività in esame.

7.4.2 Il tempo di reazione dei conducenti a situazioni di emergenza

Si definisce *tempo di reazione* quell'intervallo di tempo che inizia nell'istante in cui un oggetto o un evento diventano visibili per un conducente ragionevolmente attento e finisce quando questi avvia un'azione in risposta (per esempio sposta il piede sul pedale del freno o le mani iniziano un'azione sterzante).

Il cronometro ideale scatta nel momento in cui l'ostacolo, o il pericolo, entrano nel campo visivo del conducente ma, nella realtà, spesso tale istante non è individuabile con precisione: su questo aspetto, molto delicato, si dovrà riflettere.

Il tempo necessario ad eseguire la manovra (qualunque essa sia) non è pertanto compreso nel tempo di reazione ed andrà calcolato, o stimato, a parte, tenendo in considerazione le caratteristiche del veicolo, del fondo stradale e delle modalità di guida del conducente.

Utilizzando la definizione proposta di tempo di reazione, si sgombra il campo da altre diciture ambigue (quale quella di tempo di reazione psicotecnica) che, invece di semplificare l'approccio ad un argomento tanto delicato, lo complicano.

Si parlerà, d'ora in poi, di reazione del conducente e non del veicolo o dei suoi sistemi.

Come si è visto nel diagramma di Figura 7.26 il tempo di reazione è un tipico esempio di prestazione umana estremamente differenziata, tuttavia ancora oggi, in Italia, molti consulenti tecnici ritengono corretto considerare che un conducente medio, posto di fronte ad un pericolo imprevisto in condizioni di guida standard, possa (o, peggio, debba) reagire in circa 1 secondo.

Raramente si specifica se in questo sia incluso anche il tempo necessario ad attivare i sistemi del veicolo (per esempio il pedale del freno) ed altrettanto raramente si tiene conto delle condizioni nelle quali il conducente si è trovato ad agire.

Le origini di questo valore di riferimento non sono del tutto chiare; il primo richiamo trovato in letteratura risale alla «Rivista Lavori Pubblici»¹⁶ nella quale era riportata la seguente tabella:

Tabella 3 – Intervalli di reazione psicotecnica.

Intervalli di reazione psicotecnica (da «Trasporti pubblici» n° 6/1951)		
Intervallo minimo	Conducente professionista in condizioni fisiche ottimali	0.9-1 s
Reazione veloce	Conducente normale riposato	1.0 – 1.2 s
Reazione normale	Conducente normale in condizioni medie	1.1 - 1.3 s
Reazione lenta	Conducente stanco, inesperto, anziano	1.3 – 1.7 s
Tempo di reazione psicotecnica = tempo di percezione/reazione + tempo di reazione/azione		

Non è noto su quali sperimentazioni si basino i valori riassunti nella tabella, fatto sta che nelle principali pubblicazioni italiane i valori proposti sono rimasti gli stessi per più di cinquant'anni: nel 2002 Giussani¹⁷ pro-

¹⁶ Rivista «Trasporti Pubblici», n. 6/1951.

¹⁷ G. Giussani, *Prontuario di Infortunistica Stradale*, Milano, Eurotax, p. 122.

pone una tabella esattamente identica, mentre Nisini¹⁸, negli anni '80, e Sterlicchio¹⁹, nel 1995, pur con sfumature differenti, assumono 1 secondo come valore di riferimento per il tempo di reazione.

Nel resto d'Europa la situazione è un po' più differenziata: in Germania, per esempio, esiste un valore suggerito istituzionalmente che deriva da una ricerca sperimentale condotta negli anni '80 dal Consiglio di Giurisdizione sul Traffico²⁰. L'elaborazione statistica dei dati raccolti spinse l'Autorità sul traffico a stabilire in 1 secondo il tempo di reazione standard.

Recentemente, gli stessi dati sperimentali sono stati rielaborati W. Hugemann²¹ il quale giunge alla conclusione che: «anche nelle situazioni più semplici, tempi di reazione di 1,5 secondi devono essere accettati come abbastanza normali».

Qualcosa di simile avviene in Inghilterra dove, malgrado il National Highway Code suggerisca un tempo di reazione standard di 0.68 s, i tecnici ricostruttori utilizzano, piuttosto omogeneamente, valori base compresi fra 1 ed 1,5 s, scendendo fino a 0,7 s, nei casi in cui i conducenti siano stati pre-avvertiti del possibile pericolo e salendo fino a 2 s, nelle situazioni nelle quali la possibilità di incidente sono teoricamente molto moderate (per esempio su tratti autostradali a bassa intensità di traffico).

Valori simili a quelli europei sono stati suggeriti anche da Olson²², negli Stati Uniti, il quale propone, a fronte di situazioni di emergenza molto chiare dei tempi di percezione-risposta (definiti esattamente come il nostro tempo di reazione) variabili fra 0.75 ed 1.5 secondi.

Considerata la complessità delle questioni alle quali è legato il tempo di reazione dei conducenti, nei prossimi paragrafi si proporranno alcune riflessioni sulla sua natura, sulle principali sperimentazioni riportate in letteratura tecnico-scientifica e sui fattori che contribuiscono a determinarne l'entità.

Pur concordando quindi sul fatto che la variabilità è una caratteristica costante nei comportamenti umani, si ritiene che comunque la ricerca di valori condivisi, giustificati e scientificamente fondati, del tempo di reazione, sia da preferire all'utilizzare, sempre e comunque, il valore di un secondo o, peggio, avere a che fare con tecnici ognuno dei quali ha il suo tempo di reazione preferito.

7.4.3 Le fasi della reazione alle emergenze

La reazione della quale qui si tratta è quella di un conducente che si trovi di fronte ad una situazione di improvvisa emergenza causata da un evento che può avere gravi conseguenze sulla sua o sull'altrui incolumità.

¹⁸ G. Nisini, *Trattato di Infortunistica Stradale – su basi giuridiche, scientifiche e pratiche*, 6. ed., La Tribuna (PC), 1994, p. 118

¹⁹ U. Sterlicchio, *Infortunistica stradale: calcoli di cinematica*, 2 ed., Forlì, EGAF, 2002, p. 70.

²⁰ Deutscher Verkehrsgerichttag (DVG)

²¹ W. Hugemann, *Driver reaction times*, cit.

²² P.L. Olson, E. Farber, *Forensic Aspects of Driver Perception and Response*, Lawyers & Judges, 2003, cap 15.

Lo stimolo più comune per il conducente è quello visivo ed a questo si farà riferimento nel seguito.

Durante quello che si è definito tempo di reazione, la persona continua a condurre il proprio veicolo e, contemporaneamente, svolge numerose attività collaterali, essenzialmente di tipo percettivo e mentale.

È tendenza condivisa, fra i ricercatori del settore, scomporre il tempo di reazione in varie fasi durante le quali il conducente, percepito il pericolo, elabora le informazioni raccolte e decide quale sia la risposta più adeguata.

Nella realtà il succedersi dei fatti è meno lineare di quanto non possa apparire a prima vista in quanto il conducente, posto di fronte ad un'improvvisa emergenza, raramente ha la possibilità di decidere quale sia la migliore azione da compiere ma, più spesso, agisce istintivamente, di solito frenando a fondo o sterzando.

La scomposizione del tempo di reazione in varie fasi è dunque più un esercizio scolastico, teso ad evidenziare il complesso dei processi che si succedono, che non un'esatta descrizione di ciò che realmente avviene.

Anche la sequenzialità con la quale le varie fasi vengono presentate è tutt'altro che corrispondente al reale: molte delle fasi descritte si sovrappongono e, mentre la mente umana elabora le informazioni di cui dispone, il corpo agisce in parte precorrendo i tempi.

Semplificando, è comunque corretto considerare che, in condizioni di emergenze improvvise, un conducente attraversa le seguenti fasi:

Fase di percezione

Quando un oggetto, o una qualsiasi condizione di pericolo, entra nel campo visivo del conducente si ha la percezione (*detection*). L'oggetto o la situazione pericolosa potrebbero essere nel campo visivo del soggetto da tempo, ma non essere stati percepiti, per esempio a causa delle ridotte dimensioni, per lo scarso contrasto con lo sfondo o perché collocati nel campo di visione periferica dell'occhio. Generalmente, una volta che l'oggetto è stato percepito, l'occhio si muove in modo da inquadrarlo nella zona foveale della retina²³.

La fase della percezione termina quando il soggetto sviluppa la consapevolezza che 'c'è qualcosa'.

Alcuni autori, proprio per evidenziare il carattere sostanzialmente visivo della fase di percezione, la scompongono ulteriormente in latenza, movimento dell'occhio ed osservazione.

Fase di identificazione

Acquisito che 'c'è qualcosa' il conducente deve assumere le informazioni che gli consentano di decidere se intraprendere un'azione e, eventualmente, quale.

²³ Zona foveale della retina: la fovea è la parte centrale della macula, a sua volta parte centrale della retina. Questa piccola area è responsabile della visione centrale, la più acuta. Una fovea ben funzionante è la chiave per leggere, guardare la televisione, guidare, condurre tutte quelle attività per le quali è necessario vedere i dettagli. In questa zona è presente un'altissima concentrazione di coni (foto-ricettori responsabili della visione dei colori).

Non è necessario arrivare sempre all'identificazione esatta del pericolo (per esempio poco importa stabilire se si tratta di un autobus o di un autocarro), il conducente può semplicemente arrivare alla conclusione che c'è qualcosa che non vuole urtare.

Se l'oggetto percepito è mobile (per esempio una animale, un pedone o un veicolo) è necessario, in questa fase, stimarne/ipotizzarne il moto, nel tentativo di prevedere le sue posizioni future.

L'identificazione, in condizioni visuali non ottimali, è normalmente la fase più difficoltosa per il conducente ed incide in maniera rilevante sul valore complessivo del tempo di reazione.

Fase di decisione

A questo punto il conducente deve decidere se, ed eventualmente cosa, è opportuno fare. Le scelte normalmente sono limitate a due: rallentare o deviare la propria traiettoria. Quando il tempo disponibile è molto limitato, ed è evidente che sta per verificarsi un urto, questa fase può essere brevissima, al punto da rendere impropria la definizione di fase di decisione, in quanto spesso il conducente agisce senza operare alcuna scelta, ma istintivamente.

Se il pericolo arriva lateralmente la reazione di elezione consiste in un'azione sterzante, negli altri casi la risposta più comune è un'azione frenante.

Si hanno frequenti esempi di reazioni dei conducenti tutt'altro che meditate, come avviene quando, per evitare un animale in carreggiata, il conducente sterza verso sinistra e finisce per urtare frontalmente un altro veicolo. Più il pericolo è vicino, meno la scelta è soppesata ed il conducente è portato a frenare anche quando l'azione più efficace sarebbe stata sterzare (o viceversa).

Il tecnico ricostruttore, se è chiamato ad esprimere un parere sulla manovra attuata da un conducente in situazione di grande stress, deve sempre valutare quale sia stato il tempo a sua disposizione e se abbia oggettivamente avuto modo di valutare le varie opzioni disponibili.

Molte volte i ricostruttori si trovano a concludere, specialmente in incidenti che riguardano attraversamenti improvvisi da destra, che se il conducente non avesse fatto nulla non ci sarebbe stato l'incidente, in quanto il veicolo condotto avrebbe potuto sfilare dietro all'altro.

Occorre sempre essere molto prudenti nel dare giudizi drastici in queste situazioni e tenere presente che l'istinto in situazioni di panico, tende ad imporre reazioni che portano ad allontanarsi dal pericolo e dunque, nel caso specifico, a sterzare a sinistra.

Fase di risposta

In quest'ultima fase il cervello invia gli impulsi ai muscoli per svolgere l'azione decisa. Quando il piede si appoggia sul pedale del freno, o le mani iniziano a ruotare lo sterzo, termina quello che abbiamo chiamato tempo (o intervallo) di reazione.

Come si è detto, non è necessario che tutte le operazioni descritte vengano svolte, né che lo siano in maniera sequenziale: il conducente percepisce qualcosa e, mentre cerca di capire di cosa si tratta, leva il piede dall'acceleratore e lo mette sul freno.

Non si deve dunque pensare che il tempo di reazione sia dato dalla somma della durata di tutte le fasi elencate e, anche se molti ricercatori hanno svolto i propri studi quantificando la durata le singole fasi, le conclusioni sul tempo di reazione non possono che essere globali.

7.4.4 Fattori che condizionano il tempo di reazione dei conducenti

In letteratura tecnica si trovano numerosi studi che indagano la rilevanza dei molti fattori, esterni ed interni al conducente, che incidono sulla durata del tempo di reazione.

Le molte variabili in gioco assumono differente importanza a seconda del tipo di sperimentazione condotta, tuttavia se ne possono individuare alcune, di notevole rilevanza e comuni a molte ricerche, che necessitano di essere analizzate nel dettaglio

È di queste che si parlerà nel seguito, cercando di fornire al tecnico ricostruttore un quadro delle condizioni al contorno dalle quali non si può prescindere quando si intende analizzare il comportamento di un conducente.

Molte delle considerazioni che seguono sono di carattere qualitativo, o solo parzialmente quantitativo, per cui, ancora una volta, il tecnico dovrà tenere ben presente che non esistono regole certe o formule magiche che consentano di valutare, in una determinata situazione, quale fu, o quale dovrebbe essere stato, il tempo di reazione di un conducente.

Il ricostruttore dovrà essere in grado di dire se, nel caso in esame, si siano verificate situazioni che possono avere inciso sul tempo di reazione del conducente (ed in quale direzione), ma non potrà quantificarne con esattezza l'entità.

In questa maniera potrà indirizzare, in maniera ragionata e documentata, le proprie stime verso il limite inferiore, o superiore, del campo di variabilità stabilito per il tempo di reazione nelle condizioni in esame, non molto di più.

I fattori che hanno maggiore rilevanza sul tempo di reazione dei conducenti riguardano le loro condizioni mentali, fisiche ed emotive (aspettativa, attenzione, farmaci, alcool, stanchezza, età e sesso), le caratteristiche della turbativa (pericolosità, urgenza della risposta, posizione rispetto al campo visivo, condizioni ambientali) e la complessità della risposta richiesta.

Le condizioni mentali, fisiche ed emotive del conducente

L'aspettativa è la predisposizione di una persona a credere che le cose accadano, o si evolvano, in una determinata maniera.

Tutti, nella vita di tutti i giorni, abbiamo aspettative che riguardano molte delle nostre attività: premendo un pulsante ci aspettiamo che si accenda (o si spenga) un elettrodomestico, girando un rubinetto o un bullone

in senso orario ci aspettiamo che qualcosa aumenti (il flusso dell'acqua o il serraggio del dado), spingendo in avanti una leva ci aspettiamo che il modellino che stiamo tele-guidando si muova in avanti e, spingendola più a fondo, ci aspettiamo che la sua velocità aumenti ecc.

Chiunque, quando si trova alla guida, ha delle aspettative: alcune riguardano il comportamento del proprio veicolo, altre riguardano l'ambiente nel quale circola o il comportamento degli altri conducenti.

L'aspettativa incide in maniera rilevante sulla prontezza con la quale si risponde, in maniera efficace, ad eventi, situazioni ed informazioni.

Essa influenza la velocità e l'accuratezza dell'elaborazione delle informazioni e, non a caso, uno degli scopi principali dei progettisti di strade e segnaletica, è proprio quello di preparare i conducenti a qualcosa che può (o sta per) accadere.

Quando le aspettative sono rispettate, la guida è molto semplificata, il traffico scorre regolare e sono minime le probabilità di errore, in caso contrario la situazione si ribalta: sono necessari stimoli molto più intensi per catturare l'attenzione dei conducenti, vanno fornite molte più informazioni ed i tempi di esecuzione delle manovre sono dilatati.

Si pensi ad uno svincolo autostradale: normalmente i conducenti che intendono uscire dal flusso principale si devono spostare sulla corsia di destra ed apprestarsi a defluire verso destra. Nei rari casi nei quali la direzione principale dell'autostrada prosegue sulla destra e lo svincolo avviene verso sinistra, è necessario che venga predisposta una segnaletica ridondante, molto anticipata e con frequenti inviti alla canalizzazione.

L'obiettivo della segnaletica stradale è dunque quello di creare delle aspettative nei conducenti. Si pensi ai segnali di 'pericolo scuola', 'preavviso di cantiere' o 'curva pericolosa', e si comprenderà come questi possano allertare il conducente creando in lui una positiva predisposizione a comportamenti di guida compatibili con la situazione che si appresta ad affrontare.

Green²⁴ individua nell'aspettativa il fattore che incide maggiormente sulla durata del tempo di reazione e classifica gli eventi a seconda che siano attesi, inattesi ed a sorpresa.

Studiando le reazioni dei conducenti agli eventi attesi conclude che ci si possono aspettare tempi di reazione medi di 0,7-0,75s. Elaborando poi i risultati di altre ricerche riportate in letteratura tecnica, conclude che sono comuni tempi di reazione medi di 1,25 s ad eventi inattesi e di circa 1,5 s ad eventi a sorpresa.

Anche Olson²⁵ ha sperimentato le reazioni di volontari di fronte a eventi attesi o a sorpresa. Nella Figura 7.27 sono mostrati i risultati di un esperimento condotto su 49 soggetti giovani. La prova consisteva nel far trovare improvvisamente il conducente di fronte ad un ostacolo in un tratto di

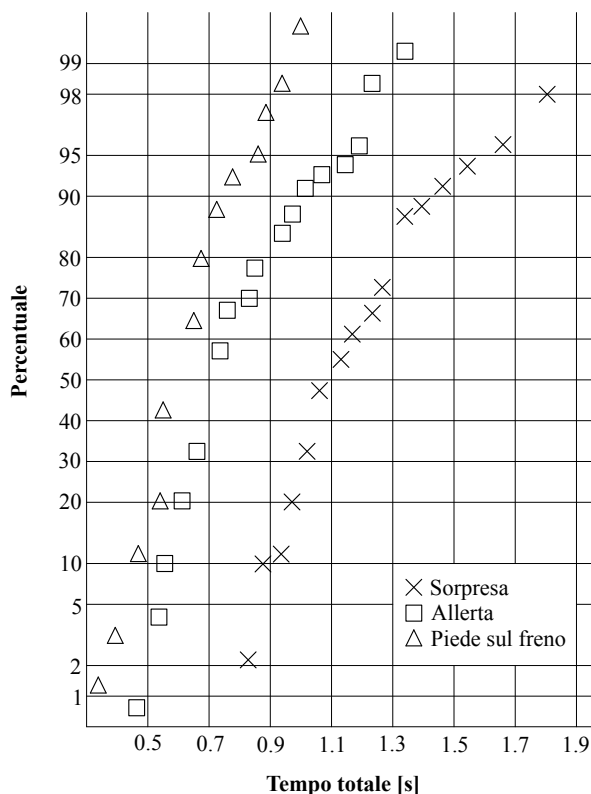
²⁴ M. Green, "How long does it take to stop?" *Methodological analysis of driver perception-brake times*, «Transportation Human Factors», vol 2, 2000, pp. 195-216.

²⁵ P.L. Olson et al., *Parameters Affecting Stopping Distance*, Eashington D.C. The National Cooperative Highway Research Program, Report 270 – 1984.

strada a visuale limitata (evento a sorpresa, nessuna aspettativa). Il tempo di reazione è stato misurato fra l'istante in cui l'oggetto era percepibile e quello in cui il piede si appoggiava sul pedale del freno.

L'esperimento è poi proseguito dicendo ai conducenti che l'evento si sarebbe potuto ripetere (evento atteso, conducente allertato) e con un'ultima prova che consisteva nell'appoggiare il piede sul freno ogni volta che si accendeva una luce rossa sul cruscotto dell'auto.

Figura 7.27 – Distribuzione dei tempi di reazione in funzione dell'aspettativa dei conducenti (Olson).



Dal grafico che sintetizza i risultati della ricerca si vede che l'85° percentile del tempo di reazione di fronte all'evento a sorpresa è stato di 1,3 secondi, il 95° di 1,6 s.

Il tempo minimo è stato di 0,8 secondi e quello massimo di 1,8 s.

I tempi di reazione, per lo stesso evento ma con conducenti pre avvertiti (aspettativa), sono stati circa 0,4 secondi più veloci (0,5 s per i percentili più alti).

I tempi di reazione all'accensione della luce, infine, si sono rivelati da 0,1 a 0,3 secondi più veloci di quelli dei conducenti avvertiti.

L'aspettativa influenza sicuramente la fase di percezione in quanto il conducente è predisposto ad aspettarsi di vedere qualcosa di ben preciso che, spesso, proviene da una precisa direzione.

Quando ha delle aspettative, il conducente è portato a guardare con maggiore attenzione in una direzione specifica e, se l'aspettativa è confermata dai fatti, il suo tempo di percezione sarà significativamente ridotto, in caso contrario si allungherà e maggiore sarà la probabilità che compia delle manovre errate.

Pensiamo sempre ad una situazione autostradale, in prossimità di un'immissione: il conducente si aspetta che un veicolo possa immettersi dalla sua destra e dunque la sua attenzione (ed il suo sguardo) sono diretti in avanti e verso destra. Qualsiasi pericolo che provenga da tale direzione sarà percepito prontamente. Se in questa fase un veicolo in sorpasso effettua una manovra pericolosa, accostandosi troppo o tagliandogli la strada, è molto probabile che il conducente non percepisca prontamente questo evento inaspettato.

Anche la fase di identificazione è fortemente influenzata, sia positivamente che negativamente, dall'aspettativa. Si pensi, per esempio, ad una situazione di guida notturna: se si vedono due luci bianche in lontananza l'esperienza ci induce ad ipotizzare che si tratti di un veicolo che procede in direzione opposta. Se si tratta invece delle luci posteriori di un mezzo agricolo che procede, a bassa velocità, lungo la nostra stessa direzione, allora è evidente che la nostra aspettativa era errata. Un'iniziale errata identificazione, genera un'errata aspettativa la quale, a sua volta, ritarda la corretta individuazione del pericolo: questa potrebbe anzi avvenire quando ormai è troppo tardi per evitare il tamponamento.

L'aspettativa ha minore influenza sulle fasi di decisione e di risposta.

Un altro fattore che condiziona significativamente il tempo di reazione di un conducente è il cosiddetto *carico cognitivo*. Con questa espressione si intendono tutte quelle attività che impegnano la mente della persona alla guida. Negli ultimi anni c'è stato un grande interesse attorno al sovraccarico di stimoli, informazioni ed attività alle quali sono sottoposti i conducenti. Buona parte di questa attenzione si è sviluppata parallelamente all'enorme diffusione dei telefoni cellulari, ma riguarda anche i sistemi di intrattenimento, di navigazione o, peggio ancora, di office automation (fax e personal computer) presenti a bordo dei veicoli.

È evidente²⁶ a chiunque che spostare gli occhi dalla strada per inserire un CD, per fare un numero telefonico o per aggiustare la temperatura del climatizzatore impedisce, per qualche secondo, al conducente di raccogliere informazioni su ciò che succede attorno a lui.

Meno evidente ai più è che, anche se stiamo guardando davanti a noi, l'impegno che mettiamo in una conversazione, sia telefonica che con un passeggero, riduce le nostre capacità di percepire e di rispondere efficacemente agli eventi improvvisi che si possono verificare attorno a noi.

La conseguenza più significativa di un eccessivo carico cognitivo è quella che, per percepire un evento potenzialmente pericoloso, il con-

²⁶ V. Bhise et al., *ACE Driving Simulator and Its Applications to Evaluate Driver Interfaces*, SAE paper 2003-01-0124.

ducente ha bisogno che lo stimolo sia più intenso che non in condizioni di carico normale.

Summala²⁷ distingue fra due tipi di carico cognitivo, a seconda che sia impegnata l'attenzione visiva o meno.

Nella prima tipologia il conducente può essere impegnato a cercare informazioni, per esempio in uno svincolo stradale particolarmente complesso, o in attività non legate alla guida, come verificare le azioni di un bambino a bordo. In questo caso il risultato è la diminuzione della capacità di percepire possibili pericoli perché questi si vengono a trovare o al di fuori, o in una posizione periferica del campo visivo.

La seconda tipologia di carico cognitivo è associata a processi mentali che non coinvolgono la vista, quali conversazioni al telefono o anche solamente riflessioni personali profonde e coinvolgenti.

Summala cita degli studi dai quali risulta che il tempo necessario per percepire la decelerazione di un veicolo che precede, aumenta fino a 0,5 secondi in un conducente impegnato in un'intensa attività cognitiva.

Farmaci, alcool e stanchezza hanno provati effetti sul tempo di reazione dei conducenti. Antidepressivi, antistaminici, antinausea e sonniferi, così come l'alcool ed alcune droghe, hanno l'effetto di rallentare i processi, mentali e fisici, o di modificare la percezione di ciò che accade attorno.

Per tutte queste sostanze studi specifici hanno univocamente indicato che il tempo di reazione aumenta all'aumentare della concentrazione nel sangue (come avviene per l'alcool)²⁸. Non sono tuttavia possibili quantificazioni esatte dell'entità dei loro effetti (per esempio in funzione della concentrazioni nel sangue), essendo stata rilevata una grande variabilità, fra soggetto e soggetto, sia dell'intensità gli effetti che delle soglie di attivazione (Moskowitz)²⁹.

Anche la stanchezza rallenta i tempi di reazione dei conducenti ed ha la caratteristica di amplificare gli effetti dell'alcool³⁰.

Alcuni autori, negli anni '50 e '60, basandosi su test condotti dall'*American Automobile Association*, ritennero di poter concludere che l'età ed il genere avessero una certa rilevanza sul tempo di reazione dei conducenti.

In particolare, riguardo all'età, confrontando il tempo di reazione medio per i ventenni testati (0,44 secondi) e per i settantenni (0,52 secondi) ritennero di poter ravvisare un rallentamento nella reazione all'aumentare dell'età. Analisi successive più approfondite, basate sulla forma delle distri-

²⁷ H. Summala, *Brake reaction times and driver behavior*, «Transportation Human Factors», vol 2, 2000.

²⁸ K. Fansen, *The Effect of Drinking on Driver's Visuospatial Working Memory*, SAE paper 2001-01-0044.

²⁹ H. Moskowitz, *Alcohol and drugs*, «Human factors in traffic safety», Tucson (AZ), Lawyers and Judges Publishing Company, 2001.

³⁰ M.T. Corfitsen, *Increased visio-motoric reaction time of young, tired, drunk drivers*, «Forensic Science International», 20(2) 1982, pp. 121-125.

buzioni e non sui valori medi, hanno tuttavia mostrato che le distribuzioni sono molto sovrapposte e che non è raro trovare dei settantenni che reagiscono in tempi sensibilmente inferiori ad alcuni ventenni. Statisticamente, dunque, non sembra esserci alcuna giustificazione all'utilizzare tempi di reazione più lunghi semplicemente in funzione dell'età.

Qualcosa di simile è accaduto quando è stato studiato l'effetto del genere sul tempo di reazione: una ricerca condotta nel 1966 su di un campione di 810 donne e 479 uomini mostrava, sorprendentemente, che le medie delle due distribuzioni differivano di circa 0,08 secondi (0.57 secondi per gli uomini e 0.65 secondi per le donne).

Ancora una volta, però, un esame più attento dei dati ha evidenziato una quasi totale sovrapposizione fra le distribuzioni e la non significatività statistica della modesta differenza fra le medie.

Le caratteristiche del pericolo

Le caratteristiche dell'evento scatenante possono incidere in maniera significativa sul tempo di reazione del conducente.

Fattori quali la posizione del pericolo rispetto al campo visivo, la sua evidenza e le sue dimensioni sono comunemente considerati influenti sulla reazione del conducente. È evidente che un pedone che appare gradualmente nella notte ha un impatto visivo e psicologico differente da un autocarro che, in piena luce, mostra di non arrestarsi ad uno stop; conseguentemente, nel caso del pedone la durata del tempo di reazione dovrà fare i conti con delle prolungate fasi di percezione e di identificazione, mentre nel caso dell'autocarro il pericolo sarà immediatamente percepito ed identificato.

Altre caratteristiche del pericolo rilevanti ai fini del tempo di reazione sono la sua forza e, nella guida notturna o in condizioni avverse, il suo contrasto.

Entrambe queste caratteristiche, ancora una volta, hanno a che vedere con la fase di percezione: mentre la forza riguarda l'intensità dello stimolo e la velocità con la quale si presenta, attirando l'attenzione del conducente, il contrasto riguarda la sua qualità di essere distinto dallo sfondo e dunque di essere percepito dall'occhio umano.

È intuitivo che stimoli che si presentano lentamente, in maniera incerta e non ben percepibili visivamente, possono allungare in maniera rilevante il tempo di risposta del conducente.

Anche l'urgenza (vale a dire la vicinanza temporale del pericolo) secondo alcuni ricercatori ha effetti rilevanti sul tempo di reazione. Summala³¹ ed Olson³², per esempio, sostengono che la criticità della situazione ha un effetto rilevante sul tempo di reazione. Essi osservano che se l'emergenza non si profila così urgente (per esempio è lontana, in tempo, 5-6 secondi) i volontari sottoposti ai test reagiscono con tempi più lunghi che non quan-

³¹ H. Summala, *Brake reaction times*, cit.

³² Paul L. Olson, E. Farber, *Forensic Aspects of Driver Perception*, cit., cap. 15.

do il pericolo è più vicino (per esempio a 3-4 secondi). Se si vuole misurare il tempo di reazione ad una situazione di emergenza improvvisa, dunque, si devono creare situazioni di reale stress concedendo ai soggetti testati dei tempi sufficientemente brevi.

Al contrario Muttard³³ rileva che in situazioni di stress moderato i soggetti reagiscono meglio (con risposte più adeguate) che in situazioni di estrema urgenza ed in tempi non sostanzialmente differenti.

La questione, come si vede, è tutt'altro che definita.

La complessità della risposta richiesta

La complessità della risposta può derivare da incertezze sia nella fase di decisione che in quella di risposta.

Per esempio, in autostrada, se di fronte ad un'emergenza si reputa necessario sterzare a destra o a sinistra per cambiare corsia, il solo movimento degli occhi e della testa per guardare gli specchi retrovisori richiede poco meno di un secondo; se poi la manovra da compiere è delicata, per esempio da eseguire su fondo stradale scivoloso, il conducente è portato ad agire con maggiore cautela, impiegando maggior tempo anche nella fase preparatoria.

Rimane dibattuto se, posto di fronte a scelte complesse ed a tempi molto brevi, il conducente effettivamente faccia delle scelte (per esempio decidendo se frenare o sterzare) o se semplicemente agisca d'impulso.

Quando il tempo a disposizione è veramente limitato, sembra che la reazione privilegiata dei conducenti sia quella di frenare, e questo anche se per spostare il piede dal pedale dell'acceleratore a quello del freno, sono necessari 0,4-0,6 secondi, mentre la manovra più veloce risulterebbe senza dubbio quella sterzante.

7.5 Particolari situazioni di guida

Come si è visto, le variabili che concorrono a descrivere il tempo di reazione di un conducente sono molte, e molto differenti possono essere i tempi coi quali differenti soggetti rispondono alla stessa sollecitazione.

Quella del tempo di reazione, tuttavia, non è l'unica variabile che entra in gioco quando il tecnico ricostruttore è chiamato a dare un parere sul comportamento di guida o, più in generale, a ricostruire la fase pre-urto di un incidente stradale; anche la scelta della manovra e le modalità di esecuzione sono rilevanti e vanno analizzate con cura.

Per questo i ricercatori hanno esteso le proprie indagini agli stili di guida, cercando di individuare, se esistono, delle modalità comuni di comportamento nell'eseguire le manovre, dalle più semplici, come partire da un incrocio, a quelle più complesse, come reagire all'immissione di un veicolo in carreggiata.

³³ J.W. Muttard., *Evaluation of the influence of several variables upon driver preception-response times*, Proceedings on the 5th International conference of the Institute of Traffic Accident Investigators, York (UK), pp. 112-129.

In questo paragrafo si mostreranno i risultati di alcune di queste ricerche che, sebbene *particolari*, analizzano degli aspetti di rilevante interesse per il ricostruttore:

- percezione, reazione ed accelerazione in partenza da un semaforo;
- livelli di utilizzazione dei freni in situazioni di emergenza;
- utilizzazione di un simulatore per lo studio delle manovre di emergenza.

Si suggeriranno, infine, alcune direzioni nelle quali si ritiene dovrebbe svilupparsi la ricerca nel prossimo futuro, per il miglioramento della sicurezza stradale.

7.5.1 Percezione, reazione ed accelerazione in partenza da un semaforo

È interessante conoscere il comportamento dei conducenti anche in situazioni di non emergenza. In uno studio del 2001, T.F. Fugger³⁴ ha misurato il tempo di reazione e l'intensità dell'accelerazione in partenza da un semaforo di un campione di conducenti in situazioni di circolazione reale.

Le caratteristiche e gli obiettivi della ricerca erano i seguenti:

- studio effettuato in vivo, filmando, ad alta velocità, la partenza dei veicoli da un semaforo;
- tempo di reazione definito come intervallo temporale che intercorre fra lo scattare del verde ed il movimento del veicolo;
- calcolo dell'accelerazione nei primi 7-10 secondi dalla partenza.

La ricerca, statunitense, è stata condotta su veicoli quasi tutti dotati di cambio automatico, il che può avere avuto degli effetti, se non sul tempo di reazione in partenza, quanto meno sull'andamento della curva della velocità nel tempo (e dunque dell'accelerazione).

Le prove sono state svolte in due intersezioni regolate da semaforo; nella prima la sequenza del semaforo è stata lasciata inalterata e prevedeva la presenza, prima dello scatto del verde nella direzione di interesse, di una fase di tutto rosso (luce rossa per tutte le direzioni di marcia), nella seconda intersezione è stata eliminata la fase tutto rosso e la luce verde scattava immediatamente dopo il rosso all'altra direttrice.

I tempi di reazione

Le due situazioni analizzate hanno evidenziato delle differenze nei tempi di reazione di modesta entità, ma statisticamente significative. Nelle Figure 7.28 e 7.29 ogni punto rappresenta una misura:

³⁴ T.F. Frugger, *Driver characteristics at signal controlled intersections*, SAE paper 2001.01.0045, 2001.

Figura 7.28 – Tempo di reazione dei conducenti all'incrocio n. 1.

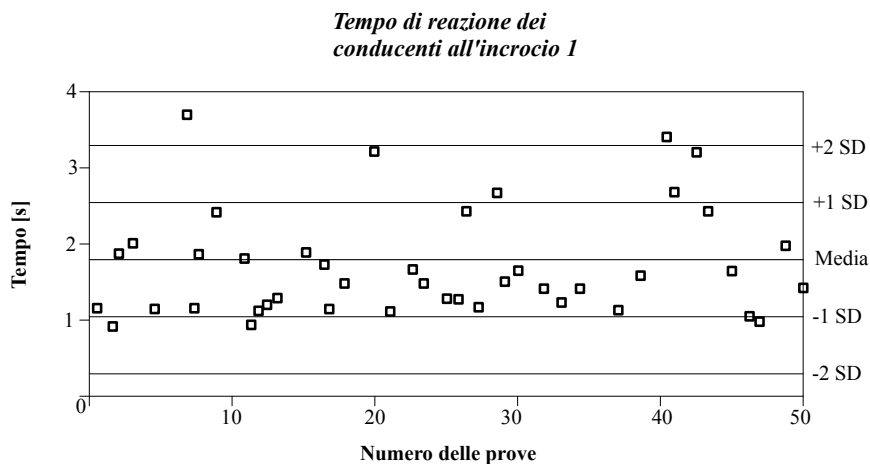
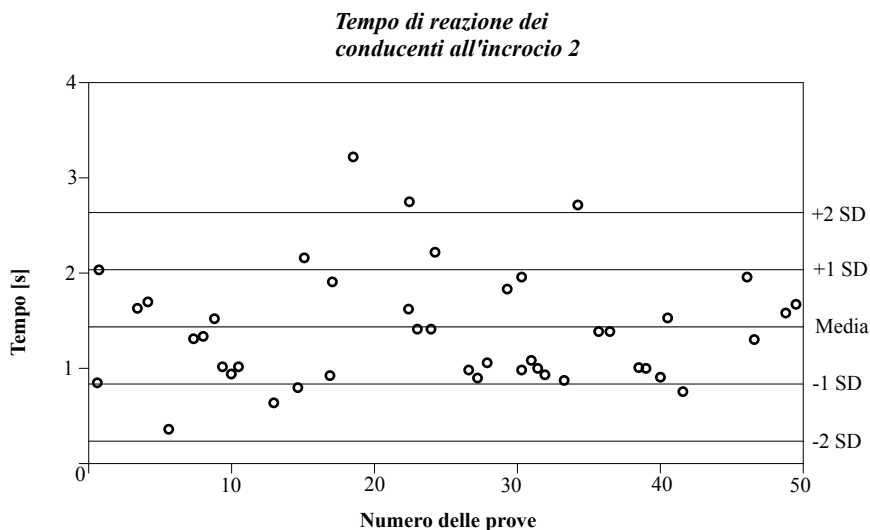


Figura 7.29 – Tempo di reazione dei conducenti all'incrocio n° 2.



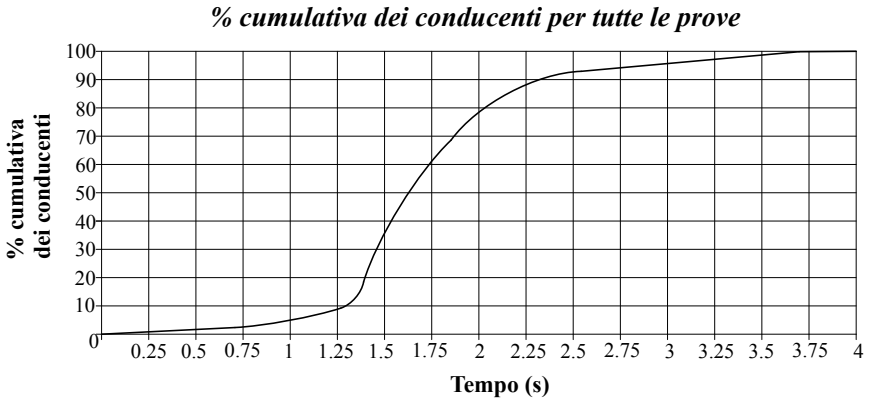
In Tabella 4 sono sintetizzati i risultati delle prove condotte nei due incroci con l'indicazione del valore medio e della standard deviation. Si rileva un possibile effetto della presenza di una fase 'tutto rosso', sul tempo di reazione.

Tabella 4 – Tempi di reazione in partenza da un semaforo.

	numero veicoli	media (s)	standard deviation
incrocio 1	43	1.66	0.69
incrocio 2	44	1.42	0.58

Nella Figura 7.30 è mostrata la curva che rappresenta cumulativamente tutte le prove effettuate. Si osserva che l'85° percentile è centrato attorno ai 2-2,25 secondi mentre il 95° è addirittura di 2,75 secondi:

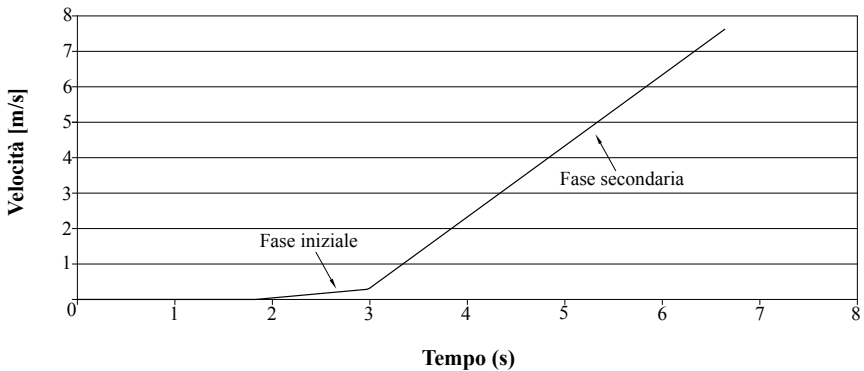
Figura 7.30 – Percentuale cumulativa dei conducenti per tutte le prove.



L'accelerazione in partenza dal semaforo

I grafici velocità-tempo ricavati negli esperimenti hanno mostrato la presenza di due fasi distinte durante la partenza dal semaforo (Figura 7.31) la prima, della durata di $0,94 \text{ s} \pm 0,48 \text{ s}$, è caratterizzata da un'accelerazione estremamente modesta ($0,06 \text{ g} \pm 0,03 \text{ g}$), mentre la seconda mostra accelerazioni medie dell'ordine dei $0,22 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$.

Figura 7.31 – Andamento tipico della velocità nel tempo misurato nelle prove.



Naturalmente i valori delle accelerazioni sono molto differenti per le varie categorie di veicoli (Tabella 5).

Lo studio fornisce sicuramente ai ricostruttori dei dati interessanti ed utilizzabili per quanto concerne i tempi di reazione in partenza, con un 85° percentile attorno ai 2-2,25 secondi, e per le accelerazioni medie di 2-3 m/s^2 ; rimane invece da verificare se le due fasi ad accelerazione significativa-

Tabella 5 – Le accelerazioni per classe di veicolo.

n° veicoli	accelerazione iniziale (g)	accelerazione secondaria (g)
autovetture (68)	0.06±0.03	0.023±0.04
pickup (16)	0.06±0.02	0.20±0.07
furgoni (8)	0.07±0.02	0.22±0.03
SUV (5)	0.07±0.04	0.27±0.08
autocarri (3)	0.07±0.02	0.15±0.07
totale (100)	0.06±0.03	0.22±0.05

mente differente riscontrate sui veicoli dotati di cambio automatico, siano presenti, ed in quale misura, anche nei veicoli con cambio manuale.

Il metodo di indagine sperimentale è comunque valido e riproducibile.

7.5.2 I livelli di utilizzazione dei freni nelle situazioni di emergenza

Quando il tecnico ricostruttore deve stabilire se un conducente avrebbe potuto o meno evitare un urto, per esempio contro un veicolo in attraversamento, normalmente ipotizza che in fase frenante questi abbia utilizzato tutta la decelerazione disponibile per quella combinazione pneumatico-fondo stradale.

In realtà molti ricercatori³⁵ hanno verificato che ben raramente i conducenti riescono ad sfruttare pienamente le prestazioni del proprio veicolo.

Koppa³⁶, per esempio, svolgendo dei test per NHTSA tesi a determinare il grado di utilizzazione dei veicoli da parte dei conducenti, ha verificato, tra le altre cose, che il livello di decelerazione massimo ottenuto in frenata è compreso fra l'80 ed il 90% di quello massimo disponibile.

Prynne³⁷, ha studiato le modalità di pressione del pedale del freno in situazioni di emergenza ottenute lanciando in carreggiata, di fronte a conducenti ignari, dei manichini antropomorfi.

Misurando la pressione nei circuiti frenanti ha verificato che la frenata di emergenza è generalmente composta da due fasi a differente intensità: una prima, nella quale il conducente preme il pedale fino ad un livello consueto (pari circa 1/3 del massimo), seguita da una pausa e da un'eventuale maggiore pressione.

Questa modalità di frenata è stata riscontrata in 66 dei 77 soggetti sottoposti al test e la conclusione dello studio è stata che molti conducenti, anche di fronte alla semplice indicazione di 'frenare al massimo all'accendersi di un

³⁵ K. Prynne et al., *Braking behaviour in emergencies*, SEA paper 950969; M.A. Dilich et al., *Evaluating driver response to a sudden emergency: issues of expectancy, emotional arousal and uncertainty*, SAE paper 2002-01-0089, 2002.

³⁶ R.J. Koppa et al., *Driver inputs during emergency or extreme vehicle maneuvers*, «Human factors» 18(4), 1976, pp. 361-370.

segnale', non raggiungono il massimo di decelerazione possibile, ma usano il freno in maniera simile all'utilizzo che ne fanno nell'esperienza quotidiana.

In uno studio quantitativo Fambro³⁷ conducendo una serie di test nei quali ai conducenti era richiesto semplicemente di arrestare il proprio veicolo il più velocemente possibile, ha misurato che, a fronte di decelerazioni massime ottenibili comprese fra 0,7 e 0,9 g, l'85° percentile dei conducenti frenava con decelerazioni comprese fra i 0,47 ed i 0,54 g.

La conclusione che si può trarre da queste indagini è che i conducenti raramente raggiungono i livelli superiori di soglia delle prestazioni fornite dai propri veicoli e, anche in situazioni di emergenza, tendono a riprodurre modalità di guida il più possibile vicine a quelle tipiche dell'esperienza quotidiana nella quale è rarissimo avere necessità di sfruttare al massimo i dispositivi.

7.5.3 Utilizzazione di un simulatore per lo studio delle manovre di emergenza

Un filone estremamente interessante e promettente di studi, è quello nel quale i ricercatori utilizzano dei simulatori *full motion* per riprodurre situazioni di pericolo o di emergenza.

Con lo sviluppo dei simulatori, che creano situazioni di guida sempre più realistiche grazie ai progressi della grafica tridimensionale e dei meccanismi di gestione del movimento, le ricerche diventano sempre più significative e, come vedremo, si aprono delle prospettive di studio fino a pochi anni fa impensabili.

Fra i numerosi studi presenti in letteratura che descrivono esperimenti condotti su simulatori, è particolarmente interessante, sebbene ormai datato, quello condotto da Lechner³⁸ nel 1991, sul simulatore Daimler-Benz.

La ricerca aveva il fine di analizzare il comportamento di 49 conducenti di fronte ad una situazione di emergenza inattesa in un incrocio e sono stati misurati i tempi di reazione, il tipo e l'efficacia della manovra scelta e l'effetto della aspettativa creata nei conducenti.

L'esperimento è stato condotto chiedendo ai conducenti di guidare normalmente, ad una velocità di 90-100 km/h, per una decina di minuti al fine di familiarizzare col simulatore; successivamente sarebbero state fornite ulteriori indicazioni.

In realtà, poi, non era fornita alcuna indicazione, ma veniva simulata l'emergenza facendo comparire improvvisamente, dalla destra, un veicolo che si arrestava allo stop, ripartiva e, dopo avere percorso circa 6 metri, si fermava al centro della corsia percorsa dal soggetto.

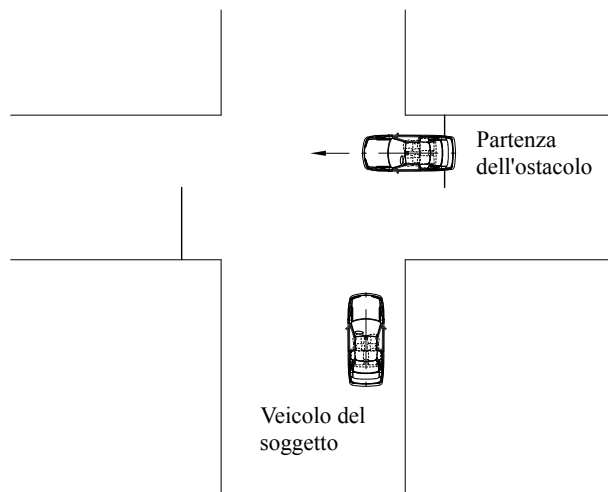
Il simulatore calcolava il tempo della ripartenza del veicolo bersaglio in funzione della velocità del veicolo guidato, in modo da creare l'emergenza

³⁷ D. Fambro, *Determination of stopping sight distances*, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, National Cooperative Highway Research Program Report, 400, 1997.

³⁸ D. Lechner et al., *Emergency maneuver experimentation using a driving simulator*, SAE paper 910016, 1991.

2, 2,4 e 2,8 secondi prima dell'urto, corrispondenti a distanze dal punto d'urto comprese fra i 35 e gli 85 metri (Figura 7.32).

Figura 7.32 – La situazione di emergenza sottoposta nell'esperimento ai soggetti.



Tempi tipici delle manovre scelte

È stato misurato il tempo impiegato dai soggetti a compiere la prima manovra di reazione: levare il piede all'acceleratore è stata la reazione di 33 soggetti, con un tempo medio di esecuzione di 0,8 s, mentre 14 soggetti hanno sterzato, con un tempo medio di 0,82 s. Il tempo totale necessario per iniziare l'azione frenante è stato naturalmente superiore ed ha fornito un valore medio di 1s, superiore in maniera significativa a quello necessario per iniziare l'azione sterzante (Tabella 6 e Figura 7.33):

Tabella 6 – Tempi di reazione in funzione della manovra scelta.

manovra	numero	tempo reazione medio (s)	Standard deviation
frenata	32	1.00	0.22
sterzata	17	0.82	0.22
totale	49	0.94	0.23

L'effetto dell'aspettativa

Dopo la prima prova, completamente a sorpresa per i soggetti, ne sono state svolte altre due per studiare l'effetto dell'aspettativa sul tempo di reazione. Le misure hanno confermato una differenza fra i tempi di reazione di 0,2-0,3 secondi (per l'85° percentile) fra la prova a sorpresa (test 1) e quelle non a sorpresa (test 2 e 3), senza significative differenze fra la seconda e la terza prova (Figura 7.34).

Figura 7.33 – Distribuzione dei tempi di reazione di sterzata e di frenata.

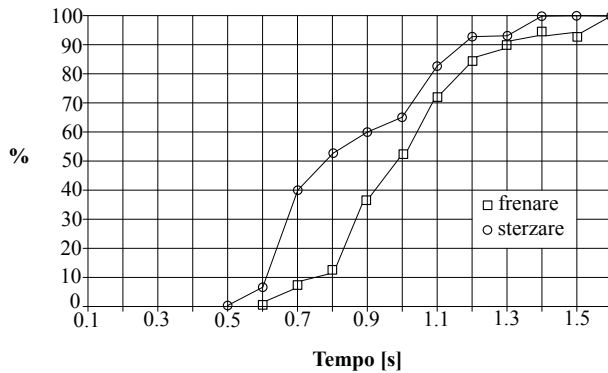
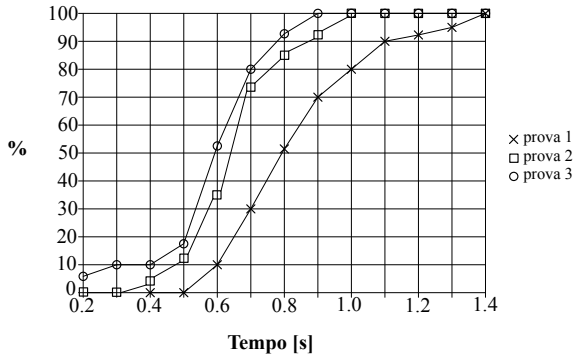


Figura 7.34 – Effetto dell'aspettativa sul tempo di prima reazione (sia sterzante che frenante).



La scelta della manovra

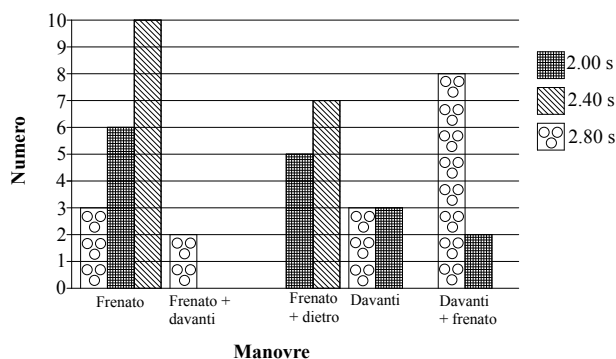
In Figura 7.35 è mostrata la distribuzione delle manovre scelte in funzione del tempo all'urto di 2, 2,4 e 2,8 secondi (e cioè in funzione dell'urgenza della manovra stessa). Si osserva che:

- i conducenti preferiscono frenare quando c'è maggiore tempo a disposizione;
- più breve è il tempo disponibile, più cresce il numero di tentativi di deviazione (sterzate);
- i conducenti frenano e sterzano per passare *dietro* all'ostacolo solo quando hanno più tempo a disposizione;
- la tendenza, quando il tempo è molto limitato, è quella di sterzare in modo da allontanarsi dalla direzione di provenienza del pericolo.

Le conclusioni

Gli esperimenti al simulatore hanno mostrato che la manovra di elezione, per i conducenti in situazioni di emergenza quali quelle analizzate, è la

Figura 7.35 – Distribuzione delle manovre scelte in funzione dell'urgenza.



frenata (scelta dai 2/3 dei soggetti), anche quando oggettivamente esistono poche possibilità di successo.

Questa reazione è probabilmente giustificata da un riflesso di auto-conservazione legato al fatto che, frenando, qualsiasi cosa faccia l'ostacolo, si riduce comunque la velocità all'urto.

Nella situazione in esame, poiché l'ostacolo si fermava in carreggiata, l'unica possibilità di evitare l'urto frenando sarebbe stata poter arrestare il veicolo prima del punto d'urto il che, in molti casi, avrebbe richiesto una reazione del conducente precedente alla percezione del pericolo.

Per evitare l'urto sarebbe dunque stato essenziale che i conducenti sterzassero, tuttavia questa manovra è stata scelta in pochi casi come prima reazione il che sottolinea quanto sia utile la presenza dell'ABS che, anche durante un'intensa azione frenante, consente di modificare la direzione del veicolo.

Il motivo per il quale l'azione sterzante non viene istintivamente scelta dai conducenti sembra essere che, in situazioni di reale emergenza, sono troppi i parametri da verificare e gli input da dosare: condizioni di traffico, spazio disponibile, intensità della sterzata, necessità di passare davanti o dietro all'ostacolo ecc.

7.5.4 Prospettive di sviluppo della ricerca nel settore

Si ritiene che gli esperimenti sui comportamenti di guida condotti con simulatori *full motion* siano quelli di maggiore interesse e con le migliori prospettive di sviluppo.

La notevole crescita della velocità di elaborazione dei computer e, soprattutto, gli sviluppi nelle tecnologie di visualizzazione 3D, consentono di rendere sempre più realistici gli scenari all'interno dei quali si conducono le simulazioni.

Se nelle simulazioni può venire a mancare quel senso di urgenza che deriva dalla percezione di un evento che può avere gravi conseguenze sulla propria o altrui incolumità, i vantaggi che si hanno in termini di sicurezza, flessibilità ed economicità nella progettazione e nell'esecuzione delle misure sono sicuramente da perseguire.

Sono moltissimi i campi nei quali sarebbe necessaria ed utile un'intensa attività di ricerca con simulatori di guida, da quelli più tradizionali:

- tempi di percezione e reazione in situazioni di particolare carico cognitivo o di false aspettative;
- modalità di partenza da semafori, da stop ed in immissione;
- scelta e modalità di esecuzione delle manovre di emergenza.

a quelli, meno studiati ed impossibili da realizzare in vivo, quali:

- valutazione della pericolosità di particolari ambienti o situazioni di guida;
- studi preliminari alla progettazione delle strade e della segnaletica;
- studi sugli effetti delle droghe, dei farmaci e dell'alcool nella guida.

7.6 Applicazioni

Il tempo di reazione del conducente interviene con grande frequenza nelle valutazioni e nei calcoli del tecnico ricostruttore.

Nei paragrafi precedenti si sono affrontati molti aspetti che riguardano il conducente e le sue prestazioni, più o meno allineate con quelle che ritenute normali; ora si analizzeranno due applicazioni nelle quali il tempo di reazione ha una rilevanza decisiva: la quantificazione della distanza di sicurezza e lo studio dell'evitabilità dell'incidente.

7.6.1 Distanza di sicurezza³⁹

È sempre utile poter stabilire se la distanza fra due veicoli incolonnati è sufficiente per l'arresto in sicurezza di quello che segue nel caso in cui il primo esegua una brusca frenata.

Per svolgere quest'analisi è necessario mettere in relazione il tempo di reazione del conducente del secondo veicolo, la massima decelerazione disponibile e la distanza iniziale fra i veicoli.

Nel seguito si utilizzeranno i seguenti simboli:

Simboli utilizzati	Pedici
t = tempo	1. denota il veicolo 1
t_r = tempo di reazione	2. denota il veicolo 2
s = distanza	b. indica frenata
u = velocità iniziale del veicolo	r. indica reazione
v = velocità finale del veicolo	t. indica totale
a = accelerazione	
D = distanza iniziale fra i veicoli	

³⁹ Jon Neades, *How close is too close?*, «Impact, The Journal of the Institute of Traffic Accident Investigators», vol 15, winter 2006, pp. 60-65.

Stabilire se avverrà un tamponamento

In generale se due veicoli stanno procedendo uno dietro all'altro, potremo ipotizzare, come faremo da ora in poi, che procedano alla stessa velocità.

Preliminarmente ci poniamo il problema di stabilire quale significato dare all'espressione «distanza di sicurezza».

Sono possibili due approcci: il primo è basato sull'assunzione che il conducente che segue debba reagire ed arrestarsi nello spazio a disposizione mentre il secondo, più ragionevole, prevede che questi semplicemente debba reagire nello spazio disponibile.

Il primo approccio, intrinsecamente più sicuro, prevede che chi segue si possa arrestare in tempo anche se il veicolo che lo precede si arresta istantaneamente (come può avvenire nell'urto contro un muro od un albero). È evidente che questa impostazione non è realistica in quanto, in un traffico congestionato quale quello attuale, è poco ragionevole pretendere che i veicoli procedano alla distanza di decine di metri dal veicolo che li precede (anche in ambito urbano).

Inoltre è altrettanto poco frequente che un veicolo si arresti istantaneamente, imponendo a quello che segue di arrestarsi nello spazio disponibile.

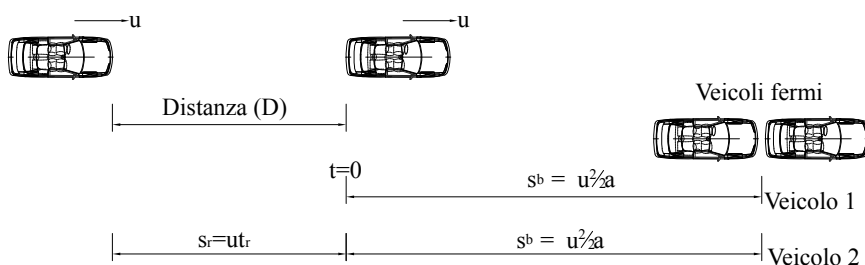
È decisamente molto più realistico considerare situazioni nelle quali il veicolo che precede freni improvvisamente e bruscamente di fronte ad un'improvvisa emergenza.

In questa situazione il conducente che segue deve reagire e frenare prima di tamponare; si vedrà come possa essere schematizzata e studiata questa situazione.

Se supponiamo che entrambi i veicoli possano frenare con la stessa decelerazione, è allora ovvio che entrambi, partendo dalla stessa velocità iniziale, si fermeranno nello stesso spazio.

In generale, dunque, la situazione che si presenta è quella mostrata in Figura 7.36.

Figura 7.36 – Sopra: i veicoli procedono alla stessa velocità e ad una distanza D . Sotto: I veicoli si arrestano senza urtarsi.



Se il conducente del veicolo che segue reagisce ed inizia a frenare prima o esattamente nel punto nel quale ha iniziato il veicolo 1 ($t=0$ in figura) allora l'urto sarà evitato.

Questo suggerisce che la distanza D minima fra i veicoli deve rispettare la seguente relazione:

$$D = u t_r$$

Da essa, per tempi di reazione compresi fra 1 e 2 secondi, si ottengono i valori limite mostrati in Tabella 7:

Tabella 7 – Distanze di sicurezza minime e massime.

velocità (km/h)	dist. min. (m)	t_r min. (s)	dist. Max. (m)	t_r Max (s)
40	11.1	1	22.2	2
60	16.6	1	33.3	2
80	22.2	1	44.4	2
100	27.8	1	55.5	2
120	33.3	1	66.6	2
130	36.11	1	72.2	2
150	41.6	1	83.3	2
170	47.2	1	94.4	2
190	52.8	1	105.5	2

Stabilire se e quando avverrà il tamponamento

È interessante domandarsi a quali condizioni si potrà evitare l'urto e, nel caso questo non sia possibile, calcolare quando ed a che velocità relativa avverrà.

Supponiamo di conoscere la distanza iniziale fra i veicoli (D) e cerchiamo l'equazione che ci dice dopo quanto tempo dall'inizio della frenata del veicolo 1 avverrà l'urto.

L'equazione che descrive il moto del veicolo 1 in frenata nel tempo è la seguente:

$$(7.8) \quad s_1 = ut - \frac{1}{2} at^2$$

Per il veicolo 2 l'equazione deve tenere conto che l'azione frenante inizia con un ritardo t_r rispetto al veicolo 1 e da un punto differente:

L'equazione che descrive la posizione del veicolo 2 prima che inizi l'azione frenante è:

$$(7.9) \quad s_2 = ut - D$$

mentre invece la sua posizione nel tempo dopo l'inizio dell'azione frenante sarà data da un'equazione nella quale il tempo di frenata t del veicolo 1 andrà sostituito col tempo $(t-t_r)$ (per tener conto del ritardo del veicolo 2) e si terrà conto del punto di inizio della frenata sommando la costante $s_r = ut_r - D$, da cui:

$$(7.10) \quad s_2 = u(t-t_r) - \frac{1}{2} a (t-t_r)^2 + ut_r - D$$

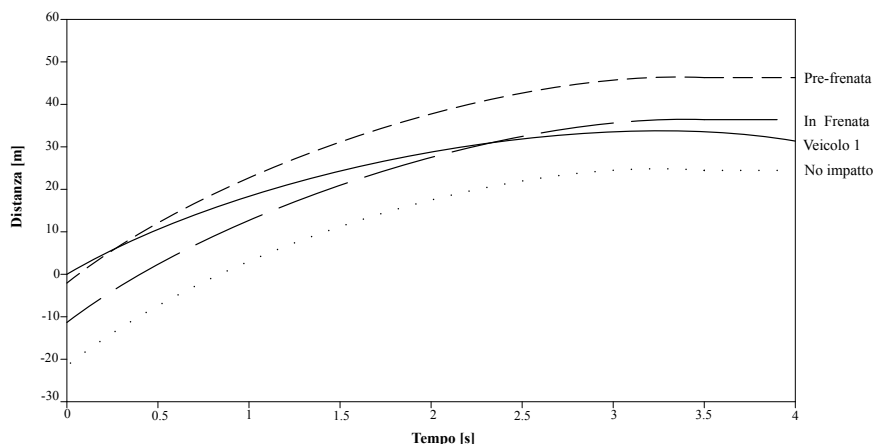
L'urto fra i veicoli avverrà quando $s_1 = s_2$.

Si presentano quindi tre possibili situazioni che dipendono dal valore di D , dal tempo di reazione del conducente del veicolo 2 e dalla decelerazione:

- la distanza D è sufficientemente ampia (o il tempo di reazione è sufficientemente corto) da far sì che il veicolo 2 si arresti prima dell'urto;
- avviene il tamponamento prima che il veicolo 2 inizi a frenare;
- avviene il tamponamento col veicolo 2 in frenata.

Queste tre possibilità sono rappresentate graficamente in Figura 7.37.

Figura 7.37 – Studio grafico delle varie situazioni.



Per evitare il tamponamento è necessario che la frenata del conducente del veicolo 2 inizi prima del punto nel quale è iniziata quella del veicolo 1 e cioè:

$$(7.11) \quad D \geq u t_r$$

Questa equazione consente di stabilire se ci sarà o meno un tamponamento.

Nel caso in cui il tamponamento avvenga, ci si chiede quando questo avverrà: sono possibili due situazioni a seconda che il veicolo 2 abbia, o meno, iniziato la frenata prima dell'urto ma, in entrambi i casi, il tamponamento avverrà quando $s_1 = s_2$.

L'urto avviene prima che il veicolo 2 inizi a frenare

In questo caso la condizione di tamponamento si ottiene uguagliando le equazioni (7.8) e (7.9):

$$ut - \frac{1}{2} at^2 = ut - D$$

da cui, ricavando il tempo:

$$(7.12) \quad t = \sqrt{2D/a}$$

L'urto avviene dopo l'inizio della frenata del veicolo 2

In questo caso la posizione del veicolo 2 è descritta dalla (7.10) e la condizione di urto può essere scritta uguagliando le equazioni (7.8) e (7.10):

$$ut - \frac{1}{2} at^2 = u(t - t_r) - \frac{1}{2} a (t - t_r)^2 + ut_r - D$$

da cui:

$$(7.13) \quad t = (\frac{1}{2} a t_r^2 + D)/at_r$$

Per stabilire il verificarsi o meno del tamponamento, dunque, si deve partire dalla valutazione della (7.11), dopo di che, risolvendo la (7.12) si verifica se l'urto è avvenuto prima o dopo l'inizio della frenata, in quest'ultimo caso occorre risolvere la (7.13) per determinare l'esatto tempo d'urto.

Esempio

Supponiamo che due veicoli procedano alla velocità di 20 m/s, che entrambi possano decelerare con $a = 6,87 \text{ m/s}^2$, che il tempo di reazione del conducente del veicolo 2 sia di 1 secondo e, infine, che la distanza fra i due sia di 4 metri.

Ci si domanda se, in caso di frenata del veicolo 1, per il conducente del veicolo 2 sarà possibile evitare il tamponamento.

L'esame preliminare della (7.11) ci dice che $D (= 4 \text{ m}) < ut_r (= 20 \cdot 1 \text{ m})$ e dunque l'urto sarà inevitabile.

Risolvendo la (12) si calcola che

$$t = \sqrt{2D/a} = \sqrt{8/6.87} = 1.079 \text{ s}$$

Poiché questo valore è, sebbene di poco, superiore al tempo di reazione stabilito, si potrà concludere che l'urto avverrà col veicolo 2 in fase di frenata per cui il tempo dell'urto sarà dato dalla (7.13):

$$t = (\frac{1}{2} a t_r^2 + D)/at = (\frac{1}{2} \cdot 6.87 \cdot 1.0^2 + 4)/6.87 \cdot 1.0 = 1.082 \text{ s}$$

e cioè l'urto avverrà 1.082 secondi dopo l'inizio dell'azione frenante dal veicolo 1.

Stabilito il tempo al quale avverrà l'urto, è immediato calcolare lo spazio percorso dai veicoli e le loro velocità all'urto; dalla (7.8) si calcola per il veicolo 1:

$$s_1 = ut - \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \cdot 6.87 \cdot 1.082 = 17.62 \text{ m}$$

e, per la velocità all'urto:

$$v_1 = u - at = 20 - 6.87 \cdot 1.082 = 12.56 \text{ m/s}$$

La velocità del veicolo 2 all'urto, invece, sarà data da:

$$v_2 = u - a(t - t_r) = 20 - 6.87 \cdot (1.082 - 1.0) = 19.44 \text{ m/s}$$

Se scriviamo la velocità relativa all'urto sottraendo v_1 da v_2 si ottiene:

$$(7.14) \quad v_2 - v_1 = a \cdot t_r$$

nell'esempio $\Delta v = 6.87 \text{ m/s}$.

In generale si osserva che se l'urto avviene in fase di frenata per entrambi i veicoli la velocità relativa all'urto è sempre la stessa, dipende solo dalla decelerazione e dal tempo di reazione e non dipende dalla velocità iniziale (sempre nell'ipotesi, naturalmente, che la decelerazione rimanga costante ed identica per i due veicoli).

Si osservi infine che sia la (7.12) $t = \sqrt{2D/a}$ che la (7.13) $t = (\frac{1}{2} a t_r^2 + D)/at_r$ sono indipendenti dalla velocità iniziale dei veicoli.

7.6.2 Analisi dell'evitabilità dell'incidente

In molte situazioni, dopo avere ricostruito la fase dell'urto e del post urto, è necessario che il tecnico ricostruttore si ponga delle domande del tipo: «a quali condizioni il conducente del veicolo X avrebbe potuto evitare l'urto?» oppure: «Stabilito che il conducente del veicolo Y ha omesso di concedere la precedenza, la velocità del veicolo Z è stata concausa dell'evento? Cosa sarebbe successo se avesse rispettato il limite di velocità?» ecc.

Per rispondere a queste domande è necessario svolgere uno studio cinematico della fase pre urto ed analizzare l'evitabilità dell'incidente.

Lo studio sulla distanza di sicurezza condotto al paragrafo precedente è, in un certo senso, anch'esso uno studio di evitabilità, essendo finalizzato a stabilire la distanza alla quale il veicolo che segue può evitare il tamponamento.

L'analisi della fase pre-urto è particolarmente agevole quando siano state rilevate delle tracce di frenata, in quanto queste consentono di risalire all'istante (ed alla posizione) in cui il conducente del veicolo ebbe la percezione del pericolo, ma può essere svolta anche quando non si ha la certezza che ci siano state frenate pre urto o, comunque, non se ne conoscano lunghezza e punto d'inizio. In questo secondo caso, come si vedrà negli esempi, diventa fondamentale lo studio delle visuali e la quantificazione di un tempo di reazione adeguato per il conducente.

La questione dell'evitabilità può essere affrontata da due punti di vista:

- ricerca dell'*evitabilità geometrica*, determinando le condizioni che avrebbero consentito al veicolo di fermarsi prima del punto d'urto;
- ricerca dell'*evitabilità in tempo*, determinando le condizioni che avrebbero consentito al veicolo (o pedone) urtato di liberare l'area di conflitto.

La distanza di arresto di un veicolo è data dalla somma degli spazi percorsi durante la reazione del conducente, la fase di applicazione della forza frenante e la frenata vera e propria.

La distanza di arresto S , definita nella (7.1) può essere riscritta in forma più compatta e tenendo conto anche dell'eventuale inclinazione della strada:

$$(7.15) \quad S = \frac{V_i^2}{2 * g * (f \pm sen\alpha)} + t_R V_i$$

dove:

f = coefficiente di attrito;

V_i = velocità iniziale del veicolo (m/s);

$t_R = t_r + \frac{1}{2} t_b$ è il tempo di reazione nel quale, per comodità, si è incluso anche la metà del tempo di attivazione del sistema frenante come indicato dalla (1). (s);

α = inclinazione, in gradi, delle superficie sulla quale il veicolo ha frenato (il segno + si usa per la salita ed il segno - per la discesa).

L'evitabilità geometrica

La velocità di evitabilità geometrica è il valore massimo che avrebbe potuto avere la velocità che consentisse comunque al conducente, nelle condizioni di accadimento, di arrestarsi nel punto d'urto :

$$(7.16) \quad V_{\max, g} = \sqrt{(at_R)^2 + 2aS_{R-U}} - at_R$$

dove:

a = decelerazione (m/s²);

S_{R-U} = distanza fra il punto di percezione ed il punto d'urto che può essere calcolata dalla:

$$(7.17) \quad S_{R-U} = S_{F-U} + t_R V_i$$

con:

S_{F-U} = lunghezza della frenata pre-urto (m).

L'evitabilità in tempo

L'urto può essere evitato anche frenando in modo da ritardare il momento di arrivo nel punto d'urto e concedere così all'altro veicolo (o pedone) la possibilità di liberare l'area di conflitto.

Quest'analisi è particolarmente utile nel caso di attraversamenti o immissioni e fornisce, in generale, valori di $V_{\max, t}$ superiori alla $V_{\max, g}$ non essendo necessario, per l'evitabilità, che il veicolo si arresti.

La velocità massima per il non-urto è data dalla:

$$(7.18) \quad V_{\max,t} = \frac{a(t_{F-U} + t_{ATT})^2 + S_{R-U}}{t_{R-U} + t_{ATT}}$$

dove:

a = decelerazione (m/s^2);

S_{R-U} = distanza fra il punto di percezione ed il punto d'urto (m);

t_{F-U} = tempo fra l'inizio della frenata (tracce) e l'urto (s);

t_{R-U} = tempo fra l'inizio della reazione e l'urto (s);

t_{ATT} = tempo necessario all'altro veicolo (o al pedone) per liberare l'area di conflitto (s).

Il tempo di attraversamento t_{ATT} è calcolato dalla relazione:

$$t_{ATT} = S_{ATT}/V_{ATT}$$

dove:

S_{ATT} = distanza che deve percorrere l'altro veicolo per sgombrare l'area di conflitto (m);

V_{ATT} = velocità dell'altro veicolo (o del pedone) (m/s).

Il tempo t_{F-U} , infine, è calcolato dalle equazioni:

$$(7.19) \quad t_{F-U} = -\frac{V_U}{a} + \sqrt{\left(\frac{V_U}{a}\right)^2 + \frac{2S_{F-U}}{a}}$$

oppure:

$$(7.20) \quad t_{F-U} = \frac{V_i}{a} - \sqrt{\left(\frac{V_i}{a}\right)^2 - \frac{2S_{F-U}}{a}}$$

Con

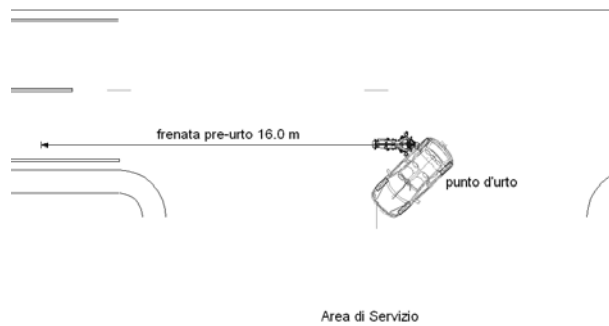
S_{F-U} = lunghezza della traccia di frenata dall'inizio all'urto.

Si sceglierà la (7.19) o la (7.20) a seconda che sia nota la velocità all'urto V_U o quella di crociera V_i del veicolo.

Esempio 1. Evitabilità geometrica con tracce di frenata pre-urto

In un incidente fra un'auto in svolta a sinistra ed un motociclo (Figura 7.38) si è calcolato che le velocità all'urto erano rispettivamente di 15-20 km/h e di 90-100 km/h. È noto che il motociclo, prima dell'urto, lasciò sull'asfalto 16 m di traccia gommosa.

Figura 7.38 – Posizione dei veicoli all'urto con l'indicazione della frenata pre-urto del motociclo.



La velocità di marcia del motociclo

Il fondo stradale era in buone condizioni e privo di irregolarità; il motociclo, di recente costruzione, era dotato di un efficiente dispositivo di distribuzione della frenata; i pneumatici montati erano di ottima qualità e seminuovi; la traccia di frenata era ben marcata, continua e rettilinea.

Per questi motivi si ipotizzerà che il motociclo abbia decelerato sfruttando al massimo l'aderenza pneumatici-asfalto con $a = 0,8 \cdot 9,81 = 7,85 \text{ m/s}^2$.

La sua velocità al momento dell'inizio della frenata tracciante (che per semplicità faremo coincidere la velocità di crociera trascurando il lieve rallentamento nella fase pre-tracciante) è data dalla:

$$V_i = \sqrt{V_U^2 + 2 \cdot a \cdot S_{F-U}}$$

utilizzando per la velocità all'urto $V_U = 95 \text{ km/h}$ (valore intermedio fra quelli calcolati), si ottiene:

$$V_i = 30,8 \text{ m/s (pari a 111 km/h)}$$

(I due valori estremi sono $V_{i,\min} = 106 \text{ km/h}$ e $V_{i,\max} = 115 \text{ km/h}$.)

Il tempo di reazione del motociclista

La stima del tempo di reazione si basa sulle seguenti considerazioni:

- le testimonianze raccolte concordano sul fatto che la conducente dell'auto segnalò l'intenzione di svolta attivando la freccia a sinistra;
- la visuale fra i veicoli era sgombra;
- l'ora di accadimento fa escludere la possibilità di un abbagliamento per il motociclista;
- l'auto era al centro del cono visivo del motociclista, la cui visione era focalizzata all'infinito stante la velocità tenuta (non inferiore ai 90 Km/h) e l'andamento rettilineo della strada;

- l'attenzione del motociclista, sempre considerando la velocità tenuta e l'intrinseca insidiosità della situazione di traffico, doveva essere alta.

Per tali motivi si ritiene che il motociclista abbia impiegato non più di 1 secondo per reagire al pericolo percepito e a frenare a fondo.

L'evitabilità geometrica dell'incidente

La distanza S_{R-U} dalla quale il motociclista percepì il pericolo è data dalla (7.17) e vale:

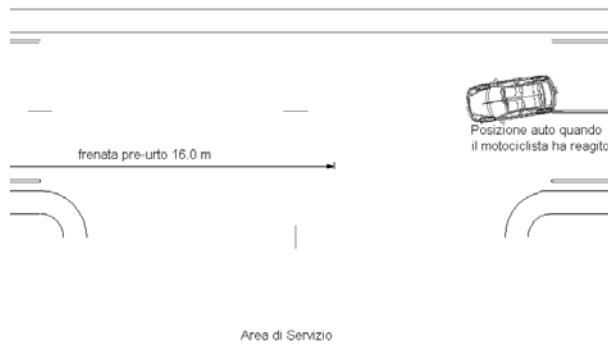
$$S_{R-U} = S_{F-U} + t_r V_i = 16 + 30,8 = 46,8 \text{ m}$$

$$V_{\max,g} = \sqrt{(at_r)^2 + 2aS_{R-U}} - at_r = 20,4 \text{ m/s}$$

Il che significa che se il motociclo avesse tenuto una velocità compresa fra i 70 ed i 75 km/h il conducente avrebbe potuto arrestarlo prima dell'urto.

L'esame dell'evento può essere completato calcolando che la frenata durò circa 0,56 s per cui il motociclista percepì la manovra dell'auto come pericolosa circa 1,56 secondi prima dell'urto. La reazione avvenne quando l'auto aveva già oltrepassato di circa 1 metro la linea di mezzzeria (Figura 7.39) e si può concludere che la percezione del motociclista probabilmente non fu pronta come avrebbe potuto essere.

Figura 7.39 – Posizione dell'auto al momento della reazione del motociclista.



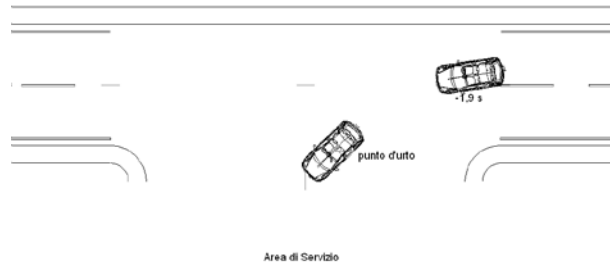
Esempio 2. Evitabilità geometrica senza tracce di frenata pre-urto

Analizziamo ora lo stesso caso dell'*Esempio 1*, ma ipotizzando che non siano state rilevate tracce di frenata pre urto.

I tempi dell'incidente

Nelle ipotesi fatte nel caso precedente si calcola che l'auto ha impiegato 1,9 secondi per percorrere i circa 9 metri che separavano il punto in cui superò la linea di mezzzeria ed il punto d'urto (Figura 7.40):

Figura 7.40 – Traiettoria di svolta dell'auto con l'indicazione dei tempi di attraversamento.



Considerazioni sulla velocità di marcia del motociclista

Sulla base delle considerazioni svolte nell'*Esempio 1*, si stima che il motociclista abbia impiegato non più di 1 secondo per reagire e decidere la strategia di risposta all'azione intrapresa dall'automobilista, da cui si conclude avrebbe potuto frenare per circa 0,9 secondi prima di urtare l'auto.

Ipotizzando una corretta azione frenante (decelerazione $d = 7,85 \text{ m/s}^2$) ed utilizzando per i calcoli il valore di V_U intermedio di 95 km/h, si calcola che la velocità del motociclista nel momento in cui percepì il pericolo, avrebbe potuto essere:

$$V_i = V_U + at = 26,4 + 7,85 \cdot 0,9 = 33,5 \text{ m/s}$$

Vale a dire circa 120 km (i valori estremi sono $V_{i, \min} = 115 \text{ km/h}$ e $V_{i, \max} = 125 \text{ km/h}$).

Ovviamente, nel caso in esame, non v'è certezza che ci sia stata un'azione frenante, non essendo state rilevate tracce gommose al suolo, tuttavia, il tempo avuto a disposizione e la chiarezza del pericolo, inducono a considerarla estremamente probabile.

La fase pre-urto

È necessario, a questo punto, mettere insieme i dati per analizzare il complesso della fase pre-urto nelle due ipotesi possibili:

- il motociclista ha frenato prima dell'urto;
- il motociclista, ritenendo di poter passare dietro all'auto, non ha modificato la propria velocità.

Sono possibili, naturalmente, situazioni intermedie nelle quali il motociclista avrebbe potuto solo rallentare, ma qui ci limiteremo ad analizzare le due situazioni limite.

Il motociclista ha frenato prima dell'urto

In questa ipotesi, come si è visto, la velocità del motociclista al momento della percezione poteva essere compresa fra i 115 ed i 125 km/h; utilizzando

nei calcoli il valore intermedio di 33.3 m/s (120 km/h) per la V_i e di 26.4 m/s (95 km/h) per la V_U , si ottiene:

$$S_{R-U, fren} = V_i \cdot t_r + (V_i^2 - V_U^2) / 2a = 59,7 \text{ m}$$

cioè, quando percepì il pericolo, il motociclista si trovava a circa 60 metri dal punto d'urto (ed a circa 69 metri dalla posizione dell'auto).

D'altro canto la conducente dell'auto, quando sorpassò la linea di mezzzeria (vale a dire 0,2 secondi prima che il motociclista percepisse la manovra), poteva vedere il motociclo ad una distanza di:

$$69\text{m} + 0,2\text{s} \cdot 33,5\text{m/s} + 0,2\text{s} \cdot 4,9\text{m/s} = 76,7 \text{ metri circa.}$$

Dalla (7.16) si calcola l'evitabilità geometrica nel caso il motociclista abbia frenato prima dell'urto:

$$V_{\max, g, fren} = \sqrt{(at_r)^2 + 2aS_{R-U, fren}} - at_r = 23,8 \text{ m/s}$$

Il che significa che se avesse tenuto una velocità di marcia di 85 km/h il conducente avrebbe potuto arrestare il proprio veicolo prima dell'urto.

Il motociclista non ha frenato prima dell'urto

In questa ipotesi abbiamo che, quando il motociclista percepì la svolta dell'auto, la sua velocità era compresa fra i 90 ed i 100 km/h; continuando ad utilizzare il valore intermedio di 26,4 m/s ed una percezione 1,9 s prima dell'urto, si calcola che la distanza dal punto d'urto era:

$$S_{R-U, Non fren} = 1,9 \cdot 26,4 = 50,2 \text{ metri circa}$$

Si verifica agevolmente che a 95 Km/h il motociclista non sarebbe riuscito a fermarsi in 50,2 m, tuttavia, frenando per circa 24 metri, dopo il tempo di reazione di 1 s, avrebbe ridotto la sua velocità transitando sul punto d'urto a 65 km/h e, soprattutto, sarebbe arrivato 0.2 s più tardi lasciando all'auto il tempo per entrare nell'area di servizio liberando la carreggiata.

Considerazioni sugli Esempi 1 e 2

È evidente che le conclusioni cui si è giunti nell'*Esempio 1* sono da considerarsi più fondate, tuttavia, anche nell'*Esempio 2*, malgrado la mancanza di dati certi sull'eventuale azione frenante del motociclista, si ottengono risultati non dissimili.

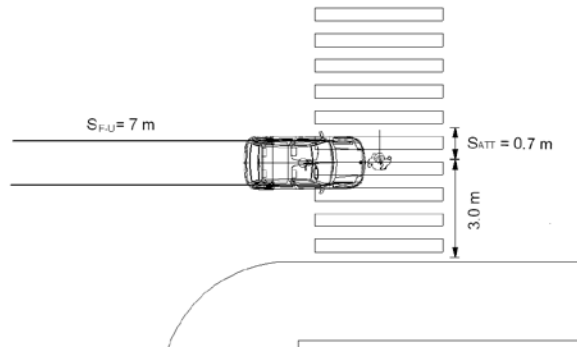
Mentre nel primo caso si conclude che l'incidente sarebbe stato evitabile se il motociclo avesse mantenuto una velocità di circa 75 km/h, nel secondo, avendo a disposizione un minor numero di dati, si sovrastima la velocità di evitabilità di circa 10 km/h.

La differenza numerica nelle conclusioni raggiunte nei due casi deriva dal fatto che nell'*Esempio 1*, si conosceva la lunghezza della frenata (16 m) e, partendo da tale dato, è stata calcolata la velocità di crociera, mentre nell'*Esempio 2*, la velocità di marcia è stata calcolata ipotizzando che il motociclista abbia frenato a fondo per tutti i 0.9 s disponibili fra la fine del tempo di reazione e l'urto.

Esempio 3. Evitabilità in tempo

Si consideri il caso dell'investimento di un pedone che, con andatura veloce, attraversava la strada sulle strisce pedonali, in ambito urbano (Figura 7.41):

Figura 7.41 – Istante dell'investimento del pedone.



I dati di cui si dispone sono i seguenti:

$V_i = 21$ m/s (circa 75 km/h) velocità di crociera dell'auto ricostruita nello studio del sinistro;

$S_{F-U} = 7$ m: tracce di frenata lasciate dall'auto prima dell'urto;

$S_p = 3$ m: spazio percorso dal pedone dall'inizio dell'attraversamento al punto d'urto.

$S_{ATT} = 0,7$ m: spazio che avrebbe consentito al pedone di liberare la traiettoria dell'auto (dedotto dalla collocazione delle tracce d'urto sull'auto).

Le ipotesi aggiuntive sono:

$a = 7,85$ m/s²: decelerazione frenata pre urto;

$V_{pedone} = 3$ m/s: velocità di attraversamento di corsa da parte del pedone;

$t_r = 1,0$ s: tempo di reazione del conducente;

$t_b = 0,2$ s: tempo necessario al sistema frenante per bloccare le ruote.

È possibile calcolare la distanza S_{R-U} alla quale si trovava l'automobilista nel momento in cui percepì l'inizio dell'attraversamento da parte del pedone dalla (7.17):

$$S_{R-U} = S_{F-U} + t_r V_i + \frac{1}{2} t_b V_i = 7 + 21 + 2.1 = 30,1 \text{ m}$$

In tali condizioni l'automobilista avrebbe avuto la possibilità di arrestarsi prima dell'investimento se non avesse superato la velocità di:

$$V_{\max,g} = \sqrt{(at_R)^2 + 2aS_{R-U}} - at_R = 14,75 \text{ m/s}$$

pari a circa 53 km/h.

Analizzando la questione dal punto di vista dei tempi, si calcola che il tempo totale t_{R-U} dalla percezione all'urto vale:

$$t_{R-U} = t_r + t_b + t_{F-U}$$

dove t_{F-U} è la durata dell'azione frenante dato dalla (7.20):

$$t_{F-U} = \frac{V_i}{a} - \sqrt{\left(\frac{V_i}{a}\right)^2 - \frac{2S_{F-U}}{a}} = \frac{21}{7,85} - \sqrt{\left(\frac{21}{7,85}\right)^2 - \frac{2 \cdot 7}{7,85}} = 0,36 \text{ s}$$

da cui:

$$t_{R-U} = 1,0 + 0,2 + 0,36 = 1,56 \text{ s}$$

Osservando ora la Figura 7.41 si verifica che il pedone, per liberare la traiettoria dell'auto, avrebbe dovuto percorrere circa 0,7 m da cui si calcola il t_{ATT} che è dato dalla:

$$t_{ATT} = 0,7 \text{ m} / 3 \text{ m/s} = 0,23 \text{ s}$$

La velocità di evitabilità in tempo $V_{\max,t}$ può infine essere calcolata dalla (7.18):

$$V_{\max,t} = \frac{\frac{a}{2}(t_{F-U} + t_{ATT})^2 + S_{R-U}}{t_{R-U} + t_{ATT}} = \frac{\frac{7,85}{2}(0,36 + 0,23)^2 + 30,1}{1,56 + 0,23} = 17,6 \text{ m/s}$$

pari a circa 63 km/h.

Come ci si aspettava, la velocità massima che avrebbe consentito all'auto di sfilare dietro al pedone (evitabilità in tempo) è superiore a quella che avrebbe consentito al suo conducente di arrestarla prima del punto d'urto; in ogni caso se l'automobilista avesse rispettato il limite di 50 km/h l'investimento non sarebbe avvenuto.

Si osserva che l'elevata velocità di marcia dell'autovettura non permetteva al conducente di evitare l'urto, neppure con una pronta reazione iniziata prima ancora che il pedone impegnasse la carreggiata. Si calcola infatti che il pedone impiegò circa 1 secondo ad arrivare dal bordo della

carreggiata al punto d'urto (3 metri alla velocità di 3 m/s), mentre l'automobilista (probabilmente vedendo l'uomo che si avvicinava a passo veloce alle strisce pedonali) reagì quando questo si trovava ancora a circa 1,5 metri dalla strada (reazione anticipata di 0,56 s).